



SAYI/ ISSUE 52  
KASIM/NOVEMBER 2023

# EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

**Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ**  
Editor-in-Chief and Editor

**Prof. Dr. Hüseyin TOROS**  
Editor

**Prof. Dr. Ahmet DOĞAN**  
Editor

**Editorial Board Members**

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ  
Subjects: Food Sciences and Engineering  
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Hüseyin TOROS  
Subjects: Engineering  
Institution: Istanbul Technical University

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN  
Subjects: Environmental Sciences and  
Engineering, Geological Sciences and Engineering, Civil  
Engineering  
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Osman TAYLAN  
Subjects: Energy Systems Engineering, Machine  
Learning, Quality Management, Artificial  
Intelligence, Multiple Criteria Decision Making, Fuzzy Logic  
Institution: Department of Industrial Engineering, Faculty of  
Engineering, King Abdulaziz University.

Prof. Dr. Tuncay GÜMÜŞ  
Subjects: Food Sciences and Engineering  
Institution: Namık Kemal University

Assoc. Prof. Dr. Juliana JALALUDIN  
Subjects: Air Pollution and Control, Environmental Sciences  
and Engineering  
Institution: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Medicine  
and Health Sciences, Department of Environmental and  
Occupational Health

Asst. Prof. Dr. Abdulatef AHMED  
Subjects: Meat Technology  
Institution: Aljfarah University

Prof. Dr. İskender AKKURT  
Subjects: Physics, Computer Sciences and Engineering  
Institution: Suleyman Demirel University

The European Journal of Science and Technology (EJOSAT) is a scientific and peer-reviewed journal published online four times in January, April, August, and November. The European Journal of Science and Technology is scanned in indexes such as Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.



# İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Ulaşımında Erişilebilirlik: KTO Karatay Üniversitesi Merkez Kampüsü Örneği  
Zafer KUYRUKÇU, Ayşegül BERBER  
Sayfa: 1 - 18
- IoT Veri Kümelerinde Makine Öğrenmesi Tekniklerine Dayalı Saldırı Tespiti  
Meltem KURT PEHLİVANOĞLU, Arman KUYUCU, Recep KAYA, Recep AYDIN  
Sayfa: 19 - 26
- X-Ray Görüntülerinden Covid-19 Tespiti için Hibrit Bir Derin Öğrenme Yaklaşımı  
Gizem ÖTER, Emrah HANÇER  
Sayfa: 27 - 36
- Detection and Classification of Customer Comments Containing Complaints  
Elif AYANOĞLU, Zeynep ÇOLAK, Toygar TANYEL, Hasan Yunus SARIOĞLU, Banu DİRİ  
Sayfa: 37 - 45
- 1970-2020 Yılları Arasında Antakya Kahramanmaraş Grabeninde Ekstrem Sıcaklıkların Trend Analizi  
Kübra AYDIN, Murat KARABULUT  
Sayfa: 46 - 63
- A Traditional Meat Product of Kosovo: Kaverma  
Kaltrina BERİSHA, Hajrip MEHMETİ, Hysen BYTYQİ, İsmail YILMAZ  
Sayfa: 64 - 70
- Metamorfik Masiflerin Asitik Bileşenleri: Jeokimya ve Mineraloji Perspektifi  
Ayşe Didem KILIÇ, Mustafa GÜLER  
Sayfa: 71 - 79
- Tip 1 Diyabette Çok Katmanlı GRU Tabanlı Glikoz Tahmini  
Ömer Atılım KOCA, Ali TÜRKÖZ, Volkan KILIÇ  
Sayfa: 80 - 86
- Fm-3m Uzay Grubundaki LiMn2Ga Full Heusler Alaşımının Teorik Olarak İncelenmesi  
Erol ALBAYRAK  
Sayfa: 87 - 94
- İnsan Omurgasına Ait Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinin İyileştirilmesi ve Omur Segmentasyonu  
Murat TÜRKMEN, Zeynep ORMAN  
Sayfa: 95 - 103
- Dopamine Detection From PC12 Cells With A Carbon-fiber Microelectrode Controlled By A Hommade System  
Tuğba AKKAŞ, Mustafa ŞEN  
Sayfa: 104 - 109
- Makine Öğrenmesi ile E-Ticaret Ürün Yorumlarının Otomatik Analizi  
Müjdat ÇABUK, Fatih YÜCALAR, Mansur Alp TOÇOĞLU  
Sayfa: 110 - 121
- Theoretical Insights into the Effects of Positional Isomerism: DFT/TD-DFT Approach  
Sümeyya SERİN, Öznur DOĞAN ULU  
Sayfa: 122 - 135
- Nikotinik Asit ve Türevleri İle Krom (III) İyonunun Oluşturduğu Komplekslerin Kararlılıkları  
Mehmet Suat AKSOY  
Sayfa: 136 - 143
- Meyve Suyunda Yüksek Basınç Teknolojisinin Uygulanması  
Serpil ADAY  
Sayfa: 144 - 152
- Modeling of Photovoltaic/Thermal System by Artificial Neural Network Based on The Experimental Study  
Muhammed Musab BAYAT, Ertan BUYRUK  
Sayfa: 153 - 160
- Fusion of High-Level Visual Attributes for Image Captioning  
Murat KILCI, Özkan ÇAYLI, Volkan KILIÇ  
Sayfa: 161 - 168

# IÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Multi-Parametric Glucose Prediction Using Multi-Layer LSTM  
Ömer Atılım KOCA, Volkan KILIÇ  
Sayfa: 169 - 175
- Yağmur Suyu Hasadının Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kütüphane Binasında Uygulanabilirliğinin Araştırılması  
Arife ŞİMŞEK, Gökhan DEMİR  
Sayfa: 176 - 182
- Investigation of Flexural, Compressive Strength and Microstructure of Silica Fume Added Steel Fiber Concrete  
Mahmut DURMAZ  
Sayfa: 183 - 192
- Kalın Kesitli Hadfield Çeliklerine Karbon ve Molibden İlavesinin Etkisinin İncelenmesi  
Faruk ÖZTÜRK, Uğur GÜROL, Mehmet UYSAL  
Sayfa: 193 - 200
- Kurumsal Kaynak Planlama İş Yazılımı Sistemlerinde Uygulama Programlama Arayüzü ve İstemci Farklılıklarının Performansa Etkisi  
Ali Burak ZEYTİNCİ, Rüya ŞAMLI  
Sayfa: 201 - 211
- Sağlık Bilimleri Fakültesi Öğrencilerinin Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışlarının İncelenmesi  
Hikmet BAYAM, Melike YEĞİN, Muradiye KARASU AYATA, Fatma ERCÜN  
Sayfa: 212 - 219
- Analysis and Evaluation of Conventional Methods for Diabetes Prediction  
Canan BATUR ŞAHİN, Hayriye TANYILDIZ, Özlem BATUR DİNLER  
Sayfa: 220 - 233
- Uzaktan Algılama, Yapay Zeka ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri  
Muhammet Fatih ÇAKMAKÇI, Ramazan ÇAKMAKCI  
Sayfa: 234 - 246
- Dijital Pazarlamanın İhracattaki Rolü: İnegöl Mobilya Sektörü Üzerine Bir İnceleme  
Enes AYTEKİN, Ahmet Fırat ÇİFTÇİ, Alaa ALSHAWISH, Tutku TUNCALI YAMAN  
Sayfa: 247 - 258
- Yığma Yapılarda Günümüzde Yapılan Hatıl Uygulamaları  
Mehmet Selim ÖKTEN, Aynur YÜCE  
Sayfa: 259 - 271
- Türkçe Faturaların Sınıflandırılmasında Farklı Öznitelik Seçimi Yöntemleri ile Topluluk Öğrenme Algoritmalarının Etkilerinin İncelenmesi  
İlker YILDIZ, Ayberk Emin KOTAN, Ayşe Berna ALTINEL  
Sayfa: 272 - 278
- Agropyron repens (L.) P. Beauv. Ekstraktlarının Bazı Önemli Yabancı Ot Türleri Üzerine Herbisit Etkilerinin Araştırılması  
Kadir Furkan SARGIN, Betül AKIN  
Sayfa: 279 - 288
- On Laplacian Spectrum of Desargues and Pappus Configurations  
Burçin USTA, Ayşe BAYAR  
Sayfa: 289 - 293
- Süleymanpaşa (Tekirdağ) - Küçükçekmece Gölü (İstanbul) Arası Marmara Denizi Deşarj Noktalarının Kirlilik Yüklerinin Araştırılması  
Zeki Ünal YÜMÜN, Gamze EKİCİ  
Sayfa: 294 - 301





# Ulaşımında Erişilebilirlik: KTO Karatay Üniversitesi Merkez Kampüsü Örneği

Zafer Kuyrukçu<sup>1\*</sup>, Ayşegül Berber<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6454-7484), [zkuyrukcu@ktun.edu.tr](mailto:zkuyrukcu@ktun.edu.tr)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3238-1445), [aberber@ktun.edu.tr](mailto:aberber@ktun.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 25 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1332630)

**ATIF/REFERENCE:** Kuyrukçu, Z. & Berber, A. (2023). Ulaşımında Erişilebilirlik: KTO Karatay Üniversitesi Merkez Kampüsü Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 1-18.

## Öz

Üniversite yerleşkeleri eğitim-öğretimin yanı sıra birçok işlevi de bünyesinde barındıran kentsel mekanlardır. Kullanıcı çeşitliliği, farklı kullanım süreleri ve amaçlarından dolayı küçük kent özelliği taşıyan yerleşkelerin evrensel tasarım ilkelerine uygun olarak erişilebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Günümüzde yerleşkelerde erişilebilirliği araştıran ve inceleyen çalışmalar genellikle kampüs alanına odaklanmıştır. Ancak yerleşkeye ulaşmadan mekânsal erişilebilirliğin bir önemi yoktur. Bundan dolayı çalışma kapsamında yerleşkeye ulaşımında erişilebilirliğin önemini vurgulamak amaçlanmıştır. Bu doğrultuda 2023 yılı mekânda erişilebilirlik ödülü (turuncu bayrak) alan KTO Karatay Üniversitesi'nin merkez kampüsü örneklem alanı olarak belirlenmiştir. Kampüse ulaşımında toplu taşıma araçlarını kullanmak için geçilen yol, kaldırım, yaya geçidi ve durakların erişilebilirliği analiz edilmiştir. Bu kapsamda kampüsün yakın çevresi ulaşım ve dolaşım ağı olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. Bu iki bölge kendi içerisinde isimlendirilerek gözlemlenmiş, deneyimlenmiş ve fotoğraflanmıştır. Evrensel tasarım ilkelerine göre bu alanların değerlendirmeleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirme ile KTO Karatay Üniversitesi merkez kampüsüne ulaşımında engelli erişiminin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Kampüse hem ulaşım hem de dolaşım ağının özellikle basit ve sezgisel kullanım, algılanabilir bilgilendirme ve tasarımı hata payı ilkelerine göre yetersiz düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Üniversitenin sağlamış olduğu engelsiz alanları kullanabilmek için ilk olarak yerleşkeye erişmek gerekir. Bütüncül, kapsayıcı ve evrensel bir tasarım için kampüs alanına ulaşım ve kampüs alanının yakın çevresi de dikkate alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Üniversite yerleşkeleri, evrensel tasarım, erişilebilirlik, yerleşkelerde erişilebilirlik.

## Accessibility In Transportation: The Case Of KTO Karatay University Central Campus

### Abstract

University campuses are urban spaces that include many functions in addition to education. Due to the diversity of users, different periods of use and purposes, it is necessary to ensure the accessibility of the campuses with the characteristics of small cities in accordance with universal design principles. Today, studies investigating and examining accessibility on campuses are generally focused on the campus area. However, spatial accessibility is of no importance before reaching the campus. Therefore, within the scope of the study, it is aimed to emphasize the importance of accessibility in transportation to the campus. In this direction, the central campus of KTO Karatay University, which received the 2023 spatial accessibility award, was determined as the sampling area. Accessibility of roads, pavements, pedestrian crossings and stops to use public transportation vehicles in transportation to the campus were analyzed. In this context, the immediate surroundings of the campus are divided into two regions as transportation and circulation network. These two regions have been observed, experienced and photographed by naming them themselves. These areas

\* Sorumlu Yazar: [zkuyrukcu@ktun.edu.tr](mailto:zkuyrukcu@ktun.edu.tr)

were evaluated according to the principles of universal design. As a result of the evaluation, it was concluded that access to the central campus of KTO Karatay University is not suitable for the disabled. It has been determined that both the transportation and circulation network to the campus are insufficient according to the principles of simple and intuitive use, perceptible information and margin of error in design. In order to use the barrier-free areas provided by the university, it is necessary to access the campus first. For a holistic, inclusive and universal design, transportation to the campus area and the immediate environment of the campus area should also be taken into account.

**Keywords:** University campuses, universal design, accessibility, accessibility in campuses.

## 1. Giriş

“Bilimsel özerkliğe ve kamu tüzel kişiliğine sahip, yüksek düzeyde eğitim, öğretim, bilimsel araştırma ve yayın yapan fakülte, enstitü, yükseköğretim vb. kuruluş ve birimlerden oluşan öğretim kurumu” (Güncel Türkçe Sözlük, 2023) olarak tanımlanan üniversitelerde sadece eğitim, öğretim ve bilimsel faaliyetler gerçekleştirilmemektedir. 1970’li yıllardan itibaren üniversitelerin yapılaşması ülkemizde genellikle yerleşke şeklinde olmuştur. Amerikan kampüs modelinin Dünya’da yaygınlaşması ve Türkiye’de ‘her ile bir üniversite’ politikası ile açılan üniversite sayısındaki artış nedeniyle Anadolu’da kurulan üniversitelerin birçoğu yerleşke tipolojisine sahip, kent çeperinde ve kentten kopuk bir şekildedir (Şengül, 2014). Bu durum yerleşke yer seçimi, yerleşke tasarımı gibi konu başlıklarını içeren araştırma alanlarını beraberinde getirmiştir. Yerleşke olarak adlandırılan farklı fonksiyonları ve mekân tipolojilerini bünyesinde barındıran üniversite alanlarını sadece eğitim-öğretim alanı olarak adlandırmak yeterli bir tanım değildir. Üniversite yerleşkeleri eğitim ve öğretimin yanı sıra sosyal aktiviteler, kültürel aktiviteler, spor aktiviteleri, dinlenme alanları, yeme-içme alanları ve barınma alanları gibi fonksiyonları da bünyesinde barındırmaktadır. Kampüsler müfredat dışı aktiviteleri de kullanıcıya sunan alanlardır (Yaylalı Yıldız, 2020). Farklı fonksiyonları bünyesinde barındırmak için açık, yarı-açık ve kapalı mekanlar olmak üzere farklı mekân tasarımlarına sahip olmalıdır. Öğrenci, akademisyen, personel ve ziyaretçi gibi farklı amaçlar için kullanılan yerleşke kullanıcıları yaş, din, dil, ırk, cinsiyet, bedensel veya zihinsel engel durumu gibi özelliklere bakılmaksızın yerleşkeyi kullanma hak ve özgürlüğüne sahiptirler. Sempozyumlar, kongreler, faaliyetler ve kente açık aktiviteler gibi üniversitenin yapmış olduğu birçok uygulama, farklı bölgelerden kullanıcılar için yerleşkeyi kullanım imkânı sunmaktadır. Buna göre yerleşkelerin fonksiyonları, kullanıcı tipolojileri, kullanım süreleri gibi etkenler göz önüne alındığında yerleşkeler bir çeşit kamusal alan özelliği taşımaktadır. Yerleşkeleri ‘kentsel alan’ olarak nitelendiren Turner’in (1984) yanı sıra Campos (2002) çalışmasında, “kentsel karmaşadan yeterince uzak bir yerde konumlanan bu modelin, ideal bir kent yaratmayı hedeflediğini” söylemektedir. Bundan dolayı yerleşkeler, tüm kullanıcıların katılımına açık, kapsayıcı ve özgür kullanıma sahip alanlar olmalıdır (Tatal, 2015).

“Erişilebilirlik herkesin, istediği her yere ve her hizmete, bağımsız ve güvenli olarak ulaşabilmesi ve bunları kullanabilmesidir.” (Erişilebilirlik Kılavuzu, 2020). Kentin her noktasında mekân ve ürünler erişilebilir olmalıdır. Küçük kent niteliği taşıyan, farklı fonksiyonlara, kullanıcı çeşitliliğine ve esnek kullanım saatlerine sahip üniversite yerleşkelerinde de erişilebilirlik tüm kullanıcıların haklarını gözetmek, özgürlüğünü ve konforunu sağlamak için son derece önemlidir. Bilim için önemli bir basamak olan ve ele aldığı konuyu detaylı bir şekilde analiz eden lisansüstü tezlerde yerleşkelerdeki erişilebilirlik konusu en fazla 2016-2020 yılları arasında ele alınmıştır (Kuyrukçu & Berber, 2023). Bu konuyu araştırmak ve geliştirmek için geç kalınmış bir tarih olmasına rağmen bu yıllar arasında yerleşkelerde erişilebilirlik konusunu inceleyen tez sayısı oldukça azdır. Ayrıca yerleşkelerde erişilebilirlik konusu araştıran çalışmalar genel olarak yerleşke ölçeğinde kalmakta, bu çalışmalarda yerleşkenin çevresi ve ulaşım bağlantıları inceleme ve araştırmanın dışında tutulmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada yerleşkeye ulaşım alanlarının, yerleşke dışı açık alanların ve yakın çevresinin erişilebilirlik ve evrensel tasarım ilkeleri kapsamında incelenmesi amaçlanmıştır.

### 1.1. Üniversite Yerleşkelerinde Erişilebilirlik

Görme, işitme, konuşma, fiziksel hareketlilik gibi insan yeteneklerindeki farklılıkların mekân kullanımını etkilemesinin yanı sıra topuklu ayakkabı kullanımı, bebek arabası kullanımı, geçici bedensel rahatsızlıklar gibi yaşamın olağan akışında her kullanıcının karşılaşabileceği farklılıklar da mekân kullanımında etkilidir (Mischenko vd, 2010). Evrensel tasarım bu farklı kullanıcıları etiketlemeden, gruplandırmadan, fiziksel zorluk oluşturmaktan ihtiyaçlarını karşılayan ve çözüm önerileri sunan bir yaklaşımdır. Evrensel tasarım yalnızca bedensel veya zihinsel engellilerin toplumda diğer kullanıcılar ile aynı haklara sahip olması değildir. Daha geniş bir çerçevede engelli veya engelsiz her kullanıcının eşitliğini amaçlar. Kullanılabilirlik, erişilebilirlik ve kapsayıcılık evrensel tasarım felsefesinin temelini oluşturur (Yılmaz, 2022). Evrensel tasarım anlayışı ilk kez terim olarak Mimar Ronald L. Mace tarafından 1980’li yıllarda kullanılmıştır. Evrensel tasarım prensipleri ise North Caroline Üniversitesi’nde evrensel tasarım konusu üzerinde çalışan mimar ve mühendislerden oluşan The Center for Universal Design grubu tarafından geliştirilmiştir. Evrensel tasarım kriterleri şu şekilde açıklanabilir (Story vd., 1998);

- **Eşitlikçi Kullanım:** Farklı kullanıcılar için eşit şartlar sağlanmalıdır. Kullanıcılar arasında ayırım olmamalı ve kullanıcı gruplaştırılarak ayrıştırılmamalıdır. Sağlanan imkanlar ve kurallar tüm kullanıcılar için uygulanmalıdır. Örneğin kot farkı bulunan bir yerde erişim, merdiven ve engelli asansör yerine eğimli yol ile çözümlenmelidir. Bu tasarım yöntemi gruplaştırmayı önlemekte, tüm kullanıcıların eşit ve düşük fiziksel güç ile kullanımını sağlamaktadır (Dostoğlu vd., 2009).

- **Kullanımda Esneklik:** Tasarım yapılırken bireylerin farklı tercihleri dikkate alınmalıdır. Bireylere farklı kullanım biçimlerini kullanma imkânı sağlanmalıdır. Farklı kullanıcı ölçüleri, kullanım şekilleri, kullanım araçları ve ortam değişkenleri gibi mekân kullanımını etkileyen kriterlere uygun olmalıdır.

- **Basit ve Sezgisel Kullanım:** Mekânsal tasarım; kullanıcının yaşı, becerisi, dili, tecrübesi, kültürü, algılama seviyesi, bedensel ve zihinsel engeli gibi etkenlerden farklı olarak basit bir şekilde kullanılabilir olmalıdır. Mekân tasarımı yapılırken kullanıcı

hareketleri sezgisel olarak yönlendirilmelidir. Algılamak ve kullanmak için fazla güç harcanmamalı, doğrudan kullanım gerçekleştirilmelidir.

- **Algılanabilir Bilgilendirme:** Tasarlanan ürün, mekân veya çevre; kullanıcı için gerekli bilgiyi hava durumu, aydınlatma gibi ortam koşullarından bağımsız bir şekilde vermelidir. Yaş grubu, kültürü, algılama seviyesi, görme yetisi, bedensel ve zihinsel engeli gibi etkenlerden bağımsız şekilde kullanıcıya bilgi aktarılmalıdır.
- **Tasarımda Hata Payı:** Mekân tasarımı, oluşabilecek kaza veya tehlikeleri en aza indirmelidir.
- **Düşük Fiziksel Güç Kullanımı:** Tasarlanan mekân konforlu olmalıdır. Kullanıcılar en az eforla ve tekrar eden davranışlara gerek olmaksızın mekânı kullanabilmelidir. Doğal pozisyonlarda düşük fiziksel güç ile kullanım sağlanmalıdır.
- **Yaklaşım ve Kullanım için Boyut ve Alan Sağlanması:** Her türlü kullanıcının vücut ve kullandığı araç, eşya vb. ölçülerine uygun kullanım alanları sağlanmalıdır (Hilmioğlu & Seçer Kariptaş, 2022).

Her alanda olduğu gibi eğitimde de eşitlik ilkesi önemlidir. 1948 yılında yayımlanan İnsan Hakları Evrensel Bildirgesinde eğitimin tüm bireyler için temel hak olduğu, herkese açık bir şekilde olması gerektiği belirtilmiştir. Eğitim hakkını yerine getirmek için kurumların tüm öğrencilere eşit derecede eğitim sunması yeterli değildir. Eğitim kurumlarının her mekânı tüm kullanıcılar için kullanılabilir, kapsayıcı, algılanabilir olmalı ve kullanıcıları ayırtmadan her kullanıcı için eşit derecede bu ilkeleri sağlamalıdır. Üniversiteler toplumun sosyal, kültürel, ekonomik, politik ve teknolojik açıdan gelişmesinde öncü rol oynamaktadır. Bundan dolayı sosyal yaşama eşit katılımın sağlanması için erişilebilirlik şartlarının uygulanması gereken ilk kurumları arasındadır. Üniversiteler, engelliğe bakış açısı, tasarım standartları, erişilebilirlik planlaması olmak üzere üç ana konu üzerinde çalışma yürütürse ve uygularsa kapsayıcı bir üniversite özelliği taşıyabilir (Dinç Uyaroğlu, 2018). Ayrıca üniversitelerde erişilebilirlik konusu hakkında çalışma yapmak gelecekte meslek sahibi olacak ve toplumda rol alacak olan öğrencilerin konu hakkında bilinçlenmelerine de etki edecektir.

Farklı yaş grubu, cinsiyet, kültür ve tecrübe gibi özelliklere sahip kullanıcı çeşitliliğini barındıran eğitimin yanı sıra birçok işlevi içeren yerleşkeler, evrensel tasarım kriterlerine uygun tasarlanması gereken önemli kentsel mekanlardır. Asıl amacı “Engellilerin tüm insan hak ve temel özgürlüklerinden tam ve eşit şekilde yararlanmasını teşvik etmek, korumak, sağlamak ve insan onuruna saygıyı güçlendirmek” olan 2009 yılında onaylanan Birleşmiş Milletler Engellilerin Haklarına İlişkin Sözleşmesi’nin diğer amaçlarından bir tanesi de yükseköğrenim gören engelli öğrencilerin hayatını kolaylaştırmak ve eğitim süreçlerine katılımlarını güçlendirmektir (Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2023). Bu amaca yönelik olarak Yükseköğretim Kurumları Engelliler Dayanışma ve Koordinasyon Yönetmeliği (2010) kapsamında Yükseköğretim Kurumu merkezli Engelli Öğrenci Komisyonu ve üniversite bünyesinde Engelli Öğrenci Birimleri kurulmuştur. Yükseköğretim Kurumu 2018 yılında mekânsal erişilebilirlik ve engelsiz eğitim konularını temel alan “Engelsiz Üniversite Bayrakları Ödülü” ve “Engelsiz Program Nişanı” olmak üzere iki adet projeyi başlatmıştır (YÖK, 2023). Engelsiz Üniversite Bayrak Ödülü kapsamında açık, yarı açık ve kapalı mekanlarda yönetmeliklere ve standartlara göre erişim kriterlerini belirli bir düzeye kadar sağlayan üniversitelere turuncu bayrak verilmektedir. Engelli öğrencilerin eğitim hakkını kullanabilmesini sağlayan, eğitim aşamasında destekleyici faaliyetlerde bulunulmasını ve bilgilendirmelerin yapılmasını sağlayan üniversitelere yeşil bayrak ödülü verilmektedir. Öğrencilerin sosyal ve kültürel aktivitelere erişimlerini sağlayan ve etkin katılımlarını teşvik eden üniversitelere mavi bayrak ödülü verilmektedir. Engelsiz program nişanı ise programlarını farklı engelli kullanıcıları için erişilebilir kılan üniversitelere verilmektedir. Yerleşke içerisinde gerçek bir eğitim ortamının oluşabilmesi için öğrencilerin ve diğer kullanıcıların yerleşkede gerçekleşen çeşitli aktivitelere katılması ve etkileşim sağlaması gerekir (Marcus & Wischemann, 1997). Bu aktivitelere katılımı erişilebilirlik koşullarının sağlanması ile artırmak mümkündür. Yerli ve Özdede (2017) çalışmalarında yerleşke planlaması için en önemli üç gerekliliği güvenlik, sosyal katılım ve erişilebilirlik olarak ifade etmektedir.

Her tasarım alanında olduğu gibi üniversite yerleşkelerinde de erişilebilirlik sadece yapı içerisinde sınırlı kalmamalıdır. Günümüzde inşa edilmiş olan yapılara hissedilebilir yüzey ve engelli asansörü uygulanarak erişilebilirlik ve evrensel tasarım ilkelerinin gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Evrensel tasarım ilkelerinin yapının yer seçimi sürecinden başlayarak uygulanması gerekmektedir. Yerleşke yer seçimi; kente göre konumu, ulaşımı, çevresi gibi etkenler analiz edilip erişilebilirlik durumu göz önüne alınarak uygulanması gereken bir planlama aşamasıdır. Bu aşamadan sonra en yakın toplu ulaşım duraklarından başlayarak yapının çevresi incelenmeli ve gerekli analizler yapıldıktan sonra kurumlarla iletişime geçilerek düzenlenmelidir. Bina girişleri, yaya yolları, yaya geçitleri, rampa, merdivenler, kaldırımlar, çevresel donatılar (oturma birimleri, çöp kutuları vb.), tabelalar, bilgilendirme levhaları, duraklar gibi birçok yapısal eleman ve alanlar kamusal alanda evrensel tasarıma uygun olmalıdır (Erkovan, 2013). Üniversite yerleşkelerinin de kamusal alan olduğu göz önüne alınırsa yerleşkelerde bu kapsam içerisindedir. Arazi kullanımı, yerleşimi, yeşil alan tasarımı, kapalı, açık ve yarı açık alan tasarımları da evrensel tasarım ilkelerine uygun olmalıdır. Erişilebilirlik; alana ulaşım ve yaklaşım bölgeleri, yapı girişi, yapı içerisi ve alanın açık mekanlarında sağlanmalıdır. Bundan dolayı üniversite yerleşkelerinde erişilebilirlik kullanıcıların yerleşkeye erişilebilirliği ile başlamalı, yerleşke içi erişilebilirliği ile tamamlanmalıdır. Yerleşkeye ulaşım sağlayamayan kullanıcılar için yerleşke erişilebilirliğinin bir önemi yoktur. Yerleşkenin çevresiyle birlikte bir bütün olarak erişilebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Kentin tüm mekanlarında bu koşul göz önüne alındığında erişilebilirlik büyük ölçüde sağlanacaktır (Tural 2014).

1970’li yıllarda yurtdışında yerleşke erişilebilirliğine ilişkin yapılan çalışmalar Türkiye’de yaklaşık 30 yıl sonra yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise yerleşke erişilebilirliği kapsamında inceleme ve uygulamalar genellikle yerleşke veya yapı ölçeğinde yapılmaktadır (Özkaraca & İnceoğlu, 2021). Örneğin; Kamer Aksoy ve Köşe (2022) çalışmasında Adnan Menderes Üniversitesi Güney Yerleşkesindeki giriş alanlarını, merdivenleri, rampaları, yürüyüş yollarını, kaldırımları, otoparkları, toplanma alanlarını, donatı elemanlarını, spor alanlarını ve peyzaj tasarımlarını TS 12576 “Şehir içi Yollar-Özürü ve Yaşlılar için Sokak, Cadde, Meydan ve Yollarda Yapısal Önlemler ve İşaretlemelerin Tasarım Kuralları” standartları kapsamında incelemiştir. Arat ve Güner (2020) çalışmasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nin yerleşke içerisinde bulunan bina girişleri, yaya yolları, spor alanları, otoparklar,

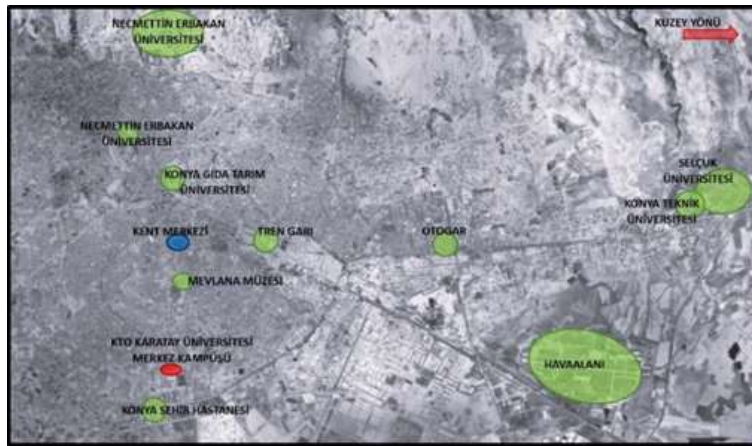
kampüs içerisindeki otobüs durakları ve çevre donatılarını evrensel tasarım ilkeleri doğrultusunda analiz etmiştir. Aykal, Erbaş Özil ve Tunç'un (2021) çalışmasında Dicle Üniversitesi Kampüs Alanı'nda bulunan İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nin girişi, iç mekanları ve engelli kullanıcılar ile iletişime geçilerek belirlenen kullanıma elverişsiz bölgeler analiz edilmiş ve öneriler sunulmuştur. Çetinkaya Özkan (2022) ise çalışmasında, Fırat Üniversitesi'nin yerleşke içerisindeki ulaşım ağı; güvenlik, erişilebilirlik, trafik-yönlendirme levhaları, yavaş trafik hızı, hız kesici, otopark, kaldırım, bisiklet yolu, otobüs durağı, yaya geçidi, drenaj, zemin döşemesi, donatı elamanları, aydınlatma, sanatsal öğeler, gölgeleme, bitkisel eleman, eğitim, bakım ve temizlik kriterleri doğrultusunda değerlendirmiştir. Hilmioğlu ve Seçer Kariptaş'ın (2022) çalışmasında Haliç Üniversitesi Levent, Sötlüce ve Şişhane yerleşkelerinin ortak kullanıma açık mekanları olan üniversite girişi, ortak alanlar/yollar, bina girişleri, asansörler, engelli tuvaletleri ve merdivenleri evrensel tasarım kriterlerine göre değerlendirilip öneriler sunulmuştur. Özdemir (2020), Yılmaz (2022) ve Özkaraca ve İnceoğlu (2021) üniversite yerleşkelerinde erişilebilirlik konusunu yine yerleşke içerisindeki yapı, yerleşke açık alanları ve yerleşke içi ulaşım ağı kapsamında gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar yerleşke ile sınırlı kalmış yerleşkeye olan ulaşım incelenmemiştir. Bundan dolayı bu çalışmada yerleşkedeki açık alanların ve yapıların erişilebilirlik ve evrensel tasarım ilkeleri doğrultusunda tasarlanmasının yanı sıra yerleşke yakın çevresi ve ulaşım alanlarının da evrensel tasarım ve erişilebilirlik ilkeleri doğrultusunda tasarlanmasının önemini vurgulamak amaçlanmıştır. Literatürde erişilebilirliğin bu alanda yaşanan eksikliğine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Üniversite kampüslerinde dış ulaşımın erişilebilirlik bağlamında analiz edilmesi, çalışmayı özgün hale getirmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma ile yayaların toplu taşıma araçlarını kullandıktan sonra KTO Karatay Üniversitesi merkez kampüsüne giriş yapana kadar ki ulaşım bağlantısını analiz etmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda kampüsün yakın çevresindeki duraklar, yollar, otoparklar, kaldırımlar, yaya geçitleri ve tabelalar vb. her türlü ulaşım donatısı çalışmanın materyalini oluşturmaktadır. Çalışmada örneklem alanı olarak KTO Karatay Üniversitesi merkez kampüsünün seçilmesinde en büyük etken YÖK tarafından 2023 yılı mekânda erişilebilirlik ödülü (turuncu bayrak) alması olmuştur. Çalışma kapsamında kampüsün yakın çevresindeki toplu taşıma duraklarından başlayarak kampüsün girişlerine kadar devam eden yol, kaldırım, yaya geçidi ve otoparklar engelli erişimi açısından analiz edilmiştir. Bu doğrultuda kampüsün yakın çevresi ulaşım ve dolaşım ağı olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. Bu iki bölge kendi içerisinde isimlendirilerek gözlemlenmiş, deneyimlenmiş ve fotoğraflanmıştır. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı tarafından yayınlanan erişilebilirlik kılavuzuna göre incelenen bölgelerin evrensel tasarım ilkeleri doğrultusunda yeterli, kısmen yeterli ve yetersiz olmak üzere değerlendirmeleri yapılmıştır.

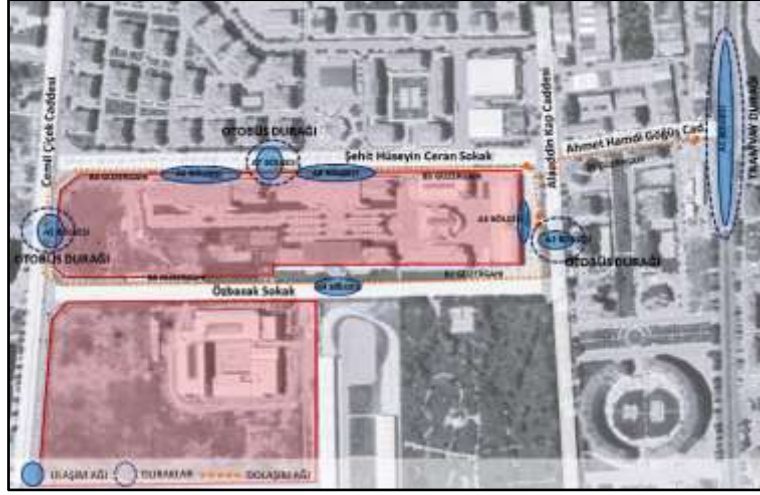
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Konya şehrinin Karatay ilçesinde bulunan KTO Karatay Üniversitesi 2009 yılında kurulmuştur. Şehrin ilk vakıf üniversitesi olma özelliği taşıyan KTO Karatay Üniversitesi'nin kent sınırları içerisinde iki kampüs ve bir hava parkı bulunmaktadır. Çalışmanın örneklemi oluşturan merkez kampüs, kent merkezine 4,7 km mesafededir. Kampüs alanından kent merkezine yaya olarak 58 dakika, özel araç ile yaklaşık 15 dakika, toplu taşıma aracı ile ortalama 20 dakikada ulaşım mümkündür (Şekil 1). Kampüsün toplu ulaşım ihtiyacı tramvay, otobüs ve minibüs (özel) ile karşılanmaktadır. Alaaddin Kap Caddesi üzerindeki duraktan 2 toplu taşıma aracı (14 ve 50 numaralı otobüsler) ile merkeze, bir toplu taşıma aracı (112 numaralı otobüs) ile Konya Şehir Hastanesi'ne ulaşılmaktadır. Cemil Çiçek Caddesi üzerindeki duraktan 8 farklı otobüs hattı geçmektedir (3,5,8,14,34,36,38,44 numaralı otobüsler). Bu araçlardan ikisi kent merkezine ulaşım için uygun değildir (5 ve 36 numaralı otobüsler). Bu duraktan kullanılabilecek beş araç Şehit Hüseyin Ceran Sokak üzerindeki duraktan da kullanılabilmektedir (5,8,34,36,38 numaralı otobüsler). Otobüsler haricinde Ahmet Hamdi Gögüş Caddesi üzerinde tramvay durağı mevcuttur. Tramvay ile doğrudan hem kent merkezine hem de Konya Teknik Üniversitesi ve Selçuk Üniversitesi'ne ulaşım sağlanmaktadır. Ayrıca Şehit Hüseyin Ceran Sokak üzerinden geçen birçok minibüs ile kentin pek çok noktasına ulaşılmaktadır (Şekil 2). Öğrenciler genellikle toplu ulaşım aracı olarak minibüs ve tramvay kullanmayı tercih etmektedir. Ancak engelli kullanıcıların birçoğu için minibüs kullanımı uygun değildir.



Şekil 1. Kampüs Alanının Kent Merkezine ve Odak Noktalarına Göre Konumu (Figure 1. Location of the Campus Area according to the City Center and Focal Points)

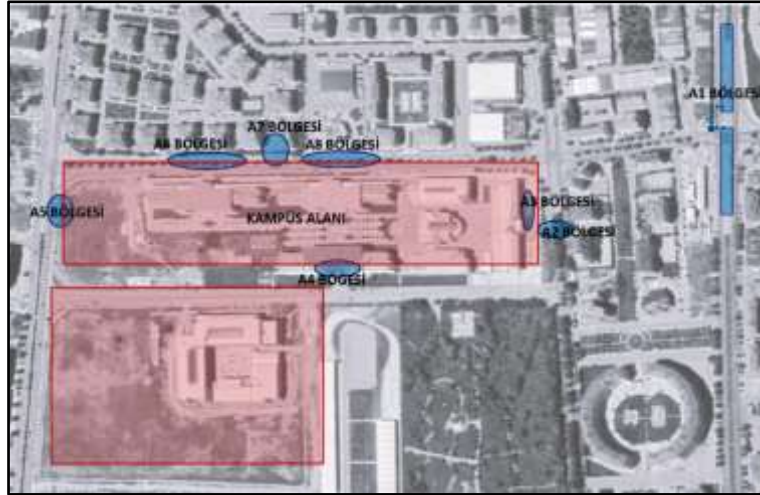




Şekil 2. Kampüs Alanının Çevresindeki Durak Konumları ve İncelenen Bölgeler (Figure 2. Station Locations around the Campus Area and Investigated Regions)

### 3.1. Ulaşım Ağı Analizi

Otobüs durakları, tramvay durağı ve otoparkları kapsayan ulaşım ağı analizi, durak ve otopark sayısının fazla olması ve farklı bölgelerde bulunması nedeniyle kodlanarak bölgelere ayrılmıştır. Şekil 3'te gösterilen bölgeler ayrı başlıklar altında incelendikten sonra ulaşım ağı kapsamında bölgelerin yeterlilik düzeyi tablolaştırılmış ve ulaşım ağının genel yeterlilik düzeyi evrensel tasarım ilkeleri doğrultusunda belirlenmiştir.



Şekil 3. Ulaşım Ağı Analizi Kapsamında İncelenen Bölgeler (Figure 3. Regions Investigated within the Scope of Transportation Network Analysis)

#### 3.1.1. A1 Bölgesi

A1 olarak adlandırılan bölge tramvay duraklarını ve bu durakların B1 güzergahına bağlanma noktasına kadar olan yaya geçitlerini içermektedir (Şekil 4 ve 5). Doğu tarafında bulunan durakta engelli turnikesi bulunurken batı tarafındaki durakta hem normal hem de engelli turnikesi bulunmamaktadır (Şekil 6a, Şekil 6b). Bu durum geçişi kolaylaştırmıştır. 3 numaralı yaya geçidinin B1 güzergahına bağlandığı noktada kaldırılma geçişi için yapılan rampa yeterli değildir. Analizler bu bölgenin evrensel tasarım ilkelerinden **eşitlikçi kullanım** ilkesine kısmen uyumlu olduğunu göstermektedir. Duraklarda gölgelendirmelerin bulunması, tekerlekli sandalye için alan bulunması, duraklarda hissedilebilir yüzey uygulamasının bulunması ve geçiş alanlarında rampaların bulunması olumlu olsa da tutunma bariyerlerinin bulunmaması ve yaya geçitlerinde, kaldırımlarda hissedilebilir yüzey uygulamasının bulunmaması **kullanımda esneklik** kriterinin kısmen yetersiz düzeyde sağlandığını göstermektedir. Duraklarda doğru bir şekilde hissedilebilir yüzey uygulaması yapılmıştır. Ancak duraklara yaklaşımda bulunan rampaların başında ve sonunda değişmesi gereken hissedilebilir yüzey uygulaması aynen devam etmiş ve rampanın algılanabilirliğini olumsuz etkilemiştir. Yaya geçitleri sonucunda ulaştığımız kaldırımlarda hissedilebilir yüzey uygulaması bulunmamaktadır. Yaya geçitlerinde ve Doğu tarafındaki 1. duraktan yaya geçidine ulaşımı sağlayan tramvay yolundaki geçitte sesli uyarıcılar mevcut değildir. Tüm bunlar göz önüne alındığında **basit ve sezgisel kullanım** kriterinin bu bölgede yetersiz düzeyde olduğu anlaşılmaktadır. Duraklarda sefer güzergahının ve durak isimlerinin olduğu bilgilendirme tablosu mevcuttur (Şekil 6c). Ancak bilgilendirmenin içeriği artırılabilir. Turnikeden önce bilgilendirme panosu mevcut olmasına rağmen panoda herhangi bir bilgilendirme yazısı mevcut değildir. Geceleri duraklardaki aydınlatmanın yeterli olduğu tespit edilmiştir. Cam malzemenin yapılmış duraklara şerit uygulaması yapılmamıştır. Zeminden 150 cm yüksekliğinde şeritler uygulanmalıdır. Bu tür uygulamalar az görme yetisine sahip bireyler için gereklidir. Güzergâh üzerindeki veya yakınındaki dikey elemanların algılanması için

parlak renkli şeritler uygulanmalıdır. Yaya geçidindeki trafik lambaları veya güzergâh yakınındaki elektrik direklerinde de şerit uygulaması yapılmalıdır. Yaya geçitlerinde veya tramvay yolunun geçidinde bulunan dikey engellerin hepsinde şerit uygulaması eksiktir. Ayrıca yaya geçitlerinde yatay uyarıcı şeritlerde silinmiş ve dikkat çekici durumda değildir. Bu şeritlerinde onarılması gerekmektedir. KTO Karatay Üniversitesi kentin önemli kampüs alanlarından biridir. Bundan dolayı sık kullanılan tramvay durağından itibaren üniversitenin konumunu belirten yönlendirme levhaları yapılmalıdır. Mevcut durumda yönlendirme levhaları yoktur. Bu analizler sonucunda bölgenin **algılanabilir bilgilendirme** kriterini sağlamak için yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Duraklar ve kaldırımlar kaymaz zemin malzemesi ile kaplanmış. Duraklarda emniyet şeridi bulunmaktadır. Kaldırımlar ve araç yolu arasında olması gereken emniyet şeridi yoktur. Bu analizler ışığında **tasarımda hata payı** ilkelerinin bu bölgede büyük ölçüde yeterli olduğu tespit edilmiştir. Tramvayın giriş-çıkış bölgesi ile durak zemini arasında kot farkı bulunmamaktadır (Şekil 6d). Duraklara ve kaldırımlara erişim için yapılan rampaların eğimlerinin azaltılması düşük fiziksel güç kullanımı için daha uygundur. Duraklarda tutunma bariyerleri bulunmamaktadır. Genel olarak bölge **düşük fiziksel güç kullanımı** kriterlerine göre yeterli durumdadır. Yaya geçitleri kavşaktan en az 3 m geride olması gerekirken bu bölgedeki yaya geçitleri kavşaklara yakın konumda yer almıştır. Tramvay yolu geçidinde hissedilebilir yüzey ile aynı hizada bir elektrik direği ve rögar kapağı bulunmaktadır (Şekil 7a). 2. yaya geçidi ile 3. yaya geçidi arasında kaldırım üzerinde yine bir kapak bulunmaktadır. 2. yaya geçidinde geçit üzerinde dikey ince ve uzun bir çukur bulunmaktadır. Aynı güzergahta yaya geçidi için yetersiz genişliğe sahip refüjde rögar kapağı bulunmaktadır (Şekil 7b, Şekil 7c). 1. ve 3. yaya geçitlerinin birleştiği noktada ise yine baston kullanan kullanıcılar için engel oluşturabilecek veya görme engelliler için yanıltıcı olabilecek kapaklar bulunmaktadır. Bu analizler doğrultusunda bu bölgenin **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması** kriterine göre oldukça yetersiz olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6 ve 7).



Şekil 4. A1 Bölgesi'nin Konumu (Figure 4. Location of A1 Region)



Şekil 5. A1 Bölgesi (Figure 5. A1 Region)



Şekil 6. A1 Bölgesi'nde yer alan durakların ve bilgilendirme panosunun genel görünümü (Figure 6. General view of the stops and information board in the A1 Region)



Şekil 7. A1 Bölgesi'nde bulunan yaya geçitlerinin genel görünümü (Figure 7. General view of pedestrian crossings in A1 Region)

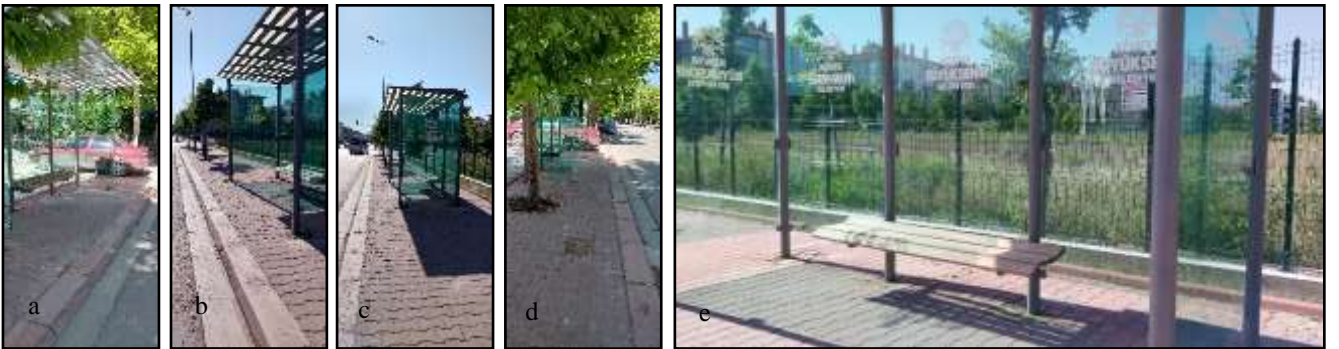


### 3.1.2. A2 Bölgesi ve A5 Bölgesi

Hukuk Fakültesi binasının önünde bulunan A2 bölgesi ve kampüs alanının boş arazi bölgesi yakınında bulunan A5 bölgesi genel olarak aynı özelliklere sahip olduğu için aynı başlık altında analiz edilmiştir (Şekil 8 ve 9). Duraklar kaldırımların üzerine yerleştirilmiştir. Bundan dolayı kaldırım kotu ile yol kotu arasına geçiş için rampa yapılmalıdır. Ancak her iki durakta da bu uygulama yapılmamıştır. Ayrıca A5 durağında kaldırım yüksekliğine ek olarak 30 cm'lik emniyet şeridinin 4 cm yüksekliği de duraktan toplu ulaşım aracına erişime izin vermemektedir. Bu durum **eşitlikçi kullanım** kriteri için bu durakların yetersiz olduğunu göstermektedir. Kaldırım rampalarının bulunmaması kullanımında esneklik kriteri için uygun olmasa da farklı hava koşulları için gölgelik elemanın bulunması **kullanımda esneklik** kriterine kısmen uygun olduğunu göstermektedir (Şekil 10a, Şekil 10b). Her iki durakta da durağın yakın bölgesinde algılanabilirlik ve bilgilendirme için göz hizasında dikey levhalar eksiktir. Durak içerisinde otobüs seferlerinin bilgilendirmesi için sesli uyarıcılar mevcut değildir. Durak ve çevresinde hissedilebilir yüzey uygulaması yoktur (Şekil 10c, Şekil 10d). Bu analizler sonucunda her iki durağın **basit ve sezgisel kullanım** kriteri için yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Durak içlerinde sefer ve konum bilgilerini içeren bilgilendirme panosu bulunmamaktadır (Şekil 10e). Özellikle cam malzemeden yapılmış durakların yakın çevrelerinden algılanması için göz hizasında uygulanması gereken parlak şerit uygulamaları da mevcut değildir. Bu analizler sonucunda durakların **algılanabilir bilgilendirme** kriterine göre yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Durakların önlerinde 30 cm genişliğinde emniyet şeridi uygulamaları bulunmaktadır. Kaymaz zemin kaplamasının uygulandığı durakların **tasarımda hata payı** kriteri için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Duraklarda tutunma bariyerleri bulunmamaktadır. Tekerlekli sandalye için yeterli alanın bulunması ve oturma alanlarının yüksekliklerinin uygun olması **düşük fiziksel güç kullanımı** kriteri için kısmen yeterli olduklarını göstermektedir. Durak kaldırım üzerine yerleştirilmiştir. Bu durum hem kaldırım kullanıcılarını engellemekte hem de durak kullanıcıları için durağın önünde yeterli alanı bırakmamaktadır. Ayrıca A2 bölgesindeki durağın yanında durağa erişimde dikey engel oluşturabilecek ağaç bulunmaktadır. A5 bölgesindeki durak, kaldırıma yerleştirilmesine rağmen kaldırım geniş olduğu için durak arkasında geçiş için yeterli alan bırakılmıştır. Ancak durak önünde kullanıcıların kısmen zorluk yaşayabileceği yaklaşık 1 metre alan bırakılmıştır. Analizler sonucunda durakların **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması** kriteri için yetersiz olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. A2 Bölgesi'nin Konumu (Figure 8. Location of A2 Region) Şekil 9. A5 Bölgesi'nin Konumu (Figure 9. Location of A5 Region)

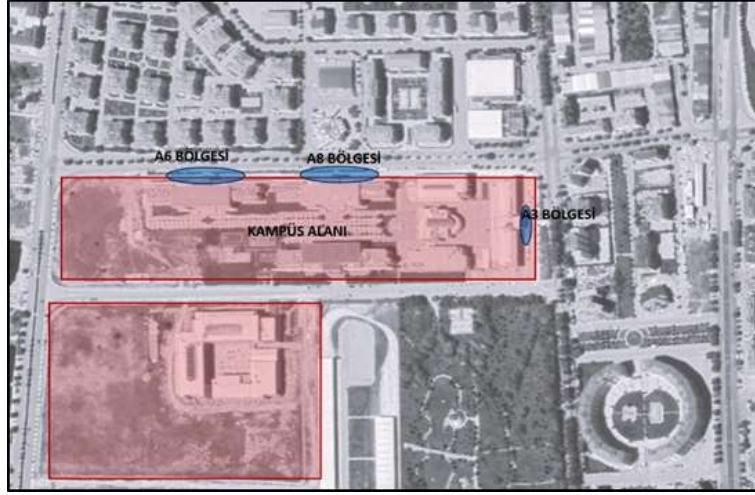


Şekil 10. A2 ve A5 Bölgeleri'nde bulunan Durakların genel görünümü (Figure 10. General view of Stops in A2 and A5 Regions)

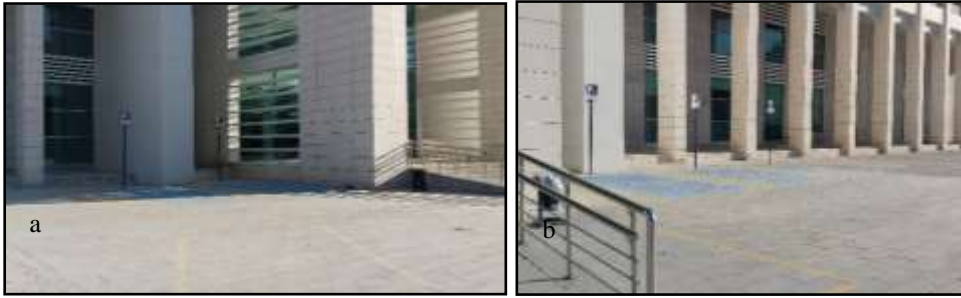
### 3.1.3. A3 Bölgesi-A6 Bölgesi-A8 Bölgesi

Hukuk Fakültesi, C Blok ve B Blok binalarının otoparklarını içeren bu bölgelerde genel olarak aynı uygulamalar yapıldığı için bir arada analiz edilmiştir (Şekil 11). Hukuk Fakültesi'nde 5 adet, C ve B Bloklarda 4'er adet engelli otoparkı bulunmaktadır. Otoparklarda tekerlekli sandalyenin araçtan iniş ve araca binışı için alan sağlanmış olması, **eşitlikçi kullanım** kriteri için otoparkların yeterli olduğunu göstermektedir. Gölgeleme elemanı otoparklarda mevcut değildir. Tekerlekli sandalye için arabadan indikten sonra kaldırım alanına geçiş sağlaması gerekmemesi ve aynı zemin üzerinde ulaşımın sağlanması, kullanımında esneklik kriteri ve düşük fiziksel güç kullanım kriteri için uygun olsa da araç-yaya kesişiminden dolayı **tasarımda hata payı** kriteri için uygun değildir. Bu analizler sonucunda **kullanımda esneklik** kriteri için otoparklar kısmen yeterlidir. Dikey ve yatay işaretlemeler mevcuttur. Ancak yatay işaretlemelerin uzun süre kullanımının vermiş olduğu yıpranmalardan dolayı onarılması ve yenilenmesi gerekmektedir. Otopark alanının rampaya en yakın olan engelli parkın bölgesinden rampaya kadar zeminde güzergâh işaretlemesi mevcuttur. Bu durumda

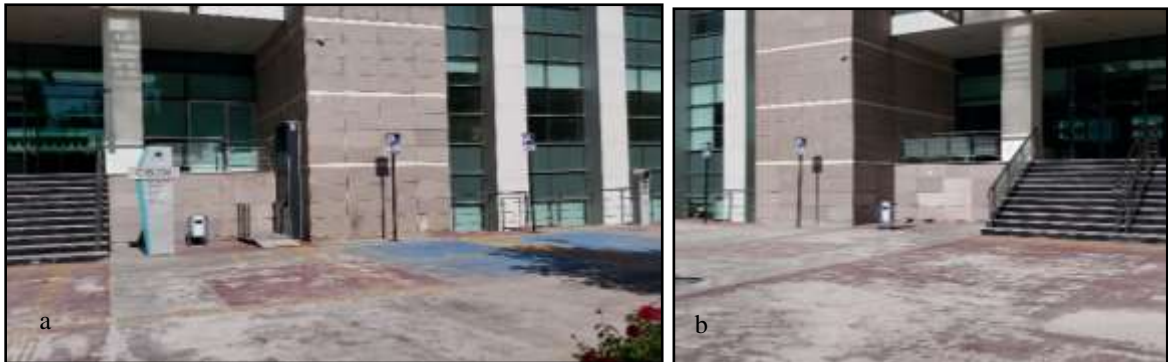
bölgeler **basit ve sezgisel kullanım** kriterini ve **algılanabilir bilgilendirme** kriterini büyük ölçüde sağlamışlardır. Zemin kaplamasının kaymaz malzemeden yapılmış olması olumlu bir durumdur. Ancak otopark bölgelerinin hepsinde zemin malzemesinde bozulmalar görülmektedir. Bu bozulmalar özellikle bastonlu kullanıcılar için tehlike oluşturmaktadır. Bundan dolayı **tasarımda hata payı** kriteri için bölgeler yetersiz durumdadır. Otoparkların girişlere yakın olması, araca binilen zemin ile rampa ve asansörlere aynı kotta ulaşması **düşük fiziksel güç kullanımı** kriteri için bölgelerin yeterli olduğunu göstermektedir. Tekerlekli sandalye için alan sağlanmış olması, asansör ve rampalara otoparktan ulaşılan güzergahın işaretlenmiş ve ayrılmış olması otoparkların **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması** kriteri için yeterli olduğunu göstermektedir (Şekil 12a, Şekil 12b, Şekil 13a, Şekil 13b, Şekil 14a ve Şekil 14b).



Şekil 11. A3, A6 ve A8 Bölgeleri'nin Konumları (Figure 11. Locations of A3, A6 and A8 Regions)



Şekil 12. A3 Bölgesi'nde bulunan Otopark alanlarının genel görünümü (Figure 12. General view of the Parking areas in the A3 Region)



Şekil 13. A6 Bölgesi'nde bulunan Otopark alanlarının genel görünümü (Figure 13. General view of the Parking areas in the A6 Region)





Şekil 14. A8 Bölgesi'nde bulunan Otopark alanlarının genel görünümü (Figure 14. General view of the Parking areas in the A8 Region)

### 3.1.4. A4 Bölgesi

A4 Bölgesinde bulunan A Blok binasının girişinin 2 adet solunda 2 adet sağ tarafında olmak üzere 4 adet engelli araç otoparkı bulunmaktadır (Şekil 15). Otoparkların tekerlekli sandalye için alana sahip olması, bu bölgenin **eşitlikçi kullanım** kriterine uygun olduğunun göstergesidir (Şekil 16a). Otoparklarda farklı hava koşulları için gölgelendirme elemanı bulunmamaktadır. Ancak otoparktan asansöre ulaşım için giriş bölümünde rampa uygulaması yapılmıştır. Analiz sonucunda otoparkın **kullanımda esneklik** kriteri için kısmen yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Asansöre kadar olan bu rampa üzerinde ve giriş bölgesinde asansör güzergâhı işaretlendirmeler ile belirtilmiştir. Ancak bu güzergâh sadece bir engelli otoparkı için erişilebilirdir (Şekil 16b). Bu durum **basit ve sezgisel kullanım** kriteri için bu otopark alanının kısmen yeterli olduğunu göstermektedir. Engelli otoparklarda dikey ve yatay olmak üzere işaretlendirmeler mevcuttur (Şekil 16c). Ancak yatay işaretlemeler yıpranmış durumda olduğu için onarılmalıdır. Dikey işaretlemelerin ise kaldırım üzerinde güzergâh üzerine yapılmasından dolayı engel oluşturmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında **algılanabilir bilgilendirmenin** kısmen yeterli olduğu tespit edilmiştir. Zemin kaplamasında kaymaz malzeme kullanılmıştır. Ancak rampa alanlarında ve otopark alanlarında kaplamada yıpranmalar mevcuttur. Özellikle giriş bölgesi ile otoparkın erişimini bağlayan bölgede hem tekerlekli sandalyeli hem de bastonlu kullanıcılar için tehlike oluşturabilecek yıpranmalar mevcuttur (Şekil 16d). Bundan dolayı **tasarımda hata payı** kriteri bu bölgede kısmen sağlanmıştır. Otopark alanından asansör veya merdivene ulaşımı sağlayan rampalara erişim için kullanıcıların araç yolunu kullanması gerekmektedir. Ancak otoparklar girişe yakın konumlandırıldığı için **düşük fiziksel güç kullanımı** kriterinin bu bölgede kısmen sağlandığı tespit edilmiştir. Kaldırımı kullanmaları için rampa mevcut değildir ve kaldırımda güzergâh üzerinde elektrik direkleri, park yeri işaret levhaları bulunmaktadır. Ayrıca sağ bölgedeki otoparkın kaldırım ile bağlantı sağlaması gereken bölgede rögar kapağı bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında otoparkın **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması** kriteri için yetersiz olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 15. A4 Bölgesi'nin Konumu (Figure 15. Location of A4 Region)



Şekil 16. A4 Bölgesi'nde bulunan otopark ve güzergâh alanlarının genel görünümü (Figure 16. General view of the parking and route areas in the A4 Region)

### 3.1.5. A7 Bölgesi

A7 bölgesi B blok binası ve C blok binası arasında bulunmaktadır (Şekil 17). Bu bölgedeki durak, kaldırım üzerinde elektrik direğine göz hizasının çok üstünde bir levha ile belirtilmiştir. Kaldırım üzerinde bulunması, kaldırımın yol kotu ile aynı kotta olmaması ve kaldırıma ulaşmak veya ulaşım aracına ulaşmak için herhangi bir rampanın bulunmamasından dolayı bu bölge **eşitlikçi kullanım** ilkesine göre yetersizdir. Rampanın bulunmamasına ek olarak oturma elemanının bulunmaması, gölgelendirme elemanının bulunmaması ve bilgilendirme panosu, tutunma bariyeri gibi elemanların bulunacağı bir durak yarı açık alanının bulunmaması **kullanımda esneklik** ilkesi için uygun değildir. Durak olarak algılanabilecek herhangi bir donatının bulunmaması ve kaldırım güzergahından ayrılmaması bölgeyi **basit ve sezgisel kullanım** kriteri için yetersiz hale getirmektedir. Göz hizasında dikey bilgilendirme levhanın bulunmaması ve güzergâh, konum gibi bilgileri içeren panonun bulunmamasından dolayı bölge **algılanabilir bilgilendirme** ilkesine uygun değildir. Zemin kaymaz malzeme ile kaplanmıştır. Ancak durağın hemen yanında bulunan yol çalışması için herhangi bir uyarıcı levha veya engel bulunmamaktadır. Bundan dolayı bölge **tasarımda hata payı** ilkesine göre yetersizdir (Şekil 18a). Durak bölgesinin kaldırımdan farklılaşmaması, yol ile kot farkının bulunması, rampa bulunmaması, ulaşım aracına iniş ve biniş bölgesi olan farklı şeritlerdeki duraklar için refüj bölgesinde herhangi bir geçiş alanının bulunmaması, refüj bölgesi ile araç yolu arasında kot farkı bulunması, rampa bulunmaması ve refüjde geçişi engelleyecek elemanların yer alması bölgeyi **düşük fiziksel güç kullanımı** ve **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması** ilkelerine göre yetersiz duruma getirmektedir (Şekil 18b).



Şekil 17. A7 Bölgesi'nin Konumu (Figure 17. Location of A7 Region)



Şekil 18. A7 Bölgesi'nde bulunan durakların genel görünümü (Figure 18. General view of the stops in the A7 Region)

Bölgelerin analizleri göz önüne alınarak yapılan değerlendirmeye göre kampüsün ulaşım ağı; *eşitlikçi kullanım* ilkesine göre yeterli düzeyde, *kullanımda esneklik* ilkesine göre kısmen yeterli düzeyde, *basit ve sezgisel kullanım*, *algılanabilir bilgilendirme* ve *tasarımda hata payı* ilkelerine göre yetersiz düzeyde, *düşük fiziksel güç kullanımı* ilkesine göre yeterli düzeyde ve *yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlaması* ilkesine göre yetersiz düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Ulaşım Ağı Analizi (Table 1. Transportation Network Analysis)

		ULAŞIM AĞI								ULAŞIM AĞI
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
EVRENSEL TASARIM İLKELERİ	1) Eşitlikçi Kullanım	Kısmen Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yeterli
	2) Kullanımda Esneklik	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Yetersiz	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli
	3) Basit ve Sezgisel Kullanım	Yetersiz	Yetersiz	Yeterli	Kısmen Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
	4) Algılanabilir Bilgilendirme	Yetersiz	Yetersiz	Yeterli	Kısmen Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
	5) Tasarımda Hata Payı	Yeterli	Yeterli	Yetersiz	Kısmen Yeterli	Yeterli	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
	6) Düşük Fiziksel Güç Kullanımı	Yeterli	Kısmen Yeterli	Yeterli	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yeterli
	7) Yaklaşım ve Kullanım için Boyut ve Alan Sağlanması	Yetersiz	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz

### 3.2. Dolaşım Ağı

Duraklardan bina girişlerine veya bina girişlerini içine alarak duraktan durağa güzergahları kapsayan dolaşım ağı analizi anlatım ve analizi kolaylaştırması amacıyla kodlanarak bölgelere ayrılmıştır. Şekil 19'da gösterilen güzergahlar ayrı başlıklar altında incelendikten sonra dolaşım ağı kapsamında güzergahların yeterlilik düzeyi tablolaştırılmış ve dolaşım ağının genel yeterlilik düzeyi evrensel tasarım ilkeleri doğrultusunda belirlenmiştir.



Şekil 19. Dolaşım Ağı Güzergâh Konumları (Figure 19. Route Locations of The Circulation Network)

#### 3.2.1. B1 Güzergâhı

B1 güzergâhı, tramvay durağından Hukuk Fakültesi girişi arasındaki yaya ulaşım bölgesini kapsamaktadır (Şekil 20 ve 21). Bu güzergâh üzerinde kaldırım boyunca ağaç, direk, rögar kapakları ve çöp-dönüşüm kutuları bulunmaktadır. Ağaç olan kısımlarda ağaç haricindeki kaldırım genişliği 70-80 cm'dir. Çöp kutularının olduğu bölgede çöp kutuları kaldırımın tamamını kaplamıştır. Rögar kapakları ise görme engelli ve bastonlu bireyler için sorun teşkil etmektedir (Şekil 22a). Analizler göz önüne alındığında güzergahın **eşitlikçi kullanım** ilkesine uygun olmadığı tespit edilmiştir. 1. yaya geçidine ulaşımında kaldırımda yol kotuna ulaşmak için rampa mevcut olsa da yeterli değildir. Kot farkı rampa ile çözülememiş ve kaldırım ile yol arasında yaklaşık 9 cm kot farkı bulunmaktadır. Bu yaya geçidinden sonraki ulaşılan kaldırımda ise rampa mevcuttur ancak rampa çıkışında tekerlekli sandalyenin rahat hareket edebileceği alan ve manevra alanı mevcut değildir. Rampa ile birlikte toplam genişlik 100 cm'dir (Şekil 22b). 2. yaya geçidinde uygulanan rampa ise yeterli olmamış, yol ile kaldırım arasında kot farkı oluşmuştur (Şekil 22c). Rampaların mevcut olması



olumluyken bazı bölgelerde hem alanının yetersiz olması hem de yol ile kot farkının sifira indirilememesi **kullanımda esneklik** ilkesi için bu bölgeyi kısmen yetersiz hale getirmiştir. Kaldırım güzergahında bulunan ağaç kenarlarında 60 cm ölçüsünde zemin farklılaşması uygulanmıştır. Bu durum görme engellilerin ağaçları fark etmesi için önemlidir. Ancak kaldırım ve rampaların hiçbirinde hissedilebilir yüzey uygulaması mevcut değildir. Ayrıca trafik ışığı bulunan 3. yaya geçidinde sesli uyarıcı da bulunmamaktadır. Bu durum **basit ve sezgisel kullanım** ilkesi için bu bölgeyi yetersiz hale getirmektedir. Kaldırım üzerinde bulunan direklerde şerit uygulaması bulunmamaktadır. 1. ve 2. yaya geçitlerinde trafik ışığı olmasa da araç-yaya keşişimi olduğu için uyarıcı levha gibi uygulamaların bulunması gerekmektedir. Bu bölgede bu işaretleyiciler bulunmamaktadır. 3. yaya geçidindeki uyarıcı yatay işaretleyiciler kullanım süresinden dolayı yıpranmış durumdadır. Bu geçitteki yatay şeritler onarılmalıdır (Şekil 22d). Analiz sonucunda bu bölge **algılanabilir bilgilendirme** ilkesine uygun değildir. Akaryakıt istasyonu ikinci araç girişi güzergâhı üzerindedir. Bu bölgede kaldırım üzerinde araç girişi için rampa uygulanmıştır. Araç-yaya keşişiminin bulunduğu bu bölgede hem araç geçişinin olabileceğini belirten hem de rampa olduğunu belirten uyarıcı işaretlendirmeler mevcut değildir (Şekil 22e). Ayrıca rampanın malzemesi yıpranmıştır ve bastonlu, tekerlekli sandalyeli, pusetli kullanıcılar için uygun değildir. 3. yaya geçidinin bulunduğu bölgeye kadar kaldırım ile araç yolu arasında emniyet şeridi bulunmamaktadır. 3. yaya geçidinin bulunduğu bölgede 30 cm genişliğinde emniyet şeridi mevcuttur. Bu genişlik artırılabilir ve ağaçlar, donatılar bu emniyet şeridi bölgesine yerleştirilebilir. Bu analizler sonucunda **tasarımda hata payı** ilkesinin bu bölge için yetersiz olduğu tespit edilmiştir. 2. yaya geçidi bölgesinde kaldırım sonunda malzemede eksilmeler mevcuttur. Bu durum bazı kullanıcılar için fiziksel güçlüğü neden olabilir. Güzergâh boyunca dinlenme için herhangi bir donatı mevcut değildir. Güzergâh üzerindeki malzeme bozulmaları ve rögar kapakları da fiziksel zorluk oluşturmaktadır. Bu analizler sonucunda bölgenin **düşük fiziksel güç kullanımı** ilkesine uygun olmadığı tespit edilmiştir. Kaldırımda bulunan ağaçlar, çöp kutuları, direkler ve geri dönüşüm kutuları kullanım için belirlenen alanı işgal etmektedir. 3. yaya geçidinin bulunduğu bölgede yaya geçidi için yapılmış rampanın hemen yanında ağaç mevcuttur. Bu ağaç hem yatayda alan işgal ederek yetersiz alana neden olmakta hem de ağaç boyu kısa olduğu için dikey engel oluşturmaktadır. Aynı yaya geçidi üzerinde yaya şeridinde çukur bulunmaktadır. Bu analizler sonucunda bölgenin **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması** ilkesine uygun olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 20. B1 Güzergahının Konumu (Figure 20. Location of B1 Route)



Şekil 21. B1 Güzergahı (Figure 21. B1 Route)



Şekil 22. B1 Güzergahında bulunan yaya geçitlerinin genel görünümü (Figure 22. General view of pedestrian crossings on B1 Route)

### 3.2.2. B2 Güzergahı

B2 güzergahı, Hukuk Fakültesi giriş bölgesinden başlayarak durak bölgesi, kütüphane binası girişinden devam etmektedir ve A blok girişinde sonlanmaktadır (Şekil 23 ve 24). Duraktan B2 güzergahına ulaşmak için geçilmesi gereken refüjde kot farkı bulunmaktadır. Ayrıca refüjdeki geçiş bölgesinin genişliği 100 cm'dir. Bu genişlik farklı kullanıcılar için uygun değildir. Bu bölgeyi kullanamayan kullanıcıların bir önceki güzergâh bölgesindeki 3. yaya geçidini kullanması gerekmektedir. Analizler sonucunda bölgenin **eşitlikçi kullanım** ilkesine göre yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Hukuk Fakültesi giriş bölgesinde girişin hemen yanında kaldırım üzerinde çeşme bulunmaktadır. Çeşme haricinde kalan kaldırım farklı kullanıcıların geçiş alanı için uygundur. Ancak çeşme

kaldırım üzerinde güzergâh devamında bulunduğu için çeşmenin bulunduğunu işaret edecek herhangi bir bilgilendirme bulunmamaktadır (Şekil 25a). Farklı kullanıcılar için bu tehlike oluşturabilir. Bundan dolayı bu bölge, **kullanımda esneklik** ilkesi için kısmen uygun değildir. Güzergâh boyunca hissedilebilir yüzey uygulaması bulunmamaktadır. Kaldırım üzerinde bulunan ağaçların ise etrafında 60-60 cm ölçülerine sahip kenarlık yapılmamıştır. Bu kenarlık ağacın fark edilmesi için önemlidir (Şekil 25b). Bu analizler sonucunda bölgenin **basit ve sezgisel kullanım** ilkesine göre yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Hukuk Fakültesi, kütüphane binası ve A blok binası için güzergâh üzerinde girişlerine yakın bölgede bilgilendirme donatıları bulunmamaktadır. Kaldırım üzerinde bulunan direklerde az görme engeline sahip kullanıcılar için şerit uygulaması yapılmamıştır. Hukuk Fakültesi otopark girişi güzergâh üzerindeki kaldırımda rampa uygulaması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu durum araç-yaya kesişimine sebep olmuştur. Bu kesişimin fark edilmesi için bilgilendirme işaretlerine ihtiyaç vardır (Şekil 25c). Bu eksikler göz önüne alındığında güzergahın **algılanabilir bilgilendirme** ilkesine uygun olmadığı tespit edilmiştir. Kaldırımın kaplama malzemesi kaymaz malzemedir. Kaldırım kenarında araç yolu ile arasında 30 cm ölçüsünde emniyet şeridi bulunmaktadır. Bu emniyet şeridi artırılabilir. Hukuk Fakültesi'nin araç girişinin kaplama malzemesinde bozulmalar vardır. Farklı kullanıcılar için bu durum tehlike oluşturabilir. Analizler sonucunda güzergahın **tasarımda hata payı** ilkesine göre kısmen uygun olduğu tespit edilmiştir. Kaldırım üzerinde bazı bölgelerde malzemenin yıpranmasından dolayı engebeler bulunmaktadır. Hukuk Fakültesi'nin araç girişi için yapılan rampa, kaldırımı kapladığından dolayı ve malzemesinde bozulmalar meydana geldiğinden dolayı kullanıcıların kullanımı için fiziksel olarak güçlük oluşturmaktadır (Şekil 25d). Kütüphane binası ile A blok binası arasında kaldırımı kaplayan bir başka rampa bulunmaktadır (Şekil 25e). Engebe oluşturan bu rampa güzergahtaki geçişi engellemiştir. Bu analizler sonucunda güzergahın **düşük fiziksel güç kullanımı** ilkesine göre yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Güzergâh üzerinde bulunan ağaçlar ve direkler haricinde bazı bölgelerde rampalar bulunmaktadır. Ancak B1 güzergahına göre özellikle kütüphane ile A blok binaları arasında daha az ağaç bulunmaktadır (Şekil 25f). Bu durum bölgenin **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlama** ilkesine kısmen uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 23. B2 Güzergahının Konumu (Figure 23. Location of B2 Route)



Şekil 24. B2 Güzergahı (Figure 24. B2 Route)



Şekil 25. B2 Güzergahının genel görünümü (Figure 25. General view of B2 Route)

### 3.2.3. B3 Güzergahı

B3 güzergahı, A Blok girişinden başlayıp A5 bölgesindeki toplu ulaşım durağına kadar olan bölgedir (Şekil 26 ve 27). Bu bölgedeki yaya güzergahını oluşturan kaldırım genişliği yeterli düzeydedir. Ancak belirli mesafelerde elektrik direkleri bulunduğu için kaldırım genişliği bölgeye göre değişmekte ve yetersiz hale gelmektedir (Şekil 28a). Bu durumun güzergahı farklı kullanıcıların kullanımına izin vermemesinden dolayı bölge **eşitlikçi kullanım** ilkesine göre kısmen yetersiz durumdadır. Spor sahalarının bulunduğu bölgeden başlayarak durağa kadar olan bölgenin boş olması ve kullanıcılar tarafından güzergahın otobüs durağına ulaşmak haricinde kullanılmaması bu bölgeyi akşam saatlerinde ıssız hale getirmektedir (Şekil 28b). Farklı kullanım saatlerine elverişsiz olan bu bölge **kullanımda esneklik** ilkesine uygun değildir. Güzergâh boyunca hissedilebilir yüzey uygulaması yapılmamıştır. A blok binasının içeriğini ve binanın bulunduğu yere yönlendirici işaretleyiciler ve A5 bölgesindeki durağın bulunduğu bölgede yönlendirici işaretleyiciler bulunmamaktadır. Bu analizler sonucunda bölgenin **basit ve sezgisel kullanım** ilkesine uygun olmadığı tespit



edilmiştir. Bilgilendirici levhaların bulunmamasının yanı sıra kaldırım üzerinde bulunan elektrik direklerinin fark edilmesi için şerit uygulaması bulunmamaktadır. Bu durum bölgeyi **algılanabilir bilgilendirme** ilkesine göre yetersiz hale getirmektedir. Spor sahalarının bulunduğu bölgede malzeme de yıpranmalar ve eksilmeler mevcuttur. Benzer durum durak bölgesine dönmeden önceki bölümde de geçerlidir. Ayrıca bu bölgede kullanımı zor hale getiren bitkilenmelerde mevcuttur (Şekil 28c, Şekil 28d). Durak bölgesinde bulunan ağaçların bulunduğu aks, kaldırımın geniş olmasından dolayı emniyet şeridi görevi üstlenmiştir. Kaldırım malzemesinin kaymaz malzemeden yapılmasına karşın güzergâh üzerindeki malzeme eksilmeleri, malzeme bozulmaları ve bitkilenmelerden dolayı bu bölgenin **tasarımda hata payı** ilkesine göre kısmen yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Malzeme bozulmalarının ve bitkilenmelerin olduğu bölgede aynı zamanda engebelerde mevcuttur. Ayrıca güzergâh üzerinde oturma donatıları, çöp kutuları, geri dönüşüm kutuları ve gölgelendirme oluşturabilecek ağaçların bulunmaması durumu güzergâhı **düşük fiziksel güç kullanımı** ilkesine göre yetersiz hale getirmektedir. Güzergâh üzerinde dönüş bölgesinde yaya geçidi için rampa yapılmıştır. Ancak 30 cm genişliğindeki emniyet şeridi ile araç yolu arasındaki kot farkından dolayı yaya geçidine erişim sağlanamamıştır (Şekil 28e). Bu durumun yanı sıra kaldırım üzerinde bulunan elektrik direkleri de kullanım ve yaklaşım için alanı kısıtlamıştır. Ancak durak bölgesinde kaldırım genişliği farklı kullanıcılar için yeterli düzeydedir. Araç yolu ile yaya aksı arasında ağaçların bulunduğu bölge yer almaktadır. Bu durum ise emniyet şeridi görevine uygundur (Şekil 28f). Analizler sonucunda bölgenin **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlama** ilkesine kısmen uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 28).



Şekil 26. B3 Güzergahının Konumu (Figure 26. Location of B3 Route)



Şekil 27. B3 Güzergahı (Figure 27. B3 Route)



Şekil 28. B3 Güzergahının genel görünümü (Figure 28. General view of B3 Route)

### 3.2.4. B4 Güzergahı

B4 güzergahı, A5 bölgesindeki durak ile A7 bölgesindeki durak arasındaki bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 29 ve 30). Güzergâh boyunca kaldırım genişliği yeterlidir. Ancak boş alanın bulunduğu bölgede direkler mevcuttur. C blok binası bölgesinde ise çöp kutuları bulunmaktadır. Bu durum kaldırım genişliğini daraltmıştır ve farklı kullanıcıların kaldırımı aynı anda kullanmasına izin vermemektedir. C blok binası bölgesine kadar ağaç bulunmamaktadır. Yaz mevsiminde bu güzergâhı kullanmak zor hale gelmektedir. Dönüşte yaya geçidinin bulunduğu bölgede rampa uygulaması vardır ancak 30 cm genişliğindeki emniyet şeridinin araç yolu kotundan yüksekte olması, bu rampadan yaya geçidine erişimi engellemiştir (Şekil 31a). Bu durumlar göz önüne alındığında güzergahın **eşitlikçi kullanım** ilkesine kısmen uyduğunu, **kullanımda esneklik** ilkesine göre ise uygun olmadığını söylemek mümkündür. Güzergâh üzerinde hissedilebilir yüzey uygulamasının yapılmaması, C blok binasının giriş bölgesi için yönlendirici levhaların bulunmaması ve durak bölgesi için göz hizasında yönlendirici levhaların bulunmaması güzergahın **basit ve sezgisel kullanım** ilkesine uygun olmadığını göstermektedir (Şekil 31b). Kaldırım üzerinde bulunan direklerde şerit uygulamasının bulunmaması, durak alanında bulunan tadilat hakkında bilgilendirici elemanların bulunmaması, C blok binasının girişi ve durak için göz hizasında bilgilendirici elemanların bulunmaması güzergahın **algılanabilir bilgilendirme** ilkesine uygun olmadığını göstermektedir (Şekil 31c). Boş alan hizasındaki bölgede kaldırımın bir kısmında malzeme eksiktir. Bu durum güzergâh üzerinde çukurlar oluşmasına neden olmuştur. Çukurlar doldurulmamış, bilgilendirici ve düşmeyi engelleyici eleman yerleştirilmemiştir (Şekil 31d). C blok hizasındaki bölgede kaldırım üzerinde çöp ve geri dönüşüm kutuları bulunmaktadır. Bu durum bölgede kullanıcının araç

yolunu kullanmasına sebep olmaktadır. Durak alanında bulunan tadilat aşamasındaki bölgede ise tadilat olduğunu bilgilendirici ve bu bölgeye yaklaşmayı engelleyici eleman bulunmamaktadır (Şekil 31e). Bu analizler sonucunda güzergahın **tasarımda hata payı** ilkesine uygun olmadığı tespit edilmiştir. Boş alan hizasında güzergâh üzerinde kum ve taş yığınları yer almaktadır. Bu durum güzergâh üzerinde engellere sebep olmuştur. Ayrıca güzergâh üzerinde dinlenme içi donatı mevcut değildir. Bu analizler sonucunda güzergahın **düşük fiziksel güç kullanımı** ilkesine göre yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Güzergâh boyunca kaldırım üzerinde bulunan bozulan malzeme, çöp kutuları, geri dönüşüm kutuları, elektrik direkleri gibi engellerden dolayı güzergâh, **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması** ilkesine uygun değildir.



Şekil 29. B4 Güzergahının Konumu (Figure 29. Location of B4 Route)



Şekil 30. B4 Güzergahı (Figure 30. B4 Route)



Şekil 31. B4 Güzergahının genel görünümü (Figure 31. General view of B4 Route)

### 3.2.5. B5 Güzergahı

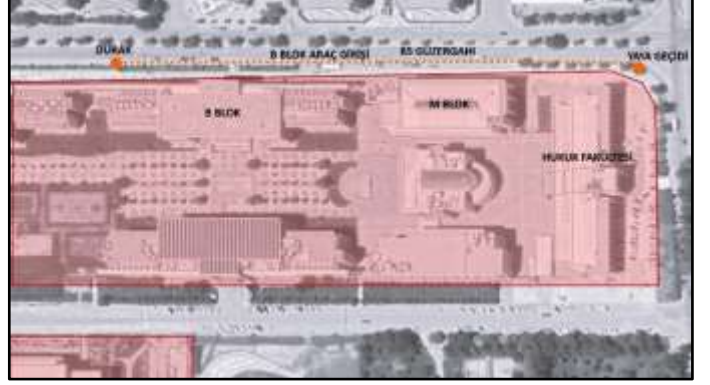
B5 güzergahı A7 bölgesindeki durak alanından başlayarak Hukuk Fakültesine kadar olan bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 32 ve 33). Güzergâh boyunca direk, çöp kutusu, dönüşüm kutusu, bisiklet parkı, rögar kapakları ve Hukuk Fakültesi bölgesinde de ağaçlar bulunmaktadır. Kaldırım üzerinde bulunan bu elemanlardan birçoğu kaldırım genişliğini kısıtlayarak farklı kullanıcılar için erişim engeli oluşturmaktadır (Şekil 34a). Bu durum bölgeyi **eşitlikçi kullanım** ilkesine göre yetersiz hale getirmektedir. Kaldırım genişliğinin bazı bölgelerde azalması, oturma donatılarının bulunmaması ve B bloğun araç girişinin bulunduğu bölgede kaldırım kot farkı engelini aşmak için yapılması gereken rampanın bulunmaması, bölgeyi farklı kullanıcılar için elverişsiz hale getirmektedir. Bu durum bölgenin **kullanımda esneklik** ilkesine göre yetersiz olmasına sebep olmaktadır (Şekil 34b). Hissedilebilir yüzey uygulaması bulunmamaktadır. Durak ve kampüs binalarının girişlerine yönlendirmeyi sağlayacak elemanlar bulunmamaktadır. Bu analizler sonucunda bölgenin **basit ve sezgisel kullanım** ilkesine göre yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Durak ve kampüs binaları için bilgilendirmenin güzergâh üzerinde bulunmamasının yanı sıra güzergâh üzerinde araç-yaya kesişimine sebep olan B blok araç girişini algılanabilir hale getirecek dikey ve yatay işaretlemelerde mevcut değildir. Analizler sonucunda güzergâh **algılanabilir bilgilendirme** ilkesine uygun değildir. Bu araç-yaya kesişimi için yeterli bilgilendirme elemanının bulunmaması **tasarımda hata payı** ilkesine de uygun değildir. Ayrıca bisiklet parkı bulunmasına karşın bölgede bisiklet yolu bulunmamaktadır. Bu durum bisiklet kullanıcıları için tehlike oluşturmaktadır. Bu analizler sonucunda bölgenin **tasarımda hata payı** ilkesine uygun olmadığı tespit edilmiştir. Güzergâh üzerindeki oturma donatısı yetersizdir. Bunun yanı sıra kaldırım üzerinde bulunan engeller ve zeminde bulunan rögar kapakları kullanımı fiziksel olarak zor hale getirmektedir. Ancak bu engellerin tüm güzergâh boyunca sıklıkla yer almadığı düşünülürse bölge **düşük fiziksel güç kullanımı** ilkesine göre kısmen yetersizdir. Güzergâh üzerinde bulunan engellerin yanı sıra kaldırım üzerinde bazı kullanıcıların araçlarını park etmesi kullanımı zor hale getirmektedir. Kampüs alanının araç parkı için otoparkları mevcuttur. Kaldırım



üzerine araç park edilmesini engelleyici önlemler alınmalıdır. Güzergâh boyunca bulunan kaldırımın genişliğinin engeller kaldırıldığı durumda yeterli olduğu ve araç parkının bazı zaman dilimlerinde gerçekleştiği göz önüne alınırsa bölge **yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması** ilkesine göre kısmen yetersizdir (Şekil 34c, Şekil 34d, Şekil 34e ve Şekil 34f).



Şekil 32. B5 Güzergahının Konumu (Figure 32. Location of B5 Route)



Şekil 33. B5 Güzergahı (Figure 33. B5 Route)



Şekil 34. B5 Güzergahının genel görünümü (Figure 34. General view of B5 Route)

Bölgelerin analizleri göz önüne alınarak yapılan değerlendirmeye göre kampüsün dolaşım ağı; *eşitlikçi kullanım, kullanımda esneklik, basit ve sezgisel kullanım, algılanabilir bilgilendirme, tasarımda hata payı ve düşük fiziksel güç kullanımı* ilkelerine göre yetersiz düzeydedir. *Yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması* ilkesine göre kısmen yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Dolaşım Ağı Analizi (Table 2. Circulation Network Analysis)

		DOLAŞIM AĞI					DOLAŞIM AĞI
		B1	B2	B3	B4	B5	
EVRENSEL TASARIM İLKELERİ	1) Eşitlikçi Kullanım	Yetersiz	Yetersiz	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Yetersiz	Yetersiz
	2) Kullanımda Esneklik	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
	3) Basit ve Sezgisel Kullanım	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
	4) Algılanabilir Bilgilendirme	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
	5) Tasarımda Hata Payı	Yetersiz	Kısmen Yeterli	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz
	6) Düşük Fiziksel Güç Kullanımı	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Yetersiz	Kısmen Yeterli	Yetersiz
	7) Yaklaşım ve Kullanım için Boyut ve Alan Sağlanması	Yetersiz	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli	Yetersiz	Kısmen Yeterli	Kısmen Yeterli



## 4. Sonuç

Birçok fonksiyonu bünyesinde barındıran üniversite yerleşkeleri farklı tür mekanlara sahiptir. Belirli zamanlarda kent kullanımına da açık hale gelebilen üniversite yerleşkelerinin kullanıcı çeşitliliği ve kullanım süresi aralığı fazladır. Bundan dolayı kamusal alan niteliği taşımaktadır. Her bireyin eşit şartlarda eğitim hakkına sahip olmasının yanı sıra kamusal alan niteliği taşıyan üniversite yerleşkelerinde erişilebilirlik koşullarını gerçekleştirmek zorunludur. Aynı zamanda mesleki eğitim verilen yerleşkelerde erişilebilirlik koşullarının sağlanması ve evrensel tasarıma önem verilmesi farkındalığı artıracaktır.

Günümüzde evrensel tasarımın araştırma konusu olarak ele alınması ve toplum farkındalığı hızla artmaktadır. Ancak evrensel tasarım ve erişilebilirlik araştırmaları genellikle yapı ölçeğinde gerçekleştirilmektedir. Yapıya ulaşmadan iç mekânda gerekli koşulların sağlanmasının bir önemi yoktur. Bundan dolayı yerleşke tasarımlarında yer seçiminden başlayarak tasarımın son aşamasına kadar erişilebilirlik ve evrensel tasarım ilkeleri uygulanmalıdır. Yerleşke seçimi, yerleşke alanının kente göre erişilebilir ve ulaşılabilir olması göz önüne alınarak yapılmalıdır. Yerleşke yakın çevresinde yerleşkeye ulaşım ve dolaşım bölgeleri analiz edilmeli ve düzenlenmelidir. Bir ürününün, mekânın ve çevrenin erişebilir olması önemlidir. Ama esas önemli olan mekâna ulaşmada kentsel erişilebilirliğin de sağlanmasıdır. Bundan dolayı çalışmada KTO Karatay Üniversitesi'nin yakın çevresi erişilebilirlik ve evrensel tasarım ilkelerine göre analiz edilmiştir.

Üniversite çevresinde analiz edilecek alanlar, toplu taşıma noktalarından başlayarak kampüs girişlerine kadar ki ulaşım bağlantıları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Belirlenen alanlar gözlem ve deneyim yoluyla analiz edilerek fotoğraflanmıştır. Analizler sonucunda kampüs alanı kapsamında Yükseköğretim Kurumunun vermiş olduğu Turuncu Bayrak ödülüne sahip olan üniversite kampüsüne ulaşım için kullanılan otopark, otobüs durakları ve tramvay durağını kapsayan ulaşım ağının *eşitlikçi kullanım ve düşük fiziksel güç kullanımı* ilkeleri dışında yetersiz düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu alanlardan kampüs girişlerine erişimi sağlayan dolaşım ağının da sadece *yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması* ilkesi açısından kısmen yeterli düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Kampüs çevresindeki ulaşım ağında yapılması gereken düzenlemelerde *basit ve sezgisel kullanım, algılanabilir bilgilendirme, tasarımda hata payı ve yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması* ilkelerine öncelik verilmesi gerekmektedir. Dolaşım ağı kapsamında yapılacak iyileştirmelerde ise diğer ilkelere göre daha uygun düzeyde olan *yaklaşım ve kullanım için boyut ve alan sağlanması* ilkesi dışında kalan diğer altı ilke üzerinde durulmalıdır. Evrensel tasarım konusu kapsamında yapılan çalışmalarda mekânın/çevrenin temel ilkelere göre ayrı ayrı incelenmesi, çalışma alanının ilkelere göre uygunluk düzeyinin belirlenmesinin yanı sıra konu kapsamında hangi ilkeye göre farkındalık çalışmalarının daha ağırlıkta olması gerektiğini de tespit etme imkânı sunmaktadır.

Sonuç olarak üniversitenin sağlamış olduğu engelsiz alanlardan faydalanmak için ilk olarak yerleşkeye erişmek gerekir. Bu doğrultuda bir mekânın erişebilir olması tek başına yeterli olmayacaktır. Bir mekânı özgün kılan aynı zamanda çevreyle olan adaptasyonudur. Kentsel mekân olarak da nitelendirilen üniversite kampüslerine araç ve yaya ulaşımında gereken uyarlamalar yapılmalıdır. Erişilebilirlik ve evrensel tasarım koşullarının uygulanması tasarım alanı ile sınırlı kalmamalıdır. Kullanıcıya tanımlanan tüm alanlar, erişilebilirlik ve evrensel tasarım ilkeleri doğrultusunda düzenlenmelidir. Kentsel ve mimari tasarımların bu düşünce doğrultusunda gerçekleştirilmesi, kentin erişilebilirliğine de doğrudan katkı sağlayacaktır.

## Kaynakça

- Arat, Y., & Güner, M. (2020). Evrensel Tasarım İlkeleri Kapsamında Üniversite Yerleşkesinde Erişilebilirliğin İncelenmesi: ODTÜ Örneği. *Euroasia Journal Of Mathematics-Engineering Natural & Medical Sciences*, 8, 210-229.
- Aykal, F. D., Erbaş Özil M., & Tunç, H. (2021). Eşitlikçi Mekân Üretim Yaklaşımı Olarak Evrensel Tasarım Kavramının Diele Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Örneğinde İncelenmesi. *Online Journal of Art and Design*, 9(2), 111-126.
- Campos, P. (2002). The Journeys Toward Utopia. *Planning For Higher Education (The Society for College and Campus Planning)*, 30(2), 5-12.
- Çetinkaya Özkan, E. (2022). Fırat Üniversitesi Yerleşkesi Ulaşım Ağının Yaya Öncelikli Planlama ve Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 32(2), 839-854.
- Dinç Uyaroğlu, İ. (2018). Zorunluluktan Öte: Üniversite Yerleşkesinin Erişilebilirliği. *Mimarlık Dergisi*, 404, 70-75.
- Dostoğlu, N., Şahin, E. & Taneli, Y. (2009). Evrensel Tasarım: Tanımlar Hedefler İlkeler, Tasarıma Kapsayıcı Yaklaşım: Herkes İçin Tasarım, *Mimarlık Dergisi*, 347.
- Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020). Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Ankara: Uzman Matbaacılık
- Erkovan, E. (2013). Evrensel Tasarım İlkeleri Kapsamında Bir Kamusal Alan Olarak Akdeniz Üniversitesi Kampüsünün İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hilmioğlu, S., & Seçer Kariptaş, F. (2022). Erişilebilir Üniversite Kavramı Üzerine Bir İnceleme: Üniversite Mekanlarının Erişilebilirlik ve Evrensel Tasarım Yönünden Değerlendirilmesi. *Online Journal of Art and Design*, 10(2), 40-51.
- Kamer Aksoy, Ö., & Köşe, H. (2022). Kampüs Açık Alanlarında Engelsiz Tasarım: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Güney Kampüsü Örneği. *Mekânsal Planlama ve Tasarım Dergisi*, 2(1), 1-12.
- Kuyrukçu, Z., & Berber, A. (2023). Üniversite Kampüsleri Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz. *Uluslararası Hakemli Tasarım Mimarlık Dergisi*, 29, 166-186.
- Marcus, C. C., & Wischemann, T. (1997). Literature on Campus Open Spaces. People Places: Design Guidelines for Urban Open Space, New York: John Wiley & Sons.
- Mischenko, E., Zorlu, F., Tsalis, P., Naniopoulos, A., & Nalmpantis, D. (2010). Accessibility of University Campus for People with Disabilities.

- Özdemir, A. (2020). Engelsiz Yerleşke İçin Mekansal Erişilebilirlik Düzeyinin İyileştirilmesi; Mühendislik Fakültesi ve Yakın Çevresi, Pamukkale Üniversitesi. *Online Journal of Art and Design*, 8(4), 153-174.
- Özkaraca, N., & İnceoğlu M. (2021). Üniversite Yerleşkelerinde Erişilebilirlik Değerlendirmesi Düzce Üniversitesi Kampüsü Örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9, 1891- 1908
- Story, M. F., Mueller, J. L., & Mace, R. L. (1998). The Universal Design File: Designing for People of All Ages and Abilities. North Carolina State Univ., Raleigh.
- Şengül, M. (2014). Türkiye’de üniversite ile iktidar ilişkileri ve taşra halleri. *Toplum ve Demokrasi Dergisi*, 8(17), 79–104.
- Güncel Türkçe Sözlük, (2023). Türk Dil Kurumu Sözlükleri. Retrieved from <https://sozluk.gov.tr/>
- Turner, P. V. (1984). Campus: an American planning tradition. New York, USA: Architectural History Foundation, 3-11.
- Tutal, O. (2014). Üniversite Yerleşkelerinin Erişilebilirliği. Uluslararası Kent ve Engelliler Çalıştayı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
- Tutal, O. (2015). Üniversite Yerleşkeleri, Rekreasyon ve Engelliler. 3. Rekreasyon Araştırmaları Kongresi, Eskişehir.
- Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, (2023). Engellilerin Haklarına İlişkin Sözleşme. Retrieved from <https://www.aile.gov.tr/eyhgm/engellilerin-haklarına-iliskin-sozlesme>
- YÖK, (2023). Yükseköğretim Kurumu Üniversitelere Bayrak ve Nişan Ödülü, Retrieved from <https://www.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2023/yuksekogretim-kurulu-ndan-universitelere-bayrak-ve-nisan-odulu.aspx>
- Yaylalı Yıldız, B. (2020). Bir Yaşam Alanı Olarak Üniversite Kampüsleri. *Arredamento Mimarlık Dergisi*, 342, 106-111.
- Yerli Ö., & Özdede S. (2017). Design process of a campus plan: a case study of Düzce University Konuralp Campus. *International Journal of Engineering Research and Application*, 7(4), 50-59.
- Yılmaz, S. (2022). Niğde OHÜ Merkez Kampüsünün Evrensel Tasarım İlkeleri Bağlamında İncelenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 9(20), 28-37.



# IoT Veri Kümelerinde Makine Öğrenmesine Dayalı Saldırı Tespiti

Meltem Kurt Pehlivanoglu<sup>1\*</sup>, Arman Kuyucu<sup>2</sup>, Recep Kaya<sup>3</sup>, Recep Aydın<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7581-9390), meltem.kurt@kocaeli.edu.tr

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7565-1236), 190201099@kocaeli.edu.tr

<sup>3</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3626-1777), 190201027@kocaeli.edu.tr

<sup>4</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3137-3937), 200202093@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 6 Ekim 2022 ve Kabul Tarihi 6 Ekim 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1184984)

**ATIF/REFERENCE:** Kurt Pehlivanoglu, M., Kuyucu, A., Kaya, R. & Aydın, R. (2023). IoT Veri Kümelerinde Makine Öğrenmesine Dayalı Saldırı Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 19-26.

## Öz

Nesnelerin İnterneti (IoT), veri paylaşmak ve internet üzerinden birbirleriyle etkileşim kurmak için sensörler, yazılımlar ve bağlantılara sahip bir cihaz ağıdır. IoT ekosisteminde giderek artan sayıdaki bu teknolojik cihazlar çok sayıda güvenlik açığı ve riskini de ortaya çıkarır. IoT cihazları, daha karmaşık makineler ve bilgisayarlara kıyasla işletim sistemlerinde doğal güvenlik mekanizmalarının bulunmamasına bağlı olarak çeşitli siber saldırılara karşı savunmasızdır. Özellikle port tarama, Servis Hizmet Reddi (DoS) ve Dağıtık Servis Hizmet Reddi (DDoS) gibi saldırılar IoT cihazlarının güvenliğini tehdit etmektedir. DoS ve DDoS saldırıları sistemleri çöktürmeyi ve hasar vermeyi amaçlarken, Port Tarama saldırısı ise sistemden veri toplamayı amaçlayan siber saldırı türlerindedir. Bu çalışmada, belirli IoT veri kümelerinde DoS, DDoS ve Port tarama saldırılarını tespit etmek için makine öğrenimi yaklaşımlarına dayalı bir izinsiz giriş tespit mekanizması öneriyoruz. Rastgele Orman, Karar Ağacı, Destek Vektör Makinesi, K-En Yakın Komşu, Naive-Bayes, Gradyan Artırma, Doğrusal Diskriminant Analizi ve Ekstra Ağaçlar makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak, “Bot\_IoT” ve “ToN\_IoT” veri kümeleri (H+V Enriched) üzerinde DoS, DDoS ve Scanning saldırıları sınıflandırılmıştır. Çok sınıflı sınıflandırma, yani üç-sınıf ve altı-sınıf, tüm modeller için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler, tüm çoklu sınıflandırma modelleri için, Gradyan Artırma sınıflandırıcı ile %99.9944 F1-skorla en iyi sınıflandırma gerçekleştirildiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** IoT, Saldırı Tespit Sistemi, DoS, DDoS, makine öğrenmesi.

## Intrusion Detection based on Machine Learning in IoT Dataset

### Abstract

The Internet of Things (IoT) is a network of devices that have sensors, software, and connection to share data and interact with one another through the internet. The growing quantity of these technological devices in the IoT ecosystem also exposes numerous security vulnerabilities and risks. IoT devices are vulnerable to several cyber-attacks to the lack of inherent security mechanisms in their operating systems compared to more sophisticated machines and computers. Especially, attacks such as port scanning, Denial of Service (DoS) and Distributed Denial of Service (DDoS) threaten the security of IoT devices. DoS and DDoS attacks are types of attacks that aim system crash and cause damage, and Port Scanning attacks are types of attacks that aim to collect data from the system. In this paper, we propose an intrusion detection system based on Machine Learning (ML) approaches to detect DoS, DDoS, and Port scanning attacks in specific IoT datasets “Bot\_IoT” and “ToN\_IoT” (H+V Enriched). DoS, DDoS and Scanning attacks on “Bot\_IoT” and “ToN\_IoT” datasets are classified using Random Forest (RF), Decision Tree (DT), Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbor (KNN), Naive-Bayes (NB), Gradient Boosting (GB), Linear Discriminant Analysis (LDA) and Extra Trees (ET) machine learning algorithms. The multiclass classifications, i.e., three-class and six-class, are performed for all models individually.

\* Sorumlu Yazar: [meltem.kurt@kocaeli.edu.tr](mailto:meltem.kurt@kocaeli.edu.tr)

The experimental results show that the GB classifier can achieve the best classification with an F1-score of 99.9944% for all multiclass classification.

**Keywords:** IoT, Intrusion Detection System, DoS, DDoS, machine learning.

## 1. Giriş

Saldırı Tespit Sistemleri (STS), ağlara veya sistemlere yapılan siber saldırıları gerçekleştirirken ya da gerçekleştikten sonra tespit etmeye ve bu saldırılara karşı savunmayı amaçlayan makine öğrenme veya derin öğrenme tabanlı sistemlerdir.

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) araçlarının sayıları ve kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. 2021 yılında IoT cihaz sayısı %8'lik artış ile 12.2 milyara ulaşmıştır. Bu cihazların sayısının 2025 yılında 27 milyar olması öngörülmektedir. IoT cihazlarının büyük bir kısmı düşük işlem gücünden dolayı şifrelemeyi yapılamadığından dolayı saldırılara karşı savunmasız kalmaktadır. IoT cihaz sayısındaki artış göz önüne alındığında bu cihazları savunma gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada “Bot\_IoT” (Koroniotis vd., 2018) ve “ToN\_IoT” (Booij vd., 2022) veri kümelerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş ve (Erfani vd., 2021)’de verilen “H+V Enriched” veri kümesi yeni bir saldırı tespit modelinin geliştirilmesi amaçlı kullanılmıştır. Bot\_IoT veri kümesi 2018 yılında UNSW Canberra’daki Cyber Range Laboratuvarında bir ağ ortamı tasarlanarak, ToN\_IoT veri kümesi ise UNSW Canberra Cyber, Mühendislik ve Bilgi Teknolojileri Okulu (SEIT), UNSW Canberra’nın IoT Laboratuvarında oluşturulmuştur. Bot\_IoT veri kümesi servis taraması, işletim sistemi tespiti, DoS, DDoS, veri hırsızlığı saldırılarından oluşurken, ToN\_IoT veri kümesi ise tarama, DoS, DDoS, fidye yazılım, arka kapı, injection, XSS, şifre ve aradaki adam saldırılarından oluşmaktadır.

### 1.1. Motivasyon ve Katkı

Bu çalışmada 2021 yılında geliştirilen DoS, DDoS ve Scanning saldırılarının yer aldığı “Bot\_IoT” ve “ToN\_IoT” veri kümeleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, (Erfani vd., 2021)’de verilen çalışmadaki fikir ele alınarak veri kümeleri birleştirilmiş, birleştirilen yeni veri kümesi üzerinde Rastgele Orman, Gradient Boosting, Karar Ağacı, SVM, KNN, NB, LDA, ET algoritmaları kullanılarak (bu algoritmalar için ayrıntılı bilgilendirme (Ray, 2019) çalışmasından erişilebilir) çoklu saldırı sınıflandırma problemi üzerine çalışılmıştır. Literatürde yer alan deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde, bu çalışmada önerilen birçok model literatürde yer alan modellerden daha yüksek başarımla elde etmiştir.

### 1.2. Organizasyon

Makalenin ikinci bölümünde geçmiş yıllarda yapılan ilgili çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ise kullanılan veri setleri ve saldırı türleri açıklanmış olup devamında veri ön işleme adımlarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde yapılan deneyler detaylandırılarak sunulmuştur. Son bölümde ise deneysel sonuçlar değerlendirilerek ileriki çalışmalardan bahsedilmiştir.

## 2. İlgili Çalışmalar

Literatürde, ağ tabanlı saldırıları içeren farklı veri setleri üzerinde, makine öğrenmesi ve/veya derin öğrenme yöntemleriyle saldırı tespitini hedefleyen birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar arasında özellikle son yıllarda yayımlanan ve IoT veri kümeleri üzerinde saldırı tespiti yapan çalışmalar dikkate alınarak kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalarda kullanılan veri kümeleri, kullanılan modeller, çoklu model olup olmadığı bilgisi, ikili/çoklu sınıflandırma bilgisi ve başarı değerlendirme metrikleri ayrıntılı olarak Tablo 1’de sunulmuştur.

Woźniak ve arkadaşları çalışmalarında (Woźniak vd., 2020) IoT-23 veri kümesi üzerinde kötü amaçlı yazılım tehdidi tespiti için derin öğrenme tabanlı bir model önermişlerdir. Çalışmada LSTM ve RNN modelleriyle en yüksek %99.9957 doğruluk değeri elde edilmiştir.

Booij ve arkadaşları çalışmalarında (Booij vd., 2021) ToN\_IoT veri kümesinin istatistiksel analizi ve makine öğrenmesi değerlendirmesini yapmışlardır. Ayrıca veri kümesi birkaç veri kümesiyle karşılaştırılmış ve heterojenliğin önemi vurgulanmıştır. Çalışmada ToN\_IoT ve IoT-23 veri kümeleri üzerinde en yüksek doğruluk değerleri RF modeli ile sırasıyla %98.075, %99.986 olarak elde edilmiştir.

Kozik ve arkadaşları çalışmalarında (Kozik vd., 2021) ağ akışlarını yakalayan, önceden tanımlanan bir zaman aralığında öznetelik vektörlerini hesaplayan ve bu vektörleri ikili sınıflandırıcıya vererek tespit çıktılarını üreten bir çözüm önerisi sunmuşlardır. Çalışmada en yüksek F-skor değeri %94.5 TFNN modeli ile elde edilmiştir.

Sahu ve arkadaşları çalışmalarında (Sahu vd., 2021) kötü amaçlı cihazları etkili bir şekilde tespit eden derin öğrenme tabanlı saldırı tespit mekanizması önerilmiştir. Çalışmada kullanılan veri kümesi 20 tane virüslü Raspberry Pi IoT cihazından toplanmıştır. Ek olarak önerilen model, yakın zamanda önerilen derin öğrenme bazlı saldırı tespit mekanizmalarından daha iyi sonuç vermiştir. Çalışmada çoklu sınıflandırmada CNN modelinde %82.04 F-skor, %80.67 kesinlik, %83.48 hassasiyet ve %82.17 doğruluk elde edilmiş olup, bu değerler Tablo 3’de verilen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Ullah ve Mahmoud çalışmalarında (Ullah ve Mahmoud, 2021) IoT ağları için yeni bir anomali bazlı izinsiz giriş tespit sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada, evrişimli sinirsel ağ modeli kullanılarak çok sınıflı sınıflandırma modeli oluşturulmuştur. Öğrenme aktarımı, çok sınıflı önceden eğitilmiş bir konvolüsyonel sinir ağı modelini kullanarak ikili ve çok sınıflı sınıflandırmayı uygulamak için kullanılmaktadır. Çalışmada farklı veri kümeleri üzerinde çoklu sınıflandırma yapılmış olup, her veri kümesi üzerinde en yüksek doğruluk değerleri: Bot\_IoT veri kümesinde CNN1D modelinde %99.97, IoT Network Intrusion veri kümesinde CNN1D modelinde %97.76, MQTT-IoT-IDS2020 veri kümesinde CNN2D modelinde %99.93 ve IoT-23 veri kümesinde CNN1D modelinde %99.96 olarak elde edilmiştir.

2021 yılında yapılan çalışmada (Ioannou ve Vassiliou, 2021), IoT’de kullanılan düşük güçlü ve kısa menzilli ağlarda kötü niyetli davranışları tespit etmek için SVM modellerininin kullanılması önerilmiştir. İki SVM yaklaşımı (C-SVM ve OC-SVM) değerlendirilmiştir. C-SVM iki sınıf vektör değeri gerektirir (biri normal ve diğeri anormal aktivite için) ve OC-SVM sadece normal davranış aktivitesini gözlemlemektedir. Her iki yaklaşım da anormal aktiviteyi izleyen ve tespit eden bir saldırı tespit sisteminin (IDS) parçası olarak kullanıldı. Çalışmada C-SVM modelinde %92.3 hassasiyet, OC-SVM modelinde ise %82.1 hassasiyet değeri elde edilmiştir.

2021 yılında yapılan bir diğer çalışmada (Erfani vd., 2021), IoT veri setlerini iki yönde zenginleştirmek için bir sistem önerilmektedir: dikey ve yatay. Dikey görünüm, son teknoloji IoT veri setlerini birleştirmektedir. Yatay görünüm ise IoT cihazlarının davranışını daha çeşitli ayarlarda sunmak için benzersiz ve yeni bir dizi öznitelik önermektedir. Deneysel sonuçlarda, önerilen yöntem tarafından geliştirilen yeni simüle edilmiş veri setlerinin, çeşitli makine öğrenimi algoritmaları ile siber güvenlik saldırılarını sınıflandırmada daha iyi performans elde ettiği gösterilmektedir. Çalışmada Bot\_IoT veri kümesinde DT modelinde %99.56 F-skor, ToN\_IoT veri kümesinde DT modelinde ise %99.25 F-skor değeri elde edilmiştir.

2022 yılında yapılan çalışmada (Nascita vd., 2022), IoT-23 veri kümesi üzerinde derin öğrenmeye dayalı trafik sınıflandırıcıları kullanılmış ve bunların IoT saldırı sınıflandırmasındaki etkinlikleri değerlendirilmiştir. Çalışmada en yüksek doğruluk değeri MIMETIC modeli ile %99.93 olarak elde edilmiştir.

Islam ve arkadaşları çalışmalarında (Islam vd., 2022), Banking Fraud Detection veri kümesi kullanarak finansal kuruluşlara yönelik DDoS saldırılarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada SVM modeli diğer makine öğrenimi ve derin öğrenme yaklaşımlarına oranla %99.8 doğruluk değeri ile en yüksek skora sahiptir.

Jarjis ve arkadaşları çalışmalarında (Jarjis vd., 2023) Bot\_IoT ve ToN\_IoT veri kümesini bir arada kullanarak bu veri kümesi üzerinde farklı makine öğrenmesi modelleri kullanarak saldırı tespit sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada, modeller arasından XGB modeli tüm değerlendirme metrikleri için %100 skor elde etmiştir.

Literatürde özellikle Bot\_IoT ve ToN\_IoT veri kümelerini birarada kullanan çalışmalar değerlendirildiğinde, (Jarjis vd., 2023)’de XGB modeli tüm metrikler için en yüksek skor değeri %100’ü elde etse de ilgili çalışmada yer alan diğer makine öğrenmesi modelleri için başarımlar yüksek değildir. Bu çalışmada aynı veri kümesi üzerinde, GB modellerinin yanı sıra, diğer makine öğrenmesi modellerinin de başarımlarının yükseltilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 1. İlgili Çalışmaların Özeti (Summary of the Related Works)

Referans	Veri Kümesi	Model	ÇS/İS
(Woźniak vd., 2020)	IoT-23	LSTM+RNN	İS
(Booij vd., 2021)	ToN_IoT, IoT-23	BS, RF, MLP	İS
(Kozik vd., 2021)	IoT-23	TFNN, DT, RF, AB	İS
(Sahu vd., 2021)	IoT-23	2D-CNN+LSTM	ÇS/İS
(Ullah ve Mahmoud, 2021)	Bot_IoT, IoT Network Intrusion, MQTT-IoT-IDS2020, IoT-23	1D-CNN, 2D-CNN, 3D-CNN	ÇS/İS
(Ioannou ve Vassiliou, 2021)	Kendi Veri Kümeleri	C-SVM, OC-SVM	İS
(Erfani vd., 2021)	Bot_IoT, ToN_IoT, Bot_IoT ve ToN_IoT (H+V Enriched)	RF, DT, SVM, KNN, NB(Bernoulli), GB, LDA, ET	ÇS
(Nascita vd., 2022)	IoT-23	MIMETIC, 1D-CNN 2D-CNN+LSTM, NB, DT, RF, BG	ÇS
(Islam vd., 2022)	Banking Fraud Detection (Kaggle)	SVM, KNN, RF	ÇS
(Jarsis vd., 2023)	Bot_IoT ve ToN_IoT (H+V Enriched)	RF, DT, SVM, KNN, XGB	ÇS
Önerilen Model	Bot_IoT ve ToN_IoT (H+V Enriched)	RF, DT, SVM, KNN, NB(Bernoulli), GB, LDA, ET	ÇS

ÇS: Çoklu Sınıflandırma, İS: İkili Sınıflandırma, Teknik: AdaBoost (AB), BG: Bagging Sınıflandırıcısı (Bagging Classifier), BS: Artırma Sınıflandırıcısı (Boosting Classifier), CNN: Evrişimli Sinir Ağı (Convolutional Neural Network), GB: Gradyan Artırma (Gradient Boosting), LSTM: Uzun kısa süreli bellek (Long Short-Term Memory), MLP: Çok Katmanlı Algılayıcılar (MultiLayer Perceptron), RNN: Yinelemeli sinir ağı (Recurrent Neural Network), SVM: Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine), TFNN: Dönüştürücü Bazlı Sinir Ağı (Transformer-based Neural Network), MIMETIC: Derin Öğrenme Tabanlı Mobil Trafik Sınıflandırıcı Multi Modeli (Multimodal DL-based Mobile Traffic Classification), XGB: Aşırı Gradyan Artırma (eXtreme Gradient Boosting)



### 3. Önerilen Saldırı Tespit Modeli

#### 3.1. Veri Kümesi

Bu çalışmada, 2021 yılında yapılan çalışmada (Erfani vd., 2021) yer alan “H (Horizontal-Yatay) + V (Vertical-Dikey) Enriched” veri kümesi kullanılmıştır. Dikey görünüm, son teknoloji IoT veri kümelerini birleştirmektedir. Yatay görünüm ise IoT cihazlarının davranışını daha çeşitli ayarlarda sunmak için benzersiz ve yeni bir dizi öznelik önermektedir. “H+V Enriched” veri kümesi “Bot\_IoT” ve “ToN\_IoT” veri kümelerine yeni öznelikler eklenmesi ve bunların birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan veri kümesinde 53391 gözlem ve 92 öznelik bulunmaktadır. Tablo 2’de bu öznelikler verilmiştir. “H+V Enriched” veri kümesi üç farklı saldırı türü içermektedir: DoS, DDoS ve port scanning (port tarama). DoS saldırısında hedef sisteme tek bir kaynaktan yüklü bir ağ trafiği gönderilerek, hedef sistemi yavaşlatmak/çökertmek amaçlanmaktadır. DDoS saldırısı ise tek bir kaynak yerine çok sayıda ele geçirilen cihazlardan oluşan botnet ağından başlatılır. DDoS hedefe katlanarak artan istekler göndererek saldırı gücünü artırır. Port taramada, hedef bilgisayarda açık olan portlar bulunarak, bu portlardan hedef sistem hakkında birçok bilgi elde edilir.

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Veri Kümesi (Dataset Used in the Study)

No	Öznelik	No	Öznelik	No	Öznelik	No	Öznelik
1	<i>ts</i>	24	<i>flow_active_time</i>	47	<i>TNP_per_proto_tcp</i>	70	<i>IPv</i>
2	<i>flow_duration</i>	25	<i>Min</i>	48	<i>TNP_per_proto_udp</i>	71	<i>MAC</i>
3	<i>Header Length</i>	26	<i>Max</i>	49	<i>spkts</i>	72	<i>LLC</i>
4	<i>Source IP</i>	27	<i>Std</i>	50	<i>dpkts</i>	73	<i>fin_flag_number</i>
5	<i>Destination IP</i>	28	<i>IAT</i>	51	<i>sbytes</i>	74	<i>syn_flag_number</i>
6	<i>Source Port</i>	29	<i>Tot size</i>	52	<i>dbytes</i>	75	<i>rst_flag_number</i>
7	<i>Destination Port</i>	30	<i>Tot sum</i>	53	<i>Tnp_per_proto</i>	76	<i>urg_flag_number</i>
8	<i>Protocol Type</i>	31	<i>AVG</i>	54	<i>AR_P_proto_P_src_ip</i>	77	<i>ece_flag_number</i>
9	<i>Protocol Name</i>	32	<i>Magnitude</i>	55	<i>AR_P_proto_P_dst_ip</i>	78	<i>cwr_flag_number</i>
10	<i>Duration</i>	33	<i>Radius</i>	56	<i>AR_P_proto_P_sport</i>	79	<i>ack_count</i>
11	<i>src_ip_bytes</i>	34	<i>Covariance</i>	57	<i>AR_P_proto_P_dport</i>	80	<i>syn_count</i>
12	<i>dst_ip_bytes</i>	35	<i>Variance</i>	58	<i>Max_flow_duration</i>	81	<i>fin_count</i>
13	<i>src_pkts</i>	36	<i>Number</i>	59	<i>Min_flow_duration</i>	82	<i>TnP_per_dport</i>
14	<i>dst_pkts</i>	37	<i>Pearson Correlation</i>	60	<i>Sum_flow_duration</i>	83	<i>N_IN_Conn_P_Src_IP</i>
15	<i>Rate</i>	38	<i>Weight</i>	61	<i>Avg_flow_duration</i>	84	<i>N_IN_Conn_P_Dst_IP</i>
16	<i>Srate</i>	39	<i>MQTT</i>	62	<i>IRC</i>	85	<i>Wifi_Type</i>
17	<i>Drate</i>	40	<i>CoAP</i>	63	<i>TCP</i>	86	<i>Wifi_Subtype</i>
18	<i>psh_flag_number</i>	41	<i>HTTP</i>	64	<i>UDP</i>	87	<i>DS status</i>
19	<i>ack_flag_number</i>	42	<i>HTTPS</i>	65	<i>DHCP</i>	88	<i>Fragments</i>
20	<i>urg_count</i>	43	<i>DNS</i>	66	<i>ARP</i>	89	<i>wifi_src</i>
21	<i>rst_count</i>	44	<i>Telnet</i>	67	<i>RARP</i>	90	<i>wifi_dst</i>
22	<i>Std_flow_duration</i>	45	<i>SMTP</i>	68	<i>ICMP</i>	91	<i>Sequence number</i>
23	<i>flow_idle_time</i>	46	<i>SSH</i>	69	<i>IGMP</i>	92	<i>Protocol Version</i>

92 özneliğe sınıflandırma yapılabilmesi için “label”, “label2” ve “label3” olmak üzere 3 yeni öznelik eklenmiştir. Eğer veri “Bot\_IoT” (bu veri kümesi Bot\_iot\_DoS\_new, Bot\_iot\_DDoS\_new, Bot\_iot\_scanning alt veri kümelerini içerir) veri kümesinden geldiyse “label2” özneliği “1”, “ToN\_IoT” (bu veri kümesi Ton\_iot\_DoS, Ton\_iot\_DDoS\_new, Ton\_iot\_scanning\_new alt veri kümelerini içerir) veri kümesinden geldiyse “label2” özneliği “2” yapılmıştır. “label” özneliği ise saldırı tipi ile ilişkilendirilmiş olup DoS için “1”, “DDoS” için “2” ve “Scanning” için “3” ataması yapılmıştır. “label3” ise “label2” ve “label” özneliklerinde yer

alan verilerin sırayla birleşiminden oluşmaktadır. Yeni öznitelikler eklendikten sonra oluşan veri kümesi “H+V.csv” dosyası olarak kaydedilmiştir. Tablo 3’de yeni eklenen özniteliklere ait etiket isimlendirmeleri verilmiştir.

Tablo 3. Veri Kümesine Yeni Eklenen Etiketler (Newly Added Labels to the Dataset)

Veri Kümesi	label2	label	label3
<i>Bot_iot_DoS_new</i>	1	1	11
<i>Bot_iot_DDoS_new</i>	1	2	12
<i>Bot_iot_scanning</i>	1	3	13
<i>Ton_iot_DoS</i>	2	1	21
<i>Ton_iot_DDoS_new</i>	2	2	22
<i>Ton_iot_scanning_new</i>	2	3	23

## 3.2. Veri Önışleme

### 3.2.1. Kodlama

Veri kümesinde “Source IP, Destination IP, Protocol\_name, TnP\_per\_dport, N\_IN\_Conn\_P\_Src\_IP, N\_IN\_Conn\_P\_Dst\_IP, TnP\_per\_Proto, AR\_P\_Proto\_P\_SrcIP, AR\_P\_Proto\_P\_Dst\_IP, AR\_P\_Proto\_P\_sport, AR\_P\_Proto\_P\_dport” olmak üzere 11 tane obje tipinde öznitelik tespit edilmiştir. Bu obje tipindeki özniteliklere etiket kodlaması (label encoding) uygulanarak ilgili veri kümesinde güncellemeler yapılmıştır. Ayrıca performans karşılaştırması yapabilmek için IP adreslerinin bulunduğu “Source IP” ve “Destination IP” özniteliklere one hot encoding uygulanmıştır. One hot encoding sonrası “Source IP” özniteliğinden 2356, “Destination IP” özniteliğinden 96 tane yeni öznitelik elde edilmiş olup “Source IP” ve “Destination IP” öznitelikleri çıkarılmıştır.

### 3.2.2. Öznitelik Seçimi

Veri kümesinin özniteliğini yansıtmayan özniteliklerin başarımı düşürmesini engellemek amacıyla her bir veri kümesindeki özniteliklerin önemlilik derecesini hesaplanıp öznitelik seçimi yapılmıştır.

En çok başarıya sahip ve öznitelik önemliliği hesaplanabilen RF ve DT makine öğrenme modelleri seçilmiştir. Bu modeller 10 kez farklı test ve eğitim verileri ile çalıştırılıp, öznitelik önemlilik derecesi ve toplamda 20 çalıştırmada en çok tekrar etme sayısına göre öznitelikler seçilmiştir. Ham veri kümesinde 92 adet öznitelik bulunmaktadır. Öznitelik seçimi sonucunda sırasıyla 25 (15 farklı öznitelik bu özniteliklerin içerisinde yer almaktadır.), 15 öznitelik elde edilmiştir. “Destination IP” ve “Source IP” özniteliklerine kodlama yapıldığında 2542 öznitelikli yeni bir veri kümesi oluşmuştur. Bu veri kümesine öznitelik seçimi yapıldığında üç-sınıf sınıflandırmada sırasıyla 97, 49; altı-sınıf sınıflandırmada 93, 60 öznitelik elde edilmiştir.

### 3.2.3. Hiper Parametre Ayarlaması (Hyperparameter Tuning)

Daha efektif ve başarılı sonucu alabilmek için son adım olarak hiper parametre ayarlaması yapılmıştır. Ayarlama için GridSearchCV fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon, parametre olarak verilen hiper parametre değerlerinden oluşabilecek bütün olasılıkları deneyerek en yüksek çapraz doğrulama başarısını elde eden parametreleri bulmaktadır.

## 4. Deneysel Sonuçlar

Çalışma kapsamında çoklu sınıflandırma kullanılmış olup üç-sınıf (DoS, DDoS, Scanning) ve altı-sınıf (Bot\_iot\_DoS, Bot\_iot\_DDoS, Bot\_iot\_scanning, Ton\_iot\_DoS, Ton\_iot\_DDoS, Ton\_iot\_scanning) için modeller eğitilmiş ve test edilmiştir.

Tablo 4 ve 5’de kullanılan “V(Varsayılan)” gösterimi Erfani ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (Erfani vd., 2021) kullanılan parametreleri ifade etmektedir. Ancak bazı algoritmalarda parametreler varsayılan değerlerle kullanıldığında aşırı öğrenme (overfitting) olmaktadır. Bunu engellemek amaçlı bazı algoritmalara “max\_depth” parametresi eklenmiştir. Tablo 4 ve 5’de kullanılan “A(Ayarlama)” gösterimi ise hiper parametre ayarlaması işlemini ifade etmektedir. İlgili tablolarda verilen Öznitelik Sayısı sütununda tahminlenmeye çalışılan etiket özniteliği eklenmemiştir.

### 4.1. Üç-sınıf Sınıflandırma

DoS, DDoS, Scanning saldırılarının sınıflandırılması için RF, GB, NB, ET, KNN, LDA, DT ve SVM algoritmaları test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda üç-sınıf sınıflandırma ile elde edilen en iyi F1-skor, kesinlik, hassasiyet ve doğruluk skorları Tablo 4’de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi en iyi F1 skoru %99.9944 ve %99.9944 doğruluk değeri ile GB algoritması ile elde edilmiştir. Bu sonuç hiper parametre ayarlaması ve öznitelik mühendisliği yapılarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Üç-Sınıf Sınıflandırma için Modellerin Başarımı (Performance of Models for Three-Class Classification)

Algoritma	Parametreler	Öznitelik Sayısı	V/A	ÖM	F-Skor (F1)	Kesinlik (Precision)	Hassasiyet (Recall)	Doğruluk (Accuracy)
RF	<i>criterion='entropy', max_depth=5, n_estimators=20, random_state=42</i>	49	A	Var	99.9775	99.9775	99.9775	99.9775
DT	<i>ccp_alpha=0.0001, criterion='entropy', max_depth=5, max_features='auto', random_state=42</i>	15	A	Yok	99.9831	99.9832	99.9831	99.9831
SVM	<i>C=1000</i>	97	A	Var	75.8154	76.9561	78.9033	78.9033
KNN	<i>leaf_size=1, n_neighbors=30, p=1, weights='distance'</i>	15	A	Yok	92.2829	92.1251	92.7672	92.7672
NB	<i>alpha=1e-10, binarize=10000.0, fit_prior=False</i>	25	A	Yok	94.4306	94.8991	94.2970	94.2970
GB	<i>n_estimators=45, random_state=42</i>	97	A	Var	99.9944	99.9944	99.9944	99.9944
LDA	<i>tol=1e-10</i>	97	A	Yok	99.9003	99.9016	99.8994	99.9009
ET	<i>Criterion = gini, n_estimators=100, Max_depth = 4</i>	15	V	Yok	99.8765	99.8772	99.8763	99.8763

V/A: Varsayılan(V), Ayarlama(A). ÖM: Öznitelik Mühendisliği

## 4.2. Altı-Sınıf Sınıflandırma

Bot\_iot\_DoS, Bot\_iot\_DDoS, Bot\_iot\_scanning, Ton\_iot\_DoS, Ton\_iot\_DDoS, Ton\_iot\_scanning veri kümesine göre etiketlenmiş saldırıların sınıflandırılması için RF, GB, NB, ET, KNN, LDA, DT ve SVM algoritmaları test edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda altı-sınıf sınıflandırma ile elde edilen en iyi f-skor (F1), kesinlik, hassasiyet ve doğruluk (accuracy) skorları Tablo 5'de verilmiştir. Tabloya göre en iyi F1 skoru %99.9944 ve %99.9944 doğruluk ile GB ve KNN algoritmaları ile elde edilmiştir.

Tablo 5. Altı-Sınıf Sınıflandırma için Modellerin Başarımı (Performance of Models for Six-Class Classification)

Algoritma	Parametreler	Öznitelik Sayısı	V/A	ÖM	F1-Skor	Kesinlik	Hassasiyet	Doğruluk
RF	<i>criterion='entropy', max_depth=4, max_features='log2', n_estimators=20, random_state=42</i>	15	A	Yok	99.9273	99.9305	99.9269	99.9269
DT	<i>ccp_alpha=0.001, criterion='entropy', max_depth=6, max_features='auto', random_state=42</i>	15	A	Yok	99.9831	99.9831	99.9831	99.9831
SVM	<i>C=1000</i>	15	A	Yok	81.6558	89.7824	87.2835	87.2835
KNN	<i>n_neighbors=50, metric='chebyshev'</i>	15	A	Yok	99.9775	99.9775	99.9775	99.9775
NB	<i>alpha=1e-10, binarize=10000.0</i>	93	A	Var	93.5177	94.9464	94.7167	94.7167
GB	<i>learning_rate=0.2, n_estimators=40, random_state=1024</i>	93	A	Var	99.9944	99.9944	99.9944	99.9944
LDA	<i>Solver = svd</i>	92	V	Yok	92.1905	92.4153	92.3728	92.9785
ET	<i>criterion = 'gini', n_estimators=100, max_depth=4</i>	15	V	Yok	99.9831	99.9832	99.9831	99.9831

V/A: Varsayılan(V), Ayarlama(A). ÖM: Öznitelik Mühendisliği



Tablo 6’ da bu çalışmaya en benzer (“H+V Enriched” veri kümesini kullanan) çalışmalarda (Erfani vd., 2021; Jarjis vd., 2023) elde edilen deneysel sonuçlar F1 skor ve doğruluk metrikleri açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, bu çalışmada önerilen üç ve altı sınıf sınıflandırma modellerinin başarımlarının diğer çalışmalara göre referans alınan bu iki çalışmadan daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Veri kümesi üzerinde yapılan veri ön işleme adımları ve uygun hiper parametrelerin seçimi sayesinde, diğer çalışmalarda en başarısız model olan SVM modelinin bile önerilen modellerde doğruluk başarımlarının artırıldığı gözlemlenmiştir. (Jarjis vd., 2023)’de verilen çalışmada XGB algoritması ile en yüksek başarımlar elde edildiği için, bu çalışmada bu model kullanılmamıştır.

Tablo 6. Literatürde “H+V Enriched” Veri Kümesini Kullanan Çalışmalar ile Önerilen Modellerin Karşılaştırılması

Model	(Erfani vd., 2021)		(Jarjis vd., 2023)		Önerilen Model (Üç-Sınıf Sınıflandırma)		Önerilen Model (Altı-Sınıf Sınıflandırma)	
	F1 Skoru	Doğruluk	F1 Skoru	Doğruluk	F1 Skoru	Doğruluk	F1 Skoru	Doğruluk
RF	97.62	97.66	99.0175	99.0214	<b>99.9775</b>	<b>99.9775</b>	99.9273	99.9269
DT	99.96	99.96	99.978	99.979	<b>99.9831</b>	<b>99.9831</b>	<b>99.9831</b>	<b>99.9831</b>
SVM	76.41	77.13	78.3414	78.7336	75.8154	78.9033	<b>81.6558</b>	<b>87.2835</b>
KNN	81.41	81.96	91.233	91.231	92.2829	92.7672	<b>99.9775</b>	<b>99.9775</b>
NB	53.02	55.16	-	-	<b>94.4306</b>	94.2970	93.5177	<b>94.7167</b>
GB	99.86	99.86	-	-	<b>99.9944</b>	<b>99.9944</b>	<b>99.9944</b>	<b>99.9944</b>
LDA	91.19	91.63	-	-	<b>99.9003</b>	<b>99.9009</b>	92.1905	92.9785
ET	99.43	99.43	-	-	99.8765	99.8763	<b>99.9831</b>	<b>99.9831</b>
XGB	-	-	<b>100</b>	<b>100</b>	-	-	-	-

## 5. Sonuç ve İleriki Çalışmalar

Bu çalışmada, DoS, DDoS ve scanning saldırılarını içeren “Bot\_IoT” ve “ToN\_IoT” veri kümelerinin birleştirilmesi ile elde edilen “H+V Enriched” olarak adlandırılan veri kümesi saldırı tespiti amaçlı kullanılmıştır. Çalışmada saldırıların çoklu sınıflandırılması hedeflenmiş olup, üç ve altı sınıf sınıflandırma olmak üzere iki farklı çoklu sınıflandırma probleminin çözülmesi üzerine çalışılmıştır.

Saldırı sınıflandırması amaçlı RF, DT, SVM, KNN, NB, GB, LDA, ET algoritmaları kullanılarak modeller eğitilmiştir. Bunun yanı sıra farklı sayıda öznelikler seçilerek model başarımları test edilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, hiper parametre ayarlaması yapıldığında çalışmada kullanılan tüm modellerin skorlarında iyileşme gözlemlenmiştir. Literatürde aynı veri kümesini kullanan diğer çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmada önerilen modellerin birçoğunun, ilgili çalışmalarda modellerden çok daha başarılı olduğu açıktır. İleriki çalışmalarda artımlı makine öğrenmesi modelleri tabanlı bir saldırı tespit sisteminin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## Kaynakça

- Booij, T. M., Chiscop, I., Meeuwissen, E., Moustafa, N., & Den Hartog, F. T. (2021). ToN\_IoT: The role of heterogeneity and the need for standardization of features and attack types in IoT network intrusion data sets. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(1), 485-496.
- Erfani, M., Shoeleh, F., Dadkhah, S., Kaur, B., Xiong, P., Iqbal, S., ... & Ghorbani, A. A. (2021, October). A feature exploration approach for IoT attack type classification. In *2021 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCCom/CyberSciTech)* (pp. 582-588). IEEE.
- Falcao, A. X., & Papa, J. P. (Eds.). (2022). *Optimum-Path Forest: Theory, Algorithms, and Applications*. Academic Press.
- Ioannou, C., & Vassiliou, V. (2021). Network attack classification in IoT using support vector machines. *Journal of sensor and actuator networks*, 10(3), 58.
- Islam, U., Muhammad, A., Mansoor, R., Hossain, M. S., Ahmad, I., Eldin, E. T., ... & Shafiq, M. (2022). Detection of distributed denial of service (DDoS) attacks in IOT based monitoring system of banking sector using machine learning models. *Sustainability*, 14(14), 8374.
- Jarjis, A. H., Al Zubaidi, N. Y. S., & Pehlivanoglu, M. K. (2023). Cyber Attacks Classification on Enriching IoT Datasets. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 9(3).

- Koroniotis, N., Moustafa, N., Sitnikova, E., & Turnbull, B. (2019). Towards the development of realistic botnet dataset in the internet of things for network forensic analytics: Bot-iot dataset. *Future Generation Computer Systems*, 100, 779-796.
- Kozik, R., Pawlicki, M., & Choraś, M. (2021). A new method of hybrid time window embedding with transformer-based traffic data classification in IoT-networked environment. *Pattern Analysis and Applications*, 24(4), 1441-1449.
- Nascita, A., Cerasuolo, F., Di Monda, D., Garcia, J. T. A., Montieri, A., & Pescapè, A. (2022, May). Machine and deep learning approaches for IoT attack classification. In *IEEE INFOCOM 2022-IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ray, S. (2019, February). A quick review of machine learning algorithms. In *2019 International conference on machine learning, big data, cloud and parallel computing (COMITCon)* (pp. 35-39). IEEE.
- Sahu, A. K., Sharma, S., Tanveer, M., & Raja, R. (2021). Internet of Things attack detection using hybrid Deep Learning Model. *Computer Communications*, 176, 146-154.
- Ullah, I., & Mahmoud, Q. H. (2021). Design and development of a deep learning-based model for anomaly detection in IoT networks. *IEEE Access*, 9, 103906-103926.
- Woźniak, M., Siłka, J., Wiczorek, M., & Alrashoud, M. (2020). Recurrent neural network model for IoT and networking malware threat detection. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(8), 5583-5594.



# X-Ray Görüntülerinden Covid-19 Tespiti için Hibrit Bir Derin Öğrenme Yaklaşımı

Gizem Öter<sup>1\*</sup>, Emrah Hançer<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1627-3543), [gizemmoterr@gmail.com](mailto:gizemmoterr@gmail.com)

<sup>2</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3213-5191), [ehancer@mehmetakif.edu.tr](mailto:ehancer@mehmetakif.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 8 Ocak 2023 ve Kabul Tarihi 24 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10254260)

**ATIF/REFERENCE:** Öter, G. & Hançer, E. (2023). X-Ray Görüntülerinden Covid-19 Tespiti için Hibrit Bir Derin Öğrenme Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 27-36.

## Öz

Covid-19 salgını tüm dünyada hayatı durma noktasına getirmiş ve binlerce can almıştır. Bu salgın ile mücadelede en önemli unsur erken teşhistir. Erken teşhisle enfekte olan kişi karantinaya alınarak bulaş hızı ve ölüm oranı düşürülebilir. Günümüzde Covid-19'un teşhisinde PCR (Polymerase Chain Reaction- Polimeraz Zincir Reaksiyonu) testlerinden ve akciğer X-Ray görüntülerinden faydalanılmaktadır. PCR testlerinden sonuç almak zaman alabilen bir süreç olduğundan dolayı erken teşhiste X-Ray görüntüleri önem arz etmektedir. Bu çalışmada Covid-19 teşhisinde uzmanlara yardımcı olabilmek amacıyla X-Ray görüntüleri kullanılarak bir teşhis metodolojisi tasarlanmıştır. Metodolojinin ilk aşamasında ön eğitilmiş SqueezeNet mimarisi ile X-Ray görüntülerinden oluşan veri setinden öznelikler çıkarılmıştır. İkinci aşamada, çıkarılan özneliklere en yakın bileşen analizi (neighborhood component analysis (NCA)) uygulanarak mevcut öznelik setinden gürültülü olanları elimine edilmiştir. Son aşamada ise, destek vektör makineleri ile gürültüden arındırılmış öznelik seti üzerinde Covid-19 tespiti gerçekleştirilmiştir. Önerilen metodolojinin performans analizi 5 farklı veri seti üzerinde birden çok derin öğrenme mimarileri ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde önerilen metodolojinin GoogLeNet, ResNet18, MobileNetV2 ve VGG16 mimarilerinden daha başarılı sonuçlar aldığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin Öğrenme, SqueezeNet, Covid-19, NCA.

## A Hybrid Deep Learning Approach for Diagnosis of Covid-19 from X-Ray Images

### Abstract

The Covid-19 epidemic has brought life to a standstill all over the world and claimed thousands of lives. The most important element in combating the epidemic is early diagnosis. It is possible to reduce the rate of transmission and mortality by quarantining the infected person with early diagnosis. Today, PCR (Polymerase Chain Reaction) tests and lung X-Ray images are used in the diagnosis of Covid-19. The purpose of this study is to develop a diagnostic methodology based on X-Ray images in order to assist experts in diagnosing Covid-19. Since getting results from PCR tests is a lengthy process, X-Ray images are important in early diagnosis. In the first stage of the methodology, features are extracted from the dataset consisting of X-Ray images by using a pre-trained SqueezeNet architecture. In the second stage, nearest component analysis (NCA) is applied to the extracted feature set, and noisy ones are eliminated from this feature set. In the final stage, Covid-19 detection is performed on the noise-free feature set with support vector machines. The performance analysis of the proposed methodology is made by comparing it with a variety of deep pre-trained architectures on 5 different datasets. It is obtained from the results that the proposed methodology achieves more successful results than GoogLeNet, ResNet18, MobileNetV2 and VGG16 methodologies.

**Keywords:** Deep Learning, SqueezeNet, Covid-19, NCA.

\* Sorumlu Yazar: [gizemmoterr@gmail.com](mailto:gizemmoterr@gmail.com)

## 1. Giriş

Zamanının küresel sağlık krizi olarak tanımlanan Covid-19 tüm dünyada etkisi göstermektedir. Covid-19 sadece Türkiye’de 16.896.522 vaka sayına ulaşmış ve 101.179 kişinin ölümüne neden olmuştur (Covid-19, 2022). Her ülke virüsle mücadele sürecinde sokağa çıkma kısıtlamaları, seyahat kısıtlamaları, sosyal mesafe, maske zorunluluğu ve hijyen bilincini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmış ve yapmaya devam etmektedir. Ancak, virüsün etkilerini tam anlamıyla bitirilebilmiş değildir (Chowdhury, v.d, 2020).

Kuşkusuz Covid-19 ile mücadelede en önemli hususlardan birisi hızlı tanı ve hızlı müdahaledir. Günümüzde yapılan tanı yöntemlerinden en yaygın PCR (Polimeraz Zincir Reaksiyon) testleridir. Yapılan bu testlerin sonuçlanması 3-5 saat sürebilmektedir. Bu durum ilgili süreci olumsuz etkilemektedir. Bu test yönteminin kitlere bağımlı olması ve kırsal alanlarda erişim sıkıntısı olması gibi olumsuz yönleri vardır. Bu testlerin temel hedefinde, sonucu daha hızlı bir şekilde verebilmek olmasına rağmen maliyetleri fazladır ve test sonucunu alabilme süresi X-ray görüntülerinden alınan sonuçlara oranla daha uzundur.

Röntgen bir diğer adıyla X-ray bir nesnenin içini görselleştirmek için belirli radyasyon türlerini kullanan bir görüntüleme tekniğidir. Tıpta X-ray görüntüleri oldukça erişilebilir ve akciğer koşullarını değerlendirmede kullanılan yaygın bir yöntemdir. Göğüs röntgeni ise göğüs bölümünde bulunan kemik, doku ve organların görüntülenme şeklidir. Covid-19, X-ray görüntülerinde opasifikasyon (Buzlu cam görünümleri) şeklinde belirtilen beyaz lekeler şeklinde görüntülenebilir (Ardakani, v.d, 2020). Bu bağlamda X-ray görüntüleri, Covid-19’un tespitinde kullanılabilir. Buradan yola çıkılarak son zamanlarda bu görüntüler üzerinde derin öğrenme algoritmaları kullanılarak Covid-19 tespiti üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır (Ismael & Şengür, 2021; Demir & Yılmaz, 2021).

(Toğaçar, v.d, 2019) evrişimsel sinir ağlarını kullanarak zatürre hastalığını erken tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmada kullanılan veri seti 1-5 yaş arası çocukların göğüs X-ray görüntülerinden oluşmaktadır. AlexNet mimarisi kullanılarak öznetelik çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen öznetelikler karar ağaçları, destek vektör makinesi, lineer regresyon, doğrusal ayrımcılık analizi, en yakın komşu ve softmax kullanılarak sınıflandırılmıştır. Çalışmada en iyi sonuçların destek vektör makinesiyle alındığı gözlemlenmiştir.

(Minaee, v.d, 2020) evrişimsel sinir ağlarını kullanarak Covid-19 tespitine yardımcı olmayı amaçlamışlardır. Birden fazla kaynaktan toplanan 5000 X-ray görüntüsünden yeni veri seti oluşturulmuştur. Veri seti SqueezeNet, ResNet50, ResNet18 ve DenseNet-161 mimarileri kullanılarak eğitilmiştir. Sonuçlara bakıldığında çok az bir farkla SqueezeNet mimarisine daha başarılı sonuçlar alındığı söylenebilmektedir.

(Rahman, v.d, 2020) bakteriyel zatürre ve zatürrenin otomatik olarak tespit edebilmesine yönelik bir çalışma ortaya koymuşlardır. Çalışmada 5247 X-ray görüntüsünden oluşan veri seti ve AlexNet, ResNet18, Squezenet, DenseNet201 mimarileri kullanılmıştır. DenseNet201 mimarisi ile en başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

(Eryılmaz & Karacan, 2021) COVID-19 ve diğer akciğer hastalıklarına ait X-Ray görüntüleriyle çoklu sınıflandırma yapılmasını amaçlamıştır. Veri setinde yer alan 11.293 X-Ray görüntüsü MobileNetV2, NASNetMobile, Xception ve DenseNet121 mimarileri kullanılarak sınıflandırılmış ve sonuçların karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Çalışmada en iyi sonuçlar DenseNet121 ve MobileNet mimarileri kullanılarak elde edilmiştir.

(Özcan, 2020) GoogleNet, ResNet18 ve ResNet50 mimarilerini kullanılarak Covid-19 tespitine yardımcı olacak bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmada Grid Search ve öğrenme aktarımı destekli evrişimsel sinir ağına dayalı bir yöntem önerilmiştir. Kullanılan veri seti %50 eğitim, %20 doğrulama ve %30 test olacak şekilde ayrılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, en başarılı sonucun Grid Search ve ResNet50 kullanılarak sağlandığı gözlemlenmiştir. Bir başka çalışmada, (Özcan, 2021) X-ray görüntülerinden çıkarılan derin öznetelikler kullanılarak Covid-19 vakalarının tespit edilmesinde yeni bir birleşik model yaklaşımı önerilmiştir. Yaklaşımın single layer-based (SLB) ve feature fusion-based (FFB) olmak üzere iki varyansı vardır. SLB modeli, ön işleme, derin öznetelik çıkarımı, son işleme ve sınıflandırma aşamalarından oluşmaktadır. FFB modeli ise ön işleme, derin öznetelik çıkarımı, öznetelik birleştirme, son işleme ve sınıflandırma aşamalarından oluşmaktadır. Öznetelik çıkarma aşamasında kullanılan katmanların sayısı ve ikili kombinasyonuna göre dört farklı SLB ve altı farklı FFB modeli geliştirilmiştir. Her model için ikili ve çoklu sınıflandırma işlemi yapılmıştır. FFB3 modeli ile daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalardan görüleceği üzere, X-Ray görüntülerinden Covid-19 başta olmak üzere çeşitli hastalıkların otomatik olarak tespit edilmesine yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir. Ancak mevcut çalışmaların çoğunluğu belirli bir veri seti üzerinde yoğunlaşmakta ve bundan kaynaklı olarak farklı veri setine uygulandığında istenilen performansı göstermeyebilir. Dolayısıyla farklı veri setleri üzerinde uygulanarak geliştirilmiş hastalık tespit metodolojilerine ihtiyaç vardır. Literatürdeki çalışmalarda görülen bir başka husus da evrişimsel sinir ağı mimarilerinin kullanımına ilişkindir. Her ne kadar ilgili derin öğrenme mimarileri görüntülerden ilgili özneteliklerin çıkarılmasında çok iyi yöntemler olsa da elde edilen özneteliklerin tamamının kullanılması, oluşturulacak olan sınıflandırma modelinin performansına ve verimliliğine olumlu katkı sağlaması mümkün olmayabilir. Bir diğer söylemle çıkarılan özneteliklerde faydalı olanlar ve gereksiz veya alakasız olanlarla beraber bulunabilmektedir. Bu sebepten ötürü gereksiz veya alakasız olan öznetelikleri elimine eden öznetelik seçme algoritmalarının kullanımı ihtiyaç söz konusudur.

Bu çalışmanın amacı, mevcut X-Ray görüntülerinden Covid-19 hastalığı tespitine yönelik olarak genelleştirilmiş bir metodoloji ortaya koymaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için öncelikle üç aşamalı bir derin öğrenme tabanlı Covid-19 tespit metodolojisi geliştirilmiştir. İlk aşamada ön eğitimli SqueezeNet mimarisi (Iandola, v.d, 2016) ile X-Ray görüntülerinden özneteliklerin çıkarılması sağlanır. İkinci aşamada çıkarılan özneteliklerden komşuluk bileşen analizi (neighborhood component analysis (NCA)) algoritması (Goldberger, v.d, 2004) ile ilgili olan özneteliklerin seçilmesi sağlanır. Son aşamada ise seçilen öznetelik alt seti üzerinde destek vektör makineleri (support vector machines (SVM)) algoritması ile bir sınıflandırma modeli oluşturularak Covid-19 tespiti gerçekleştirilir. Geliştirilen metodoloji spesifik bir veri setine göre dizayn edilmeyip 5 farklı Covid-19 ile ilişkili veri setleri üzerinde uygulanmıştır.

Çalışmanın diğer bölümlerinin tasarımı şu şekilde tasarlanmıştır: Bölüm 2’de kullanılan veri setleri ve önerilen Covid-19 tespit yöntemi anlatılmıştır. Bölüm 3’te metodolojide kullanılan algoritmaların parametre ayarları ve değerlendirme için kullanılan metrikler verilmiştir. Ardından elde edilen deneysel sonuçlar tartışılmıştır. Son bölümde ise çalışmanın genel değerlendirmesi yapılacak olup ilerde yapılması muhtemel çalışmalara değinilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Veri Setleri

Dataset 1, GitHub’tan (Covid chestxray dataset, 2022) alınmıştır. Pozitif olan veya şüphelenilen hastaların akciğer röntgen görüntüleri farklı hastanelerden alınarak veri seti oluşturulmuştur. Veri seti Montreal Üniversitesi Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır. Veri setinde Covid-19, normal ve zatürre bireylerin X-ray görüntüleri yer almaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Dataset 1 (Table 1. Dataset 1)

Sınıf Etiketi	Sayı
Covid-19	125
Normal	500
Zatürre	500
Toplam	1125

Dataset 2, Kaggle’dan (Curated chest X-ray image dataset for Covid-19, 2022) alınmıştır. Veri seti 15 farklı kaynaktan alınan verilerin harmanlanmasıyla oluşturulmuştur. Veri setinde Covid-19, zatürre, bakteriyel zatürre ve normal bireylerin X-ray görüntüleri yer almaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Dataset 2 (Table 2 Dataset 2)

Sınıf Etiketi	Sayı
Covid-19	1281
Bakteriyel Zatürre	3001
Normal	3270
Zatürre	1656
Toplam	9208

Dataset 3, Kaggle’dan (Covid-19 radiography database, 2022) alınmıştır. Katar Üniversitesi, Dakka Üniversitesi, Bangladeş'ten bir araştırma ekibi, Pakistan ve Malezya'dan işbirlikçiler ve doktorların yardımıyla 43 farklı kaynaktan yararlanılarak bu veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde Covid-19 ,zatürre, akciğer opaklığı ve normal bireylerin X-ray görüntüleri yer almaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Dataset 3 (Table 3. Dataset 3)

Sınıf Etiketi	Sayı
Covid-19	3616
Akciğer Opaklığı	6012
Normal	10192
Zatürre	1345
Toplam	21165

Dataset 4, Kaggle’dan (Covid-19 detection X-ray dataset, 2022) alınmıştır. Farklı kaynaklardan alınan veriler derlenerek hazırlanmış bir veri setidir. Veri setinde Covid-19, bakteriyel zatürre, zatürre ve normal bireylerin X-ray görüntüleri yer almaktadır (Tablo 4).

Tablo 4. Dataset 4 (Table 4. Dataset 4)

Sınıf Etiketi	Sayı
Covid-19	60
Bakteriyel Zatürre	650
Normal	880
Zatürre	412
Toplam	2002

Dataset 5, Kaggle’dan (Covid X-ray dataset, 2022) platformundan alınmıştır. Farklı kaynaklardan alınan veriler derlenerek hazırlanmış bir veri setidir. Veri setinde Covid-19 ve normal bireylerin X-ray görüntüleri yer almaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. Dataset 5 (Table 5. Dataset 5)

Sınıf Etiketi	Sayı
Covid-19	1790
Normal	1301
Toplam	3091

## 2.2. Önerilen Metodoloji

Önerilen derin öğrenme tabanlı Covid-19 tespit metodolojisi Şekil 1’de sunulmuştur. Şekil 1’den görüleceği üzere öncelikli olarak verilerin toplaması gerçekleştirilmiştir. Ardından SqueezeNet ile öğrenme aktarımı (transfer learning) işlemi uygulanarak özneliklerin çıkartılması sağlanmıştır. Çıkarılan öznelik setine daha sonra NCA öznelik seçme algoritması uygulanarak gürültülü özneliklerin elimine edilmesi sağlanmıştır. Son olarak geriye kalan alt öznelik seti ile SVM algoritması kullanılarak bir Covid-19 tespit modeli oluşturulmuştur.

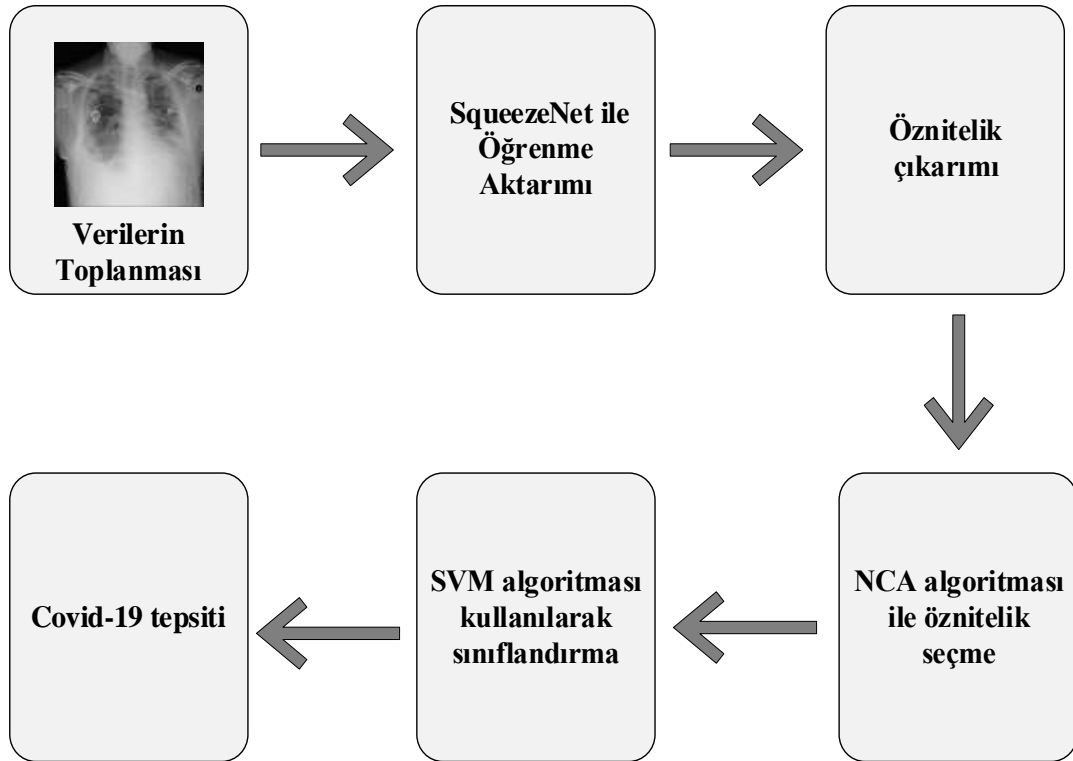
### 2.2.1. SqueezeNet

Iandola ve arkadaşları evrişimli sinir ağları mimarileri içerisinde yer alan SqueezeNet modelini 2016 yılında önermişlerdir. SqueezeNet, AlexNet’e kıyasla 50 kat daha az parametre kullanarak aynı işlemleri yapabilmektedir. Bunun yanı sıra model sıkıştırma teknikleri ile SqueezeNet 0,5 MB’den daha az veya AlexNet’ten 510 kat daha küçük olacak şekilde sıkıştırılabilmektedir. Böylece bellekte daha az yer kaplayan ve AlexNet’e kıyasla daha kısa öğrenme süresi olan bir mimarıdır. Günümüzde bu gibi olumlu yanlarından dolayı sıklıkla kullanılmaktadır (Iandola, v.d, 2016; Polat & Özerdem, 2021; Öter, 2023).

SqueezeNet önerilen ateşleme modüllerinden oluşmaktadır. Ateşleme modülünde genişletilmiş ve sıkıştırılmış katmanlar yer almaktadır. Genişletilmiş katman,  $1 \times 1(e_{1 \times 1})$   $3 \times 3(e_{3 \times 3})$  filtrelerinden oluşmaktadır. Sıkıştırılmış katman ise  $1 \times 1(s_{1 \times 1})$  filtresinden oluşmaktadır. SqueezeNet modelinde genişletilmiş katmandaki toplam filtre sayısı, sıkıştırılmış katmandaki toplam filtre sayısından büyük olarak ayarlanmıştır ( $\text{num}[(e_{1 \times 1}) + (e_{3 \times 3})] > \text{num}[(s_{1 \times 1})]$ ).

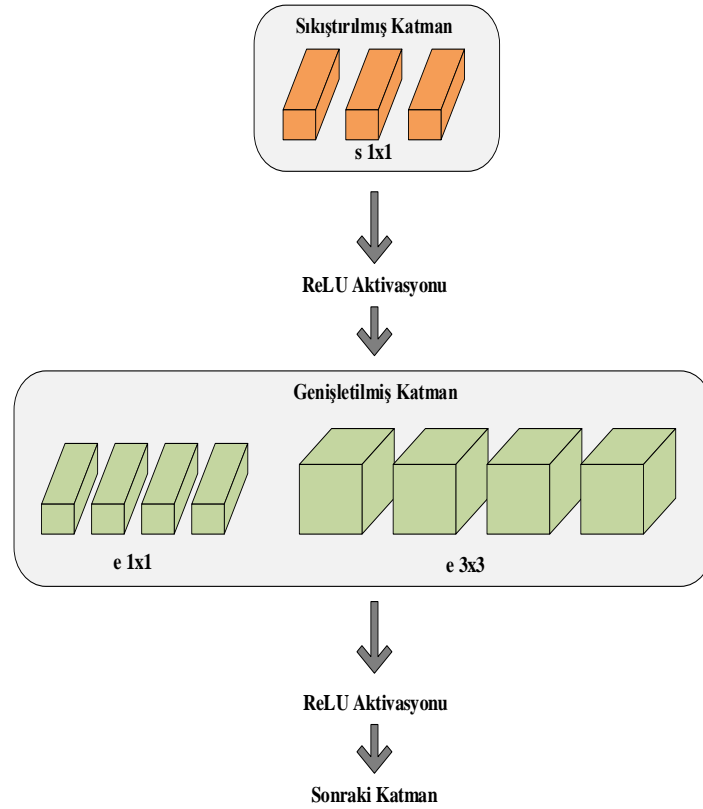
Genişletilmiş katmandaki toplam filtre sayısı, sıkıştırılmış katmandaki toplam filtre sayısından büyük olabilmesi için giriş kanal sayısının  $3 \times 3$  filtrelere sınırlandırılması gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

Metodolojide kullanılan yöntemler sırasıyla devam eden alt bölümlerde açıklanmıştır.



Şekil 1. Çalışmanın Metodolojisi (Figure 1. Methodology of the Study)





Şekil 2. Ateşleme modülündeki evrişim filtrelerinin organizasyonu. Bu örnekte;  $s1x1=3$   $e1x1=4$  ve  $e3x3=4$  olarak ayarlanmıştır. (Figure 2. Organization of convolution filters in the Fire module. In this example,  $s1x1=3$ ,  $e1x1=4$ , and  $e3x3=4$ .)

### 2.2.2. En Yakın Bileşen Analizi (NCA)

Günümüzde çok sayıda büyük boyutlu verilerin ortaya çıkmasıyla birlikte makine öğrenmesi uygulamalarında öznitelik seçimi önem kazanmıştır. Öznitelik seçimi, belirli bir veri kümesindeki gereksiz ve aykırı öznitelikleri çıkararak alt küme oluşturma tekniğidir (Hançer, v.d, 2015). Öznitelik seçme yöntemlerinden biri olan Neighborhood Component Analysis (Komşuluk Bileşen Analizi), sınıflandırma doğruluğunu maksimize edecek şekilde öznitelik ağırlıklandırma vektörünü öğrenen en yakın komşu tabanlı öznitelik ağırlıklandırma algoritmasıdır. Eğitim veri setindeki her bir örneğin kendi bulunduğu sınıftaki örneklerle komşu olabileme ihtimali artırılmaktadır. Komşuluk bileşen analizinde özniteliklerin arasındaki mesafe ölçümleri ve ağırlıkları baz alınarak yapılmaktadır (Goldberger, v.d, 2004; İsmailoğlu, 2021; Hançer, 2020). NCA algoritması non-parametrik ve denetimli öğrenme algoritmaları içerisinde yer almaktadır (Özyurt, 2019; Tuncer & Ertam, 2020).

$T = \{(x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_N, y_N)\}$ , bir eğitim kümesi olduğu varsayılırsa,  $x_i$  d boyutlu bir değişken vektörünü,  $y_i \in \{1, \dots, C\}$  sınıf etiketini ve N örnek sayısını ifade eder. Amaç, en yakın komşu algoritmasını optimize eden öznitelik alt kümesini seçmek için uygun olan ağırlık ( $w$ ) vektörünün bulunmasıdır (Yang, v.d, 2012).

### 2.2.3. Destek Vektör Makineleri (SVM)

Destek vektör makinelerinin temeli 1963'te Vladimir Vapnik ve Alexey Chervonenkis tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra 1995 yılında Vladir Vapnik, Isabelle Guyon ve Bernhard Boser tarafından (Boser, Guyon & Vapnik, 1992) destek vektör makinesinin (SVM) temeli geliştirilmiştir. İlk olarak sınıflandırma problemlerine çözüm olarak ortaya çıkarılmış daha sonra regresyon problemlerine uyarlanmıştır. Temel gayesi iki sınıfın ayrımını en iyi şekilde belirleyecek hiper-düzlemi bulmaktır (Cortes & Vapnik, 1995). Destek vektör makineleri verilerin türüne bağlı olarak çekirdek fonksiyonlarda kullanılabilir. Bu sayede hem doğrusal hem de doğrusal olmayan sınıflandırmayı yapabilmektedir. Eğer tam ayrıştırılabilen veriler kullanılırsa, hiper düzlem ile sınıflandırma yapılabilir. Tam ayrıştırılamayan veriler kullanılırsa da aynı boyutta tek bir düzlem ile sınıflandırma yapılmaktadır. Destek vektör makineleri, işlem basamaklarını azaltmasından dolayı çözümlemeyi hızlı bir şekilde yapabilmektedir. Bu gibi özelliklerinden dolayı büyük verilerin analizinde sıklıkla tercih edilmektedir (Ayhan & Erdoğmuş, 2014; Öter, 2023).

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Deneysel Dizayn

Çalışmada ilk olarak SqueezeNet ile öznitelik çıkarımı yapılmıştır. SqueezeNet'in 66. katmanı olan "pool10" kullanılmış ve katmandan alınan öznitelikler SVM algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Veri setleri %80 eğitim %20 test olacak şekilde ayrılmıştır. Başarıyı arttırmak içinde SqueezeNet ile öznitelik çıkarımı yapıldıktan sonra NCA algoritması kullanılarak öznitelik seçme yapılmıştır. NCA algoritmasının parametreleri eşik değeri 0.02 ve iterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Öznitelik seçme işlemi ile elde edilen öznitelikler SVM algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır.

Önerilen metodolojinin performansını değerlendirmek için kullandığımız başlıca metrikler şunlardır:

a) *Doğruluk (Accuracy)*: Doğruluk değeri, doğru tahmin edilmiş verilerin toplam veri setine oranını ifade etmektedir.

$$\frac{TN + TP}{TN + TP + FP + FN} \quad (1)$$

Burada TP ve TP gerçek pozitif (true positive) ve gerçek negatifi (true negative) temsil ederken, FP ve FN yanlış pozitif (false positive) ve yanlış negatifi (false negative) temsil etmektedir.

b) *Kesinlik (Precision)*: Doğru tespit edilen pozitif sınıfların toplam pozitif değerlere oranıdır.

$$\frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

c) *Duyarlılık (Recall)*: Doğru tespit edilen pozitif sınıfların gerçek pozitif değerlere oranıdır.

$$\frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

d) *F1-Skoru (F1-Score)*: F1-skoru, kesinlik ve duyarlılık ölçütlerinin harmonik ortalamasıdır.

$$2 * \frac{(Recall * Precision)}{(Recall + Precision)} \quad (4)$$

e) *Cohen'in Kappa Katsayısı (Cohen Kappa Score)*: Cohen Kappa, iki veya daha fazla gözlemci arasındaki değişimleri hesaplayarak uyumu ölçen bir yöntemdir. Hesaplanırken  $P_0$  ve  $P_c$  kullanılmaktadır.  $P_0$ , uyumların toplamının oranını ifade eder.  $P_c$  ise uyumların şansa bağlı ortaya çıkma olasılığını ifade etmektedir. Kappa -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Değer +1 ise uyumun tam olduğu, 0 ise uyumun şansa bağlı olduğu, -1 ise uyumsuzluğun tam olduğu ifade edilmektedir.

$$k = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \quad (5)$$

Önerilen metodolojinin karşılaştırmalı performans analizi için şu derin öğrenme mimarileri kullanılmıştır:

a) *GoogleNet*, havuzlama katmanları da dahil olmak üzere 27 katmandan oluşmaktadır. ILSVR 2014 yarışmasında %5.7 hata oranıyla birinci olmuştur (Szegedy, v.d, 2015).

b) *ResNet18*, 18 katman derinliğinden oluşan bir mimaridir. ResNet18, 50, 101 ve 152 olmak üzere farklı mimarileri de bulunmaktadır. Bu mimariler aynı mantığı takip eder tek farkları ağdaki katman sayılarıdır (He, v.d, 2016).

c) *MobileNetV2*, 53 katman derinliğinden oluşan bir mimaridir. MobileNetV2'in hesaplama gücü diğer mimarilere göre daha düşüktür. Böylece düşük donanım gücüne sahip bilgisayarlara ve mobil cihazlara daha kolay adapte olabilen bir mimari olmaktadır (Sandler, v.d, 2018).

d) *VGG16*, 2014 yılında ILSVR yarışmasında tanıtılmıştır. 13 evrişim ve 3 tam bağlı katmanlardan oluşan evrişimsel bir sinir ağıdır. ImageNet veri setindeki görüntüler ile eğitilmiş ve %89 oranında başarı elde etmiştir (Simonyan & Zisserman, 2014; Bozkurt, 2021).

### 3.2. Deneysel Sonuçlar

Deneysel sonuçlar doğruluk, f1-skor, kappa, duyarlılık, kesinlik ve boyut üzerinden Tablo 6 ve 7'de sunulmuştur. İlgili tablolarda 'boyut' elde edilen öznitelik sayısını temsil etmektedir. Tablo 6'da iki metodoloji bulunmaktadır: 'SqueezeNet' mevcut özniteliklerin ilgili derin öğrenme yöntemi ile çıkarılarak öznitelik seçme yapılmadan elde edilen sonuçları ve 'SqueezeNet-NCA' ise, önerilen metodoloji ile elde edilen sonuçları ifade etmektedir. Bir diğer söylemle mevcut metodolojilerin birbirinden tek farkı, birinin öznitelik seçme aşamasını uygulamamasıdır.

Tablo 6'ya göre, önerilen metodoloji diğer metodolojiye oranla daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Üç ve daha fazla sınıf içeren ilk dört veri setinde sınıflandırma performansı artarken veri setinin boyutu da önemli ölçüde azaltılmıştır. Örneğin, Dataset 1 ve Dataset 2'de boyut yaklaşık olarak 5 buçuk kat azalmasına rağmen sınıflandırma doğruluk oranı %6-%7 oranında artmıştır. Diğer iki sınıf bilgisi içeren Dataset 5 ise yine önemli ölçüde öznitelik sayısı azaltılmış ve sınıflandırma performansı genel olarak korunmuştur. Her ne kadar Dataset 5'te ufak bir performans kaybı olsa da öznitelik sayısındaki yaklaşık 7 kat azalma bu durumu kabul edilebilir kılmaktadır.

Tablo 7'ye göre, SqueezeNet ile oluşturulan Covid-19 tespit metodolojisi genel olarak diğer derin öğrenme mimarilerinden daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. Sadece Dataset 5'te SqueezeNet-NCA GoogLeNet-NCA'nın yaklaşık olarak %1 oranında gerisinde kalmıştır. Elde edilen öznitelik sayılarına bakıldığında ise, bir metodolojinin diğerine keskin bir üstünlüğü söz konusu olmayıp genel olarak tüm metodolojiler gürtültülü öznitelikleri elimine etmekte başarılı bir performans sergilemiştir. Sonuç olarak önerilen Covid-19 tespit metodolojisi üç ve daha fazla sınıf içeren veri setlerinde ortalama %83.49 gibi bir oran elde ederken, bu oran iki sınıflı veri setinde



%93.85'e kadar çıkmıştır. Bu durum öznelik seçmenin derin öğrenmede ne kadar hayati bir öneme sahip olduğunu ve önerilen metodolojinin doğru bir şekilde dizayn edildiğini göstermektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Covid-19 tespiti için geliştirilmiş bir metodoloji önerilmiştir. Önerilen metodoloji spesifik bir veri seti yerine X-Ray görüntülerinden oluşturulmuş 5 farklı veri seti üzerinde ve 5 farklı metodoloji ile performans analizi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken sınıflandırıcı olarak SVM, öznelik seçme için ise NCA algoritmalarından yararlanılmıştır. Çalışmada önerilen 'SqueezeNet-NCA' metodolojinin gerek veri setleri ile gerekse farklı mimariler ile karşılaştırılması sonucunda başarılı sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Literatürde her ne kadar bu alanla ilgili birçok çalışma yapılmış olsa da birden fazla veri setinin kullanıldığı, öznelik seçme ve NCA algoritmasının ele alındığı çalışmaların son derece az olduğu saptanmıştır. Bu çalışma ile bir nebze olsa değinilmeyen bu konular ele alınarak literatürdeki boşlukların giderilmesi amaçlanmıştır. Bundan sonraki çalışmada geliştirilmiş bir Covid-19 veri seti oluşturulması üzerinde çalışılması düşünülmektedir.

Tablo 6. Deneysel Çalışma Sonuçları (Table 6. Results of Experimental Study)

Dataset	Yöntem	Doğruluk	F1-Skor	Kappa	Duyarlılık	Keskinlik	Boyut
Dataset 1	SqueezeNet	74.22	78.16	55.61	72.67	84.55	1000
	<b>SqueezeNet-NCA</b>	<b>80.44</b>	<b>84.15</b>	<b>67.33</b>	<b>85.33</b>	<b>83</b>	<b>184</b>
Dataset 2	SqueezeNet	79.74	78.98	71.96	80.32	77.68	1000
	<b>SqueezeNet-NCA</b>	<b>86.22</b>	<b>88.77</b>	<b>76.87</b>	<b>89.67</b>	<b>87.89</b>	<b>184</b>
Dataset 3	SqueezeNet	75.40	79.31	64.22	81.30	77.41	1000
	<b>SqueezeNet-NCA</b>	<b>85.78</b>	<b>85.83</b>	<b>77.78</b>	<b>84.68</b>	<b>87.02</b>	<b>548</b>
Dataset 4	SqueezeNet	80.25	75.86	69	68.45	85.06	1000
	<b>SqueezeNet-NCA</b>	<b>81.50</b>	<b>80.33</b>	<b>71.36</b>	<b>78.69</b>	<b>82.04</b>	<b>214</b>
Dataset 5	<b>SqueezeNet</b>	<b>95.15</b>	<b>95.02</b>	<b>90.04</b>	<b>95.02</b>	<b>95.02</b>	<b>1000</b>
	SqueezeNet-NCA	93.85	93.69	87.39	93.69	93.69	149

Tablo 7. Deneysel Çalışmanın Karşılaştırma Sonuçları (Table 7. Comparative Results of the Experimental Study)

Dataset	Yöntem	Doğruluk	F1-Skor	Kappa	Duyarlılık	Kesinlik	Boyut
Dataset 1	<b>SqueezeNet-NCA</b>	<b>80.44</b>	<b>84.15</b>	<b>67.33</b>	<b>85.33</b>	<b>83</b>	<b>184</b>
	GoogLeNet-NCA	71.11	72.13	49.61	65.33	80.50	183
	ResNet18-NCA	79.11	78.41	64.57	77.33	79.52	228
	MobileNetV2-NCA	75.56	74.81	58.44	73.67	75.99	229
	VGG16-NCA	77.33	79.59	61.36	77	82.36	166
Dataset 2	<b>SqueezeNet-NCA</b>	<b>86.22</b>	<b>88.77</b>	<b>76.87</b>	<b>89.67</b>	<b>87.89</b>	<b>184</b>
	GoogLeNet-NCA	81.21	79.32	73.48	79.11	79.52	291
	ResNet18-NCA	83.60	81.76	76.71	80.44	83.12	366
	MobileNetV2-NCA	65.78	70.38	40.32	63.33	79.20	345
	VGG16-NCA	53.83	70.12	40.71	61.68	81.23	294
Dataset 3	<b>SqueezeNet-NCA</b>	<b>85.78</b>	<b>85.83</b>	<b>77.78</b>	<b>84.68</b>	<b>87.02</b>	<b>548</b>
	GoogLeNet-NCA	80.86	81.32	69.41	77.44	85.60	458
	ResNet18-NCA	78.76	81.01	69.11	84.16	78.09	582
	MobileNetV2-NCA	81.78	81.35	70.50	74.83	89.13	557
	VGG16-NCA	80.51	81.14	68.57	75.74	87.37	474
Dataset 4	<b>SqueezeNet-NCA</b>	<b>81.50</b>	<b>80.33</b>	<b>71.36</b>	<b>78.69</b>	<b>82.04</b>	<b>214</b>
	GoogLeNet-NCA	78.75	76.57	67.52	73.72	73.66	210
	ResNet18-NCA	81.25	78.59	71.21	75.60	81.82	256
	MobileNetV2-NCA	78.75	76.33	66.51	68.61	86.01	249
	VGG16-NCA	77.75	73.97	65.52	75.80	72.23	188
Dataset 5	SqueezeNet-NCA	93.85	93.69	87.39	93.69	93.69	149
	<b>GoogLeNet-NCA</b>	<b>95.15</b>	<b>95.03</b>	<b>90.05</b>	<b>95.07</b>	<b>94.98</b>	<b>146</b>
	ResNet18-NCA	93.37	93.22	86.42	93.33	93.11	148
	MobileNetV2-NCA	94.50	94.36	88.72	94.41	94.32	179
	VGG16-NCA	94.34	94.29	88.47	94.59	94	145

## 5. Kaynakça

- Ardakani, A. A., Kanafi, A. R., Acharya, U. R., Khadem, N. ve Mohammadi, A. (2020). Application of deep learning technique to manage Covid-19 in routine clinical practice using CT images: Results of 10 convolutional neural networks. *Computers in Biology and Medicine*, 121(103795), 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2020.103795>
- Ayhan, S. ve Erdoğmuş, Ş. (2014). Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(1), 175-201. <https://dergipark.org.tr/pub/oguiibf/issue/5712/76473>
- Bozkurt, F. (2021). Derin öğrenme tekniklerini kullanarak akciğer X-ray görüntülerinden Covid-19 tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 149-156. doi: 10.31590/ejosat.898385
- Chowdhury, M. E., Rahman, T., Khandakar, A., Mazhar, R., Kadir, M. A., Mahbub, Z. B., Islam, K. R., Khan, M. S., Al-Emadi, N., Reaz, M. R ve Islam, T. I (2020). Can AI help in screening viral and Covid-19 pneumonia?. *IEEE Access*, 8, 132665-132676. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010287.
- Cortes, C. ve Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273-297. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00994018>
- Covid chestxray dataset. Github. Erişim Tarihi: 7 Ağustos 2022, <https://github.com/ieee8023/covid-chestxray-dataset>
- Covid-19 detection X-ray dataset. Kaggle. Erişim Tarihi: 7 Ağustos 2022, <https://www.kaggle.com/datasets/darshan1504/covid19-detection-xray-dataset>
- Covid-19 radiography database. Kaggle. Erişim Tarihi: 7 Ağustos 2022, <https://www.kaggle.com/datasets/tawsifurrahman/covid19-radiography-database>
- Covid-19. T.C. Sağlık Bakanlığı. Erişim Tarihi: 10 Ekim 2022, <https://covid19.saglik.gov.tr>
- Covid X-ray dataset. Kaggle. Erişim Tarihi: 7 Ağustos 2022, <https://www.kaggle.com/datasets/ahemateja19bec1025/covid-xray-dataset>
- Curated chest X-ray image dataset for Covid-19. Kaggle. Erişim Tarihi: 7 Ağustos 2022, <https://www.kaggle.com/datasets/unaisait/curated-chest-xray-image-dataset-for-covid19>
- Demir, F. B. ve Yılmaz, E. (2021). X-ray görüntülerinden Covid-19 tespiti için derin öğrenme temelli bir yaklaşım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 32, 627-632. doi: 10.31590/ejosat.1039522
- Eryılmaz, F. ve Karacan, H. (2021). Akciğer X-ray görüntülerinden Covid-19 tespitinde hafif ve geleneksel evrimsel sinir ağ mimarilerinin karşılaştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(6), 26-39. doi: 10.29130/dubited.1011829
- Goldberger, J., Hinton, G. E., Roweis, S. Ve Salakhutdinov, R. R. (2004). Neighbourhood components analysis. *Advances in Neural Information Processing Systems* 17 (NIPS).
- Hancer, E. New filter approaches for feature selection using differential evolution and fuzzy rough set theory. *Neural Comput & Applic*, 32, 2929–2944 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04744-7>
- Hançer, E., Xue, B., Karaboğa, D., & Zhang, M. (2015). A binary ABC algorithm based on advanced similarity scheme for feature selection. *Applied Soft Computing*, 36, 334-348. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.07.023>
- He, K., Zhang, X., Ren, S. ve Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, NV, USA, 770-778. doi: 10.1109/CVPR.2016.90 770-778.
- Iandola, F. N., Han, S., Moskewicz, M. W., Ashraf, K., Dally, W. J. ve Keutzer, K. (2016). SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size. *arXiv preprint arXiv:1602.07360*.
- Ismael, A. M. ve Şengür, A. (2021). Deep learning approaches for Covid-19 detection based on chest X-ray images. *Expert Systems with Applications*, 164 (114054). doi: 10.1016/j.eswa.2020.114054
- İsmailoğlu, F. (2021). Metrik öğrenmesi kullanarak çeşitli kanser dokularına ait mikro dizi gen verilerinin sınıflandırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9 (5), 1739-1753. doi: 10.29130/dubited.886353
- Minaee, S., Kafieh, R., Sonka, M., Yazdani, S. ve Jamalipour Soufi, G. (2020). Deep-Covid: Predicting Covid-19 from chest X-ray images using deep transfer learning. *Medical image analysis*, 65 (101794). doi: <https://doi.org/10.1016/j.media.2020.101794>
- Öter, G. (2023). *X-ray görüntülerinden covid-19 tespiti için derin öğrenme tabanlı modellerin geliştirilmesi* (Yayın Nu. 790127) [Yüksek lisans tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi].
- Özcan, T. (2020). A deep learning framework for coronavirus disease (COVID-19) Detection in X-Ray Images. *Research Square*. doi:10.21203/rs.3.rs-26500/v1.
- Özcan T. (2021). A new composite approach for Covid-19 detection in X-ray images using deep features. *Applied Soft Computing*, 111, 107669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107669>
- Özyurt, F. (2019). Uzaktan Algılama Görüntülerinin Evrimsel Sinir Ağları ve Komşuluk Bileşen Analizi Tabanlı Özniteliklerinin Sınıflandırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (3), 669-675. doi: 10.35414/akufemubid.558311
- Polat, H. ve Özerdem, M. S. (2021). Derin transfer öğrenimi yaklaşımı ile kamusal alanda medikal maske kullanımının otomatik kontrolü. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10 (2), 191-198. doi: 10.46810/tdfd.948098
- Rahman, T., Chowdhury, M. E., Khandakar, A., Islam, K. R., Islam, K. F., Mahbub, Z. B., M.A., Kadir ve Kashem, S. (2020). Transfer learning with deep convolutional neural network (CNN) for pneumonia detection using chest X-ray. *Applied Sciences*, 10(9), 3233. doi: <https://doi.org/10.3390/app10093233>
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A. ve Chen, L. C. (2018). Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks. *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, USA, 4510-4520. doi: 10.1109/CVPR.2018.00474.
- Simonyan, K. ve Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, 1-14.

- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V. ve Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Boston, MA, USA, 1-9. doi: 10.1109/CVPR.2015.7298594
- Toğaçar, M., Ergen, B. ve Sertkaya, M. E. (2019). Zatürre hastalığının derin öğrenme modeli ile tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31 (1), 223-230. <https://dergipark.org.tr/pub/fumbd/issue/43638/498364>
- Tuncer, T., & Ertam, F. (2020). Neighborhood component analysis and reliefF based survival recognition methods for Hepatocellular carcinoma. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 540, 123143. 10.1016/j.physa.2019.123143.
- Yang, W., Wang, K. ve Zuo, W. (2012). Neighborhood component feature selection for high-dimensional data. *Journal of Computers*, 7(1), 161-168.





# Şikayet İçeren Müşteri Yorumlarının Tespiti ve Sınıflandırılması

Elif Ayanoğlu<sup>1\*</sup>, Zeynep Çolak<sup>2</sup>, Toygar Tanyel<sup>3</sup>, Hasan Yunus Sarioğlu<sup>4</sup>, Banu Diri<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Computer Engineering, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0009-0000-1340-4870), elif.ayanoglu@std.yildiz.edu.tr

<sup>2</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Computer Engineering, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0009-0004-8515-3109), zeynep.colak@std.yildiz.edu.tr

<sup>3</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Computer Engineering, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2421-6880), toygar.tanyel@std.yildiz.edu.tr

<sup>4</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Computer Engineering, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0009-0000-5566-6190), yunus.sarioglu@std.yildiz.edu.tr

<sup>5</sup> Yıldız Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Computer Engineering, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4052-0049), diri@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Mart 2023 ve Kabul Tarihi 24 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10254498)

**ATIF/REFERENCE:** Ayanoğlu, E., Çolak, Z., Tanyel, T., Sarioğlu, H.Y. & Diri, B. (2023). Detection and Classification of Customer Comments Containing Complaints. *European Journal of Science and Technology*, (52), 37-45.

## Öz

Şikayet içeren müşteri yorumlarının tespiti ve sınıflandırılması sistemi, e-ticaret sitelerindeki ürünlere yapılmış olan olumsuz yorumlarda, yorum yapan kişinin aslında ürünün veya hizmetin tam olarak hangi özelliğinden şikayetçi olduğunu tespit etmek amacıyla geliştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında ürün hakkında yapılan bir yorumun olumlu veya olumsuz olup olmadığı %95 doğrulukla tespit edilmiştir. İkinci aşamasında da yapılan olumsuz yorumun yazarların belirlemiş olduğu 5 adet kategoriden hangisine dahil olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Seçilen kategorileri ifade eden önceden belirlenmiş anahtar kelimelerin Word2Vec ile çıkarılmış kelime vektörleri ile yorum içerisinde geçen kelime ve BERT ile elde edilen cümle vektör değerleri arasındaki yakınlık kosinüs benzerliği ile ölçülerek yoruma ait olan şikayet kategorisi veya kategorileri belirlenmiştir. En başarılı yöntem Word2Vec ile çıkarılmış olan kelime vektörlerinin kullanıldığı yöntem olmuştur ve bu yöntemde yorumlara ait olan şikayet kategorisi tek etiketli yorumlar için %82,5, iki etiketli yorumlar için de %82 doğrulukla tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Duygu Analizi, hedef tabanlı, BERT, Word2Vec, CNN, LSTM

## Detection and Classification of Customer Comments Containing Complaints

### Abstract

The detection and classification of customer reviews containing complaints system has been developed in order to determine exactly which feature of the product or service the person making the comment actually complains about in the negative comments made to the products on the e-commerce sites. In the first stage of the study, it was determined with 95% accuracy whether a comment about the product was positive or negative. In the second stage, it has been tried to determine which of the 5 categories that the authors have determined is included in the negative comment. Complaint category or categories belonging to the comment were determined by measuring the closeness between the word vectors extracted with Word2Vec of the predetermined keywords expressing the selected categories, the word in the comment and the sentence vector values obtained with the BERT, by measuring the cosine similarity. The most successful method was the method using word vectors extracted with Word2Vec, and in this method, the complaint category belonging to the comments was determined with an accuracy of 82.5% for single-label comments and 82% for two-label comments.

**Keywords:** Sentiment Analysis, Aspect Based, BERT, Word2Vec, CNN, LSTM

\* Sorumlu Yazar: [elif.ayanoglu@std.yildiz.edu.tr](mailto:elif.ayanoglu@std.yildiz.edu.tr)

## **1. Introduction**

The amount of content that is created through different channels (e.g. video, audio, text) is dramatically increased in social media. A wide range of content on social media comes from people who produce natural language, complaints, hence comments. Identifying customer comments that contain complaints and classifying them under certain headings is quite an important concern for companies. By making inferences from the existing customer comments, companies can make more reasonable decisions to improve their relations with their customers, and to determine their marketing strategies. Although there are many existing studies for different languages in this problem, the number of studies for Turkish is quite limited.

Sentiment analysis studies are carried out in two different stages as text/sentence or target category level. Text/sentence level analyses aim to figure out the emotional polarity of the idea in the text. Emotion polarity is evaluated according to two (positive, negative) or three (positive, negative and neutral) categories. Most of the existing studies are based on classification of the dominant emotion in the text/sentence. In some of the studies, Dictionary-based approaches have been used to determine the dominant emotion. (Akgül et al., 2016; Karamollaoğlu et al., 2018; Yurtalan et al., 2019) utilized Twitter data, (Vural et al., 2013; Dehkharghani et al., 2017; Dehkharghani, 2018; Uslu et al., 2019) worked with movie reviews, (Öztürk and Ayvaz, 2018) investigated the issue of Syrian crisis and refugees on Twitter, (Karaöz and Burcu, 2018) used TV program comments from Twitter, and (Atan and Çınar, 2019) have worked on newspaper financial news. (Velioğlu et al., 2018; Shehu et al., 2019; Karcıoğlu and Aydın, 2019) also utilized Twitter data, (Shehu and Tokat, 2020; Uslu et al., 2019; Akba et al., 2014; Kaynar et al., 2016) investigated film reviews, (Parlar et al., 2018) worked on both film reviews and product reviews of Hepsiburada.com, (Nizam and Akin, 2014), (Nalçakan et al., 2015) used product comments on Twitter, (Öztürk et al., 2017) analyzed student comments made on Twitter, (Demirci et al., 2019), (Kaya et al., 2012) have worked on the prediction of emotion using machine learning methods on political events.

Deep learning architectures have also been used in some studies in the field. (Ciftci and Apaydin, 2018) RNN (Recurrent Neural Network) on product and movie reviews from Hepsiburada.com and Beyazperde, (Santur, 2019) GRU (Gated Recurrent Unit), (Ahmetoğlu and Resul, 2020) used the BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) model to predict mood on hotel reviews and product and movie reviews from RNN, (Acikalin et al., 2020) Hepsiburada.com and Beyazperde.

Sentiment Analysis studies are called “Aspect Based Sentiment Analysis” if they are carried out to determine the emotional state in the target category, that is, the sub-categories of an event. There are very few studies for Turkish literature in this area. (Kama et al., 2017; Karagoz et al., 2019) determined the target features in the sentence using the comments in the “DonanimHaber” which is one of the first websites built on computer technology in Turkey, and then they scored the emotional states. (Bayraktar et al., 2019) proposed a holistic method using statistical, linguistic and rule-based approaches for sentiment analysis based on Turkish linguistics on Turkish restaurant data set shared within the scope of SemEval-Aspect Based Sentiment Analysis (ABSA-2016). (Çetin and Eryiğit, 2018) worked on determining the target category and target term, the category and target at the same time, and the emotion class, based on the Turkish restaurant comments shared at SemEval ABSA-2016 competition. For the first three tasks, they tried to solve the problem in one step by using CRF (Conditional Random Fields) with word vectors and natural language processing outputs.

The aim of this study is to report the complaints about the product under the specified headings among the negative comments made about any clothing brand. Section 2 introduces the utilized data set, section 3 includes the methods used are briefly mentioned, section 4 provides information about the proposed system, section 5 and section 6, discuss the success of the system and its positive/negative points.

## **2. Material & Methods**

### **2.1. Dataset**

The data set used in this study was prepared by retrieving the customer comments published on Trendyol between 17th of March 2022 and 9th of April 2022. Since the developed system will be modeled for the clothing category, only the comments of the products belonging to this category are taken. In evaluation, users can give 1 to 5 stars, and make comments on Trendyol's website. While we automatically labeled the emotional states of the comments within the scope of the study, we gave negative labels for 1 and 2-star comments, and positive labels for 4 and 5-star comments. Ultimately, the data set contains 103,303 comments, 52,754 of comments were positive which labeled as “1”, and 50,544 of the comments were negative which labeled as “0”. Some samples from the dataset are shown in Table 1.

### **2.2. Methods**

In this section, brief information will be given about Word2Vec and BERT, which are used to obtain the vector values of words and sentences, and machine and deep learning approaches as classification methods.

#### **2.2.1. Vector Acquisition Techniques**

Word2Vec is an unsupervised, prediction-based model used to represent words as vectors. Word2Vec creates word vectors from the text that it takes as input by using CBOW (Continuous Bag of Words) or Skip-Gram algorithms.

In CBOW, the model predicts each word in a text by using a context window that is the words close to the word to be predicted. The order of words in context window is not important in this approach because it assumes that similar words should be used in similar context and there is no need to keep the order of words to predict a word in a context.

In Skip-Gram, the model do not use a context to predict a word. It predicts the context using only the word in the center.

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) is a relatively recent article by Google AI Language researchers (2018). BERT's ability to deliver state-of-the-art (best and most advanced) results on various NLP tasks has made a significant impact on the deep learning community.

BERT does not process words sequentially like RNNs and LSTMs so when we call BERT as a bidirectional model, we do not mean left-to-right and right-to-left. It processes all the words at the same time. The order of words disappears when we process words together but BERT uses positional embeddings to solve this problem.

BERT uses Masked-language Modeling (MLM) and Next Sentence Prediction (NSP) tasks in the training process. In MLM, the model predicts the masked words in a text. In NSP, it tries to predict whether the second sentence of input is actually comes after the first sentence or not. Therefore, it captures contextual information at word and sentence level. We utilized BERTurk which is a pre-trained version of BERT for Turkish.

Both Word2Vec and BERT were trained for some tasks but while they were training, they learned how to represent words. Thanks to their skills to create meaningful embeddings, we use them for different tasks by training just additional task-specific layer(s).

### **2.2.2. Machine Learning Techniques**

In this study, machine learning techniques MNB (Multinomial Naive Bayes), SVM (Support Vector Machine) and LR (Logistic Regression) are used. Naive Bayes is a classification method which is a collection of many Bayes' Theorem algorithms. The multinomial model is used to classify data that cannot be represented numerically. Support Vector Machines are used in classification problems. Draws a line to separate points placed on a plane. SVM aims to have this line at the maximum distance within the points of its two classes. Logistic Regression is also utilized to classify categorical and numerical data. The kernel type for SVM was selected as 'rbf', gamma parameter as 'auto' and max\_iter as 5000. For Logistic Regression, solver type is implemented as 'lbfgs' and max\_iter is 5000. Completely default parameters are applied for MNB.

### **2.2.3. Deep Learning Techniques**

Convolutional Neural Networks are known for their ability to extract as many features as possible from its inputs. Also, CNN reduces the overfitting by overriding the contribution of some neurons to the next layer. LSTM (Long Short Term Memory) keeps the chronological order between words in the document like RNNs. However, unlike RNNs, it uses input, forget and output gates so it has the ability to decide how much information should be transferred to next steps.

In this study, it is preferred to use a model that combines the strengths of LSTM with the feature extraction feature of CNN (Tanyel et al., 2022). In this study, CNN and LSTM are combined and used as a single model. The features extracted by CNN are used as input for LSTM (CNN to LSTM).

## **2.3. Recommended System**

The developed system consists of two stages. In the first stage, it is decided whether a comment given to the system contains a complaint or not. In the second stage, it is determined which complaint category the comment found to contain a complaint belongs to. Each stage of the system is presented in Figure 1. Task codes, can be found at our GitHub repository <https://github.com/elifayanoglu/complaint-classification>.

### **2.3.1. Sentiment Analysis**

We created word vectors using different techniques for both words and sentences for 103,303 comments whose class was set as 0 "negative" and 1 "positive". Before extracting the word vectors, initially preprocessing steps are applied on the comments. The steps of removing unnecessary words (stop words), converting to lowercase, removing punctuation marks and emojis have been carried out. Spelling errors were corrected using the zemberek library. For the Word2Vec part, Tensorflow's Tokenizer function is used for tokenization. (Bu cümleden sonra BERT'te tokenization işlemi nasıl yaptık o gelecek)After obtaining the word vectors with BOW, we created our second new word vectors with Word2Vec, which we trained with our own dataset. Vector values for sentences are also extracted with the pre-trained BERTurk model. After providing the vectors, which are the output of the BOW model, providing as input to the MNB model. Word2Vec vectors were given to the model consisting of the combination of CNN and LSTM. Output vectors of the Word2Vec and BERTurk are given to SVM and another machine learning model, LR. Our aim in the experiments is to experience more than one model to compare the differences between the results and to identify the model that works best for our data set.

### **2.3.2. Identifying Subcategories**

We decided to continue with an unsupervised learning method since the comments containing complaints do not have a category label, but we observed that the clustering methods we chose did not yield successful results as we expected. For this reason, we preferred a rule-based classification method using cosine similarity, which measures the similarity between two vectors (1).

$$\cos(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\|A\| \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sum_{i=1}^n A_i^2 B_i^2} \quad (1)$$

The goal is to categorize negative comments therefore, half of the dataset is used at this stage and the label information of the categories was not available in the dataset. To implement the proposed system, first the dataset was examined in detail and 5 complaint categories, which were mostly mentioned in the comments, were determined. These categories are named as "fabric and stitch", "model and size", "colour", "image relevance", "cargo and delivery". Then, the 96 words that were mentioned the most in the negative comments in the data set was detected. These words were carefully selected by examining the 50K negative comments in the dataset. It was determined which words were most commonly used to express complaints for each category. Words that pass above a certain frequency are included in the list. These words are used as keywords to define the categories we have determined. A total of 31 keywords were defined for the "fabric and stitch" category, 8 for the "colour" category, 29 for the "model and size" category, 16 for the "image relevance" category, and 12 for the "cargo and delivery" category. These keywords are as presented in Table 3. We used these keywords directly to evaluate our Word2Vec-based system. But, since it makes more sense to get sentence embedding from BERT than word embedding, we created a small list of negative comments that include our keywords to evaluate our BERT-based system.

In this section, first of all, the Word2Vec vectors of the keywords representing our target categories and the Word2Vec vectors of the words belonging to the negative comments to which category they belong to were obtained. Afterwards, the following operations are performed: Cosine similarity is checked between the vector of the first word belonging to the first category from our 5 categories and all the words of the sentence to be categorized. The highest cosine similarity value is retained. This process is repeated for all keywords of the first category. The obtained 31 (the number of fabric/stitch category keywords) similarity values higher than the threshold are counted and divided by 31 to normalize. The same process is repeated for the other categories. The number we divide to normalize is the number of keywords in each category. Thus, the 5 values obtained were examined. The category with the highest value was assigned as the first label. If the second highest value was not much lower than the first, it was processed and labeled as the second label. While performing this process, if no similarity value remains above the threshold, it is labeled as "does not belong to any category".

In the BERT section, where we work on a sentence basis, the process changes as follows: The keywords belonging to the categories are now converted into sentences, and the similarity between the vector of these sentences and the negative comment vector that is desired to be categorized is checked.

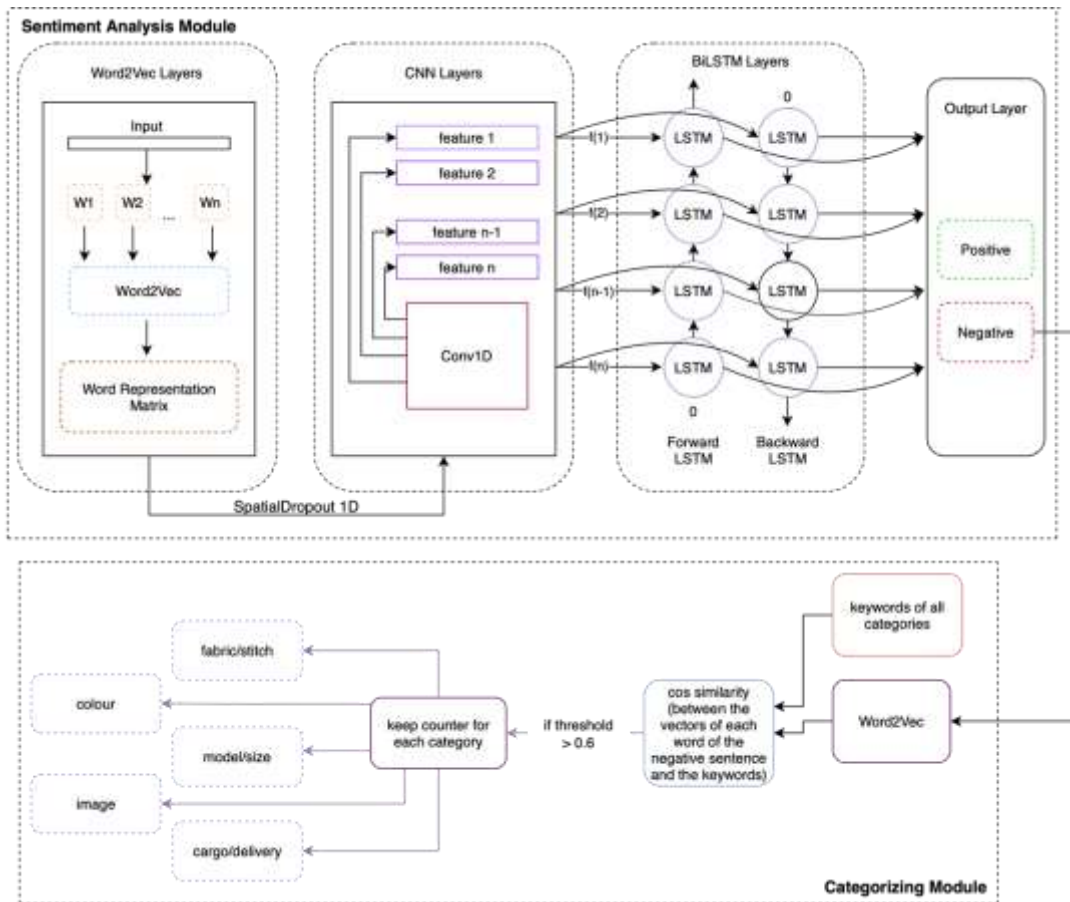


Figure 1. System work flow.



When we investigated the points where the system failed, the following conclusions were drawn for Word2Vec and BERT.

**Evaluation of Word2Vec for Subcategory Detection.**

**Example - 1:**

TR - "beğenmedim kumasni filan"

EN - "I didn't like the fabri or somethin"

Prediction: "Does not belong to any category"

Word2Vec is a weak model against typos. While the comment in the example-1 should be in the "fabric and sewing" category, an important word in the sentence was misspelled, so the system could not find a word that has high cosine similarity with the keywords, and the sentence was evaluated incorrectly. While some typos can be corrected with the Zemberek library, some of them could not be corrected as in this example.

**Example - 2:**

TR - "gerçekten pes beden olarak xl seçmeme rağmen birim gelmiş biri l bravooooo iadede edemiyorum şimdi ne yapacağım ben bunları ? tebrikler trendyol"

EN - "I really can't believe it. Although I chose XL for the size, one of them came in L, bravooooo I can't send them back, what should I do now? Congratulations trendyol"

Prediction: "fit and size"

If the complaint comment is written in long and rarely used patterns, it can be miscategorized. In the example-2, although the size is mentioned in the comment, the user is actually trying to explain that the wrong size was sent to him. This is actually a "cargo and delivery" issue. In addition, the system can assign two tags for a comment. However, the second label could not be assigned because the cosine similarity calculated in this interpretation was below the specified threshold value.

Table 3. Keywords for categories

Category	Keywords
Kumaş ve dikiş	ince, incecik, inceydi, yırtık, delik, çektii, yırtıldı, sökük, kalitesi, kaliteli, kalitesiz, gösteriyor, naylon, kalın, yamuk, dandik, dikiş, dikişleri, dikişi, dikmişler, defolu, terleten, terletiyor, terletecek, terletir, kumaş, kumaşı, kumaşımı, kumaşın, küçüldü, kayboldum
Renk	rengi, rengini, renginin, soluk, solmuş, soluyor, soldu, canlı
Kalıp ve beden	bol, boldu, büyük, küçük, dardı, dar, geniş, pot, potluk, kesiminde, kesiminden, oversize, kesim, kesimi, kesimleri, kolları, uzun, kısa, boyu, kalıbı, kalıp, kalıbını, beden, bedeni, bedenim, bedene, bedenler, bedenleri
Görselle alaka	alakası, fotoğraf, fotoğrafta, fotoğraftaki, fotoğraftakinden, fotoğrafla, fotoğraftakiyle, görüldüğü, görseldeki, görseldekiyle, görselle, görsel, resimdeki, resimdekinden, resimdekiyle, resimde
Kargo ve teslimat	teslimat, yavaş, geç, paketleme, kargo, leke, lekeli, etiketsiz, kusurlu, yanlış, eksik, yerine

**Example - 3:**

TR - "kalıbını beğenmeyip iade ettim ."

EN - "I didn't like the fit and returned it."

Prediction: "fit and size & fabric and sewing "

In example sentence-3: "I returned it because I didn't like its fit."

System-provided labels: Label one: "Fit and Size", Label two: "Fabric and Sewing".

The categories of 'Fit and Size' and 'Fabric and Sewing' are the ones that are most frequently confused with each other. It is possible for a sentence that should belong to only one category to be mistakenly labeled as both 'Fabric and Sewing' and 'Fit and Size' at the same time.

**Example - 4:**

TR - "ürün genel anlamda duruşu kumaşı güzel fakat lekeli geldi keşke kontrol etseydiniz ."

EN - "overall, the product's fit and its fabric is good but it came stained I wish you had checked it."

Prediction: "cargo and delivery & fabric and sewing"

Since both the complained side and the good side of the product are described in the sentence, the positive description of the product is also labeled as a complaint.

Apart from the above examples, the accuracy of the system is high. The reason for this is that enough keywords are defined for the categories. In addition, Word2Vec's analysis of word-based similarities allowed it to yield very good results. An example of a successful conclusion is given in example-5.

**Example - 5:**

TR - "bu lekeler nedir ya . hiç mi kontrol eidlmiyor . xs aldığım halde omuzları oturması . beden çok bol"

EN - "What are these stains. is it not contrloled at all. even though I bought xs, shoulders don't fit. size is too large"

**Evaluation of BERT for Subcategory Detection.**

**Example - 6:**

TR - "S aldım. 170 boy 56 kg. Ama aşırı büyük oldu.. Üzülerek iade ediyorum"

EN - "I bought an S. 170 height 56 kg. But it was too large.. I'm sorry to return it"

Prediction: "Does not belong to any category."

The prediction of example-6 was incorrect because the similarity between the vector of the sentence and the BERT vectors of the sentences representing the "fit and size" category was not high enough.

**Example -7:**

TR - "Ürünün kumaşı kalın ve güzel ama kalıbı o kadar kötü ki . Giyilecek gibi değil ."

EN - "The fabric of the product is thick and beautiful, but its fit is so bad. It is not suitable for wearing."

Prediction: "cargo and delivery & color"

In example-7, the customer is satisfied with the fabric but complains about the fit of the product. However, the system also perceives the positive part as a complaint.

**Example - 8:**

TR - "her yerinde kalem izleri var m neden değil sanki kalıbı da aşırı büyük değişim istiyorum"

EN - "It have pen marks all over it why it is not m as it is too large for m I want to change it"

Prediction: "Does not belong to any category."

There are 4 sentences in the example-8, but a conjunction or punctuation is not used between the sentences. In this case, the expression "it is too large for m" could not affect the vector of the sentence as much as it should, and the comment could not be labeled with the "fit and size" category.

**Example - 9:**

TR - "tek kullanımlık yıkandıktan sonra giyilmez"

EN - "it is for single use cannot be worn after washing"

Prediction: "fabric and sewing"

In the example-9, the poor quality of the fabric is indirectly explained. However, the system using BERT vectors and cosine similarity correctly predicted the label of this interpretation.

**Example - 10:**

TR - "ürün aşırı bol salaş görseldekine aldanmayın ama iade işiyle uğraşmayacağım"

EN - "the product is too baggy shabby don't be fooled by the image but I will not bother to return it"

Prediction: "image relevance & fit and size"

Successful estimation of both complaint tags with the system using BERT vectors can be seen in example-10.

## 3. Results & Discussion

### 3.3.1. Results of the Sentiment Analysis Stage

The success of the sentiment analysis of the model, which is a combination of the BOW model and the MNB model, was found to be 92%. When the Word2Vector vectorizer was added to the model consisting of a combination of CNN and LSTM, the classification success was 95%. Output vectors of Word2Vec and BERTurk were given to SVM and the model achieved 88% and 92% accuracy, respectively. Then, using the vector outputs of Word2Vec and BERTurk and another machine learning model, LR, 86% and 91% rates were achieved. As a result, 95% success was achieved with W2V + CNN + LSTM. The accuracy, f1 score, precision, recall, and AUC (Area Under the ROC Curve) of all methods are presented in Table 2.

Table 2. Results of the models

	Accuracy	F1 Score	Precision	Recall	ROC_AUC
<b>W2V + CNN + LSTM</b>	0.95	0.95	0.95	0.95	<b>0.95</b>
<b>BERT + SVM</b>	0.92	0.92	0.92	0.93	0.92
<b>W2V + SVM</b>	0.88	0.88	0.88	0.89	0.88
<b>BERT + LR</b>	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
<b>W2V + LR</b>	0.86	0.87	0.86	0.86	0.86
<b>BOW + Multinomial NB</b>	0.91	0.92	0.91	0.92	0.92

### 3.3.2. Results of Subcategories Determination Stage

To test the system we proposed, first of all, we chose 200 random negative comments with a single category in order to measure the success of Word2Vec and BERT separately. Then, we labeled these comments manually and then got the results with Word2Vec and BERT. Since we obtained the most successful results with Word2Vec in the sentiment analysis, which is the first stage of the system, only the error matrices of the operation performed with Word2Vec are shown while the results of the first stage are shared. The F1 scores of these error matrices, which can also be seen in Table 4, are as follows: 93% for "fabric and sewing" and "fit and size" categories, 96% for "color", 100% for "image relevance" and 88% for "cargo-delivery".

Some comments may contain sentences related to more than one category. In the dataset we use, each comment has a maximum of two categories. The number of correct detections of all categories using both Word2Vec and BERT is as seen in Table 5. While Word2Vec was more successful when there were two different categories in the comment, BERT was more successful in predicting a single category.

Table 4. Error matrix for all categories of single-label comments with Word2Vec

		Category					
Prediction	Fabric			Prediction	Size		
		True				True	
		Fabric	Other			Size	Other
	Fabric	62	6		Size	52	1
	Other	4	128	Other	7	140	
Prediction	Colour			Prediction	Relevance to the Image		
		True				True	
		Colour	Other			Image	Other
	Colour	12	1		Image	16	0
	Other	0	187	Other	0	183	
Prediction	Cargo and Delivery						
		True					
		Cargo	Other				
	Cargo	23	2				
	Other	4	171				

Table 5. Estimation by number of Word2Vec and BERT tags (for the selected 200 comments)

Method	Number of Comments		
	Two tags are correct	Only one tag is correct	Both tags are wrong
Word2Vec	164	36	0
BERT	63	115	12

## 4. Conclusion

In this study, a complaint detection and classification method for the Turkish language has been proposed, considering that it is critical for companies to ensure customer satisfaction in the developing competitive environment.

In the first stage of the study, the comments written by the customers about the product were divided into two categories, with and without complaints, with a success rate of 95%. In the second stage, the categories of comments containing complaints were tried to be detected. During the category detection phase, Word2Vec and BERT were used for word vectors and sentence vectors respectively. Categorization with Word2Vec vectors yielded more successful results than with BERT vectors. The success of the operation using Word2Vec was measured by the F1 score. The F1 score for single-label comments is 0.94. For double-labeled comments, the F1 score was 0.82.

While the successes with Word2Vec were higher in sentences containing common words, BERT gave more successful results if the complaint was expressed indirectly or if common words were not used.

In this study, when categorizing on a sentence basis, that is, when using BERT vectors comments consisting of more than one sentence were evaluated as a single sentence. However, if there is more than one sentence in the comments, using the sentences separately, can make the comment more similar to the key sentences. However, the fact that users generally do not use punctuation and conjunctions in comments complicates this situation.

Another point where the system fails is that the positive side of the comment is also perceived as a complaint. For the solution of this problem, it may be useful to divide the comment into sentences using the conjunctions in the comment. If the conjunction in the sentence is a conjunction that combines opposite meanings, such as "but" or "however", processing the sentences separately, can be a solution.

In addition, it was observed in this study that spelling mistakes affect success. While correcting the English keyboard characters by using the normalization function in the Zemberek library increased the scores, it was not successful at the desired level for other spelling mistakes.

## References

- Acikalin, U. U., Bardak, B., & Kutlu, M. (2020, October). Turkish sentiment analysis using bert. In *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.
- Tanyel, T., Alkurdi, B., & Ayvaz, S. (2022, September). Linguistic-based Data Augmentation Approach for Offensive Language Detection. In *2022 7th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ahmetoğlu, H., & Resul, D. A. Ş. (2020). Türkçe Otel Yorumlarıyla Eğitilen Kelime Vektörü Modellerinin Duygu Analizi ile İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 455-463.
- Akba, F., Uçan, A., Sezer, E. A., & Sever, H. (2014, July). Assessment of feature selection metrics for sentiment analyses: Turkish movie reviews. In *8th European Conference on Data Mining* (Vol. 191, No. 2002, pp. 180-184).
- Akgül, E. S., Ertano, C., & Diri, B. (2016). Twitter verileri ile duygu analizi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(2).
- Suat, A. T. A. N., & ÇINAR, Y. (2019). Borsa İstanbul'da finansal haberler ile piyasa değeri ilişkisinin metin madenciliği ve duygu (sentiment) analizi ile incelenmesi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 74(1), 1-34.
- Bayraktar, K., Yavanoglu, U., & Ozbilen, A. (2019, December). A rule-based holistic approach for Turkish aspect-based sentiment analysis. In *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 2154-2158). IEEE.
- Çetin, F. S., & Eryiğit, G. (2018). Türkçe hedef tabanlı duygu analizi için alt görevlerin incelenmesi-hedef terim, hedef kategori ve duygu sınıfı belirleme. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11(1), 43-56.
- Ciftci, B., & Apaydin, M. S. (2018, September). A deep learning approach to sentiment analysis in Turkish. In *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*(pp. 1-5). IEEE.
- Dehkharghani, R. (2018). A hybrid approach to generating adjective polarity lexicon and its application to turkish sentiment analysis. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 11(11), 11.
- Dehkharghani, R., Yanikoglu, B., Saygin, Y., & Oflazer, K. (2017). Sentiment analysis in Turkish at different granularity levels. *Natural Language Engineering*, 23(4), 535-559.
- Demirci, G. M., Keskin, Ş. R., & Doğan, G. (2019, December). Sentiment analysis in Turkish with deep learning. In *2019 IEEE international conference on big data (big data)* (pp. 2215-2221). IEEE.
- Kama, B., Ozturk, M., Karagoz, P., Toroslu, I. H., & Kalender, M. (2017, November). Analyzing implicit aspects and aspect dependent sentiment polarity for aspect-based sentiment analysis on informal Turkish texts. In *Proceedings of the 9th international conference on management of digital EcoSystems* (pp. 134-141).
- Öztürk, Z. K., Cicek, Z. I., & Ergül, Z. (2017). Sentiment analysis: an application to anadolu university.
- Karagoz, P., Kama, B., Ozturk, M., Toroslu, I. H., & Canturk, D. (2019). A framework for aspect based sentiment analysis on turkish informal texts. *Journal of Intelligent Information Systems*, 53, 431-451.
- Karamollaoğlu, H., Doğru, İ. A., Dörterler, M., Utku, A., & Yıldız, O. (2018, September). Sentiment analysis on Turkish social media shares through lexicon based approach. In *2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 45-49). IEEE.
- Karaöz, B., & Gürsoy, U. T. (2018). Adaptif öğrenme sözlüğü temelli duygu analiz algoritması önerisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11(3), 245-253.
- Karcioğlu, A. A., & Aydın, T. (2019, April). Sentiment analysis of Turkish and english twitter feeds using Word2Vec model. In *2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.
- Kaya, M., Fidan, G., & Toroslu, I. H. (2012, December). Sentiment analysis of Turkish political news. In *2012 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology* (Vol. 1, pp. 174-180). IEEE.
- Kaynar, O., Görmez, Y., Yıldız, M., & Albayrak, A. (2016, September). Makine öğrenmesi yöntemleri ile Duygu Analizi. In *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP'16)* (Vol. 17, No. 18, pp. 17-18).
- Nalçakan, Y., Bayramoğlu, Ş. S., & Tuna, S. (2015). *Sosyal Medya Verileri Üzerinde Yapay Öğrenme ile Duygu Analizi Çalışması*. Technical Report.
- Nizam, H., & Akın, S. S. (2014). Sosyal medyada makine öğrenmesi ile duygu analizinde dengeli ve dengesiz veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması. *XIX. Türkiye'de İnternet Konferansı*, 1(6).
- Parlar, T., Özel, S. A., & Song, F. (2018). QER: a new feature selection method for sentiment analysis. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 8, 1-19.
- Santur, Y. (2019, September). Sentiment analysis based on gated recurrent unit. In *2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)* (pp. 1-5). IEEE.



- Shehu, H. A., & Tokat, S. (2020). A hybrid approach for the sentiment analysis of Turkish Twitter data. In *Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering Problems: Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIAME 2019)* (pp. 182-190). Springer International Publishing.
- Shehu, H. A., Tokat, S., Sharif, M. H., & Uyaver, S. (2019, December). Sentiment analysis of Turkish Twitter data. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2183, No. 1, p. 080004). AIP Publishing LLC.
- Uslu, A., Tekin, S., & Aytakin, T. (2019, April). Sentiment analysis in Turkish film comments. In *2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.
- Velioğlu, R., Yıldız, T., & Yıldırım, S. (2018, September). Sentiment analysis using learning approaches over emojis for Turkish tweets. In *2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)* (pp. 303-307). IEEE.
- Vural, A. G., Cambazoglu, B. B., Senkul, P., & Tokgoz, Z. O. (2013). A framework for sentiment analysis in turkish: Application to polarity detection of movie reviews in turkish. In *Computer and information sciences III: 27th international symposium on computer and information sciences* (pp. 437-445). Springer London.
- Yurtalan, G., Koyuncu, M., & Turhan, Ç. (2019). A polarity calculation approach for lexicon-based Turkish sentiment analysis. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 27(2), 1325-1339.
- Öztürk, N., & Ayvaz, S. (2018). Sentiment analysis on Twitter: A text mining approach to the Syrian refugee crisis. *Telematics and Informatics*, 35(1), 136-147.



# 1970-2020 Yılları Arasında Antakya Kahramanmaraş Grabeninde Ekstrem Sıcaklıkların Trend Analizi

Kübra Aydın<sup>1</sup>, Murat Karabulut<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Avşar Kampüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş, (ORCID: 0000-0003-0656-4133), [kbrnda4246@gmail.com](mailto:kbrnda4246@gmail.com)

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Avşar Kampüsü, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş (ORCID: 0000-0002-1456-6908), [mkarabulutksu@gmail.com](mailto:mkarabulutksu@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 26 Mayıs 2023 ve Kabul Tarihi 10 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10254598)

**ATIF/REFERENCE:** Aydın, K. & Karabulut, M. (2023). 1970-2020 Yılları Arasında Antakya Kahramanmaraş Grabeninde Ekstrem Sıcaklıkların Trend Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 46-63.

## Öz

İklim sisteminde geçmişten günümüze küresel boyutta uzun veya kısa süreli değişimler meydana gelmiştir. Öncesinde doğal nedenlerle yavaş bir şekilde gerçekleşen bu değişimler, 19. yüzyılda yoğun sanayileşme hareketlerinin başlamasıyla birlikte ekolojik dengede bozulmalara neden olmuştur. Çalışma alanını da içerisine alan Doğu Akdeniz Havzası iklim değişiminden en çok etkilenen alanlar arasında yer almaktadır. Havza'da özellikle yazın sıcaklıklar ortalamaların üzerine çıkarak ekstrem hava olaylarında artışlar yaşanmaktadır. Bu çalışmada, Antakya- Kahramanmaraş grabeni üzerinde 1970-2020 yılları arasını kapsayan 4 istasyona ait günlük maksimum ve minimum sıcaklıkları kullanılmıştır. Sıcaklık ekstremlerinde meydana gelen değişimleri incelemek için R tabanlı RClindex isimli bir program ve Mann Kendall trend analizi tekniği uygulanmıştır. RClindex programı kullanılarak WMO (Dünya Meteoroloji Organizasyonu) ve CLIVAR (Okyanus-Atmosfer Sisteminin Değişkenlik ve Öngörülebilirliği)'in önerdiği 15 adet iklim indisi üretilmiştir. Seçilen istasyonların sonuçlarına göre; soğuk ekstrem indislerde azalma eğilimi belirlenirken sıcak ekstremlerde istatistiksel olarak anlamlı artışlar yaşanmıştır. Sıcak gün ve sıcak gecelerde istasyonların tamamında %95 anlamlılık düzeyinde artışlar görülmüştür. Donlu gün sayıları ve soğuk devre süresi indislerinde ise azalmalar gözlenmiştir. Sıcak günlerdeki artışlar nedeniyle sahada gündüz ölçülen sıcaklıklarda önemli yükselmeler gerçekleşirken; sıcak gecelerde meydana gelen artışlarda gece ölçülen sıcaklıklarda dikkate değer yükselmeler tespit edilmiştir. Antakya- Kahramanmaraş grabeninde ekstrem sıcaklık rejiminde meydana gelen değişimlerin doğal çevre ve ekosistemi üzerinde, bölgeye has etkilerinin olabileceği ön görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Antakya-Kahramanmaraş, İklim İndisleri, Ekstrem sıcaklık, Mann Kendall

## Trend Analysis of Extreme Temperatures in Antakya Kahramanmaraş Graben between 1970-2020

### Abstract

In the climate system, long or short-term changes have occurred on a global scale from past to present. These changes, which took place slowly due to natural reasons, caused deterioration in the ecological balance with the beginning of intensive industrialization movements in the 19th century. The Eastern Mediterranean basin, which includes the study area, is among the areas most affected by climate change. Especially in summer, temperatures rise above the average and there is an increase in extreme weather events. In this study, the daily maximum and minimum temperatures of 4 stations on the Antakya- Kahramanmaraş graben covering the years 1970-2020 were used. A program called RClindex, an R-based software, and Mann Kendall trend analysis technique were applied to examine the changes in temperature extremes. Using the RClindex program, 15 climate indices recommended by WMO (World Meteorological Organization) and CLIVAR (Variability and Predictability of the Ocean-Atmosphere System) were produced. According to the results of the selected stations; while a decreasing trend was determined in cold extreme indices, statistically significant increases were experienced in hot extremes. Increases at the 95% significance level were observed in all stations during hot days and hot nights. On the other hand, decreases were observed in the number of frost days and cold period indices. Due to the increases in hot days, significant increases occurred in the temperatures measured during the day in the field while significant increases were observed in the temperatures measured at night in the increases that occurred during the hot nights. It is predicted that changes in the extreme temperature regime in the Antakya-Kahramanmaraş graben may have region-specific effects on the natural environment and ecosystem\*

**Keywords:** Antakya-Kahramanmaraş, Climate Indices, Extreme Temperature, Mann Kendall

\* Kübra AYDIN: [kbrnda4246@gmail.com](mailto:kbrnda4246@gmail.com)

## 1. Giriş

Kompleks bir yapıya sahip olan iklim, yeryüzünde fiziki ve beşerî birçok faktörden etkilenmektedir. 19. yüzyılın ortalarında sanayi devrimiyle artış gösteren sera gazları önemli iklim elemanlarından biri olan sıcaklıklar üzerinde değişimlere sebep olmuştur (Kadioğlu, 1997). Ekstrem sıcaklıklar neticesinde geçmişte uzun süreli sıcak ve soğuk dönemler yaşanırken (Vincent vd., 2005), son yüzyılda küresel ortalama yüzey sıcaklıkları şiddetlenerek artış trendi içerisine girmiştir (Jones vd., 2012). İklimde meydana bu değişimler ekstrem hava olaylarının sıklığı, zamanlaması, yoğunluğu ve süresini değiştirerek gelecekte afet niteliğinde olaylarla sonuçlanabilmektedir (Zhang vd., 2019). IPCC'nin raporunda, 21. yüzyıldan sonra kuraklık, sel ve taşkın gibi ekstrem olayların kısa periyotlarla gerçekleşerek şiddetlendiği tespit edilmiştir (IPCC, 2001). Seneviratne ve diğerlerine göre (2012), ortaya çıkan ekstrem hava olayların devamlılığı halinde doğal çevre ve insan faaliyetleri üzerinde doğrudan olumsuz etkilerin gerçekleşeceği belirtilmiştir. Bu nedenle değişen iklim dinamiklerine karşı uyum sağlayarak önlem almak için ekstrem sıcaklıkların nasıl değiştiğini ve gelecekteki durumunu bilmek önem arz etmektedir.

Son yıllarda küresel ve bölgesel ölçekte iklim ve iklim değişikliği çalışmalarında artışlar yaşanarak daha güncel sonuçlar elde edilmiştir. Alexander vd., (2006)'nin küresel ölçekte 16 sıcaklık indisi kullanarak yaptıkları analizlerde küresel ölçekte minimum sıcaklıklar kullanılarak elde edilen indislerin 20. yüzyılın sonunda belirginleşen ısınmadan dolayı 1951-2003 periyodunda değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada global ölçekte 1901-2010 periyodu için HadEX2 grid veri setinden elde edilen sıcaklık ekstremlerinde artışların olduğu ortaya konulmuştur (Donat vd., 2016). Araştırmacılar geçtiğimiz yüzyıl boyunca dünyanın birçok bölgesinde soğuk ekstrem indislerinin frekans ve yoğunluklarının azalırken sıcak ekstrem indislerde artışların olduğu ve 1980 yılından sonraki on yılda, ortalama olarak en güçlü ısınma eğilimlerinin yaşandığını tespit etmiştir (Donat vd., 2016).

Dünya üzerinde meydana gelen ısınma eğilimi, eşit bir dağılım göstermeyerek orta ve yüksek enlemlerde yer alan ülkelerde daha fazla etkiye sahiptir (Karabulut, 2012). Bu nedenle son yıllarda Doğu Akdeniz Havzası ve çevresindeki ülkeler için uzun yıllar sıcaklık ve yağış elemanlarının değişim ve eğilimleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Türkeş vd., 2007; Türkeş ve Tatlı, 2011; Karabulut, 2015; Topuz, 2017; Aydın ve Karabulut, 2021). Küresel iklim değişiminin en önemli göstergelerinden biri olan ekstrem sıcaklıklarda iklim senaryoları ve gözlem verilerine dayanılarak Doğu Akdeniz Havzası'nda artışların olduğu tespit edilmiştir (Kanber vd., 2007; Türkeş, 2009; Gönençgil ve İçel, 2010). Türkiye coğrafi konumu itibarıyla küresel sıcaklıklardaki ekstremlerden önemli ölçüde etkilenecek ülkeler arasında yer almaktadır. Çalışma alanının da içerisinde olduğu Akdeniz Havzası'nda ise ısınma trendlerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir (Türkeş, 2010).

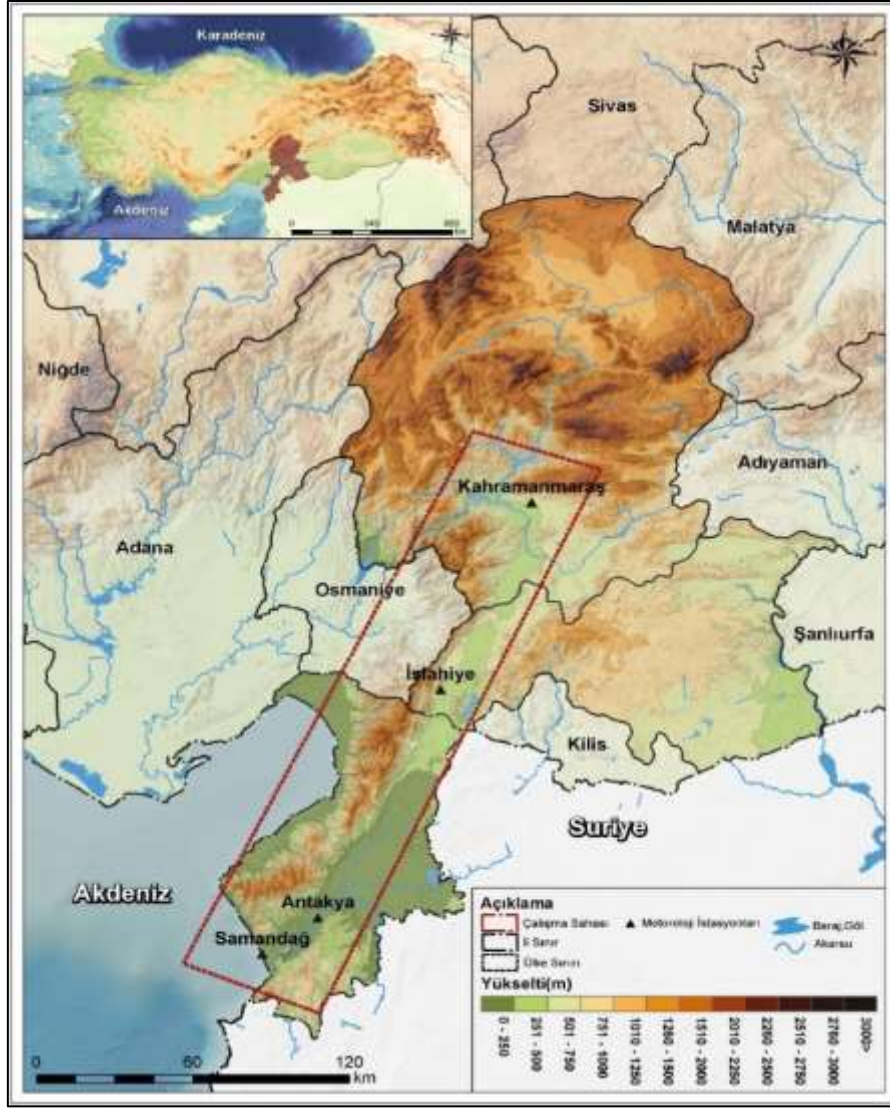
Küresel iklim değişikliği ile birlikte Avrupa'da ekstrem olayların geleceği üzerine Bartholy ve Pongrácz (2007), tarafından yapılan bir çalışmada Karpat Havzası'nda 1961-2001 döneminde ekstrem sıcaklık indislerinde önemli bir ısınma eğilimi belirlenirken, sıcak günler, sıcak geceler ve yaz günleri indislerinin diğer sıcaklık indislerine göre daha fazla artış gösterdiği ifade edilmiştir. Havzada 1970'lerin ortalarına kadar sıcaklık indislerinde bir soğuma dönemi, 20. yüzyılın son çeyreğinden sonra ise ısınma eğilimi olduğu ortaya konulmuştur (Bartholy ve Pongrácz, 2007). Türkiye'nin de içerisinde bulunduğu Orta Doğu ve Kafkaslarda yer alan 15 ülkenin günlük maksimum sıcaklıkların minimumu, günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu, günlük minimum sıcaklıkların maksimumu, günlük minimum sıcaklıkların minimumu, yaz günü ve tropik geceler ile günlük sıcaklığın yüzde 90'ı aşığı günlerin sayısı olan ekstrem sıcaklık indislerinde istatistiksel olarak önemli artış eğilimleri bulunmuştur (Zhang vd., 2005). Doğu Akdeniz'de sıcak hava dalgası trendleri %8 daha fazla gerçekleşmiş ve alanı geçmiş on yılla kıyasla daha fazla etkileyerek Türkiye'nin batı ve güneybatısında anlamlı değişiklikler gözlemlenmiştir (Kuglitsch vd., 2010). Türkiye'nin sıcaklık ekstremlerinde meydana gelen değişimi belirleyen ve geleceğe yönelik tahmin modellerinin de oluşturduğu çalışmalar mevcuttur (Türkeş vd., 2002; Ünal vd., 2013; Turp vd., 2014; Aykır, 2017).

Türkiye'de ekstrem sıcaklık indislerinden tropikal gece, sıcak gün ve gece ile yaz günü sayılarında 1960-2010 döneminde artış yaşanırken, serin gün ve serin gece, donlu gün sayılarının azalma eğilimleri gösterdiği ve maksimum ve minimum sıcaklıkları etkileyen bir ısınma trendinin olduğu tespit edilmiştir (Şensoy vd., 2013). İç Anadolu bölgesinde bulunan Konya iline ait 16 ekstrem sıcaklık indisindeki eğilim ve değişimlerin incelendiği çalışmada, ekstrem maksimum sıcaklık indis değerlerinde artışlar yaşanırken ekstrem minimum sıcaklık indislerinde azalma trendleri gözlenmiştir (Aydın ve Karabulut, 2022). Akdeniz Bölgesi Antalya Bölümü'nde minimum sıcaklık ortalamasının kıyı kesimlerde artış eğilimindeyken donlu ve buzlu günler sayısında azalmalar belirlenmiştir (Durmuş vd., 2021). Kızılelma vd. (2015) tarafından Antakya- Kahramanmaraş grabeninde ekstrem sıcaklık indislerinden olan yaz günü ve tropikal gün sayılarının incelendiği çalışmada ise yaz ve tropikal gün sayılarında istatistiksel olarak önemli artışlar ortaya konulmuştur.

Çalışmada Antakya- Kahramanmaraş Grabeninde, ekstrem sıcaklıklarda gerçekleşen değişiklikleri belirlemek amacıyla 4 meteoroloji istasyona ait günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar kullanılarak 15 sıcaklık indisi elde edilmiştir. Bu indislerdeki eğilimler; sıcak ekstrem indisler, soğuk ekstrem indisler ve diğer indisler olarak incelenmiştir. Değişen sıcaklıklar ile ortaya çıkacak olan koşulların ve gelecekteki eğilimlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Ekstrem sıcaklıkların uzun periyotlardaki değişiminin daha iyi anlaşılması, yalnızca iklim değişikliğinin tespitinde değil aynı zamanda afet risk yönetiminin geliştirilmesine de katkı sağlayacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Türkiye'nin Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan Antakya-Kahramanmaraş Grabeni, 180 km uzunluk ve 3-30 km genişliği ile 10.400 km<sup>2</sup>'lik alan kaplamaktadır. Graben alanı, Ölü Deniz ve Doğu Anadolu Fayları'nın kontrolünde özel koşullarda gelişim gösteren uzun bir tektonik süreç neticesinde oluşmuştur (Korkmaz, 2008; Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu (Figure 1. Location of study area)

Genellikle topografik olarak yükseltilerden meydana gelen Antakya-Kahramanmaraş grabenin çevresi, bulunduğu konum itibarıyla morfolojik açıdan geniş bir vadi içerisinde yer almaktadır. Çalışma sahasındaki Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yaygın olarak bulunan birimler arasındadır (Çelik ve Karabulut, 2014). Graben alanında göl ve bataklıkların oluşmasında Kuaterner'deki akarsu kapmaları ve Neojen sonrası faylanmayla oluşan çökmeler önemli rol oynamıştır (Korkmaz, 2008). Antakya-Kahramanmaraş Grabeni hem yerel hem de global ölçekte birçok faktörden etkilenerek karmaşık bir iklim karakterine sahiptir. Çalışma alanı üzerinde etkili olan basınç merkezlerindeki değişimler nedeniyle genel olarak bölgenin, yaz mevsiminde Muson alçak basıncının etkisinde kalarak sıcakları artarken kışın Sibiryaya yüksek basıncının etkili olmasıyla sıcaklık değerleri azalmaktadır (Koçman, 1993; Kızılelma vd., 2015).

Thorntwaite iklim sınıflandırma metoduna göre (Thorntwaite, 1948), bölgede nemli (Antakya) ile yarı nemli (Kahramanmaraş) arasında değişen Akdeniz iklim koşulları hüküm sürmektedir (Şekil 2). Graben sahasında yağış miktarı yıl boyunca eşit dağılış göstermeyerek ağırlıklı kış mevsiminde düşmekte ve serin nemli kışlar yaşanmaktadır. Yazın ise genellikle yaz kuraklığı içerisinde kendine özgü iklim rejimine sahiptir. Çalışma alanında ortalama yıllık yağış miktarı global rüzgâr sisteminden, doğal coğrafya ve topografyadan etkilenmektedir (Karabulut, 2015; Şekil 2).

Bölgenin iklimi, kuru, ılık-sıcak yazlar ve ılık ve yağışlı kışlarla temsil edilmektedir. Sahip olduğu coğrafi konum nedeniyle bölgede, yıllık ve mevsimlik olarak ekstrem sıcaklıklar yaşanarak iklimsel değişikliklere maruz kalmaktadır. Çalışma sınırları içerisinde kuzeyde Kahramanmaraş, orta kesimde İslahiye, güneyde ise Samandağ ve Antakya istasyonu yer almaktadır (Şekil 1). Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre 1970-2020 arasındaki 51 yıllık ortalama sıcaklıklar Samandağ'da 19,21°C, Antakya'da 18,3°C, İslahiye'de 17,16°C ve Kahramanmaraş'ta 17°C'dir. Güneyden kuzeye doğru karasallığın artması sonucunda sıcaklık değerlerinde de düşüşler görülmektedir.

Antakya-Kahramanmaraş Grabeninde, ekstrem sıcaklıkların eğilimini incelemek amacıyla Kahramanmaraş, İslahiye, Antakya ve Samandağ meteoroloji istasyonlarına ait 1970-2020 yılları arasındaki günlük minimum ve günlük maksimum sıcaklık verileri MGM'den talep edilmiştir (Tablo, 1). Bu istasyonların çalışmada kullanılmasında uzun yıllarda devamlı veri aralığına sahip olması etkili olmuştur. Veri serilerindeki homojenlik seviyesini belirlemek için serinin ortalama değerine göre değişimi ölçerek parametrik dağılım göstermeyen Thom testi kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre verilerin homojen karakterde olduğu ortaya konulmuştur.



WMO'ya bağı İklım Değişikliği Belirleme ve İndis Uzman Grubu (ETCCDMI) tarafından global iklim değişikliğinin yol açtı etkiyi belirleyebileceğimiz, 27 adet temel indis tanımlamıştır (Alexander vd., 2006). Yapılan bu çalışma ile ekstrem iklim olaylarına odaklı ETCCDMI tarafından tanımlanan 15 sıcaklık indisi hesap edilmiştir (Tablo 2). Hesaplama işlemi, R tabanlı yazılım olan RClimdex isimli paket programı içerisine 1970-2020 yılları arasındaki günlük maksimum ve minimum sıcaklıkların girilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Ekstrem sıcaklık indisleri; sıcak ekstrem indisler, soğuk ekstrem indisler ve diğer indisler olarak 3 başlık altında incelenmiştir (Tablo 2).

Çalışma alanında yer alan istasyonlarda 1970-2020 periyodunda kullanılan iklim indislerinin anlamlı artış veya azalış yönündeki olası değişim ve eğilimlerini tespit etmek ve istatistiksel olarak önemini belirlemek amacıyla parametrik dağılış göstermeyen Mann-Kendall (M-K) sıra ilişki katsayısı kullanılmıştır. Bu metot verilerde herhangi bir düzene uyma zorunluluğu aramayarak verilerin byklğinden ziyade sıralarını esas almaktadır (Karabulut ve Topuz, 2019). Mann-Kendall sıra ilişki istatistiği tau ( $\tau$ ) hesaplanmasında aşağıdaki eşitliklerde belirtilen denklemler kullanılmaktadır. Hesaplanan xi elemanlı orijinal gözlem serisinin yerine, onların kkkten büyüğe doğru dizilmesiyle elde edilen sıra numaralarından oluşan ki dizileri baz alınmaktadır. İkinici olarak ise P istatistiği eşitlik (1)'de hesap edilmektedir.

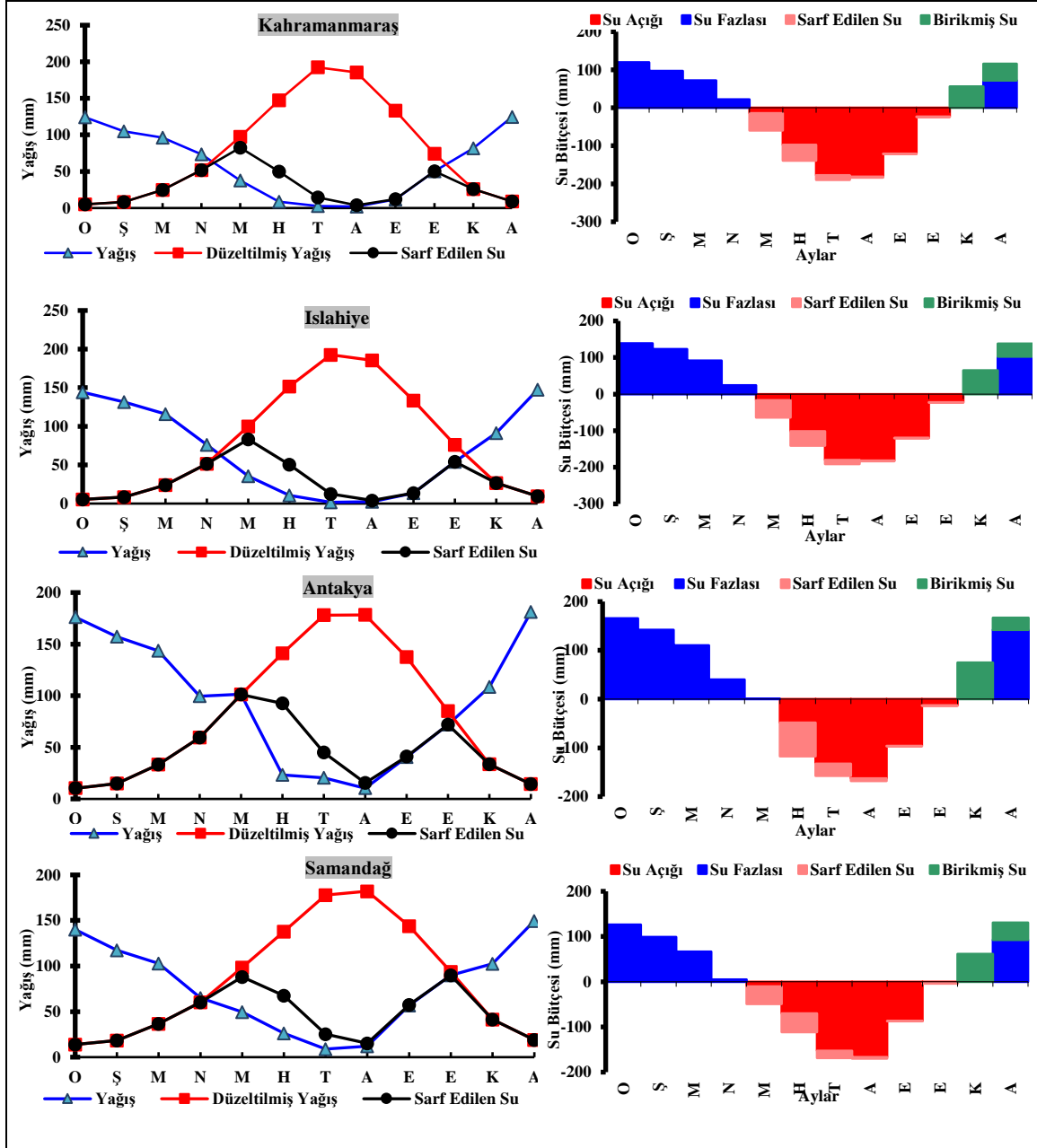
$$P = \sum_{i=1}^n ni \quad (1)$$

$\tau$  değeri, N ve P değerlerinden yararlanılarak eşitlik (2)'de,

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (2)$$

$$\tau_t = 0 \pm t_a \frac{(4N+10)}{9N(N-1)} \quad (3)$$

$\tau$ 'nun anlamlılık sınaması ise yukardaki eşitlik (3) ile hesaplanmaktadır (Erlat ve Yavaşlı, 2011). Yapılan çalışmada değerler normal dağılım olarak iki yanlı şeklinde  $\alpha=0,05$  anlamlılık seviyesinde ve güven aralığı  $\pm 1.96$  ise değişimler istatistiksel olarak önemsiz hipotezi olarak ifade edilmektedir. Ancak güven aralığı  $\pm 1.96$  dışında ise %95 güven aralığında anlamlı artış veya azalışların olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanına ait 4 meteoroloji istasyonunun yağış, potansiyel evapotranspirasyon, güncel evapotranspirasyon ve su bütçesi (Figure 2. Precipitation, potential evapotranspiration, current evapotranspiration and water budget of 4 meteorological stations in the study area)

Tablo 1. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları ve coğrafi özellikleri (Table 1. Meteorological stations and their geographical properties used in study)

İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükselti (m)	Veri Aralığı
<i>Kahramanmaraş</i>	37.5760	36.9150	572	1970-2020
<i>İslahiye</i>	36.9585	36.5882	470	1970-2020
<i>Antakya</i>	36.2368	36.1329	104	1970-2020
<i>Samandağ</i>	36.0814	35.9492	4	1970-2020

Tablo 2. Çalışmada kullanılan ekstrem sıcaklık indisleri ve tanımlamaları listesi (Table 2. Ekstrem temperature indices and their descriptions used in study)

Kategori	ID	İndis Adı	İndis Tanımı	Birim
<b>Sıcak Ekstrem İndisler</b>	TX90p	Sıcak günler	Günlük maksimum sıcaklığının > 90 persantil içinde kaldığı gün sayısı	%
	TN90p	Sıcak geceler	Günlük minimum sıcaklığının > 90 persantil içinde kaldığı gün sayısı	%
	SU25	Yaz günleri	Günlük maksimum sıcaklığının > 25 °C olduğu günler (TX > 25 °C)	gün
	TR20	Tropikal geceler	Minimum sıcaklık > 20 °C olduğu günler	gün
	WSDI	Sıcak devre süresi indikatörü	Tmax > normalinin %90 olduğu en az 5 ardışık gün sayısı	gün
	TXx	Max Tmax	Maksimum sıcaklıkların maksimumu	°C
	TXn	Min Tmax	Minimum sıcaklıkların maksimumu	°C
<b>Soğuk Ekstrem İndisler</b>	TX10p	Serin günler	Günlük maksimum sıcaklığının <10 persantil içinde kaldığı gün sayısı	%
	TN10p	Serin geceler	Günlük minimum sıcaklığının <10 persantil içinde kaldığı gün sayısı	%
	FDO	Donlu günler	Günlük minimum sıcaklığının <0 °C olduğu günler (TN < 0 °C)	gün
	CSDI	Soğuk devre süresi indikatörü	Tmin < normalinin %10 olduğu en az 6 ardışık gün sayısı	gün
	TNx	Max Tmin	Maksimum sıcaklıkların minimumu	°C
	TNn	Min Tmin	Minimum sıcaklıkların minimumu	°C
	<b>Diğer İndisler</b>	DTR	Günlük sıcaklık aralığı	Günlük maksimum ve minimum sıcaklıkların aylık ortalama farkı
GSL		Gelişme sezonu uzunluğu	T > 5 °C olan ilk 6 gün ile T < 5 °C olan ilk 6 gün arasındaki günler toplamı	gün

### 3. Araştırma Sonuçları

Ekstrem sıcaklık değerleri, seçilen herhangi bir istasyona ait maksimum ve minimum sıcaklıkların istatistiksel dağılımdan farklı olan değerlerin belirlenmesi ile ortaya konulabilir. Bu çalışmada, Antakya-Kahramanmaraş grabeninde ETCCDMI tarafından belirlenen ekstrem sıcaklık indislerindeki değişim ve eğilimleri tespit etmek amacıyla 1970-2020 yıllarına ait günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileri kullanılmıştır.

#### 3.1. Sıcak Ekstremler

Sıcak ekstrem indislere ait trendler; yüzde tabanlı iki indis olan sıcak gün ve sıcak geceler ile günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu, yaz günü, tropik gece, sıcak devre süresi indikatörü, günlük maksimum sıcaklıkların minimumu indisleri için hesap edilmiştir. Genel olarak çalışma alanındaki sıcak ekstrem indislerde pozitif yönde istatistiksel olarak anlamlı eğilimler belirlenmiştir.

Sıcak geceler indisi günlük minimum sıcaklığın %90'ın üzerindeki günleri ifade etmektedir. Çalışma alanında bulunan 4 istasyona ait sıcak gecelerde, istatistiksel olarak önemli artışlar yaşanırken en fazla artış Samandağ (%24) istasyonunda tespit edilmiştir (Tablo 3). Bu istasyonu Kahramanmaraş (%18) ve Antakya (%17) istasyonları takip ederken İslahiye %6 ile azalış oranına sahip olan tek istasyondur (Tablo 3). Sıcak günler indisi, günlük maksimum sıcaklığın %90'ın üzerinde kalan günlerdir. Seçilen istasyonların hepsinde istatistiksel olarak %95 güven aralığında anlamlı artış eğilimleri saptanmıştır (Şekil 3a). Sıcak günlerde İslahiye, Kahramanmaraş ve Samandağ istasyonlarında artış oranlarının sırasıyla %13, %12 ve %12 olduğu belirlenirken Antakya istasyonunda artış oranı %10'un altında kalmıştır (Şekil 3a).

Yaz günü indisi, 21 gün ile Samandağ istasyonunda en yüksek değerde iken İslahiye' de (14 gün) en az artış oranına sahiptir (Tablo 3). Günlük minimum sıcaklığın 20°C'nin üzerinde olduğu günlerin sayısı olan Tropikal geceler indisinde en yüksek değere 43 gün ile Kahramanmaraş istasyonu sahip iken İslahiye (11 gün) istasyonundaki düşük gün sayısı dikkat çekmektedir (Tablo 3). Çalışma alanındaki 4 istasyonun hem yaz günü hem de tropikal gece indisleri istatistiksel olarak anlamlı artışlar göstermiştir (Şekil 4c; Şekil 4g).

Günlük maksimum sıcaklığın %90'ın üstünde olduğu en az 6 ardışık gün sayısı sıcak devre süresi göstergesidir. Bu indis istasyonların tamamında istatistiksel olarak anlamlı artışlar göstermektedir (Şekil 3d). En yüksek sıcak devre süresi göstergesi indis

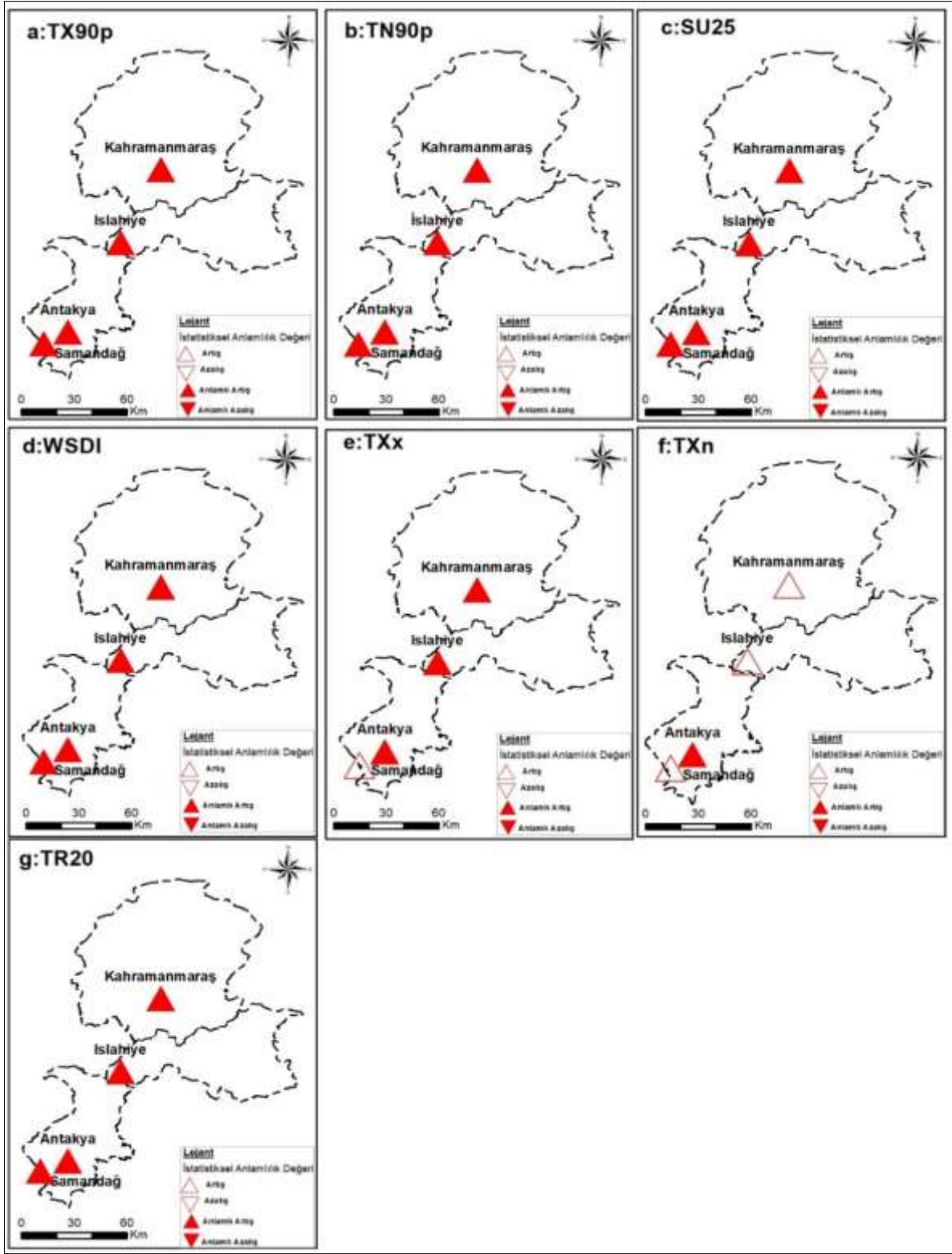
değerine 51 yılda 23,2 gün ile Islahiye istasyonu sahiptir (Tablo 3). Antakya istasyonu (7 gün) diğer istasyonlara göre en düşük gün sayısına sahiptir (Tablo 3).

Günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu indisinde 4 istasyonda da %95 güven aralığında anlamlı artışlar vardır (Şekil 4e). Genel olarak günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu indisindeki eğilim incelendiğinde, Samandağ (0,65°C) haricinde diğer istasyonlarda %95 anlamlılık seviyesinde artışların olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışma sahasındaki istasyonların günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu oranlarında kuzeyden güneye doğru değerlerde azalmalar gerçekleşmektedir. Günlük maksimum sıcaklıkların minimumu indisinde ise Antakya istasyonu dışındaki diğer istasyonların indis değerleri istatistiksel olarak önemsizdir (Tablo 3).

Tablo 3. Sıcak ekstrem indislere ait sen Slope değerleri (Eğilim değerleri anlamlı (%95) olan indisler, kalın punto ile gösterilmiştir) (Table 3. Sen Slope values of hot extreme indices (Indices with significant (%95) trend values are shown as bold).))

İstasyonlar	SU25	TR20	WSDI	TN90p	TX90p	TXx	TXn
	Slope						
	Gün	Yüzde (%)			Sıcaklık (°C)		
Kahramanmaraş	<b>0.356</b>	<b>0.866</b>	<b>0.310</b>	<b>0.361</b>	<b>0.237</b>	<b>0.064</b>	0.017
Islahiye	<b>0.288</b>	<b>0.233</b>	<b>0.464</b>	<b>0.116</b>	<b>0.258</b>	<b>0.062</b>	0.016
Antakya	<b>0.352</b>	<b>0.418</b>	<b>0.146</b>	<b>0.337</b>	<b>0.117</b>	<b>0.045</b>	<b>0.049</b>
Samandağ	<b>0.430</b>	<b>0.452</b>	<b>0.327</b>	<b>0.489</b>	<b>0.288</b>	0.013	0.013





Şekil 3. Sıcak ekstrem indislere ait trend analiz sonuçları a. Sıcak günler (TX90p)(%) b. Sıcak geceler (TN90p)(%) c. Yaz günleri (SU25)(gün) d. Sıcak devre süresi göstergesi (WSDI)(gün) e. Günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu (TXx)(°C) f. Günlük minimum sıcaklıkların maksimumu (TXn)(°C) g. Tropikal geceler (TR20)(gün) (Figure 3. Trend analysis results of hot extreme indices a. Warm days (TX90p)(%) b. Warm nights (TN90p)(%) c. Summer days (SU25)(day) d. Warm spell duration indicator (WSDI)(days) e. Monthly maximum value of daily maximum temp (TXx)(°C) f. Monthly minimum value of daily maximum temp (TXn)(°C) g. Tropical nights (TR20)(day))

### 3.2. Soğuk Ekstremler

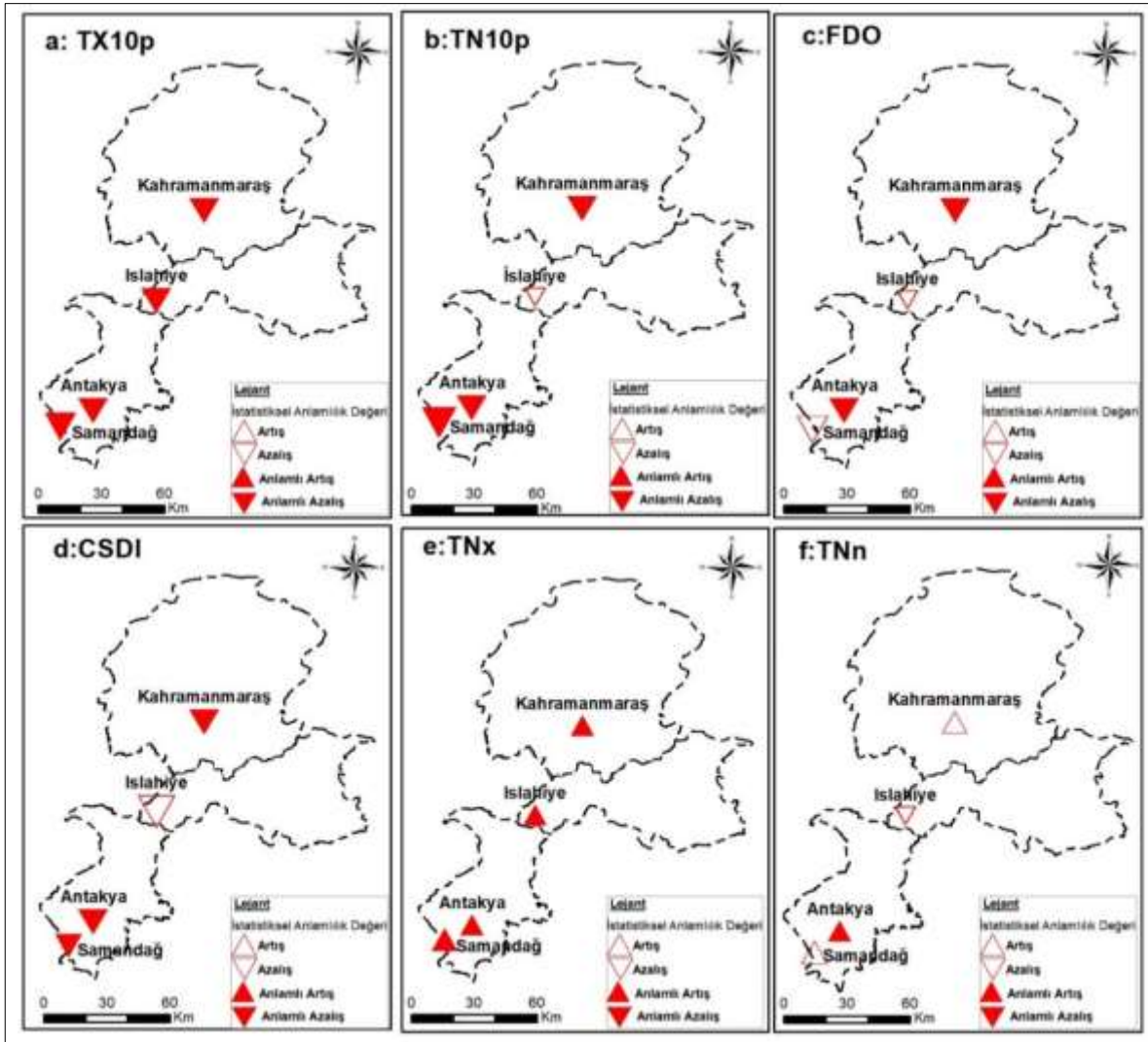
Soğuk ekstrem indislere ait trendler; yüzde tabanlı iki indis olan serin gün ve serin geceler, donlu günler, soğuk devre süresi indikatörü, günlük minimum sıcaklıkların minimumu ile günlük minimum sıcaklıkların minimumu indisleri için hesap edilmiştir. Genel olarak indislerde negatif yönde eğilimler belirlenmiştir.

Günlük maksimum sıcaklığın %10'un altında kaldığı günler olan serin günler ve günlük minimum sıcaklığın %10'un altında kaldığı günler olan serin geceler indislerinde istasyonların tamamında istatistiksel açıdan anlamlı düşüşler tespit edilmiştir (Şekil 4a; Şekil 4b). Serin günlerde en fazla düşüşün olduğu istasyon Antakya (%12) olurken, serin gecelerde ise Kahramanmaraş (%16) istasyonu olmuştur (Tablo 4). Çalışma alanı sahip olduğu konum gereği küresel ve bölgesel sıcaklıklarda meydana gelen değişikliklerden etkilenmesi sebebiyle serin gün ve gece indislerinde azalmalar gerçekleşmiştir (Şekil 4a; Şekil 4b). Günlük minimum sıcaklığın 0°C'nin altında olduğu günler sayısı olan donlu günler indisinde Kahramanmaraş (21 gün) ve Antakya (9 gün) dışındaki istasyonlar istatistiksel olarak önemsizdir (Şekil 4c).

Günlük minimum sıcaklığın %10'un altında olduğu en az 6 ardışık gün sayısı olan soğuk devre süresi göstergesinde, Islahiye hariç diğer tüm istasyonlarda %95 güven aralığında anlamlı azalış eğilimleri tespit edilmiştir (Şekil 6b). Antakya ve Kahramanmaraş istasyonlarında 51 yılda 9 gün diğer istasyonlara göre daha fazla azalış oranı gözlenmiştir (Tablo 4). Azalış eğilimi en az olan istasyon ise 2 gün ile Islahiye olarak belirlenmiştir (Tablo 4). 51 yılda 2,25°C ile en yüksek günlük minimum sıcaklıkların maksimumu değerine sahip istasyondur (Tablo 4). Çalışma alanındaki 4 istasyona ait günlük minimum sıcaklıkların maksimumu indis değerlerinde %95 güven aralığında anlamlı artışlar gerçekleşmiştir (Şekil 4e). Günlük minimum sıcaklıkların minimumu indislerinde ise Antakya istasyonu dışındaki diğer istasyonların indis değerleri istatistiksel olarak önemsizdir (Şekil 4f). Antakya istasyonuna ait günlük minimum sıcaklıkların minimumu indisindeki artış 51 yılda 2,55°C'dir (Tablo 4).

Tablo 4. Soğuk ekstrem indislere ait sen Slope değerleri (Eğilim değerleri anlamlı (%95) olan indisler, kalın punto ile gösterilmiştir) (Table 4. Sen Slope values of cold extreme indices (Indices with significant (%95) trend values are shown as bold))

İstasyonlar	FDO	CSDI	TN10p	TX10p	TNx	TNn
	Slope					
	Gün	Yüzde (%)		Sıcaklık (°C)		
Kahramanmaraş	<b>-0.420</b>	<b>-0.184</b>	<b>-0.312</b>	<b>-0.172</b>	<b>0.043</b>	0.028
Islahiye	-0.039	-0.043	-0.064	<b>-0.180</b>	<b>0.026</b>	-0.012
Antakya	<b>-0.176</b>	<b>-0.191</b>	<b>-0.241</b>	<b>-0.249</b>	<b>0.045</b>	<b>0.051</b>
Samandağ	-0.002	<b>-0.126</b>	<b>-0.168</b>	<b>-0.194</b>	<b>0.037</b>	0.012



Şekil 4. Soğuk ekstrem indislere ait trend analiz sonuçları a. Serin günler (TX10p)(%) b. Serin geceler (TN10p)(%) c. Donlu günler (FDO)(gün) d. Soğuk devre süresi göstergesi (CSDI)(gün) e. Günlük minimum sıcaklıkların maksimumu (TNx)(°C) f. Günlük minimum sıcaklıkların minimumu (TNn)(°C) (Figure 4. Trend analysis results of cold extreme indices a. Cool days (TX10p)(%) b. Cool nights (TN10p)(%) c. Frost days (FDO)(day) d. Cold spell duration indicator (CSDI)(days) e. Monthly maximum value of daily minimum temp (TNx)(°C) f. Monthly minimum value of daily minimum temp (TNn)(°C))

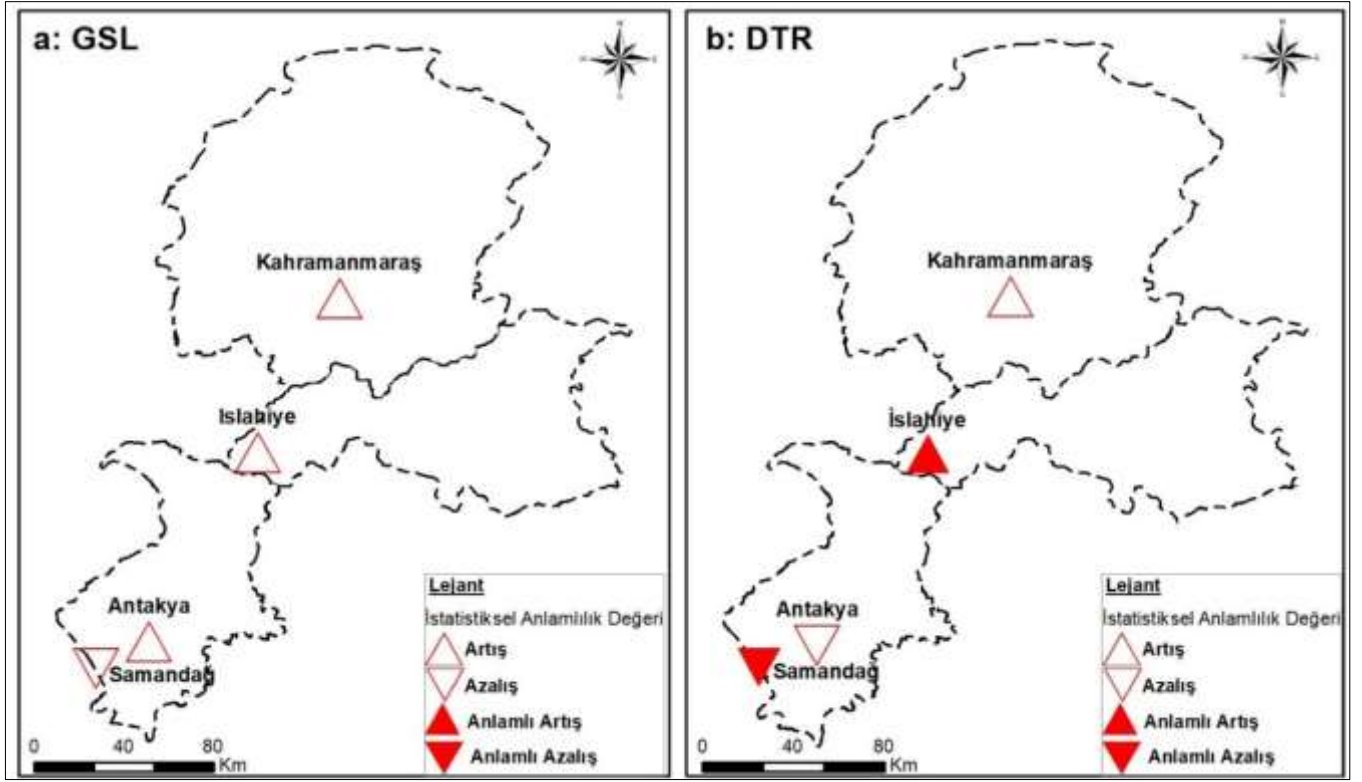
### 3.2. Diğer Ekstremler

Gelişme sezonu uzunluğu indisi günlük ortalama sıcaklığın 5°C'yi aştığı ilk 6 gün ile günlük ortalama sıcaklığın 5°C'nin altında kaldığı ilk 6 gün arasındaki gün sayısını ifade etmektedir. Çalışma alanında yer alan 4 istasyona ait gelişme sezonu uzunluğu değerleri istatistiksel olarak önemsiz trendler göstermiştir (Şekil 5a).

Maksimum ve minimum sıcaklıklarda meydana gelen değişimi gösteren günlük sıcaklık farkı indisi Kahramanmaraş ve Antakya istasyonlarında istatistiksel olarak önemsiz değerler göstermiştir (Şekil 5b). Işlahiye (1,7°C) istasyonunda %95 güven aralığında anlamlı artış eğilimi vardır (Tablo 5). Samandağ (-0,35°C) istasyonuna ait günlük sıcaklık farkı indisinde ise istatistiksel olarak anlamlı azalmaların olduğu ortaya konulmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. Soğuk ekstrem indislere ait sen Slope değerleri (Eğilim değerleri anlamlı (%95) olan indisler, kalın punto ile gösterilmiştir) (Table 5. Sen Slope values of cold extreme indices (Indices with significant (%95) trend values are shown as bold)

İstasyonlar	GSL	DTR
	Slope	
	Gün	Sıcaklık (°C)
Kahramanmaraş	0.357	0
Işlahiye	0.259	<b>0.034</b>
Antakya	0.104	-0.007
Samandağ	-0.003	<b>-0.007</b>



Şekil 5. Diğer ekstrem sıcaklık indislerine ait trend analiz sonuçları a. Gelişme sezonu uzunluğu (GSL)(gün) b. Günlük sıcaklık farkı (DTR)(°C) (Figure 5. Trend analysis results of other extreme temperature indices a. Growing season length (GSL)(days) b. Diurnal temperature range (DTR)(°C))

### 3.3. Ekstrem Sıcaklık İndislerindeki Değişim ve Eğilimler

Çalışma alanındaki 4 istasyona ait ekstrem sıcaklık indis değerlerinin ortalamaları kullanılarak elde edilen Mann-Kendall eğilim analizi sonuçlarına göre saha genelinde sıcak günler, sıcak geceler, maksimum sıcaklıkların maksimumu, minimum sıcaklıkların maksimumu, yaz günleri, tropikal geceler, sıcak devre süresi indikatörü indislerinde %95 güven aralığında anlamlı artış eğilimleri belirlenmiştir. Serin günler, serin geceler ve soğuk devre süresi indikatörü indislerin %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı azalma eğilimleri vardır (Tablo 6).

Tablo 6. Ekstrem Sıcaklık İndislerinin Mann Kendall-tau değerleri (Table 6. Mann Kendall-tau values of Extreme Temperature Indices)

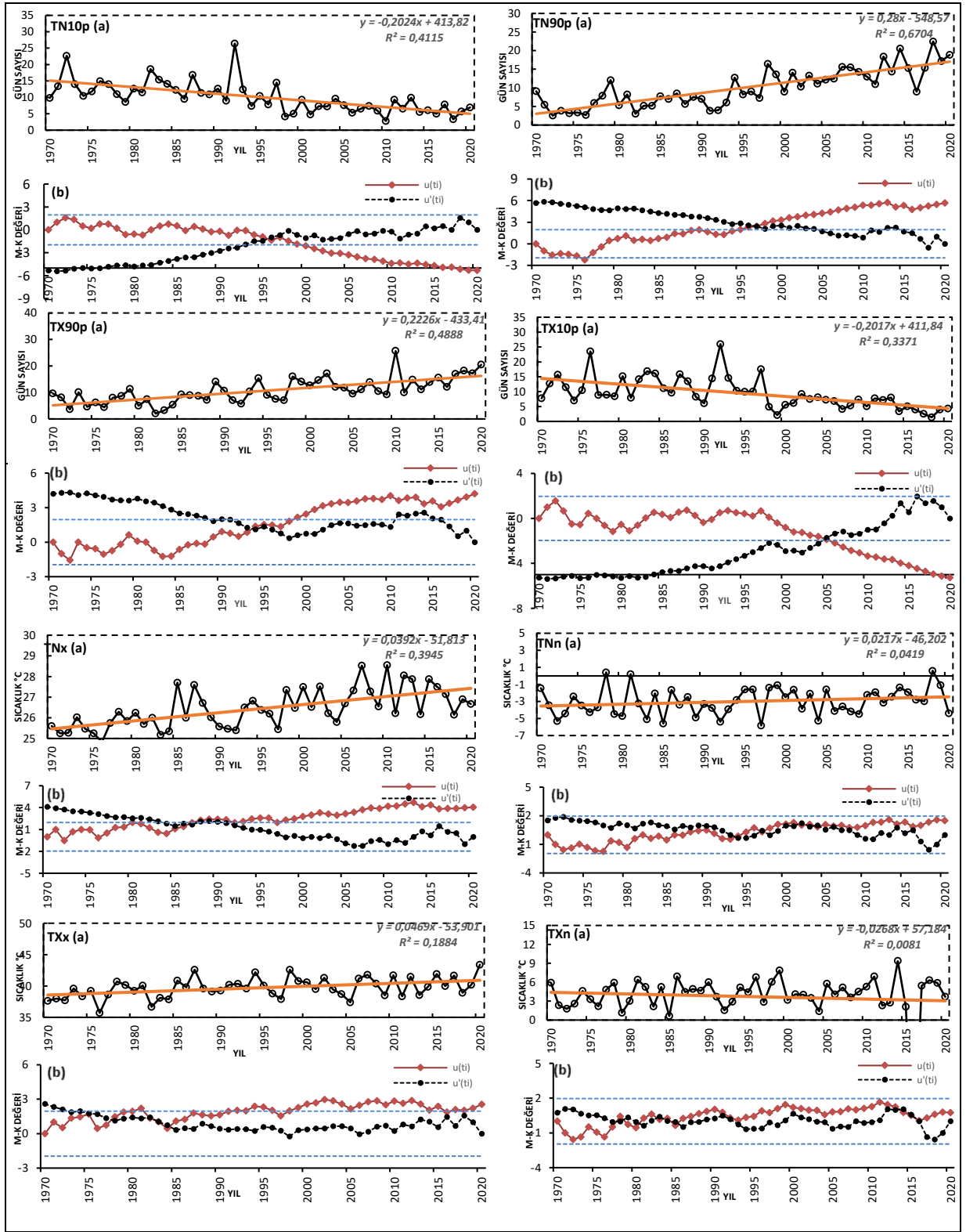
Kategori	İndisler	M-K u(t) değeri	Trend
<b>Sıcak Ekstrem İndisler</b>	Sıcak geceler	6,49	%95 güven aralığında ARTIŞ eğilimi var
	Yaz günleri	4,18	%95 güven aralığında ARTIŞ eğilimi var
	Tropikal geceler	6,34	%95 güven aralığında ARTIŞ eğilimi var
	Sıcak devre süresi indikatörü	2,72	%95 güven aralığında ARTIŞ eğilimi var
	Max Tmax	2,95	%95 güven aralığında ARTIŞ eğilimi var
<b>Soğuk Ekstrem İndisler</b>	Min Tmax	1,13	%95 güven aralığında artış ya da azalış yok
	Serin günler	-5,32	%95 güven aralığında AZALIŞ eğilimi var
	Serin geceler	5	%95 güven aralığında AZALIŞ eğilimi var
	Donlu günler	-1,73	%95 güven aralığında artış ya da azalış yok
	Soğuk devre süresi indikatörü	-3,24	%95 güven aralığında AZALIŞ eğilimi var
<b>Diğer İndisler</b>	Max Tmin	4,54	%95 güven aralığında ARTIŞ eğilimi var
	Min Tmin	1,5	%95 güven aralığında artış ya da azalış yok
	Günlük sıcaklık aralığı	1,58	%95 güven aralığında artış ya da azalış yok
	Gelişme sezonu uzunluğu	1,13	%95 güven aralığında artış ya da azalış yok



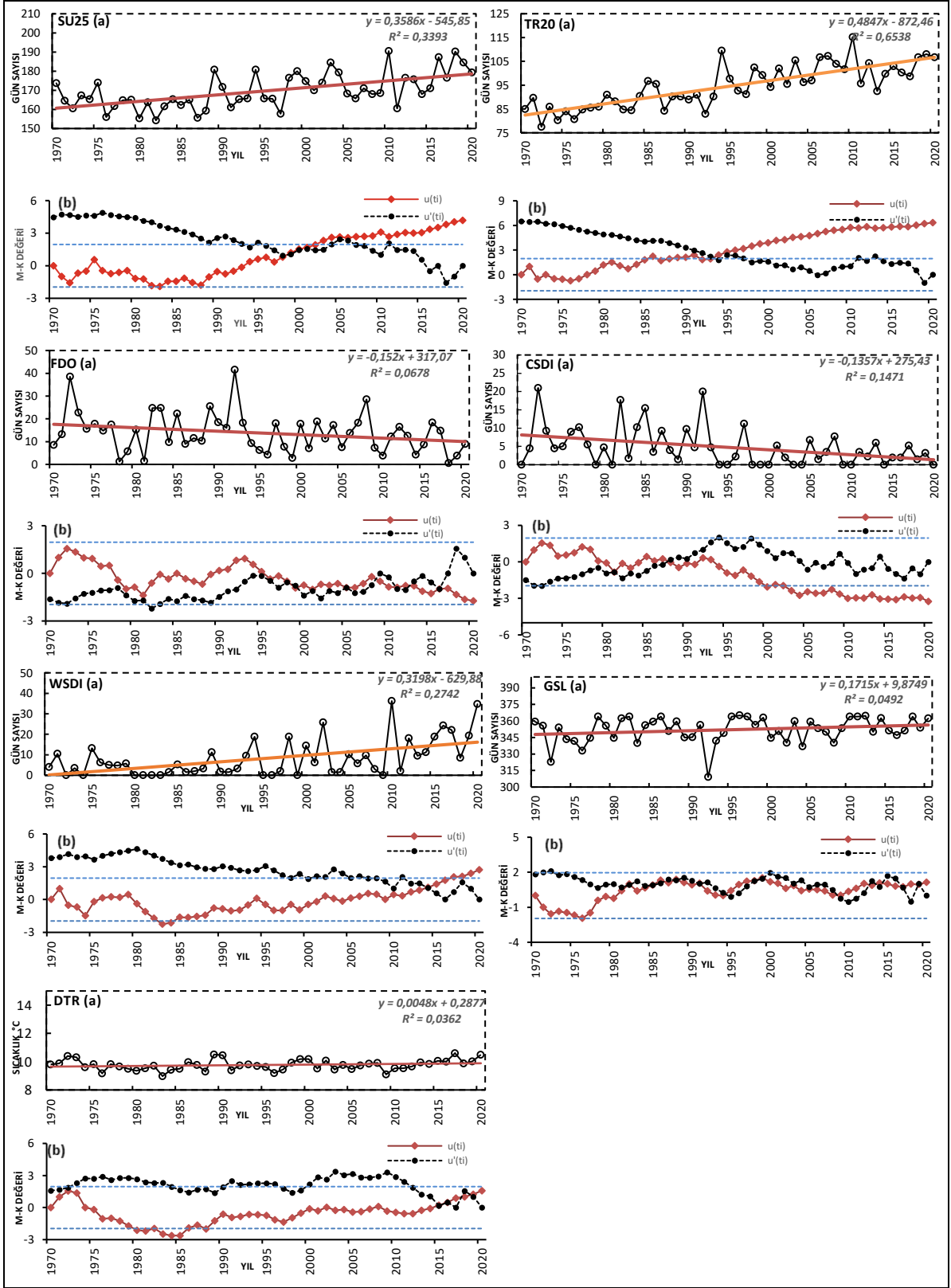
Çalışma alanındaki serin gün ve serin gece sayılarında istatistiksel olarak anlamlı azalma eğilimleri tespit edilmiştir. Serin gecelerde 2000-2020 ve serin günlerde 2005-2020 periyotlarında  $u(t)$  eğrisi %95 anlamlılık seviyesinde -1,96 seviyesinin altına düşerek negatif trend belirlenmiştir (Şekil 6). Antakya Kahramanmaraş grabeninde sıcak gece sayılarına ait  $u(t)-u'(t)$  grafikleri incelendiğinde  $u(t)$  eğrisi 1995-2020 yıllarında +1,96 seviyesinin üzerine çıkarak %95 güven aralığında pozitif trend göstermiştir. Trendlerin başlangıç yılı ise 1976'dır (Şekil 6). Sıcak gün sayılarında,  $u(t)-u'(t)$  grafiklerine ait  $u(t)$  eğrisinin 1998 yılında itibaren +1,96 seviyesine ulaşmış üzerinde seyrederek %95 güven aralığında pozitif trend içerisine girdiği ortaya konulmuştur. Minimum sıcaklıkların maksimumu ile maksimum sıcaklıkların maksimumu indislerinde genel olarak 1998 yılından sonra  $u(t)$  eğrilerin %95 güven aralığında anlamlı pozitif trendler vardır. Minimum sıcaklıkların minimumu ve maksimum sıcaklıkların minimumu indislerinde ise istatistiksel olarak önemsiz eğilimler tespit edilmiştir (Şekil 6).

Graben sahasında son 51 yılda değişim eğilimi içerisinde olan ekstrem sıcaklık indislerinden yaz günleri ve tropik gecelerdeki artışlar dikkat çekmektedir. Sahada yaz günü ve tropik günlere ait değerlerde 1985 yılından sonra dikkate değer artış trendleri belirlenmiştir (Şekil 7). Mann-Kendall trend analizi sonuçlarına göre  $u(t)-u'(t)$  grafiklerine ait  $u(t)$  eğrisi incelendiğinde tropik günlerde 1995-2020 yılları arasında, yaz günlerinde ise 2002-2020 yıllarında +1,96 seviyesinin üzerinde %95 güven aralığında anlamlı pozitif trend gözlenmiştir (Şekil 7).

Donlu günler sayısı günlük minimum sıcaklıkların 0 °C'den düşük olduğu günlerin sayısıdır. Şekil 7' e göre çalışma periyodu boyunca genel olarak donlu günlerde azalış trendi vardır. Ancak meydana gelen azalmalar istatistiksel olarak önemsizdir (Şekil 7). Soğuk devre süresi indikatör indis, 51 yıllık çalışma periyodunda azalma trendi içerisindedir. İstasyon ortalamalarına ait  $u(t)$  grafiklerinde  $u(t)$  eğrisi 2000-2020 aralığında %95 güven aralığında negatif trend göstermiştir. Bu trendlerin başlangıcı ise 1992 yılıdır. Sıcak devre süresi indikatör indisinde ise artış eğilimi belirlenirken bu artışlarda 2016 yılından sonra istatistiksel olarak anlamlı pozitif trendler tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki büyüme sezon uzunluğu indisinde Şekil 7'e göre istatistiksel olarak önemsiz bir eğilimi vardır. Maksimum ve minimum sıcaklıklarda meydana gelen değişimin gözlemlendiği günlük sıcaklık fark indisinde 2011 yılından sonra artış eğilimi gözlenirse de bu pozitif trend istatistiksel olarak önemsizdir (Şekil 7).



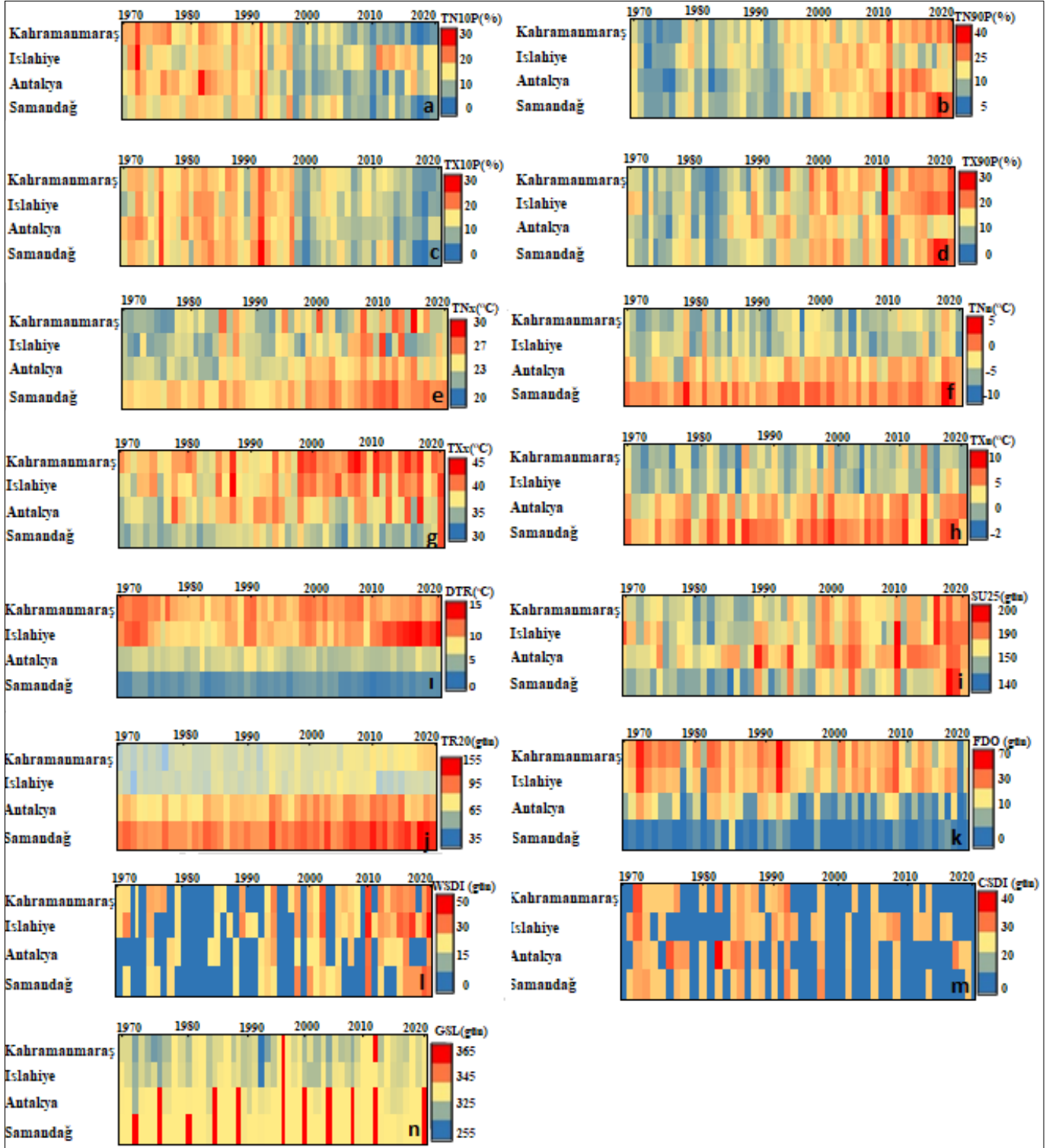
Şekil 6. 1970-2020 yılları arasında a- Doğrusal regresyon analizi ve b- Mann Kendall yöntemi ile ekstrem sıcaklık indislerindeki eğilim ve değişimler (Figure 6. Trends and changes in extreme temperature indices between 1970 and 2020 with a- Linear regression analysis and b- Mann Kendall method)



Şekil 7. 1970-2020 yılları arasında a- Doğrusal regresyon analizi ve b- Mann Kendall yöntemi ile ekstrem sıcaklık indislerindeki eğilim ve değişimler (Figure 7. Trends and changes in extreme temperature indices between 1970 and 2020 with a- Linear regression analysis and b- Mann Kendall method)

İstasyonlara ait sıcaklık indislerinin zamansal değişim desenleri incelendiğinde, 1998 yılından itibaren serin gece ve serin gün indislerinde azalış eğilimi gözlenirken sıcak gece ve sıcak günlerde artışların olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8a; Şekil 8b; Şekil 8c; Şekil 8d). Şekil 8i'ye göre istasyonlara ait yaz günü indisinde 2000 yılından sonra artış trendi belirginleşmiştir. Ayrıca yaz günü indisinde 2010, 2015 ve 2017 yıllarında istasyonlarda gözlenen artışların çok daha net olduğu görülmüştür. Tropik geceler indisinin zamansal değişiminde, Samandağ ve Antakya istasyonlarında meydana gelen artış trendinin Kahramanmaraş ve İslahiye istasyonlarına göre daha belirgin olduğu ortaya konulmuştur (Şekil 8j). Maksimum sıcaklıkların minimumu, günlük sıcaklık aralığı, minimum sıcaklıkların minimumu ve minimum sıcaklıkların maksimumu indislerinde Antakya ve Samandağ istasyonlarında 51 yıllık zaman dilimi içerisinde

genel olarak artışlar belirleniren Kahramanmaraş ve İslahiye istasyonlarında azalışların olduğu dikkat çekmektedir (Şekil 8a; Şekil 8b; Şekil 8c; Şekil 8d; Şekil 8i). Şekil 8k’de Donlu gün indisi için 1999, 2010 ve 2018 yıllarındaki azalışın bütün istasyonlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Genel olarak 2010 yılından başlayarak ilerleyen 10 yıllık periyotta sıcak devre süresinde artışlar yaşanırken soğuk devre süresinde azalmalar gözlenmiştir (Şekil 8l ve Şekil 8m).



Şekil 8. Ekstrem sıcaklık indislerindeki zamansal değişim desenleri a. TN10p (%) b. TN90p (%) c. TX10p(%) d. TX90p (%) e. TNx (°C) f. TNn (°C) g. TXx (°C) h. TXn (°C) i. DTR (°C) j. SU25 (gün) k. TR20 (gün) l. FDO (gün) m. CSDI (gün) n. WSDI (gün) o. GSL (gün) (Figure 8. Temporal change patterns in extreme temperature indices a. TN10p (%) b. TN90p (%) c. TX10p(%) d. TX90p (%) e. TNx (°C) f. TNn (°C) g. TXx (°C) h. TXn (°C) i. DTR (°C) j. SU25 (day) k. TR20 (day) l. FDO (day) m. CSDI (day) n. WSDI (day) o. GSL (day))



## 4. Sonuç

Küresel iklim değişikliği sonucunda ortaya çıkan ekstrem sıcaklıklar hem global hem de bölgesel ölçekte insanlar ve canlı organizmaları doğrudan etkilemektedir. Bu etkiler sonucunda çevresel, sosyal ve ekonomik olarak ciddi zararlar oluşabilir. Ekstrem ölçekte artış gösteren maksimum günlük gece ve gündüz sıcaklıklarındaki değişimler ile hastalıklar ve günlük ölüm oranları arasında önemli bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir (Thommen, 2005). Akdeniz Bölgesi üzerinde yapılan tahminlere göre iklim değişikliğiyle birlikte sıcak hava dalgalarının yoğunluğunda ve sıklığında artışların olacağı öngörülmektedir (Fischer ve Schar, 2010; Karabulut ve Topuz, 2019). Antakya Kahramanmaraş Grabeni içerisinde bulunan istasyonlara ait ekstrem sıcaklık trendlerine bakılarak alanın sıcaklıklarında meydana gelen değişiklikler mekânsal ve zamansal açıdan incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmanın ana bulguları, Antakya Kahramanmaraş Grabeni ve çevresindeki sıcaklık eğilimlerinin bölgesel ve küresel ölçekte hesaplanan sıcaklık artışlarıyla benzer olduğunu göstermektedir (Frich vd., 2002; Zhang vd., 2005; Alexander vd., 2006; Croitoru ve Piticar, 2013; Karabulut, 2012; Kızılelma vd., 2015; Donat vd., 2016; Abbasnia ve Toros, 2020). Ekstrem sıcaklık indislerinden tropik geceler, yaz günleri ve sıcak devre süresi indikatöründe en güçlü artışların gerçekleştiği belirlenmiştir. Sıcak ekstrem indislerin tamamında (SU25, TN90p, TR20, TX90p, TXn, TXx, WSDI) pozitif yönde artış eğilimi vardır. Sıcak gün ve sıcak gecelerde istasyonların tamamında %95 anlamlılık düzeyinde artışlar ortaya konulmuştur. Sıcak günlerdeki artışlar nedeniyle sahada gündüz ölçülen sıcaklıklarda önemli yükselmeler olduğu belirlenirken sıcak gecelerde meydana gelen artışlarda gece ölçülen sıcaklıklarda dikkate değer yükselmeler tespit edilmiştir. Bu değişimde çalışma sahasının sahip olduğu konum gereği küresel ve bölgesel sıcaklıklardaki değişikliklerden güçlü bir şekilde etkilenmesi önemli rol oynamıştır. Graben sahasında yaz günü ve tropikal gün sayılarında özellikle 1985 yılından sonra istatistiki olarak anlamlı artış eğilimlerinin varlığı sıcak ekstremlerdeki değişim hızının göstergesidir. İstasyonlara ait zamansal değişim desenleri incelendiğinde son 10 yıllık periyotta sıcak devre süresinde artışlar yaşanırken soğuk devre süresinde azalmalar gözlenmiştir.

Soğuk ekstremlerin genelinde negatif yönde azalış trendleri tespit edilmiştir. Minimum sıcaklıkların ortalama ve maksimum değerinde (TNn, TNx) pozitif yönde artışlar gerçekleşse de bu artışlar çalışma alanındaki ısınmanın önemli bir göstergesidir. Soğuk ekstremlerden donlu gün sayıları ve soğuk devre süresindeki azalmalarda ise Akdeniz iklim koşullarının hâkimiyeti etkili bir faktör olmuştur. Soğuk devre süresi ve donlu gün sayılarının azalmasıyla tarımsal faaliyetler yıl içinde artarak çeşitlenecektir. Ancak Antakya Kahramanmaraş grabeninde sık görülen buharlaşma ve kuraklık olayları (Karabulut, 2015), sıcak devre süresi ve maksimum sıcaklıkların artış göstermesiyle birlikte şiddetlenerek tarımsal verimlilik ve sulama açısından olumsuz sonuçlar yaratması beklenmektedir.

Yapılan çalışmanın sonuçlarından hareketle sıcaklık rejiminde meydana gelen değişimlerin graben sahasının doğal çevre ve ekosistemi üzerinde, bölgeye has etkilerinin olabileceği ön görülmektedir. Ayrıca ekstrem hava olaylarının artması sonucunda kentsel ve kırsal alanlarda sosyal ve ekonomik açıdan olumsuzluklar gerçekleşebilir. Kuraklık ve sonucunda ortaya çıkan içme ve sulama problemleri, orman yangınlarının sıklığında artışlar, sel ve salgın hastalıklar gibi birçok afet büyüklüğünde olayın gerçekleşme olasılığındaki artışlar örnek olarak gösterilebilir. Bu nedenle ekstrem sıcaklıkların uzun periyotlardaki değişiminin daha iyi anlaşılması, yalnızca iklim değişikliğinin tespitinde değil aynı zamanda afet risk yönetiminin geliştirilmesine de katkı sağlayacaktır. Ortaya çıkacak tehdit ve tehlikelere karşı gerekli önlemler alınarak doğal çevrenin korunması ve toplumsal farkındalıkların oluşturulması gerekmektedir. Çalışmada Antakya Kahramanmaraş Grabeninde ısınma eğiliminin olduğu yönünde sonuçlara ulaşılması gerekli tedbirler alınmasının önemini göstermiştir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın birinci yazarı 100/2000 (Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (RF, IR ve Akustik Sensörler, İleri Düzeyde Veri/Görüntü İşleme de dahil)) öncelikli alan bursiyeridir

## 6. Özel Not

Bu çalışmanın özeti “Antakya- Kahramanmaraş Grabeninde Ekstrem Sıcaklık İndislerinde Meydana Gelen Değişim ve Eğilimlerin İncelenmesi” başlığıyla TÜCAUM 2022 (12-14 Ekim) Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Bildiriler Kitabında yayınlanmıştır.

## Kaynakça

- Abbasnia, M., & Toros, H. (2020). Trend analysis of weather extremes across the coastal and non-coastal areas (case study: Turkey). *Journal of Earth System Science*, 129, 1-13.
- Aykır, D. (2017). Türkiye’de ekstrem sıcaklık indislerinin eğilimlerinde şehirleşmenin etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (69), 47-57.
- Aydın, K. & Karabulut, M. (2021). Türkiye’de sıcaklıklar ile yükselti ve enlem ilişkisi, *Sosyal Bilimler Dergisi/The Journal of Social Sciences*. *Sosyal Bilimler Dergisi / The Journal of Social Science*, Yıl: 8, Sayı: 53, Ağustos 2021, s. 501-519.
- Aydın, K., & Karabulut, M. (2022). Konya’da Ekstrem Sıcaklık İndislerinde Gözlemlenen Eğilim ve Değişimlerin İncelenmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(4), 533-549.
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G. & Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).
- Bartholy, J., & Pongrácz, R. (2007). Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary change*, 57(1-2), 83-95.

- Croitoru, A. E., & Piticar, A. (2013). Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania. *International Journal of Climatology*, 33(8), 1987-2001.
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Herold, N., & Dittus, A. J. (2016). Temperature and precipitation extremes in century-long gridded observations, reanalyses, and atmospheric model simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(19), 11-174.
- Durmuş, B., Bulut, İ. & Gönençgil, B. (2021). Antalya Bölümünde sıcaklık ve yağış indislerinin değişim analizleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (78), 91-108.
- Erlat, E ve Yavaşlı, D. (2011). Ege Bölgesi'nde sıcaklık ekstremlerinde gözlenen değişim ve eğilimlerin değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi Cilt: 3, Sayı: 1, 25-37.*
- Fischer, E. M., & Schär, C. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature geoscience*, 3(6), 398-403.
- Frich, P. A. L. V., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Tank, A. K., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate research*, 19(3), 193-212.
- Gönençgil, B., İçel, G. (2010) Türkiye'nin Doğu Akdeniz Kıyılarında Yıllık Toplam Yağışlarda Görülen Değişimler. *Türk Coğrafya Dergisi* (55), 1-12.
- IPCC, (2001). "The Third Assessment Report". The Intergovernmental Panel on Climate Change, 22-47.
- Jones, P. D., Lister, D. H., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M., & Morice, C. P. (2012). Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D5).
- Kadioğlu, M. (1997). Trends Surface Air Temperature Data Over Turkey, *International Journal of Climatology*, 17, 511-520
- Kanber, R., Kapur, B. ve Tekin, S. (2007). İklim Değişimi-nin Tarımsal Üretim Sistemleri Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesine Yönelik Yeni Bir Yaklaşım: ICCAP Projesi. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü.
- Karabulut, M. (2012). Doğu Akdeniz'de ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi Özel Sayı*, 37, 44.
- Karabulut, M. (2015). Drought analysis in Antakya-Kahramanmaraş Graben, Turkey. *Journal of Arid Land*, 7, 741-754.
- Karabulut, M. & Topuz, M. (2019). Adana'da tropikal ve yaz günü sayılarındaki değişim ve eğilimler. 2. Uluslararası Akdeniz Sempozyumu, 23-25 Mayıs 2019, Bildiri Tam Metinleri Kitabı, s:108-126.
- Kızılelma, Y., Çelik, M. & Karabulut, M. (2015). İç Anadolu Bölgesi'nde sıcaklık ve yağışların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (64), 1-10.
- Kızılelma, Y., Karabulut, M. & Çetinkaya, S (2015). Antakya-Kahramanmaraş Grabeni tropikal ve yaz günü sayılarındaki değişim ve eğilimler. *Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi*, 21-23 Mayıs 2015, Bildiriler Kitabı, s:175-183.
- Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Zerefos, C. S., Türkeş, M., & Luterbacher, J. (2010). Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37(4).
- Koçman, A. (1993). Türkiye iklimi (No. 72). Ege Üniversitesi.
- Korkmaz, H. (2008). Antakya-Kahramanmaraş Graben Alanında Kurutulan Sulak Alanların (Amik Gölü, Emen Gölü ve Gâvur Gölü Bataklığı) Modellerinin Oluşturulması. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(9), 19-37.
- Mehmet, A. Ç., & Karabulut, M. (2014). Antakya-Kahramanmaraş Grabeninde Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) orman alanları ile yağış arasındaki ilişkilerin MODIS verileri (2000-2010) kullanılarak incelenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12(1), 49-68.
- Seneviratne, S. I., and Coauthors, 2012: Changes in impacts of climate extremes and their impacts on the natural physical environment. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, C. B. Field et al., Eds., Cambridge University Press, 109–230.
- Sensoy, S., Türkoğlu, N., Akçakaya, A., Ekici, M., Demircan, M., Ulupinar, Y., & Demirbaş, H. (2013, April). Trends in Turkey climate indices from 1960 to 2010. In 6th Atmospheric science symposium (Vol. 24, p. 26).
- Thornthwaite C W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: 55–94.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., & Demir, İ. (2002). Türkiye'nin günlük ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ile sıcaklık genişliğindeki eğilimler ve değişiklikler. Prof. Dr. Sırrı Erinç Anısına Klimatoloji Çalıştayı, 11(13), 89-106.
- Türkeş, M., Koç, T. ve Sarış, F. (2007). Türkiye'nin Yağış Toplamı ve Yoğunluğu Dizilerindeki Değişikliklerin ve Eğilimlerin Zamansal ve Alansal Çözümlemesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 5, 57-73.
- Türkeş M, Koç T, Sarış F. 2009. Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 1056–1074.
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve meteoroloji. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi- Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, ISBN: 978-605-5863-39-6, 650 + XXII sayfa, İstanbul.*
- Türkeş, M., & Tatlı, H. (2011). Türkiye yağış bölgelerinin spektral kümeleme tekniğiyle belirlenmesi. In *Proceedings of the National Geographical Congress with International Participation, İstanbul, Turkey (CD-ROM).*
- Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2014). RegCM4. 3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerinin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1), 1-24.
- Topuz, M. (2017). Çukurova'da Yağışların Trend Analizi. *Çukurova Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 173-181.
- Thommen, O. (2005). Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss medical weekly*, 135(1314), 200-205.
- Ünal, Y. S., Tan, E., & Mentés, S. S. (2013). Summer heat waves over western Turkey between 1965 and 2006. *Theoretical and applied climatology*, 112(1), 339-350.
- Vincent, L. A., Peterson, T. C., Barros, V. R., Marino, M. B., Rusticucci, M., Carrasco, G., & Karoly, D. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. *Journal of climate*, 18(23), 5011-5023.
- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., & Wallis, T. (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D22).

Zhang, P., Ren, G., Xu, Y., Wang, X. L., Qin, Y., Sun, X., & Ren, Y. (2019). Observed changes in extreme temperature over the global land based on a newly developed station daily dataset. *Journal of Climate*, 32(24), 8489-8509



## A Traditional Meat Product of Kosovo: Kaverma

Kaltrina Berisha<sup>1\*</sup>, Hajrip Mehmeti<sup>2</sup>, Hysen Bytyqi<sup>3</sup>, İsmail Yılmaz<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> University of Prishtina - Hasan Prishtina, Faculty of Agriculture and Veterinary, Prishtina, Republic of Kosovo (ORCID: 0000-0003-1945-1509), [k.berisha1@hotmail.com](mailto:k.berisha1@hotmail.com)

<sup>2</sup> University of Prishtina - Hasan Prishtina, Faculty of Agriculture and Veterinary, Prishtina, Republic of Kosovo (ORCID: 0000-0002-8851-123X), [hajrip.mehmeti@uni-pr.edu](mailto:hajrip.mehmeti@uni-pr.edu)

<sup>3</sup> University of Prishtina - Hasan Prishtina, Faculty of Agriculture and Veterinary, Prishtina, Republic of Kosovo (ORCID: 0000-0001-7352-695X), [hysen.bytyqi@uni-pr.edu](mailto:hysen.bytyqi@uni-pr.edu)

<sup>4</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1116-0934), [iyilmaz@nku.edu.tr](mailto:iyilmaz@nku.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 7 Haziran 2023 ve Kabul Tarihi 15 Ekim 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10256156)

**ATIF/REFERENCE:** Berisha, K., Mehmeti, H., Bytyqi, H., Yılmaz, İ. (2023). A traditional Meat Product of Kosovo: Kaverma. *European Journal of Science and Technology*, (52), 64-70.

### Abstract

Traditional food products are valuable cultural heritage and play an important role in the development and sustainability of rural areas. Kaverma is a traditional meat product of Kosovo that has been produced for generations, but little is known about its history or consumption. This paper aims to describe the production process and use of Kaverma in the rural communities of the Dragash district, in Kosovo, where sheep and cattle are the main sources of meat production. The paper also discusses the challenges faced in preserving and promoting traditional food products like Kaverma. Datas obtained for this study were collected through field visits, interviews with local producers, and literature reviews. Kaverma is made from fresh sheep meat and has a unique taste. It is served hot as a dish or as cold meat cut into small pieces. Kaverma has not been reported to be produced or used in other parts of Kosovo, and it faces various challenges, including inadequate standardization, insufficient knowledge regarding its nutritional properties, and limited marketing and distribution channels. The production and consumption of Kaverma in the Dragash region contribute to the local rural economy, heritage, food biodiversity, and sustainability. Thus, it is hoped that this work will raise awareness and multiple significance of traditional food products like Kaverma.

**Keywords:** Kaverma, meat, rural, sustainability, heritage, biodiversity.

## Kosova'nın Geleneksel Bir Et Ürünü: Kaverma

### Öz

Geleneksel gıda ürünleri, değerli bir kültürel mirastır ve kırsal alanların kalkınmasında ve sürdürülebilirliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Kaverma, Kosova'nın nesillerdir üretilen, ancak tarihi ve tüketimi hakkında çok az şey bilinen geleneksel bir et ürünüdür. Bu makale, koyun ve sığırların et üretiminin ana kaynakları olduğu Kosova'nın Dragash ilçesindeki kırsal topluluklarda Kaverma'nın üretim sürecini ve kullanımını tanımlamayı amaçlamaktadır. Bu derleme de ayrıca Kaverma gibi geleneksel gıda ürünlerinin korunması ve tanıtılmasında karşılaşılan zorluklar da tartışılmaktadır. Veriler, saha ziyaretleri, yerel üreticilerle görüşmeler ve literatür taramaları yoluyla toplanmıştır. Kaverma, taze koyun etinden üretilmekte olup eşsiz bir tada sahiptir. Sıcak olduğunda yemek olarak veya küçük parçalar halinde kesilmiş soğuk et olarak servis edilir. Kaverma'nın Kosova'nın diğer bölgelerinde üretildiği veya kullanıldığı bildirilmemiştir ve yetersiz standardizasyon, beslenme özelliklerine ilişkin yetersiz bilgi ve sınırlı pazarlama ve dağıtım kanalları gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Dragash bölgesinde Kaverma'nın üretimi ve tüketimi, yerelde kırsal ekonomiye, kültürel mirasa, gıda biyoçeşitliliğine ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma ile geleneksel gıda ürünlerinden olan kavermanın farkındalığının artırılmasına ve kültürel mirasın devamlılığına önemli katkı sağlayacağı beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kaverma, et, kırsal, sürdürülebilirlik, miras, biyolojik çeşitlilik

\* Sorumlu Yazar: [hysen.bytyqi@uni-pr.edu](mailto:hysen.bytyqi@uni-pr.edu)



## 1. Introduction

Traditional food products are an important part of the cultural heritage and gastronomy of different regions (Barrere et al., 2020). They are consumed for their unique taste, nutritional value, and cultural significance. Traditional food products have long been known to play an essential role in the development and sustainability of rural areas (Pato, & Duque, 2023). They provide a unique opportunity for producers and processors to differentiate their products, contributing to rural economic development and protecting rural areas from depopulation (Gobattoni et al., 2015; Bi et al., 2022). In recent years, there has been a growing interest in foods that are closely linked to their region of origin, and this interest is related to higher quality, more nutritious, safe, and sustainable foods that also promote cultural identity (Nemeth et al., 2019; Monterrosa et al., 2020; Petrescu et al., 2020). For instance, traditional foods like locally sourced fruits, vegetables, and meats can be a valuable source of income for small-scale farmers and producers in rural areas, and their production can support local economies while providing consumers with high-quality, healthy products. Maintaining and developing further for quality and food safety of these products represents an added cultural, heritage, biodiversity and nutrition values.

Kaverma is a traditional meat product of Kosovo and its history dates back to early. It is produced and continues to be produced traditionally in the region of Dragash district (Opoja and Gora). Although it seems to be very aged, there is no data evidence of the production and use of Kaverma as food in the Kosovar population. It is interesting to mention that this food product has not been reported to be produced or used in other parts of Kosovo, or maybe the use of Kaverma was used a lot earlier and is now completely forgotten. Kaverma is a traditional food product made from fresh sheep meat and is known for its particular taste. It is served hot as a dish and as cold meat which is cut into small pieces. A similar prototype of Kaverma is produced in Turkey, named Kavurma is a traditional coarsely diced, deep fried, meat product produced to preserve the meat and give a shelf life of 6–9 months (Kilic, 2009).

Nowadays, preserving and promoting traditional food products encounters various challenges and opportunities. These challenges encompass a range of factors, including inadequate standardization, insufficient knowledge regarding their nutritional properties, and limited marketing and distribution channels (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017; Calicioglu et al., 2019; Moreira & Padrão 2021). A typical example that has faced social, cultural and economic challenges over the time is the Kaverma.

The objectives of this paper are twofold. First, there will be a brief historical review of the production of Kaverma food product in Kosovo, with a focus on its values, biodiversity and cultural heritage. Secondly, the prospects, biodiversity and cultural heritage. Secondly, the prospects for a continuous and advanced synergy to raise awareness and generate interest in the cultural and economic significance of traditional food products.

## 2. Material and Method

**2.1. Rural Communities and agro-ecological factors in Dragash:** The region of Dragash is located in the southern part of the Republic of Kosovo in the border triangle with the Republic of Albania in the west and the Republic of North Macedonia in the east and south, with a population of 42.171 inhabitants. This rural community covers an area of 435.8km<sup>2</sup>, a territory that is most often identified from two areas, the Opoja region in the north and Gora in the south, bordered on the edge by the Sharri Mountains. The altitude varies from 750 to 2550 meters above sea level, with an average of 1620 m. The subalpine climate is characteristic with an average annual temperature of 8.6°C. Summers sessions were short and fresh with an average temperature of 18.1°C, while winters were long and relatively cold, with an average temperature of -0.4°C, and mostly covered with snow for about 120 days. The average annual amount of precipitation was about 807 mm (MDP, 2013).

**2.2. Meat production in the region of Dragash:** Meat production in this region mainly (99%) generates from sheep (9,500 head) and cattle (6,450 head), including young and discarded animals: lambs, calves, sheep, and cows, respectively (Sustainable Development Atlas for Dragash, 2013). The dual purpose breeds characterize meat production in this region represented by the Sharri sheep, while autochthonous Busha and its crosses represent the cattle part (Bytyqi, et al. 2005; 2014; 2015). Animal production in this region can be considered semi-extensive, depending on the pastures for about 6 months for the summer period, grazing mainly, and the winter period where the animals are fed mainly indoors with hay and small amounts of feed supplements (corn, wheat bran, or barley). The barns and accompanying facilities seem to be of poor quality. Lambs and calves are fed with milk for a period of about three and six months, respectively. Although accurate data is missing from the local authority, the production of sheep meat in this area is considered to be around 100 tons and around 300 tons of beef per year. Supported by the agro-ecological conditions, the quality of the meat was considered to be very high, being used mainly by local consumers as fresh and in very small cases traditionally processed (sheep: pasterma and kaverma) and (cattle: dry meat and sausage). Livestock activities, traditions, nutrition, and ways of life characterize the originality of this region, which may be lost in most other regions in Europe and beyond.

**2.3. Data collection:** This study was conducted using field research methods in 10 randomly selected villages in the Dragash region (Figure 1). A sample size of 14 farms (representing about 80% of sheep farms of this region used still produce kaverma) out of

50 farms interviewed was calculated. The participants in the research were selected based on their families' common usage and preparation of Kaverma over the years, despite the villages being randomly selected. Data for this paper were collected through face-to-face interviews conducted between October 2021 and August 2022 in rural settlements. During the interviews, detailed descriptions of the Kaverma preparation process were provided.

### 3. Results and Discussion

The production of Kaverma originated as a means of preserving fresh sheep meat, as an alternative to the traditional method of preservation through Pasterma, which was commonly used by farmers living in mountainous regions. Although the technological process involved in producing Kaverma is more complex than that of Pasterma, Kaverma is generally considered easier to consume (Berisha et al., 2018).

**3.1.Preparation of Kaverma:** In Figure 2 was shown the diagram flow of Kaverma, a traditional preserved meat product made from sheep meat. The process involves several steps including slaughtering the animal, removing the internal organs, washing and draining the meat, cooking it with salt, and preserving it with fat.



Figure 1. Sample selected villages in the district of Dragash/Dragaş ilçesinde seçilmiş köylerden incelenen örnekler.

The production of Kaverma starts with the slaughtering of the animal. For the production of Kaverma, the sheep that are slaughtered are typically older and no longer used for reproduction, and their meat is not commonly consumed as fresh meat. The gender of the sheep used in Kaverma production is inconsequential, as both rams and ewes can be used. Slaughtering is followed by draining the blood from the animal and removing the skin, and internal organs including the heart, lungs, stomach, and gut. The stomach is cleaned and stored for later use.

Once the flesh of sheep is obtained, it is divided into 2-4 parts and washed with cold or warm water to remove any impurities. The flesh is then hung for 2-3 hours to drain, and any remaining water is removed. The entire folded flesh is then placed in a large container which is cooked with steam until the bones begin to separate from the flesh. During cooking by boiling by steam a small amount of water is added, salt (the amount of salt added depends on the amount of meat, usually it is based on the farmers' preferences) with no added fat. The steam boiling continues for 7-8 hours, till all bones are removed from the flesh, and as a final product, we have the boiled meat.

The cooked meat is then checked for sufficient salt content before adding onion, garlic, or other desired seasonings (hot pepper, black pepper, garlic, parsley). The meat is then placed in a container for preservation, and malted fat is concentrated to the surface of the meat. The meat is then compressed to remove any remaining water, and the container is sealed tightly. Within two hours, the meat is preserved with the fat on the surface. The resulting product is known as Kaverma. Overall, the process involves careful handling of the meat to ensure its quality and preservation. The use of salt and fat helps to prevent the growth of harmful bacteria, which can spoil the meat.

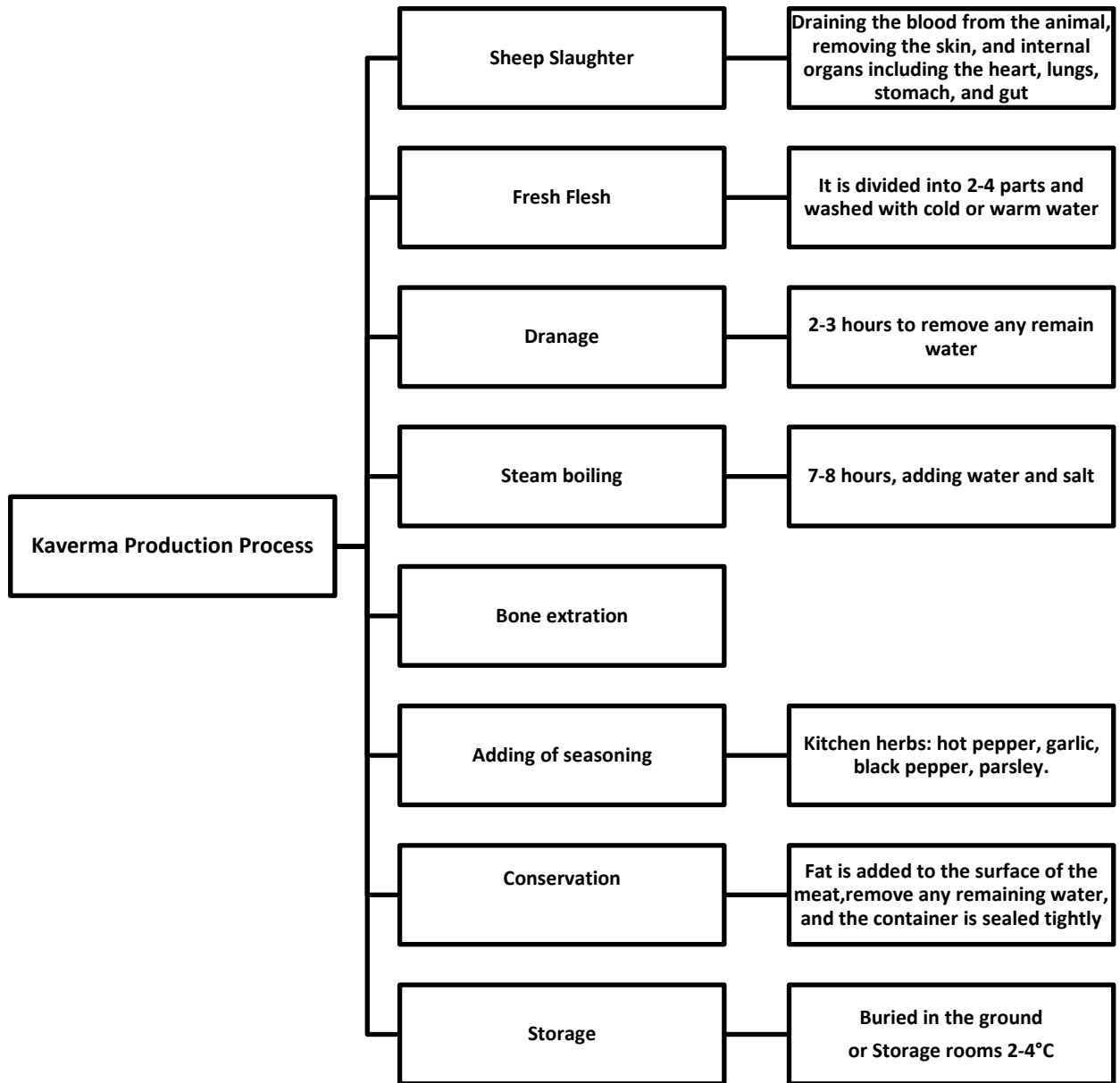


Figure 2. Technological process of Kaverma preparation/ Kaverma hazırlamanın teknolojik yöntem

**3.2.Storage of Kaverma:** As previously stated, Kaverma is a traditional meat-based product, which is commonly produced and preserved by shepherds for future consumption. Kaverma can be conserved through both traditional and modern preservation methods.

**3.2.1. The traditional method of preserving Kaverma:**

The traditional method of preserving Kaverma involves storing it in the stomach of sheep or in the intestine, which has been well-cleaned and preserved with salt during the preparation of the Kaverma. The sheep’s stomach is large enough to store the entire amount of Kaverma, and it is closed tightly before being buried in the ground and covered with a stone slab near the houses or stalls or in the fresh rooms (basement). In rare cases, the Kaverma is also preserved in the intestines, which are well-cleansed in the same way as sausages.

**3.2.2. The modern methods of preserving Kaverma:**

In modern times, boiled Kaverma can be placed in any storage container as the surface of the malted fat ensures Kaverma is hermetically sealed. However, the durability time in small containers is longer. Kaverma to be perfect does not withstand moisture (water-after-boiling) in conservation, but it must have only its fat, obtained during the preparation of Kaverma.

**3.3. Kaverma and Geographical indication**

Geographical indications refer to the protection and identification of a product by associating it with a specific geographical region. These indications provide consumers with information about region-specific characteristics, quality, production methods, and

traditions associated with the region of origin (Yılmaz et al., 2018). Geographical indications play a significant role in marketing strategies by emphasizing the uniqueness and quality of products. Consumers are aware that a product with a geographical indication possesses specific attributes linked to a particular geographical region, and therefore, they prefer such products (Karadaş et al., 2022a). Through geographical indications, producers can safeguard the name of their products, production methods, and product quality. This provides producers with a competitive advantage and supports the fair recognition of their efforts.

Geographical indication products are preferred and valued by consumers, which increases the income of producers in the region and contributes to economic growth. Geographical indication products also hold significant potential for tourism and trade (Yılmaz et al., 2017). They serve as crucial support for small farmers and producers operating in rural areas. These indications help promote local production and strengthen rural economies. Geographical indication products support the sustainability of region-specific agricultural products and crafts (Karadaş et al., 2022b). They are an important tool that not only offers consumers high-quality and authentic products but also supports producers and regional economies (Oraman et al., 2011). By highlighting the geographical origin and region-specific values of products, geographical indications contribute to the preservation of cultural heritage and the promotion of regional development. In this compilation, by contributing to the geographical indication efforts in Kaverma production, both the continuation of cultural heritage in the region will be supported, and the businesses engaged in production in the region will gain visibility and profitability. It will create an income source for the local residents.

## **4. Discussion**

Despite the importance of traditional food products for biodiversity and agro-tourism, it is already known (John et al., 2013; Nguyen et al., 2018; Lin et al., 2021), and farmers in Kosovo have permanent demands for increasing farm food products, there is still a continuous negative trend in terms of the preservation of these traditional products at all or their sustainable technological and economic advancement.

Kaverma is a traditional food product consumed in Kosovo, made from steam-boiled and salted sheep meat. Our study aimed to give data on the technological production of Kaverma the storage conditions required for its preservation, as well as its traditional uses and consumption patterns. Our results showed that Kaverma can be stored in simple containers or even in sheep stomachs in cool rooms and requires low temperatures to prevent contamination and spoilage. In the past, there was known preservation of the Kaverma even inside the ground when storage facilities were missing. However, storage conditions must be carefully monitored after opening, as Kaverma is susceptible to various forms of contamination, including equipment from storage containers and unpleasant odors. These findings suggest that further research is needed to develop better storage solutions and prevent the decline of this traditional product.

However, Kaverma like many other traditional foods in Kosovo also faces challenges such as lack of knowledge about their nutritional value, lack of standardization and lack of marketing and distribution channels. Opportunities for commercialization, such as the growing demand for healthy and unique food products, and the growing interest in local and traditional foods should be developed and supported.

This short communication showed that Kaverma, though nowadays rarely used, can play an important role regarding nutrition values, food biodiversity, heritage, and rural economy sustainability in this region and broader. Clearly, through ages there no evidence of any attempts for further upgrading its dietic aspect of this food product, therefore, traditionally continues to be used in combination with various dishes and consumed with beans as a staple food.

Kaverma has also been used in different celebrity events and seasons, indicating its widespread consumption and value as a nutritional source. However, the production of Kaverma has declined in recent years, with only a few families preserving the traditional knowledge and culture of its preparation. This decline is further compounded by the lack of information and interest among younger farmers in the region. Therefore, there is an urgent need for projects to standardize the production of Kaverma, improve storage conditions after opening, and promote its cultural and nutritional value to ensure its preservation and transfer to future generations.

Although in recent times, the Dragash region is facing a rapid increase in tourist attractiveness (long mountain terrains for hiking, skiing, tourism almost in all seasons of the year), an increase in consumer demand for traditional diets and food diversity and the rapid commercial development of the chain of restaurants and other accommodation facilities which mainly offer traditional food in accordance with the demands of consumers, still, Kaverma has not found its place in the menus offered by the diets offered.

This may be due to low dietary knowledge to increase commercial interest, the lack of interest of farmers to offer this product outside their farm, the lack of technological advancement in the preparation and diversity of its use, the low connection of the business-farm chain in rural areas in this region and in Kosovo in general, the lack of knowledge about this food product by consumers, etc.

A complete commercial, well-structured and detailed approach is also very necessary to increase the general knowledge of this traditional food product within the region of Dragash, in Kosovo and beyond.

## **5. Conclusions**

In conclusion, Kaverma as a traditional food product is an important part of cultural heritage and has unique characteristics such as preparation methods and cultural significance. It often appears to have high nutritional value and is rich in essential nutrients



Therefore, further studies are required not only to culturally preserve this food product, but also to enhance its nutritional value and sensory attributes through additional research on storage and various production methods such as fermentation, drying, and the incorporation of natural flavor ingredients, etc.

In addition, recognizing the long history of animal-human food interactions as conceptualized in modern society has great potential to promote future sustainable food production, as well as biodiversity and cultural heritage in the Dragash region and Kosovo, in general. Moreover, the main conclusion from this overview is that the preservation and enhancing of the production of Kaverma in the food diets, preserves the co-production of food, biological diversity and cultural heritage in the country and beyond.

Kaverma production has a long production history and maintains a rich variety of values. They are perceived to be associated with cultural heritage values and although the exact amounts are unclear, they make a significant contribution to food production. Thus, there are positive relationships between these multiple aspects. At the same time, there are some limitations and challenges that need to be overcome to maintain and promote these positive relationships.

## 6. References

- Atlas of Sustainable Development for Dragash, (2013). Framework for balanced and inclusive rural development of the Municipality of Dragash, Volume III: Evaluation, pp. 37-39. <https://kk.rks-gov.net/dragash/wp-content/uploads/sites/12/2017/12/Plani-Zhvillimor-pjesa-III.pdf>.
- Avermaete, T., Viaene, J., Morgan, E. J., Pitts, E., Crawford, N., & Mahon, D. (2004). Determinants of product and process innovation in small food manufacturing firms. *Trends in food science & technology*, 15(10), 474-483.
- Barrère, C., Bonnard, Q., & Chossat, V. N (2020). Food, gastronomy and cultural commons. E. Bertacchini, G. Bravo, M. Marrelli and W. Santagata. *Cultural Commons: A new perspective on the Production and Evolution of Cultures*, Edward Elgar, pp.129-150, 2012. Accessed 04.03.2023 [Food, gastronomy and cultural commons \(hal.science\)](#)
- Berisha, K., Bytyqi, H., Mehmeti, H., Hamidi, A., & Sylejmani, D. (2018). Technological process of preparation of meat sheep in traditional way in Kosovo. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24(3), 515-520.
- Bi, Q., Chen, W., Li, L., Wang, X., & Cai, E. (2022). Agricultural population supported in rural areas under traditional planting mode based on opportunity cost analysis. *Land*, 11(8), 1340.
- Bytyqi, H., B. Fuerst-Waltl, H. Mehmeti, R. Baumung. (2015). Economic values for production traits for different sheep breeds in Kosovo. *Italian Journal of Animal Science* 2015; volume 14:3808.
- Bytyqi, H., G. Klemetsdal, J. Ødegard, H. Mehmeti, M. Vegara. (2005). A comparison of the productive, reproductive, and body condition score traits of the Simmental, Brown Swiss, and TyrolGrey breeds in smallholder herds in Kosovo. *Anim. Genet. Res. Inf.* 37:9–20
- Bytyqi, H., R. Baumung, H. Mehmeti, B. Fuerst-Waltl. (2014). Characterization of autochthonous sheep breeds and production system in Kosovo. *Anim. Genet. Res.* 54:163-170.
- Calicioglu, O., Flammini, A., Bracco, S., Bellù, L., & Sims, R. (2019). The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. *Sustainability*, 11(1), 222.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Fao. Accessed 04.03.2023: [The future of food and agriculture: Trends and challenges \(fao.org\)](#)
- Gobattoni, F., Pelorosso, R., Leone, A., & Ripa, M. N. (2015). Sustainable rural development: The role of traditional activities in Central Italy. *Land use policy*, 48, 412-427.
- Johns, T., Powell, B., Maundu, P., Eyzaguirre, P.B. (2013). Agricultural biodiversity as a link between traditional food systems and contemporary development, social integrity and ecological health. *J. Sci. Food Agric.* 93, 3433–3442.
- Karadaş, Ö., Geçgel, Ü., Yılmaz, İ., (2022a). Her Yönüyle Havsa, Yayın Yeri: Paradigma Akademi, Editör: Prof.Dr. Mustafa Tan, Dr. Tolga Erdoğan, 2022, page; 493-504.
- Karadaş, Ö., Yılmaz, E., Yılmaz, İ. & Geçgel, U. (2022b). Trakya Bölgesinde Coğrafi İşaretleme Çalışmaları ve Bölge Ekonomisine Katkısı. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 17 (2) 180-189.
- Kilic, B. (2009). Current trends in traditional Turkish meat products and cuisine. *LWT-Food Science and Technology*, 42(10), 1581-1589.
- Lin, M.-P., Marine-Roig, E., Llonch-Molina, N. (2021). Gastronomy as a sign of the identity and cultural heritage of tourist destinations: A bibliometric analysis 2001–2020. *Sustainability*, 13, 12531.
- Monterrosa, E. C., Frongillo, E. A., Drewnowski, A., de Pee, S., & Vandevijvere, S. (2020). Sociocultural influences on food choices and implications for sustainable healthy diets. *Food and Nutrition Bulletin*, 41(2\_suppl), 59S-73S.
- Moreira, P., & Padrão, P. (2021). Safe and healthy food in traditional food markets in the WHO European Region. Accessed 04.03.2023: [WHO-EURO-2021-1854-41605-56825-eng.pdf](#)
- Municipal Development Plan (MDP 2013 – 2023). (2013). Conservation of Biodiversity and Sustainable Management of Land Use in Dragash. p.p., 4-21. <https://kk.rks-gov.net/dragash/wp-content/uploads/sites/12/2017/12/Plani-Zhvillimor-pjesa-I.pdf>
- Nemeth, N., Rudnak, I., Ymeri, P., & Fogarassy, C. (2019). The role of cultural factors in sustainable food consumption—An investigation of the consumption habits among international students in Hungary. *Sustainability*, 11(11), 3052.
- Nguyen, N.T.H., Suwanno, S., Thongma, W., Visuthismajarn, P. (2018). The Attitudes of Residents towards Agro-Tourism Impacts and Its Effects on Participation in Agro-Tourism Development: The Case Study of Vietnam. *Afr. J. Hosp. Tour. Leis.* 7, 1–18.
- Oraman, Y., Unakitan, G., Yılmaz, E., Başaran, B. (2011). Analysis of the Factors Affecting Consumer's Some Traditional Food Products Preferences by Multidimensional Scaling Method. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 8(1)33-40

- Pato, M. L., & Duque, A. S. (2023). Traditional agri-food products and sustainability—A fruitful relationship for the development of rural areas in Portugal. *Open Agriculture*, 8(1), 20220157.
- Petrescu, D. C., Vermeir, I., & Petrescu-Mag, R. M. (2020). Consumer understanding of food quality, healthiness, and environmental impact: A cross-national perspective. *International journal of environmental research and public health*, 17(1), 1
- Yılmaz, E., Yılmaz, İ., Soysal, M. İ., Kurultay, Ş., Şimşek O., (2017), Geleneksel Gıdaların Coğrafi İşaretlenmesi ve Sürdürülebilirlik, Mediterranean International Conference on Social Sciences (MECAS), 19 - 22.05.2017.
- Yılmaz, E., Yılmaz, İ., Şimşek, O., Kurultay, Ş., (2018). Traditional Foods and street foods, The 4th International Symposium on “Traditional Foods from Adriatic to Caucasus” 19-21 April 2018 Kyrenia / Northern Cyprus page;102



# Metamorfik Masiflerin Asitik Bileşenleri: Jeokimya ve Mineraloji Perspektifi

Ayşe Didem Kılıç<sup>1\*</sup>, Mustafa Güler<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6804-6764), [adkilig@firat.edu.tr](mailto:adkilig@firat.edu.tr)

<sup>2</sup> Bingöl Belediyesi, Jeoloji Dairesi, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9410-7030), [mustafaguler12@outlook.com](mailto:mustafaguler12@outlook.com)

(İlk Geliş Tarihi 15 Haziran 2023 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10256740)

**ATIF/REFERENCE:** Kılıç, A.D., Güler, M., (2023). Metamorfik Masiflerin Asitik Bileşenleri: Jeokimya ve Mineraloji Perspektifi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 71-79.

## Öz

Bu çalışmada, Bitlis İli'nin yaklaşık 140 km güneydoğusunda, Yolcular ilçesi civarındaki asitik magmatitlerin jeokimyası ve mineralojisi bölgesel jeoloji içinde yorumlamaya çalışılmıştır. Asitik magmatitler, yüksek miktarda silisyum içeren magmatik kayalar olup, volkanik veya plutonik kökenli olabilirler. Aplit, metagranit gibi asitik magmatitlerin ortalama mineral bileşimi alkali feldspat, plajiyoklaz, kuvars, biyotit ve hornblend'tir. Jeokimyasal analizler bu kayaların granodiyorit bileşimli olduğunu ve granit-granodiyorit magmasının diferansiyasyonu ile oluştuğunu gösterir. Aynı zamanda fraksiyonel kristallenme süreci toleyitik ve kalkalkalen karakterli granitik magmanın değişiminin işaretidir. Özellikle metamorfik masif içerisindeki aplit damar kayacının oluşumu fraksiyonel kristallenmenin sonucudur. Bu durum, yüksek  $La_N/Yb_N$ ,  $Rb/Sr$  ve düşük  $Sm/Nd$ ,  $K/Rb$ ,  $Sr/Ba$  oranları da bunu göstermektedir. İz element oranlarının değişimi, bölümsel ergime ile gelişen fraksiyonel kristallenmenin üst kıtasal kabuğu etkilediğini işaret eder. Asitik magmatitler bölgesel metamorfizma ve kataklastik metamorfizmadan etkilenmiştir. Biyotit minerallerinde izlenen yönlenme, mikro kıvrımlar ve yapraklanma metamorfizmanın etkili amfibolit fasiyesi koşullarıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Fraksiyonel kristalleşme, Toleytik magma, Aplit damarı, Bitlis, Masif.

## The Acidic Components of Metamorphic Massifs: A Perspective on Geochemistry and Mineralogy

### Abstract

In this study, we attempted to interpret the geochemistry and mineralogy of acidic magmatites in the vicinity of Yolcular, approximately 140 km southeast of Bitlis Province, within the context of regional geology. Acidic magmatites are high-silica content igneous rocks that can have volcanic or plutonic origins. The average mineral composition of acidic magmatites such as aplit and metagranite includes alkali feldspar, plagioclase, quartz, biotite, and hornblende. Geochemical analyses indicate that these rocks are composed of granodiorite and formed through the differentiation of granite-granodiorite magma. The fractional crystallization process also suggests the modification of toleyitic and calc-alkaline granitic magma. Particularly, fractional crystallization plays a significant role in the formation of aplit veins within the metamorphic massif. This can be observed through high  $La_N/Yb_N$ ,  $Rb/Sr$  ratios, low  $Sm/Nd$ ,  $K/Rb$ , and  $Sr/Ba$  ratios. The variations in trace element ratios indicate the influence of fractional crystallization associated with partial melting on the upper continental crust. The acidic magmatites have been affected by regional and cataclastic metamorphism. The orientation, microfolds and foliation observed in biotite minerals are effective amphibolite facies conditions of metamorphism.

**Keywords:** Fractional crystallization, Toleytic magma, Aplit veins, Bitlis, Massif.

\* Sorumlu Yazar: [adkilig@firat.edu.tr](mailto:adkilig@firat.edu.tr)

## 1. Giriş

Türkiye, Metamorfik Masif'lerin geniş yayılım sunduğu önemli jeolojik zenginliğe sahip bir ülkedir. Farklı özelliğe sahip sedimanter, metamorfik ve magmatik birçok kayacı içeren Bitlis-Pütürge masifi birçok araştırmacı tarafından incelenmiş olan Türkiye masiflerinin en doğudaki örneğidir (Bora, 1975; Dewey, 1973).

Alt Birlik ve Üst Birlik olarak iki bölümden oluşan veya bazı araştırmacılar (Yılmaz, 1993; Çağlayan ve diğerleri, 1984, Göncüoğlu ve Turhan, 1983; Tolluoğlu, 1982... gibi) tarafından çekirdek ve örtü olarak ifade edilen Bitlis masifi'nde ilerleyen metamorfizma, gerileyen metamorfizma ve bölgesel yerleşime bağlı olarak gömülme metamorfizması izleri görülür. Ayrıca, Alpin orojenezi öncesinde ve orojenez sırasında da dinamik metamorfizma geçirdiği mineral parajenezinden belirlenmiştir (Göncüoğlu ve Turhan, 1983). Yakınlaşan kıtasal levha sınırlarında Bitlis Masifi Paleozoik zamanda yoğun deformasyon geçirmiş ve farklı metamorfizma evrelerinde Anadolu Levhası kristalen birimlerinde izlenmiştir. Bitlis Metamorfik Kuşağı, Orta Devoniyen öncesi yaşlı Hizan Grubu, Orta Devoniyen-Üst Triyas yaşlı Mutki birimi olarak iki gruba ve Triyas zamanı sonrası gelişen riftleşmeyle oluşan kıta kenarına ait kayalar denilmektedir. Üst Kretase'(75 my) de Hizan ve Mutki Grubu retrograd metamorfizmaya uğramıştır (Yılmaz, 1993). Bir başka çalışmada Helvacı (1983) Rb-Sr izotop yaşından ilk metamorfizma yaşının 90 my (Kadomiyen Metamorfizması), ikinci metamorfizma yaşının ise 40 my olduğunu ifade etmişlerdir. Bu metamorfizma, yay-kıta çarpışması ve ofiyolitlerin üzerlemesi sonucu Kampaniyen zamanında gelişmiştir (Çağlayan ve diğerleri, 1984). Bitlis metamorfiti üzerine yapılan benzer diğer çalışmalar; Masifin yaşı ile ilgili son çalışmalarda, mikaşistlere ait muskovitlerde 74-79 My, gnayslardaki zirkon mineralinde 572 My ve metagranitlerde ise 546 milyon yıl yaşı belirlenmiştir (Kılıç ve Ateş, 2015). Masif'in çekirdek ve örtü kayaları arasındaki açısal uyumsuzlukla ve bunları kesen epi-metamorfik örtü Permiyen yaşlıdır (Göncüoğlu ve Turhan, 1983; Boray ve diğerleri, 1975; Oberhanslı, 2012).

Bitlis masifi çekirdek bölümünde, amfibolit, gözlü gnays, pegmatit, kuvars mikaşist, granat mikaşist, metakuvarsit ve mermer ile bunlara sokulum yapan granitlerden oluşurken, örtü bölümü mikaşist, meta-kuvarsit, kloritşist, mermer ve kalkışistlerden oluşur. Her iki kayaç bölümünün mineral parajenezleri horblend, stavrolit, tremolit/aktinolit, granat (almandin), plajiyoklaz, klinozoisit, zirkon, klorit, epidot ve biyotit olup Amfibolit fasiyesinden Yeşilşist fasiyesine kadar değişen metamorfik derece izleri görülür. Bitlis Masifi'nin örtü biriminde bulunan glokofan, karfolit ve aragonit mineralinin alterasyonu sonucu kalsit minerali gelişmiştir. Bu mineral parajenezi genel olarak yüksek basınç ve düşük sıcaklık koşullarını işaret etmektedir. Glokofan mineralinin yaygın olması, Neotetisin kapanması sırasında masifin derin gömülmeye maruz kalması ile nap yığılı yapısı kazandığının göstergesidir (Kılıç ve İnceöz, 2015).

Pegmatitik bir kayaç olan granitik pegmatitler, Li, Ta ve diğer nadir toprak elementler (NTE) için önemli bir kaynak oluşturmaktadır (Kırat, 2022a). NTE'lerin kökeni dört farklı jeolojik ortam ile ilişkilidir. Bunlar, karbonatitler, alkali magmatik kayalar, monazit-ksenotim plaser yatakları ve iyon adsorbsiyonunu içeren killi yataklardır (Huleatt, 2019; Kırat, 2022b).

İnceleme konusu olan masifin magmatik birimlerini karakterize eden aplitler, amfibolit, paragnays, migmatit ve pegmatoidleri kesmektedir. Bazı alanlarda ise mikrogranit ve tonalit gibi lökogramit magmatitler amfibolit ve granitik gnayslarla uyumlu/uyumsuz kütleler şeklinde izlenirler (Şekil 2.1). Bu çalışmanın amacı asitik magmatik intrüzyonların mineralojik, petrografik özellikleri ve jeokimyası ile aplit dayklarının tektonik ortamı ve metamorfizma derecesinin jeodinamik ortamla mukayese edilmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kimyasal Analizler

Van Gölü'nün güneyinde 145 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsayan (Şekil 2.1) ve Şengün (1984) tarafından en iyi yüzeylemesini verdiği için Bitlis ili Yolcular ilçesi'ne adfen Yolcular Metamorfiti olarak adlandırılan birimde tüm kayaç örnekleme yapılmış seçilen örneklerden Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi laboratuvarlarında ince kesitler hazırlanmıştır. Foliasyona dik, lineasyona paralel olarak alınan örneklerden ince kesit yüzeylerinden yaklaşık 2 cm kalınlığında kesilmiştir. Alınan parça boyutları 2x3x2 cm olacak şekilde hazırlanmıştır. Mineral bileşimleri ve petrografik adlanması yapılan toplam 35 adet örnekten kimyasal analizlere uygun 6 örnek seçilmiştir (Şekil 2.1).

Örneklerin Nadir Toprak Elementleri (NTE) ICP-MS, iz element ve majör oksit içerikleri ise ICP-AES metodu kullanılarak ACME Analitik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Ana, iz ve nadir toprak elementler 1150oC'de platin-altın krozeve 1/5 oranında numune ve lityumtetraborat katılmasıyla elde edilmiştir. Yaklaşık 2x3x2 cm boyutlu seçilmiş örnekler tüm kaya için öğütülmeden, diğer analizler için agat havanlarda <62µ' dan küçük tane boyutuna kadar öğütülmüştür. Kimyasal analiz sonuçları Tablo' 1' de verilmektedir.



Tablo 1. Asit magmatitlerin Anaoksit ve İz element Sonuçları

Ana oksit (%)	Gm-a1	Gm-a2	Gm-a3	Gm-a4	Gm-a5	Gm-a6
SiO <sub>2</sub>	69.17	73.72	72.68	72.52	70.57	69.55
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.52	0.52	0.53	0.36	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.07	16.17	16.30	16.04	15.70	16.02
FeO	0.73	0.29	0.39	0.44	0.35	0.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.87	0.20	1.14	0.41	1.10	1.07
MnO	0.02	0.04	0.02	0.01	0.11	0.06
MgO	1.06	0.38	0.80	0.43	0.74	0.51
CaO	0.82	0.17	0.15	0.16	0.31	0.22
Na <sub>2</sub> O	3.92	6.73	7.80	7.31	7.73	7.20
K <sub>2</sub> O	3.08	0.92	0.16	1.22	0.19	0.57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	0.08	0.03	0.03	0.13	0.11
Toplam	99.29	99.22	99.99	99.10	99.99	96.27
İz elementler (ppm)						
Rb	128	184	122	180	186	199
Sr	103	162	101	26	13	21
Ba	195	403	345	83	24	102
Zr	110	103	58	66	128	70
Y	22	27	31	24	26	22
La	11	6	8	10	4	7
Nb	10	8	11	7	6	12
U	3	2	5	6	4	2
Th	8	8	14	16	23	19
Cs	5	4	7	6	8	7
Zn	43	31	19	22	28	16
Cu	4	9	11	5	9	8
A/CNK	0.92	1.05	1.02	1.03	1.00	1.02
Rb/Sr	1.24	1.13	1.20	6.92	14.30	9.47
Sr/Ba	0.52	0.40	0.29	0.31	0.54	0.50

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Genel Jeoloji

Asitik magmatitlerin incelendiği bu çalışmada seçilen lokasyon Yolcular ilçesi (Bitlis) dir. Yolcular metamorfiti olarak adlandırılan ve amfibolit, paragnays, migmatit ve granitoidleri kapsayan birimde asitik magmatitler uyumsuz olarak tüm litolojiyi farklı boyutlarda kesmektedir. Hazo Tepe civarında yaklaşık 1-1.2 km<sup>2</sup>'lik bir alanda amfibolit kütleleri ve yeşilimsi mavi renkte masif ve şistozite yapısı belirgin amfibolüstler izlenir (Şekil 2.1, Şekil 2.2A). Amfibolitlerin önemli özelliklerinden biri biyotit mineralleridir (Şekil 2.2B). Paragnayslar, mika minerallerinin oranına bağlı olarak, biyotitçe zengin gnayslar ve muskovitli gnayslar olarak iki gruba ayrılabilir (Şekil 2.2B ve Şekil 2.2D). Biyotit oranı yüksek paragnayslar ve yer yer amfibolitler aplitlerle dokanak halindedir (Şekil 2.3). İnceleme alanı içerisinde ve Pancarlı Mahallesi çevresinde yaygın litoloji migmatitlerdir. Migmatitler, lökosom ve melanosom seviyeleri şeklinde, santimetreden metreye kadar değişen kalınlıklarda izlenmektedir. Açık renkli kuvars ve feldispast minerallerince zengin ve granitik lökosomlar ve koyu renkli genellikle hornblend, biyotit, az miktarda kuvars minerallerinden oluşan melanosomlar tipik migmatit yapısı göstermektedir.



Şekil 2. 2 Bantlı ve gözlü gnaylardan bir görünüm



Şekil 2. 3. Paragnaysları kesen aplit damarlarının arazi görünümleri

### 3.2. Petrografisi

İnceleme konusu aplit daykları, paragnays ve amfibolit birimleri içerisinde izlenmektedir (Şekil 3.1). Yolcular grubunun alt seviyelerinin iyi gözlemlendiği Yelcık Tepe ve civarında oldukça yoğun olan aplit sokulumları ince kesit görüntülerinden K-feldispat, plajiyoklaz, kuvars ve biyotit minerallerinden oluştuğu görülür. Kendi magmasının son ürünü olan aplitler inceleme alanındaki metamorfik birimler içerisinde farklı doğrultularda ve plütonik kütleler halindedir (Şekil 3.1). Kısmen tektonizma ve metamorfizma etkisiyle dokanıklarda belirgin yapraklanma izlenmektedir. Özellikle metamorfizma etkisiyle göz yapısı ve budinler içerisinde rekristalizasyon ürünü feldispatların varlığı önemlidir. Aplit sil ve mercekleri alterasyon etkisiyle kırmızımsı bir görünüm sergilemektedir (Şekil 3.1). Çalışma alanında yanal ve düşey devamlılığı olmayan damar kayaçları olarak görülür. Yer yer killeşmelerden dolayı sarımsı-bej renk tonu alan aplit daykları genelde beyazımsı gri ve pembemsi beyaz renk tonlarına da sahiptirler.

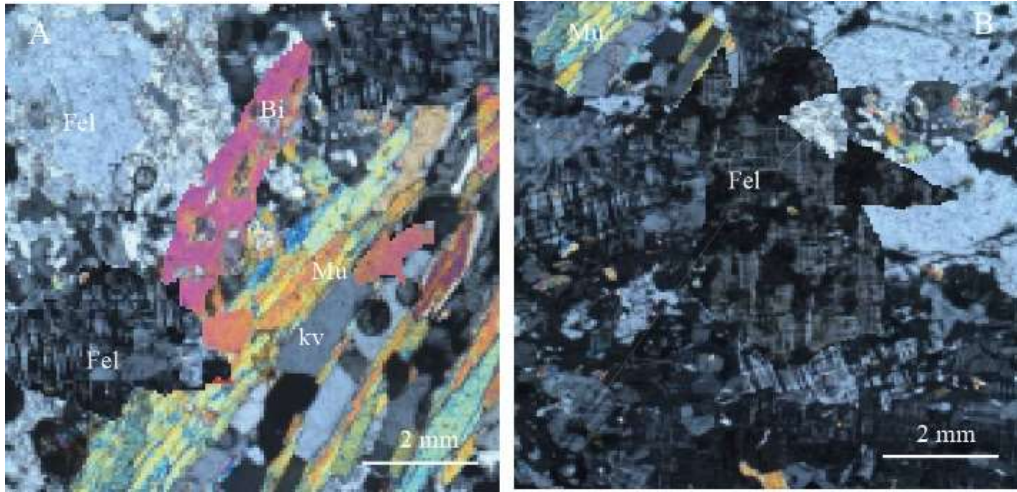
Metagranitler diğ er asitik magma kayaçlarıdır. Bu kayaçlar aplit-pegmatit damar kayaçları ile ortognayslara yakın konumlanmışlardır. Başlıca mineral bileşimleri alkali feldspat, plajiolklas, kuvars, biyotit ve muskovittir (Şekil 3.7). Alkali feldispatlar ve biyotitler, feldspat ve kuvars kristallerinden oluşan bir matriksle çevrelenmiş ve gözlü dokuyu andıran milonitik bir yapı oluşturmuştur (Şekil 3.2A). Feldspatlar hem porfiroklastlar halinde hem de matrikste yaygındır. Alkali feldspatlar, serizit minerallerine dönüşmüştür (Şekil 3.2B). Tek nikelde düşük optik engebeleri ile kolayca tanınan bu minerallerin makaslama tektoniğ inden dolayı asimetrik göz yapısı izlenmektedir. Kuvars mineralleri ksenoblastik özelliktedir. Kuvarslarda dalgalı sönme deformasyon etkisini göstermektedir (Kılıç ve Karaca, 2021).



Şekil 3.1. Çalışma alanı Yelcik tepe yamacından alınan aplit damarlarına ait sil ve merceksel geometri

Deformasyondan dolayı plajiyoklaz kristallerinin yapısı bozulmuş ve yuvarlak tane şeklini almış oldukları görülür. Albit ikizlenmesi karlsbad ikizlenmesine göre daha yaygındır. Muskovitler ve biyotitler lepidoblastik dokuyu oluşturur. Mika mineralleri porfiroblastik minerallerin etrafını çevreler. Biyotit minerallerinin alterasyon ürünü kloritler tek nikelde net şekilde izlenebilmektedir. Muskovitler, biyotitler gibi foliasyona paralel şekilde dizilim göstermektedirler. Kayacın genel dokusu granoblastik dokudur. İkincil mineral olarak, manyetit ve nadiren sfen mineralleri görülür.





Şekil 3.2. Aplitin mikroskop görünümü. (A) Folyasyon yönünde uzama gösteren kuvars ve muskovit mineraller, (B) serizitleşmiş ve kafes ikizi tipik alkali feldispatlar. (Fel) feldispat, (kv) kuvars, (Mu) muskovit, (Bi) Biyotit.

Aplit ortognaylarla dokanak halinde izlenirken paraganayların içerisinde ince bantlı sokulumlar halinde izlenmektedir. Başlıca; Kuvars, mikroklin, muskovit ve az oranda biyotit kristallerinden ikincil olarak sfen kristalleri bulundurulur. Hem sil hem dayk şeklinde izlenebilen aplitik damar kayaçlarında benzer mineraller bulunmakla birlikte oranları birbirinden farklı olabilmektedir. Örneğin alkali feldspat, sillerde mikroklin şeklinde iken dayklarda bu mikroklin kristallerinin boyutları farklı ve daha büyüktür. Mikroklinlerin en önemli özelliği tek nikolde bulanık bir görünüme sahip olmalarıdır. Bu durum kısmen alterasyona bağlanmıştır. Aplitlerde plajiyoklaz oranı feldspata oranla daha az ve yarı öz şekillidir. Deformasyondan fazlaca etkilenmiş ve kristal yapıları parçalanmıştır.

Kuvars minerallerinin tane sınırları özşekilsiz ve mineraller arası boşlukları doldurur haldedir. Sil ve dayk şeklindeki yerleşmiş aplitlerin birbirinden ayıran diğer önemli bir ayırım muskovitlerdir. Dayklarda daha küçük kristal boyutundadır. Biyotitler ise her iki kütle şeklinde muskovitlere nazaran az sayıdadır. Biyotitler ve muskovitler foliasyona paralel şekilde yönlenme gösterirler.

### 3.3. Jeokimya

Bitlis metamorfizminin Yolcular grubu aplitlerinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla sil ve damarlardan 15 örneğe ICP-MS/AES analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 1' de verilmiştir. Analizlerde aplit örneklerinin kızıdırma kaybı değerleri %2.0' yi geçmemektedir. Anaoksid değerleri incelendiğinde  $\text{SiO}_2$  miktarı %69.55-%73.72,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  %14.07-16.30,  $\text{TiO}_2$  %0.33-0.53,  $\text{MnO}$  %0.01-0.11,  $\text{FeO}$  %0.29-0.73,  $\text{MgO}$  %0.38-0.80 ve  $\text{CaO}$  %0.15-0.82 arasında değişkenlik göstermektedir.  $\text{SiO}_2$  değeri tüm granitik kayaçlarda olduğu gibi yüksektir.

Aplit örneklerinin bileşimini belirlemek amacıyla  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 4.1 ). Bu diyagramlarda aplit dayklarının granodiyorit bileşiminde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar petrografik verilerle uyumludur. Subalkali-alkali diyagramına göre örnekler tümüyle subalkali/toleyitik bileşimlidir. Aynı araştırmacıların AFM diyagramlarında örneklerin kalkalkalen yönelim gösterdiğine işaret etmektedir (Şekil 4.2). Diyagramda kayaçların kalkalkalen bileşimi oldukça belirgindir. İncelenen aplit örneklerin  $\text{K}_2\text{O}$  içerikleri %0.16-3.08 aralığında olup bazı örneklerin toleyitik seri alanına düştüğü görülür (Şekil 4.2).

Silika eriyiklerinin yüksek vizkoziteye ve  $\text{SiO}_2$  içeriğine sahip olduğu bilinmektedir (Şaşmaz ve diğerleri, 2023). Eriyikte bulunan çözünmüş uçucuların miktarı ve türü, özellikle yüksek  $\text{H}_2\text{O}$  içeriği düşük vizkoziteyle ilişkilidir. Ayrıca, sıcaklık da vizkozite üzerinde etkilidir. Ancak,  $\text{CO}_2$ 'nin aşırı fraksiyonu eriyiğin vizkozitesini artırmaktadır (Pikerton ve Stevenson, 1992; Wilson, 1989). Granitik magmanın vizkozitesi, soğuma süreciyle birlikte kristalleşmeyle artma eğilimi gösterir. Bununla birlikte, sulu granitik magmaların kristalleşme sürecinde  $\text{H}_2\text{O}$  içeriğinin eriyikte artmasına bağlı olarak magma vizkozitesi azalır (Şaşmaz ve diğ., 2007).





## 4. Sonuç

Bitlis Metamorfiti Yolcular grubu'nun asitik magmatitleri (aplit, metagranit gibi) tektonik hareketlere bağlı olarak magmatik evrenin son safhasında oluşmuş, hem retrograd hemde kataklastik metamorfizmadan etkilenmiş kayaç türlerini kapsar. Bitlis metamorfite ait aplit örneklerinin mineral bileşimi alkali feldispat, plajiyoklaz, kuvars, biyotit ve hornblend'tir. Kimyasal analiz verileri, bu kayaçların granodiyorit bileşiminli olduğunu ve granit-granodiyorit magmasının diferansiyasyonu ile oluştuğu göstermektedir. Petrografik ve jeokimyasal veriler, fraksiyonel kristallenme sürecini gösteren değişimlerin toleyitik ve kalkalkalen özellikli granitik magmadan kaynaklandığı belirtmektedir. Aplit kayacını oluşturan magmanın evriminde fraksiyonel kristallenmenin önemli bir rol oynadığı yüksek  $La_N/Yb_N$ ,  $Rb/Sr$  oranları ve daha düşük  $Sm/Nd$ ,  $K/Rb$ ,  $Sr/Ba$  oranlarından anlaşılmaktadır. Bu element oranları, bölümsel ergime sonrasında gelişen fraksiyonel kristallenme sürecinden etkilenmiş üst kıtasal kabuğunu işaret etmekte ve alümino-kafemik özellikli olasılıkla hibrid magma kökeni göstermektedir. Apliti kapsayan asitik magmatitler özellikle kataklastik metamorfizmadan fazlaca etkilenmiştir. Genel olarak metamorfik birimlerin tümü, amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirmiş mineral içeriğine sahiptir. İnceleme alanından alınan ve aynı kökenli olmalarına rağmen, granitik kayaçlar birbirlerinden farklı kimyasal özellikler sergilemektedir. Metamorfik kayaçlardan alınan yönlü örneklerin incelenmesi, asimetric yapıdaki porfiloblastların metamorfizma sırasında, Bitlis Masifi'nin temelini oluşturan paragneysları etkilediği gibi feldispatların yoğun alterasyonuna sebep olmuştur.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma, MF 22.07 numaralı proje kapsamında Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenmiştir. Bu araştırmanın gerçekleştirilmesinde sağlanan mali destekten dolayı üniversitemiz BAP birimine teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Boray, A. (1975). Bitlis dolayının yapısı ve metamorfizması: Türkiye Jeol. Kur. Bült.,18/1
- Çağlayan, M.A. İnal, R.N. Şengün, M. ve Yurtsever, A. (1984). Structural setting of the Bitlis massive. International Symposium on the Geology of the Taurus Belt, 245-254.
- Dewey, J. F. Pitman, W. C. Ryan, W.B.F. ve Bonnin, J. (1973). Plate tectonics and the evolution of the alpine system. Geol. Soc. Amer. Bull. 84: 3137-3180.
- Göncüoğlu, M.C. and Turhan, N., (1983). New results on the age of Bitlis Metamorphics. Maden Tetkik ve Arama Enst., Derg., 95-96, 1-5.
- Helvacı, C. (1983). Avnik (Bingöl) bölgesi Bitlis Masifi Metamorfik kayalarının Rb/Sr jeokronolojisi: Türkiye Jeoloji Kurumu 37. Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri Özleri, 111.
- Huleatt, M.B. (2019). Australian Resource Reviews: Rare Earth Elements.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A. (1971) A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. Canadian Journal of Earth Science, 8, 523-548.
- Kılıç, A.D. Ateş, C. (2015). Geochronology of the Late Cretaceous magmatism and metamorphism, Pütürge massif, Turkey, Acta Petrologica Sinica 31(5):1485-1493.
- Kılıç, A.D. and İnceöz, M. (2015). Mineralogical Geochemical and isotopic effect of silica in ultramafic systems, Eastern Anatolian Turkey, Geochemistry International, 53(4), 369 – 382. <https://doi.org/10.1134/S0016702915040035>.
- Kılıç, A.D., Karaca, T. (2021). Fay Kayalarının Mineralojisinde Deformasyonun Rolü, European Journal of Science and Technology, 27, 942-949. DOI: 10.31590/ejosat.963097.
- Kılıç, A.D., Çakmak, B. (2021). Bitlis ignimbiritinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri GÜFBED/GUSTIJ (2021) 11 (4): 1093-1102. DOI: 10.17714/gumusfenbil.920804.
- Kırat, G. (2022a). Nadir Toprak Elementleri ve Yatak Türleri, Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences. Volume (9), Issue (23), 25-31. DOI: 10.5281/zenodo.7130650
- Kırat, G. (2022b). Türkiye'deki Nadir Toprak Element Yatakları. Munzur 4th International Conference On Applied Sciences, 14-20
- Middlemost, E.A.K. (1994). Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System. Earth-Science Reviews, 37, 215-244.
- Oberhansli, R, Bousquet, R, Candan, O., Okay, A. (2012). Dating Subduction Events in East Anatolia, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences. 21: 1-17.
- Pearce, J.A. (1996). A User's Guide to Basalt Discrimination Diagrams. In: Wyman, D.A., Ed., Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration, Geological Association of Canada, Short Course Notes, Vol. 12, 79-113.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63-81.
- Pinkerton, H., Stevenson, R.J., (1992). Methods of determining the rheological properties of magmas at sub-liquidus temperatures. J. Volcanol. Geotherm. Res. 53, 47-66.
- Şaşmaz, A., Kılıç, A.D., Akgül, B., Şaşmaz, B. (2023). Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 286, 5 February 2023, 122037.
- Şaşmaz, A., Erdem, Ö., Kaya, G., Yaman, M. (2007). Distribution of Thallium in Soil and Plants Growing in the Keban Mining District of Turkey and Determined by ICP-MS, Atomic Spectroscopy, vol. 28, no. 5, pp. 157-163, 2007.
- Şengün, M. (1984). Bitlis Masifi'nin Metamorfizması Ve Örtü Çekirdek İlişkisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 115, 1-13.
- Tolluoglu, A. Ü. & Erkan, Y., (1982). Mutki (Bitlis) yöresindeki bölgesel metamorfik kayaçların petrografik incelenmesi. Yerbilimleri, 8 (9), 73- 90 .

- Wilson, M. (1989). *Igneous Petrogenesis*. Oxford University Press., 466. Yazgan, E., Chessex, R., 1991. Geology and tectonic evolution of the southeastern Taurides in the region of Malatya. *Turkiye Petr. Jeo. Der.*, 3, 1, 1-41, Ankara
- Yılmaz, Y. (1993). New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. *Geol. Soc. Of Amer. Bull.*, 105, 251-27.



# Stacked GRU-Based Glucose Prediction in Type 1 Diabetes

Ömer Atılım Koca<sup>1\*</sup>, Ali Türköz<sup>2</sup>, Volkan Kılıç<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Katip Çelebi University, Graduate School of Natural And Applied Sciences, Software Engineering Graduate Program, İzmir, Turkey, (ORCID: 0009-0007-7286-6785), [atilim.koca@bakircay.edu.tr](mailto:atilim.koca@bakircay.edu.tr)

<sup>2</sup> İsmail Rahmi Karadavut Primary School, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3650-1435), [saibturkoz@hotmail.com](mailto:saibturkoz@hotmail.com)

<sup>3</sup> İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3164-1981), [volkan.kilic@ikcu.edu.tr](mailto:volkan.kilic@ikcu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 19 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10256774)

**ATIF/REFERENCE:** Koca, Ö. A., Türköz, A. & Kılıç, V., (2023). Stacked GRU-Based Glucose Prediction in Type 1 Diabetes. *European Journal of Science and Technology*, (52), 80-86.

## Abstract

Recent advances in diabetes technology, especially continuous glucose monitoring (CGM) systems, provide reliable sources of glucose data. These data have accelerated advanced glucose prediction models for diabetics with technological advances in artificial intelligence and data-driven techniques. However, despite these advancements, accurately predicting glucose levels still is a challenge as the models struggle to learn contextual patterns in complex sequential data. In this paper, we propose a novel multilayer GRU-based model, including a convolutional layer for feature extraction from sequences of glucose values under the encoder-decoder framework. The open-access DINAMO dataset was used to train and test the proposed multi-layer GRU-based model. The proposed model achieved a Root Mean Square Error of 9.88 mg/dL, Mean Absolute Error of 6.46 mg/dL, Coefficient of Determination of 0.92, and Mean Absolute Percentage Error of %4.83 for 30-min glucose prediction. Furthermore, the Parkes Error Grid was used as a clinical benchmark to assess the robustness of the prediction model. The proposed model demonstrates superior performance compared to state-of-the-art glucose prediction models.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Deep Learning, Glucose Prediction, Gated Recurrent Unit.

# Tip 1 Diyabette Çok Katmanlı GRU Tabanlı Glikoz Tahmini

## Abstract

Diyabet teknolojisindeki son gelişmeler, özellikle de sürekli glikoz izleme (CGM) sistemleri, güvenilir glikoz veri kaynakları sağlamaktadır. Bu veriler, yapay zeka ve veri odaklı tekniklerdeki teknolojik ilerlemelerle diyabet hastaları için gelişmiş glikoz tahmin modellerini hızlandırmıştır. Ancak, bu gelişmelere rağmen, modeller karmaşık sıralı verilerdeki bağlamsal örüntüleri öğrenmekte zorlandığından, glikoz seviyelerini doğru bir şekilde tahmin etmek hala bir zorluktur. Bu makalede, kodlayıcı-kod çözücü çerçevesi altında glikoz değerleri dizilerinden özellik çıkarımı için bir konvolüsyonel katman içeren yeni bir çok katmanlı GRU tabanlı model öneriyoruz. Önerilen çok katmanlı GRU tabanlı modeli eğitmek ve test etmek için açık erişimli DINAMO veri seti kullanılmıştır. Önerilen model, 30 dakikalık glikoz tahmini için 9,88 mg/dL Ortalama Karekök Hatası, 6,46 mg/dL Ortalama Mutlak Hata, 0,92 Belirleme Katsayısı ve %4,83 Ortalama Mutlak Yüzde Hatası elde etmiştir. Ayrıca, tahmin modelinin sağlamlığını değerlendirmek için klinik bir ölçüt olarak Parkes Hata Izgarası kullanılmıştır. Önerilen model, son teknoloji glikoz tahmin modellerine kıyasla üstün performans göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zeka, Derin Öğrenme, Kan Şekeri Tahmini, Kapılı Tekrarlayan Hücre.

\* Corresponding Author: [atilim.koca@bakircay.edu.tr](mailto:atilim.koca@bakircay.edu.tr)



## **1. Introduction**

Effective management of blood glucose levels is critical to reducing the impact of diabetes, as inadequate control can lead to serious long-term complications, including hypertension and stroke (Mercan et al., 2020; Mercan & Kılıç, 2020). To prevent these complications, continuous glucose monitoring (CGM) systems have emerged in recent years (Kılıç et al., 2022; Palaz et al., 2021). CGM systems primarily act as alarms and offer benefits such as the prevention of potentially dangerous hypoglycemia or hyperglycemia and the optimization of insulin dose requirements. However, a limitation of these systems is that they only generate alerts when glucose levels deviate from the target range. This means that the body may be exposed to high or low glucose levels for a period of time until the necessary action is taken to address the situation (Kılıç, 2021; Strollo et al., 2021). The development of AI-based models has improved the proactive management of diabetes through glucose prediction. Machine learning (ML) and deep learning (DL) architectures, which are sub-branches of artificial intelligence, are prominent in the development of glucose prediction models. ML algorithms are capable of producing results with limited computational resources and relatively small datasets. On the other hand, DL architectures require training on high-performance computing systems and larger datasets (Çaylı et al., 2021; Doğan et al., 2022). The training process of both ML and DL architectures involves the extraction of discriminative features from the dataset. In ML, this feature extraction process is typically performed manually, whereas in DL the features are extracted automatically (Akosman et al., 2021; Şen et al., 2022).

Due to their capacity to learn complex representations directly from the data, DL architectures require longer training times and larger datasets compared to ML approaches. This is because DL architectures can capture complex patterns and dependencies in the data, resulting in higher accuracy. The longer training process allows DL architectures to iteratively refine their internal representations, leading to improved performance. Furthermore, DL architectures exhibit enhanced robustness to noise and variation in the input data. The robust behavior exhibited by DL architectures can be attributed to their hierarchical nature. DL architectures are designed with multiple layers to enhance their capability to capture and represent complex patterns and dependencies within the data (Çaylı et al., 2023; Kılıç et al., 2014). McShinsky et al. investigated the impact of different algorithms on the prediction process (McShinsky & Marshall, 2020). Kalman filter, ML algorithms, and DL algorithms were among the algorithms evaluated in the study, which found that the Lasso algorithm outperformed other algorithms for 30-minute glucose prediction (Saiti et al., 2020). Saiti et al. investigated three ensembles combining ARX and SVR models with meta-algorithms (linear meta-regressor, bagging, boosting) for glucose prediction. The results showed better predictive accuracy in all ensembles compared to standalone ARX and SVR models. This highlights the efficacy of ensembles in improving glucose prediction accuracy. Alfian et al. found that an XGBoost model achieved the highest accuracy among the models tested, indicating its potential for glucose prediction (Alfian et al., 2020). Wang et al. used a LightGBM model and Bayesian to optimize its parameters. Their experiments showed that the optimized LightGBM model outperformed both the XGBoost and CatBoost models (Wang & Wang, 2020). Song et al. used a combination of Empirical Mode Decomposition and Long-Short Term Memory (LSTM) network for glucose prediction. The proposed model effectively handled rapid changes in glucose trends and outperformed a standalone LSTM model (Song et al., 2019). Zhu et al. proposed an extended recurrent neural network (RNN) model for short-term glucose prediction with a 30 PH. This model effectively captured long-term dependencies within the glucose data, resulting in improved prediction accuracy (Zhu et al., 2020).

Different from previous work, our research aims to capture meaningful patterns in sequential data and use these patterns to make accurate predictions. Here, we propose a prediction model that includes a convolutional layer-based encoder and a multi-layer GRU-based decoder. The encoder extracts important patterns and features from sequential data, while the decoder is used to build a robust prediction model based on these extracted features.

The rest of this paper is structured as follows: Section 2 provides comprehensive details on DL-based models, including their underlying principles and methods. The dataset and comparison with state-of-the-art approaches are presented in Section 3. Finally, Section 4 concludes the paper with a brief summary.

## **2. Methods**

### **2.1. Recurrent Neural Network**

RNNs are a type of artificial neural network model that is specifically designed for processing sequential data, such as time series data. Unlike traditional feedforward neural networks, RNNs have the ability to capture temporal dependencies and make use of information from previous steps to influence the computations in subsequent steps (Saeed et al., 2022). In this way, a temporal correlation between inputs can be established, and past knowledge can influence the decisions of the network. This ability allows feedback between layers, giving RNNs a memory-like property. Despite this advantage, RNNs are challenged by vanishing or exploding gradients. This problem occurs because of the need to backpropagate gradients over long sequences, resulting in a gradual shrinkage of gradient values layer by layer until they eventually disappear after a few steps (Hossain et al., 2019). Several variants of RNNs have been developed to address vanishing or exploding gradients, including LSTM and GRU (Çaylı et al., 2022). These variants have special gating mechanisms that facilitate information flow control and mitigate the problem of vanishing gradients.

### **2.2. Long-Short Term Memory**

The LSTM model represents a distinct variant of artificial neural networks that have demonstrated remarkable efficacy in the field of time series data analysis. LSTM networks are characterized by their ability to detect and model complex long-term dependencies

within sequential data (Van Geffen et al., 2020). Fundamentally, an LSTM network functions as an interconnected collection of cells, where each cell contains a special "memory cell" and three different "gates". These gates actively regulate the input, output, and memory operations of the LSTM, thereby facilitating its ability to effectively process and retain relevant information. The key feature of LSTMs is their ability to retain important information over long sequences by mitigation of the vanishing gradient problem. The memory cells allow LSTMs to accumulate information over time while selectively updating and preserving relevant context. This ability allows LSTMs to capture complex patterns and dependencies in sequential data better than traditional RNNs.

### **2.3. Gated Recurrent Unit**

The GRU is a type of RNN that offers a more simplified and efficient alternative to LSTM networks (Cho et al., 2014). In particular, GRU incorporates a distinctive architectural design in which the forget and input gates are merged into a single updating gate (Chen, 2016). The GRU network structure differs from the LSTM network structure by incorporating two gate structures, namely the update gate and the reset gate (Uslu et al., 2022). The update gate determines the degree to which information from the previous time step is integrated into the current time step, allowing the network to selectively retain or discard relevant information. On the other hand, the reset gate controls the extent to which information from the previous time step is disregarded, enabling the network to reset its internal state and adapt to new input (Aydın et al., 2022; Li et al., 2021). The primary advantage of GRUs is their ability to effectively capture and utilize important contextual information while reducing the computational burden associated with memory cells (Keskin et al., 2021).

### **2.4. Attention Layer**

The attention layer is a component in neural network architectures that allows the network to selectively focus on specific parts of the input data. The primary purpose of attention layers in neural networks is to facilitate the identification and highlighting of significant features within datasets characterized by temporal sequences. These attention layers play a crucial role in breaking down larger and more complex tasks into smaller, more manageable attentional domains (Niu et al., 2021). Attention mechanisms allow networks to actively focus on the most informative and relevant aspects of the data while ignoring extraneous details, enabling more efficient processing of complex data structures.

### **2.5. Convolution Layer**

The convolutional layer is a fundamental building block of neural networks, specifically designed to extract meaningful and discernible features from input data. This layer identifies emerging patterns at different locations and features within the learned filters applied to the input data and generates feature maps that encapsulate these high-level features as output. The convolutional layer in a neural network applies a filter matrix, often called a kernel, to the input data for converting sequential data into a numerical representation. This involves shifting the kernel over the input data and calculating the dot product between the kernel and the corresponding region of the input data (Shi et al., 2015). This iterative process produces an output value for each region of the filter matrix superimposed on the input data. Different filter matrices are used to capture different features of interest.

### **2.6. Proposed Prediction Model**

This subsection presents the proposed model for glucose prediction using a convolutional layer-based encoder and a two-layer GRU architecture-based decoder with input variables generated using a sliding window approach. The sliding window approach divides the sequential glucose data into smaller subsequences, each representing a fixed time window length. Moving the window gradually through the sequential data encapsulates the temporal information within the window generating new input variables at each time step. These input variables include previous glucose levels, which are then used as input to the encoder. The convolution layer-based encoder generates feature maps for the decoder capturing dependencies in past glucose levels. The GRU architecture includes gating mechanisms that selectively maintain and update relevant information at each time step, facilitating efficient dissemination of information throughout the network. The two-layer configuration increases the representational capacity of the model, enabling understanding of complex relationships and more accurate glucose predictions (Fetiler et al., 2021). The proposed model uses the feature maps generated by the encoder as input to the first GRU layer. This layer plays a critical role in extracting temporal features from the input sequences, which are then passed to the second GRU layer. These features are further improved by the second GRU layer to produce the final predictions. The latent states of the second layer are then used as input to a fully connected output layer responsible for generating the 30 PH glucose prediction. The proposed approach aims to achieve improved accuracy in predicting glucose levels within the desired PH using the multilayer GRU-based encoder-decoder framework.

## **3. Experimental Evaluations**

### **3.1. Dataset**

In this paper, the open-access DINAMO dataset is used to train and test the proposed model (Dubosson et al., 2018). This dataset includes a diverse array of physiological signals, including electrocardiogram (ECG), respiratory, and accelerometer data, as well as vital glucose measurements and precisely annotated food images. The dataset shown in Figure 1 was collected from a cohort of twenty healthy subjects and nine people diagnosed with type 1 diabetes in real-life settings through four days of observation. Data collection was performed using Zephyr BioHarness three wearable devices, ensuring the accuracy and reliability of the information collected.

The proposed approach described in Subsection 2.6 used glucose data from eight type 1 diabetics with patient numbers 001-008 contained in the DINAMO dataset.

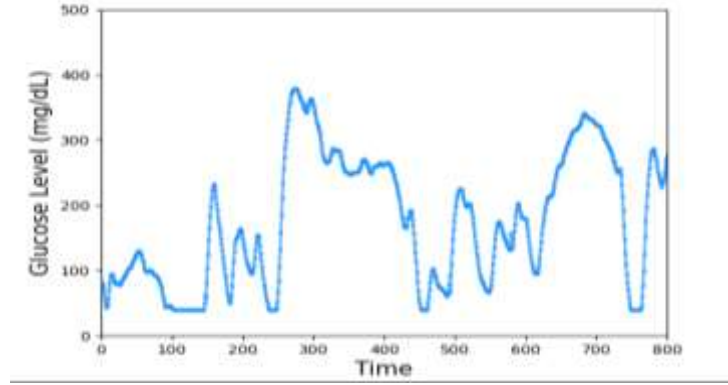


Figure 1. DINAMO Dataset value distribution

### 3.2. Evaluation Metrics

The evaluation of the developed prediction model included incorporating four statistical metrics and one clinical metric. The statistical metrics used for evaluation included Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and Coefficient of Determination ( $R^2$ ). In addition, the Parkes Error Grid (PEG) was used as the clinical metric for evaluation.

RMSE, MAE, and MAPE are statistical metrics commonly used to measure the discrepancy between predicted and actual values in a model. RMSE calculates the root mean square of the squared differences, emphasizing larger errors. MAE calculates the mean of the absolute differences, focusing on error sizes. MAPE measures the average percentage difference between predicted and actual values.  $R^2$  is a statistical measure that quantifies the proportion of the total variance in the dependent variable that can be accounted for by the independent variables in a regression model. It serves as an indicator of the adequacy of the regression model to fit the observed data. The formulas for RMSE, MAE, MAPE, and  $R^2$  can be expressed as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

where  $n$  represents the total number of observations,  $i$  represents the index of each observation,  $y_i$  denotes the actual values,  $\hat{y}_i$  represents the predicted values, and  $\bar{y}$  represents the mean of the actual values.

Table 1 presents 30-minute glucose predictions from different 2-layer RNN-based architectures. It can be clearly seen that the stacked GRU-EnDe model without the attention layer achieves the lowest RMSE value. Increasing the number of layers in the models is positively correlated with predictive ability. However, the inclusion of the attention mechanism has the opposite effect on the overall performance. To further establish the reliability of these predictions, a PEG analysis was performed on patient 003, as shown in Figure 2. The PEG analysis performed on this patient demonstrates the agreement between the predictions generated by the proposed method and the actual observations, thus significantly enhancing its reliability and ensuring its safety. To enable a meaningful comparative analysis of the proposed model with prior research, we conducted a thorough review of experimental studies that have used the DINAMO dataset. It was observed that only one study used the DINAMO dataset and Table 2 provides an overview of this study. In particular, the proposed method outperformed the only study available for comparison. The RMSE obtained for a prediction horizon of 30 min was reported as 12.14 mg/dL. This relatively poor performance can be attributed to the limitations of traditional ML approaches in capturing the complex temporal features inherent in time series data. ML models often face challenges in capturing the dynamics and interdependencies present in complex datasets, leading to reduced prediction accuracy compared to DL-based prediction models.

Table 1. Statistical results for 30 PH glucose prediction with Stacked RNN-based models

	Methods	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
Without Attention	RNN	10.14	6.75	5.05	0.92
	LSTM	10.25	6.97	5.22	0.92
	GRU	10.30	7.04	5.27	0.92
	BRNN	10.17	6.79	5.07	0.92
	BiLSTM	10.28	7.00	5.25	0.92
	BiGRU	10.31	7.05	5.28	0.92
	RNN-EnDe	11.11	7.47	5.30	0.91
	LSTM-EnDe	11.13	7.53	5.37	0.91
	GRU-EnDe	10.98	7.37	5.31	0.91
With Attention	RNN	10.41	7.06	5.31	0.92
	LSTM	10.59	7.37	5.55	0.92
	GRU	10.47	7.28	5.47	0.92
	BRN	10.68	7.30	5.39	0.91
	BiLSTM	10.56	7.34	5.53	0.92
	BiGRU	10.38	7.19	5.40	0.92
	RNN-EnDe	11.03	7.52	5.36	0.91
	LSTM-EnDe	11.26	7.68	5.49	0.91
	GRU-EnDe	11.02	7.54	5.43	0.91

## 4. Conclusion

This paper presents a novel prediction model for glucose prediction using the Stacked GRU-based encoder-decoder model. The evaluations on the DINAMO dataset show the remarkable accuracy and reliability of the proposed model for 30 PH glucose prediction. The proposed model shows promising results with an RMSE of 9.88 mg/dl, MAE of 6.46 mg/dl,  $R^2$  value of 0.91, and MAPE of 4.83% for 30 min PH. These metrics show that the proposed model is superior to the compared studies for glucose prediction. In addition, the PEG of patient 003 shows that the glucose predictions obtained are within acceptable limits, demonstrating the robustness and reliability of the proposed method. In future work, the developed prediction model will be embedded in an Android application, allowing users to conveniently access and use the predictive capabilities of the model. This application enables users to make informed choices about their diet, physical activity, and overall health management.

Table 2. Comparison between proposed model and state-of-the-art for the glucose prediction

Methods	RMSE
AR, SVR [15]	12.14
<b>Proposed Model</b>	<b>9.88</b>

## 5. Acknowledgment

This research was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) (No. 222S488) and by the scientific research projects coordination unit of Izmir Katip Celebi University (No: 2023-TYL-FEBE-0025).



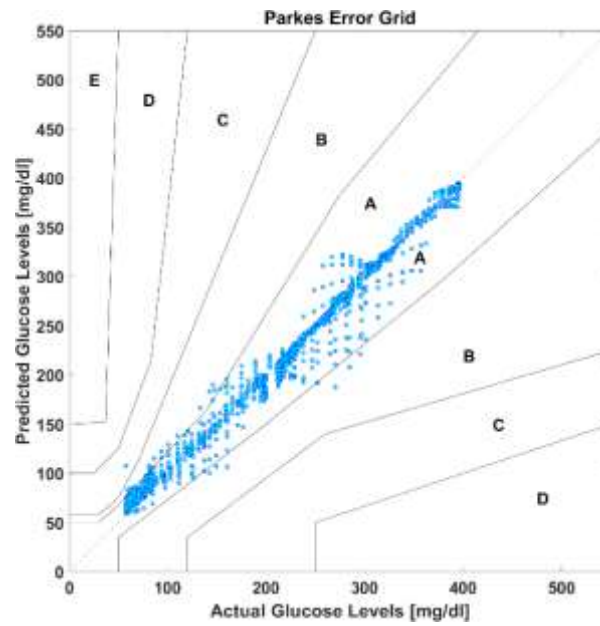


Figure 2. PEG of patient 003

## References

- Akosman, Ş. A., Öktem, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). Deep Learning-based Semantic Segmentation for Crack Detection on Marbles. 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU),
- Alfian, G., Syafrudin, M., Anshari, M., Benes, F., Atmaji, F. T. D., Fahrurrozi, I., Hidayatullah, A. F., Rhee, J., & Engineering, B. (2020). Blood glucose prediction model for type 1 diabetes based on artificial neural network with time-domain features. *Biocybernetics*, 40(4), 1586-1599.
- Aydın, S., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Sequence-to-sequence video captioning with residual connected gated recurrent units. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 380-386.
- Chen, G. (2016). A gentle tutorial of recurrent neural network with error backpropagation. *arXiv preprint arXiv:1602.02583*.
- Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. *arXiv preprint arXiv:1406.3215*.
- Çaylı, Ö., Kılıç, V., Onan, A., & Wang, W. (2022). Auxiliary classifier based residual rnn for image captioning. 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO),
- Çaylı, Ö., Liu, X., Kılıç, V., & Wang, W. (2023). Knowledge Distillation for Efficient Audio-Visual Video Captioning. *arXiv preprint arXiv:2303.09947*.
- Çaylı, Ö., Makav, B., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Mobile application based automatic caption generation for visually impaired. Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions: Proceedings of the INFUS Conference, Istanbul, Turkey,
- Doğan, V., Isık, T., Kılıç, V., & Horzum, N. (2022). A field-deployable water quality monitoring with machine learning-based smartphone colorimetry. *Analytical Methods*, 14(35), 3458-3466.
- Dubosson, F., Ranvier, J.-E., Bromuri, S., Calbimonte, J.-P., Ruiz, J., & Schumacher, M. (2018). The open D1NAMO dataset: A multi-modal dataset for research on non-invasive type 1 diabetes management. *Informatics in Medicine Unlocked* 13, 92-100.
- Fetiler, B., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Video captioning based on multi-layer gated recurrent unit for smartphones. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 221-226.
- Hossain, M. Z., Sohel, F., Shiratuddin, M. F., & Laga, H. (2019). A comprehensive survey of deep learning for image captioning. *ACM Computing Surveys*, 51(6), 1-36.
- Keskin, R., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). A benchmark for feature-injection architectures in image captioning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 461-468.
- Kılıç, V. (2021). Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Telefon Uygulaması ile Kan Şekeri Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(26), 289-294.
- Kılıç, V., Barnard, M., Wang, W., & Kittler, J. (2014). Audio assisted robust visual tracking with adaptive particle filtering. *Transactions on Multimedia*, 17(2), 186-200.
- Kılıç, V., Mercan, Ö. B., Tetik, M., Kap, Ö., & Horzum, N. (2022). Non-enzymatic colorimetric glucose detection based on Au/Ag nanoparticles using smartphone and machine learning. *Analytical Sciences*, 38(2), 347-358.
- Li, W., Wu, H., Zhu, N., Jiang, Y., Tan, J., & Guo, Y. (2021). Prediction of dissolved oxygen in a fishery pond based on gated recurrent unit (GRU). *Information Processing in Agriculture*, 8(1), 185-193.
- McShinsky, R., & Marshall, B. (2020). Comparison of Forecasting Algorithms for Type 1 Diabetic Glucose Prediction on 30 and 60-Minute Prediction Horizons. KDH@ECAI,
- Mercan, Ö. B., Doğan, V., & Kılıç, V. (2020). Time Series Analysis based Machine Learning Classification for Blood Sugar Levels. Medical Technologies Congress (TIPTEKNO),

- Mercan, Ö. B., & Kılıç, V. (2020). Deep learning based colorimetric classification of glucose with au-ag nanoparticles using smartphone. Medical Technologies Congress (TIPTEKNO),
- Niu, Z., Zhong, G., & Yu, H. (2021). A review on the attention mechanism of deep learning. *Neurocomputing*, 452, 48-62.
- Palaz, Z., Doğan, V., & Kılıç, V. (2021). Smartphone-based Multi-parametric Glucose Prediction using Recurrent Neural Networks. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 1168-1174.
- Saeed, A., Li, C., Gan, Z., Xie, Y., & Liu, F. (2022). A simple approach for short-term wind speed interval prediction based on independently recurrent neural networks and error probability distribution. *Energy*, 238, 122012.
- Saiti, K., Macaš, M., Lhotská, L., Štechová, K., Pithová, P., & Biomedicine, P. i. (2020). Ensemble methods in combination with compartment models for blood glucose level prediction in type 1 diabetes mellitus. *Computer Methods Programs in Biomedicine*, 196, 105628.
- Shi, X., Chen, Z., Wang, H., Yeung, D.-Y., Wong, W.-K., & Woo, W.-c. (2015). Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting. *Advances in neural information processing systems* 28.
- Song, J., Wang, Y., Li, F., Akutsu, T., Rawlings, N. D., Webb, G. I., & Chou, K.-C. (2019). iProt-Sub: a comprehensive package for accurately mapping and predicting protease-specific substrates and cleavage sites. *Briefings in bioinformatics*, 20(2), 638-658.
- Strollo, F., Furia, A., Verde, P., Bellia, A., Grussu, M., Mambro, A., Petrelli, M., Gentile, S., & practice, c. (2021). Technological innovation of Continuous Glucose Monitoring (CGM) as a tool for commercial aviation pilots with insulin-treated diabetes and stakeholders/regulators: A new chance to improve the directives? *diabetes research*, 172, 108638.
- Şen, M., Yüzer, E., Doğan, V., Avcı, İ., Ensarioğlu, K., Aykaç, A., Kaya, N., Can, M., & Kılıç, V. (2022). Colorimetric detection of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Chi nanozyme modified µPADs using artificial intelligence. *Microchimica Acta*, 189(10), 373.
- Uslu, B., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Resnet based deep gated recurrent unit for image captioning on smartphone. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 610-615.
- Van Geffen, L., van Herpen, E., & van Trijp, H. (2020). Household Food waste—How to avoid it? An integrative review. *Food waste management: Solving the wicked problem* 27-55.
- Wang, Y., & Wang, T. (2020). Application of improved LightGBM model in blood glucose prediction. *Applied Sciences*, 10(9), 3227.
- Zhu, T., Li, K., Chen, J., Herrero, P., & Georgiou, P. (2020). Dilated recurrent neural networks for glucose forecasting in type 1 diabetes. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 4, 308-324.



# Fm-3m Uzay Grubundaki LiMn<sub>2</sub>Ga Full Heusler Alaşımının Teorik Olarak İncelenmesi

Erol Albayrak\*

\* Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9161-9068), [erol\\_albayrak@hotmail.com](mailto:erol_albayrak@hotmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 2 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 11 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10256818)

**ATIF/REFERENCE:** Albayrak, E. (2023). Fm-3m Uzay Grubundaki LiMn<sub>2</sub>Ga Full Heusler Alaşımının Teorik Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 87-94.

## Öz

Full Heusler Yapıdaki LiMn<sub>2</sub>Ga Alaşımının yapısal, manyetik, elektronik ve elastik özellikleri yoğunluk fonksiyonel teorisi ile geliştirilmiş grandyent yaklaşımı kullanılarak incelendi. Hesap edilen optimize edilmiş örgü sabiti 5.940 Å olarak elde edilmiş olup hesaplanan bu örgü sabiti gibi alaşıma ait elektronik bant yapısı ve toplam manyetik moment incelendiğinde de incelenen bu değerlerin daha önce yapılmış çalışmalarla uyumlu olduğu görüldü. Elektronik bant grafiklerinin hesaplamalarına göre yapılan incelemelerde ise tüm spin yönelimlerinde herhangi bir yasak enerji aralığının varlığı tespit edilmemiştir. Bu duruma göre Fm-3m uzay grubuna göre kristalleşen full Heusler yapıdaki LiMn<sub>2</sub>Ga üçlü alaşımının metalik iletken ve manyetik özelliklere sahip olduğu tahmin edildi. Alaşıma ait elastik sabitlerine bakılarak (C<sub>11</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>44</sub>) bu alaşım için Born mekanik kararlılık kriterlerinin sağlandığı ve alaşımın Born kararlılık kriterlerine göre mekanik olarak kararlı olduğu anlaşıldı. B/G oranına bakılarak yapılan incelemelerde ise alaşımın kırılğan bir yapıya sahip olduğu, sıkışabilir olduğu ve anizotropik davranış gösterdiği anlaşıldı.

**Anahtar Kelimeler:** LiMn<sub>2</sub>Ga, Fm-3m uzay grubu, Yapısal özellikler.

## Theoretical Investigation of LiMn<sub>2</sub>Ga Full Heusler Alloy in the Fm-3m Space Group

### Abstract

The structural, magnetic, electronic and elastic properties of LiMn<sub>2</sub>Ga alloy with full Heusler structure were investigated using density functional theory and generalized grandyent approximation. The calculated optimized lattice constant was obtained as 5.940 Å. The electronic band structure and total magnetic moment of the alloy, as well as the calculated lattice constant, were found to be in agreement with previous studies. According to the calculations of the electronic band graphs, no forbidden energy gap was detected in all spin orientations. Accordingly, the LiMn<sub>2</sub>Ga ternary alloy with full Heusler structure crystallized according to the Fm-3m space group was predicted to have metallic conductive and magnetic properties. The elastic constants of the alloy (C<sub>11</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>44</sub>) indicate that the Born mechanical stability criteria for this alloy are met, and the alloy is mechanically stable according to the Born stability criteria. Investigations based on the B/G ratio revealed that the alloy has a brittle structure, is compressible and shows anisotropic behavior.

**Keywords:** LiMn<sub>2</sub>Ga, Fm-3m space group, Structural properties.

\* Sorumlu Yazar: [erol\\_albayrak@hotmail.com](mailto:erol_albayrak@hotmail.com)

## 1. Giriş

Friedrich Heusler 1903 yılında yaptığı çalışmada, ferromanyetik özelliği olmayan atomlara sahip yarı heusler (YH) ve Full Heusler (FH) alaşımların ferromanyetik özelliğe sahip olabileceklerini ortaya koymuştur.  $XY_2Z$  formülüne sahip intermetalik alaşımlar olan full Heusler alaşımlar spintronik cihazların ve manyetik sensörlerin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadırlar. İlk çalışılan Heusler alaşımları iç içe geçmiş dört yüzey merkezli kübik (FCC) örgü yapısına sahip ve  $L_2$  fazında kristalleşen alaşımlardır. Bu örgü yapısı içindeki iç içe geçmiş dört FCC hücreden bir tanesinin örgüden ayrılması ile yarı Heusler diye adlandırılan alaşımlar elde edilmişlerdir. Bu alaşımlar manyetik, termodinamik, süper iletkenlik gibi bazı özellikleri ile bilim camiasının önemli ölçüde ilgisini çekmişlerdir (İyigör ve ark., 2022). Tüm bu ilgi çekici özelliklere rağmen bu alaşımların sentezlenmesi her zaman mümkün değildir. Bu açıdan da teorik olarak çalışılıp sonrasında çıkan sonuçlara göre ümit vaat eden alaşımların sentezlenmesi en mantıklı seçenek olmaktadır.

$LiMn_2Ga$  FH alaşımı  $Fm-3m$  uzay grubuna ait atomik dizilimine sahip olarak kristalleşmektedir. Alaşım içerisindeki Lityum, şarj edilebilir pil ve bataryalarda dolayısıyla da taşınabilir şarjlı matkaplar, cep telefonları, kameralar gibi elektronik cihazlarda kullanılmaktadır (Blumenthal, 2022).  $LiMn_2Ga$  FH alaşımındaki galyum, yarı iletkenlerin elde edilmesinde, entegre devre üretiminde, LED ve lazer diyotlarda ve havacılık ve uzay sağlık ekipmanlarında kullanılır (Secrets, 2023). Alaşım içerisindeki mangan ise demir ve çelik üretiminde, bu metallerin kırılgenliğini azaltmak ve paslanmaz çelik yapımında kullanılır. Ayrıca mangan alüminyum ile alaşımlandırılarak birçok başka sektörde de kullanılır. Manganez bileşikleri ise katalizör, gübrei dezenfektan ve pigment olarak da kullanılmaktadır (McCormick ve Eugene, 2021).  $LiMn_2Ga$  FH alaşımındaki Li, Mn ve Ga bileşenlerinin kullanım alanları göz önüne alındığında alaşımın elastik, termodinamik, elektronik ve yapısal özelliklerinin teorik olarak araştırılmasının bilime katkı sağlayacağı düşünülmüş ve bu çalışmada  $LiMn_2Ga$  FH alaşımı, Yoğunluk Fonksiyon Teorisi (DFT) kullanılarak yapısal, elektronik, elastik ve termodinamik açıdan incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çok elektronlu atomik sistemlerde yozlaşmamış (dejenere olmamış) taban durumlar için Hamilton denklemi eşitlik 1 de verilmiştir.

$$H=K+V \quad (1)$$

Hamilton denklemi kinetik (K) ve potansiyel (V) enerjilerin toplamını içerir. 1964'te yapılan bir çalışmanın sonucunda çok elektronlu atomik yapıların taban durum enerjilerinin elektron yoğunluğuna bağlılıkları eşitlik 2 de verilmiştir (Hohenberg ve Kohn, 1964).

$$E_{\vartheta} [n] = \int v(r) n(r) d(r) + F[n(r)] \quad (2)$$

Eşitlik 2 de ki yaklaşımla denge durumundaki en düşük enerji hesaplanmaktadır. Denge durumundaki en düşük enerji ifadesi ise 1965 yılında Kohn ve arkadaşları tarafından;

$$\rho(r) = \sum_{j=1}^N |\phi_j(r)|^2 \quad (3)$$

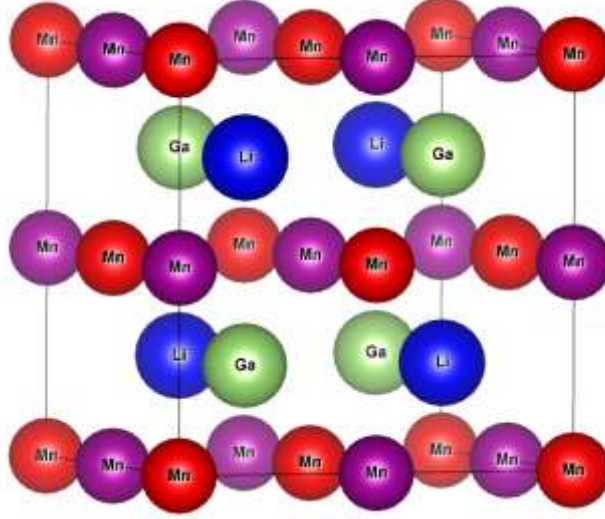
olarak ifade edilmiştir (Kohn ve Sahn, 1965). Minimum enerji hesaplanırken atomlar içerisindeki elektronların tamamının etkileştiği kabul edilir ama bu tam olarak doğru olmayabilir. Denge durumu minimum enerjisi yani en kararlı hale karşılık gelen minimum enerji değerinin hesaplanması için yeni bir yaklaşım gerekmektedir. Bahsi geçen bu sorunu çözmek için yerel yoğunluk yaklaşımı (LDA) kullanılır. Ayrıca LDA yaklaşımına eklemeler yapılarak daha başarılı sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Bu yaklaşıma Perdew-Burke-Ernzerhof, genelleştirilmiş gradyent yaklaşımı (PBE-GGY) denilmektedir (Perdew ve ark., 1996). Çok elektronlu bir sistemde enerji hesaplanırken kor ve değerlik elektronların katkıları toplanır. Ancak bu yaklaşım kor elektronların değerlik elektronlarla etkileşimini içermemektedir. Bu durumda kor ve değerlik elektronlarının etkileşiminden gelen katkılarında toplam enerji ifadesine eklenmesi gerekir. Bu etkileşim Schrödinger dalga denkleminde yapay bir potansiyel olarak eklenir. Bu yapay potansiyeller pseudo potansiyeller olarak adlandırılır ve gerçek potansiyellere göre daha kısa sürede sıfır değerine ulaştığından tercih edilirler (Garrity ve ark., 2014).

Bu çalışmadaki tüm hesaplamalar Quantum-ESPRESSO paket programı (Giannozzi ve ark., 2009) kullanılarak yapıldı. Hesaplamalarda kullanılan değiş-korelasyon potansiyeli için PBE-GGY (Perdew ve ark., 1996) kullanıldı. Li, Mn ve Si atomlarına ait kullanılan pseudopotansiyeller Rappe grubundan alındı (Srivastava., 1990). Hesaplamalar için kullanılan elektronik dalga fonksiyonlarında kesme enerjisi olarak 40 Ry, yük yoğunluğunu temsilen kinetik enerji değeri 400 Ry olarak alındı. Brillouin-zone entegrasyonları  $8 \times 8 \times 8$  k-noktaları mesh değerleri kullanılarak gerçekleştirildi. Hesaplamalarda Methfessel-Paxton smearing tekniği (Methfessel., Paxton, 1989) tercih edildi. Yapılan hesaplamalarda smearing parametresi 0.02 Ry alındı.



### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

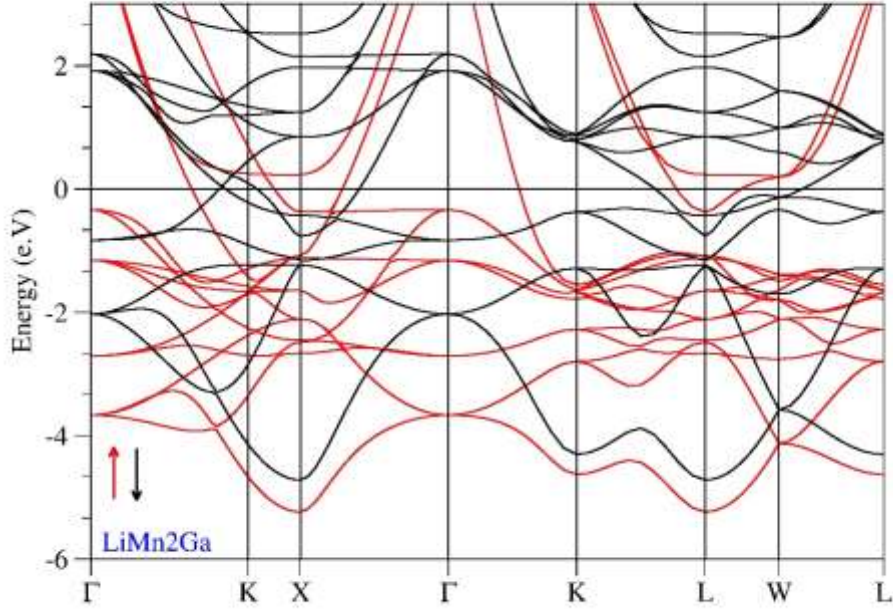
LiMn<sub>2</sub>Ga alaşımı iç içe geçmiş dört ilkel hücreden oluşan bir full Heusler yapısına sahiptir ve Fm-3m uzay grubuna uygun bir atomik dizilimi vardır. Bu çalışma yapılırken alaşımın bileşenleri olan atomlar xyz koordinat sistemine göre şu şekilde yerleştirilmişlerdir; merkeze konumlandırılan Mn atomu (a-Mn) (0, 0, 0), Ga (1/4, 1/4, 1/4), ikinci Mn atomu (b-Mn) (1/2, 1/2, 1/2), Li (3/4, 3/4, 3/4). Bu atomik koordinatlandırma olayından önce çeşitli kombinasyonlar deneyerek atomik yapının en kararlı durumu tespit edilmeye çalışıldı. Örneğin Ga un merkezde olduğu ya da Li'un merkezde olduğu durumlar gibi toplamda dokuz kombinasyon deneyerek en kararlı durumun yukarıda verilen koordinatlara sahip LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımı olduğu anlaşıldı. Bu veriler ışığında hesaplanan örgü parametresi de göz önüne alınarak LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının kristal örgü yapısı şekil 1 gösterilmiştir. Burada bizmut atomları koordinat sisteminin merkezine yerleştirilmiş olduğundan alaşımın adı genel formüle göre değil de referans olarak merkeze yerleştirilen bizmuta göre LiMn<sub>2</sub>Ga olarak seçilmiştir.



Şekil 1. LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının kristal örgü yapısı (Figure 1).

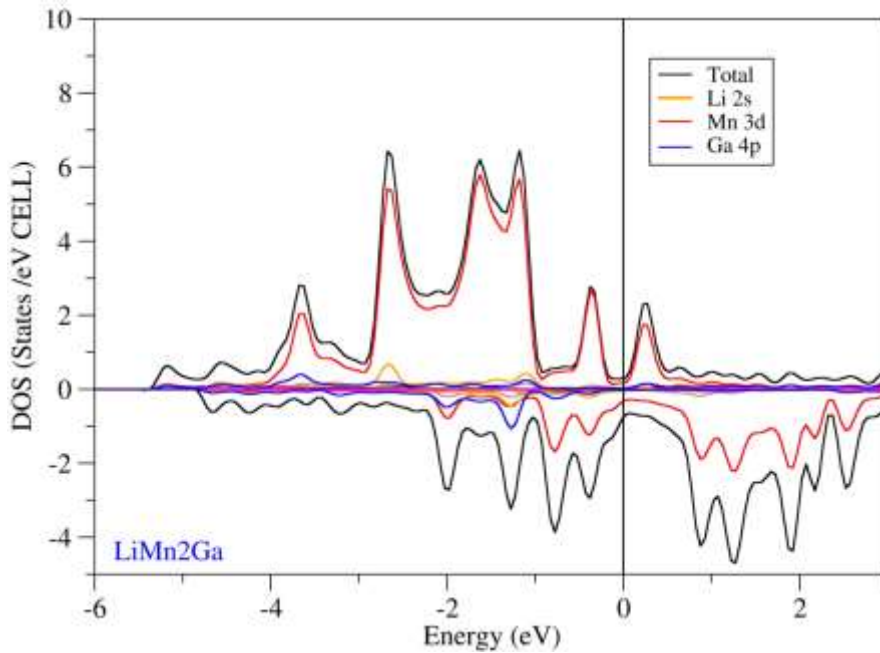
Oluşturulan kristal yapının denge durumu incelenmesi için toplam enerjinin minimum değerinin hesaplanması gerekir. Bu hesaplama sonucu elde edilen toplam enerji değerine karşılık gelen optimize örgü sabiti değeri  $a = 5.940 \text{ \AA}$  olarak belirlendi. Literatür ile bulunan örgü parametresi kıyaslaması yapılmak istendi fakat LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımına ait herhangi bir çalışma olmadığından bu kıyas yapılamadı. Bununla birlikte teorik çalışmalar için bir kütüphane olarak kabul gören The Open Quantum Materials Database (URL-1) web sitesinde yapılan modelleme sonucu elde edilen kararlı durum optimize örgü sabiti ile bu çalışmada bulunan  $a = 5.940 \text{ \AA}$  değerinin %99.336 oranında uyumlu olduğu görüldü.

LiMn<sub>2</sub>Ga alaşımının spin yönelimlerine göre elektronik bant grafiği çizdirilerek alaşımın elektronik özellikleri anlaşılmasına çalışıldı. Buna göre alaşımın spin yönelimlerine göre elektronik bant grafiği şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2. LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının yüksek simetri (spin) yönelimlerine göre elektronik bant grafiği (Figure ).

Şekilde kırmızı renkli eğriler spin yukarı, siyah renkli eğriler ise spin aşağı yüksek simetri eksenlerini temsil etmektedir. Grafikteki sıfır noktasında x eksenini boyunca uzanan doğru Fermi enerji seviyesini gösterir. Fermi enerji seviyesinin yakınına bakıldığında hem spin yukarı hem de spin aşağı eğrileri Fermi seviyesini kesmektedir. Spin yönelimlerini temsil eden eğriler ile Fermi seviyesi arasında herhangi bir boşluk yani yasak enerji aralığı gözlenmemiştir. Ayrıca spin yukarı ve spin aşağı yönelimlerini temsil eden eğriler birbirlerini de kesmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında alaşımın iletkenlik ve valans bantlarındaki elektronların birbirlerine geçiş yapabildikleri, Fermi seviyesinin civarında yasak enerji aralığı olmaması nedeniyle de alaşımın metalik iletken karakterde olduğu söylenebilir. Ayrıca spin yukarı ve spin aşağı eğrilerinin üst üste çakışık yekpare bir görüntü de olmaması bu alaşımın manyetik bir momentinin olduğu ve bu yüzden de alaşımın manyetik olduğunu göstermektedir. Elektronik özelliklerin daha iyi anlaşılması açısından alaşımın durum yoğunluğu eğrilerinin grafiği çizildi (Şekil 3). Bu grafik aşağıda verilmiştir.



Şekil 3. LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının spin yukarı ve spin aşağı durumları için durum yoğunluğu eğrileri (Figure 3).

Şekil 3 de ki grafik incelendiğinde Fermi enerji düzeyi yakınlarında iletkenliğe en fazla katkının spin yukarı yöneliminde Mn atamunun 3d ve Ga atomunun 4p orbitalindeki elektronlardan geldiği görülmüştür. Spin aşağı yöneliminde de aynı durum gözlenmektedir. Manyetik moment Slater Pauling ilkesine göre  $M_T=Z_T-18$  formülü ile verilir (Wei ve ark., 2012). LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının manyetik momenti hesaplandığında Slater Pauling ilkesi ile uyumlu olduğu görüldü.

Bir malzemenin esnekliği o malzemeye uygulanan zorlamaya karşı koyması olarak bilinir. Bir alaşımın mekanik kararlılığı incelenirken esneklik oldukça önemli bir yer tutar. Bu bağlamda LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının esneklik sabitleri hesaplanarak bu değerlerin Born kararlılık kriterlerini sağladığı teyit edilmelidir. Born kararlılık kriterleri eşitlik 4 te verilmiştir (Örnek, 2017).

$$C_{44} > 0; C_{11} - C_{12} > 0; C_{11} + 2C_{12} > 0 \quad (4)$$

Burada  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  ve  $C_{44}$  alaşıma ait elastik sabitleridir. Çizelge 1 de LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımına ait hesaplanan elastik sabitleri verilmiştir.

**Çizelge 1** LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının elastik sabitleri ( $C_{11}$ ,  $C_{12}$  ve  $C_{44}$ ; GPa) (Table 1)

Malzeme	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{44}$
LiMn <sub>2</sub> Ga	89.792	61.130	96.205

Bu çalışmada alaşımın sertliği, sünekliliği, sıkışabilirliği gibi yapısal bazı özellikler hakkında bilgi veren poisson oranı  $\sigma$ ,  $B/G$  oranı, Kayma modülü  $G$ , Young modülü  $E$ , Anizotropi faktörü  $A$ , Bulk modülü  $B$  aşağıdaki eşitliklerle hesaplandı.

$$E = \frac{9 \cdot B \cdot G}{3B + G} \quad (5)$$

$$B = \frac{C_{11} + 2 \cdot C_{12}}{3} \quad (6)$$

$$G = \frac{(5C_{11} - 2C_{12}) \cdot C_{44}}{(3C_{11} - 2C_{12}) + C_{44}} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{E}{3B}\right) \quad (8)$$

$$A = \frac{2C_{44}}{C_{11} - C_{12}} \quad (9)$$

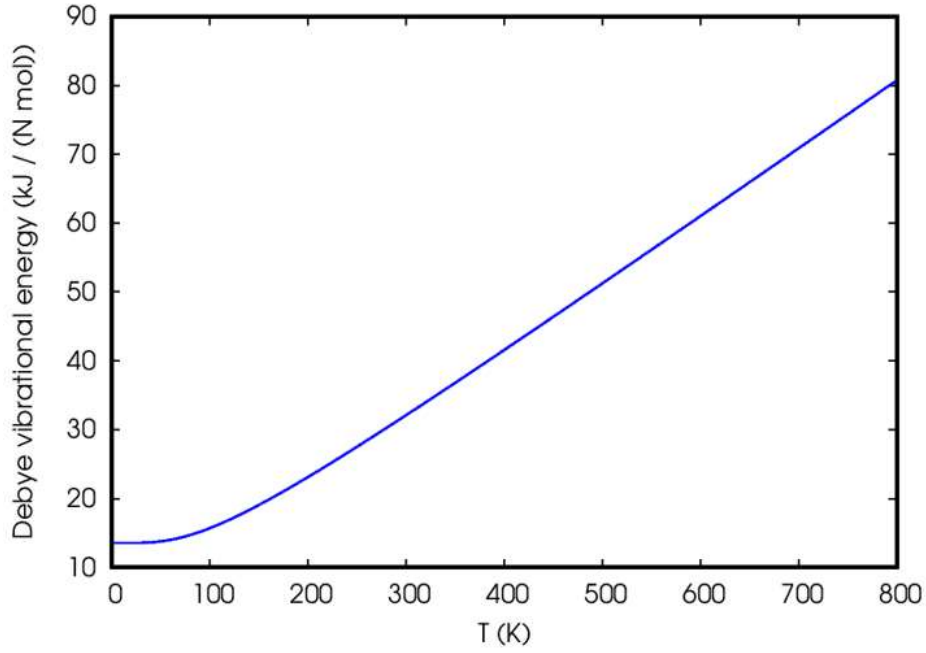
Çizelge 2 de LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımı için hesaplanan  $E$ ,  $B$ ,  $G$ ,  $A$  ve  $\sigma$  değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.** LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımı için hesaplanan Kayma modülü, ( $G$ ; GPa), Bulk Modülü ( $B$ ; GPa), Young modülü ( $E$ ; GPa), poisson oranı ( $\sigma$ ),  $B/G$  oranı ve Anizotropi faktörü ( $A$ ) (Table 2)

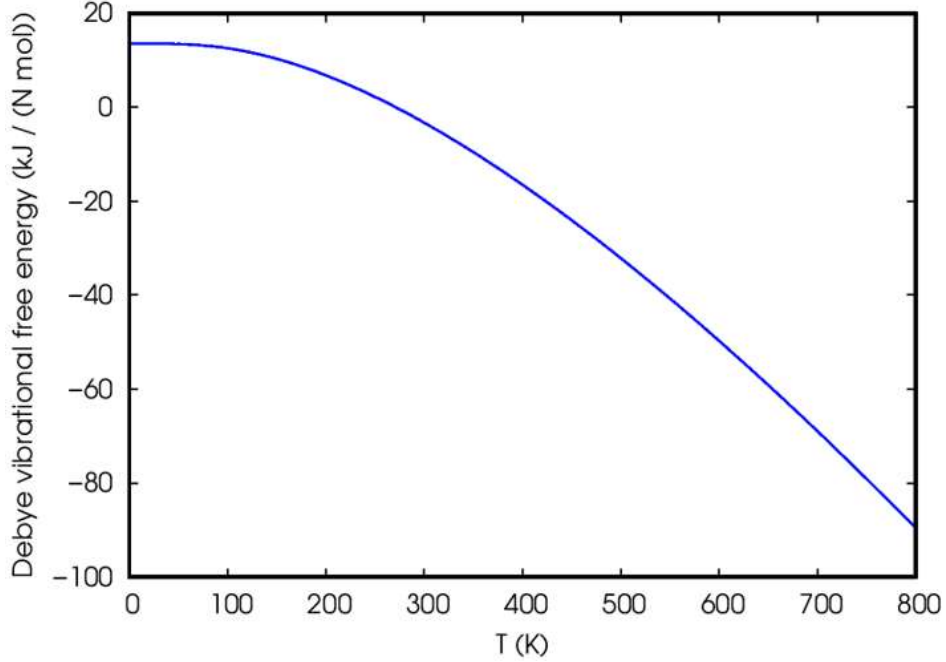
Malzeme	$B_V$	$B_R$	$B$	$G_V$	$G_R$	$G$	$E_V$	$E_R$	$E$	$B/G$	$\sigma$	$A$
LiMn <sub>2</sub> Ga	70.684	70.684	70.684	63.455	29.284	46.369	146.521	77.192	111.856	1.524	0.206	6.713

Hesaplanan  $B$  değeri  $C_{12} < B < C_{11}$  olarak beklenen bir değerde hesaplandı. Hesaplanan  $B$  ve  $E$  değerlerine bakıldığında  $B$  değerinin 100 GPa'dan küçük olması alaşımın sıkışabilir olduğunu  $E$  değerinin 111.856 GPa olması da alaşımın sert bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Pugh kriterlerine göre bir malzemenin  $B/G$  oranı 1.75 değerinden büyükse malzemenin sünek, küçükse de kırılğan olduğu söylenebilir.  $B/G$  oranı dikkate alındığında 1.524 GPa değeri 1.75 ten küçük olduğundan alaşımın kırılğan (gevrek) doğaya sahip olduğu anlaşılmaktadır (Pugh, 1954). Malzemenin sünek olduğuna ışık tutan başka bir bilgi de Poisson oranıdır ( $\sigma$ ). Ayrıca  $\sigma$  değerinin 0.1 civarında olması atomik bağlanmaların kovalent, 0.25 civarında olması da atomik bağlanmaların iyonik olduğunu göstermektedir. Burada Poisson oranı 0.25 civarında hesaplandığından alaşımın iyonik karakterinin baskın olduğu anlaşılmaktadır. Buna ek olarak elastik sabitleri olan  $C_{11}$  ve  $C_{12}$  arasındaki fark ( $C_{11} - C_{12}$ ) Cauchy basıncı olarak bilinir ve bu değer pozitif olması alaşımın atomlar arası bağlanmalarının iyonik karakterde olduğunun anlaşılmasına destek sağlar. Bir malzemenin fiziksel ya da mekanik bazı

özelliklerinin yöne bağımlılığı anizotropi olarak bilinir.  $A$  değeri 1 olan malzemeler izotropik iken be değer 1 den farklı olan malzemeler ise anizotropiktirler. Buna göre hesaplamalar sonucu elde edilen 6.713 değeri 1 den farklı olduğu için  $\text{LiMn}_2\text{Ga}$  FH alaşımının anizotropik olduğu anlaşıldı.  $\text{LiMn}_2\text{Ga}$  FH alaşımına ait termodinamik özellikler incelenmek istendiğinde elde edilen grafikler şekil 4, 5, 6 ve 7 de verilmiştir.

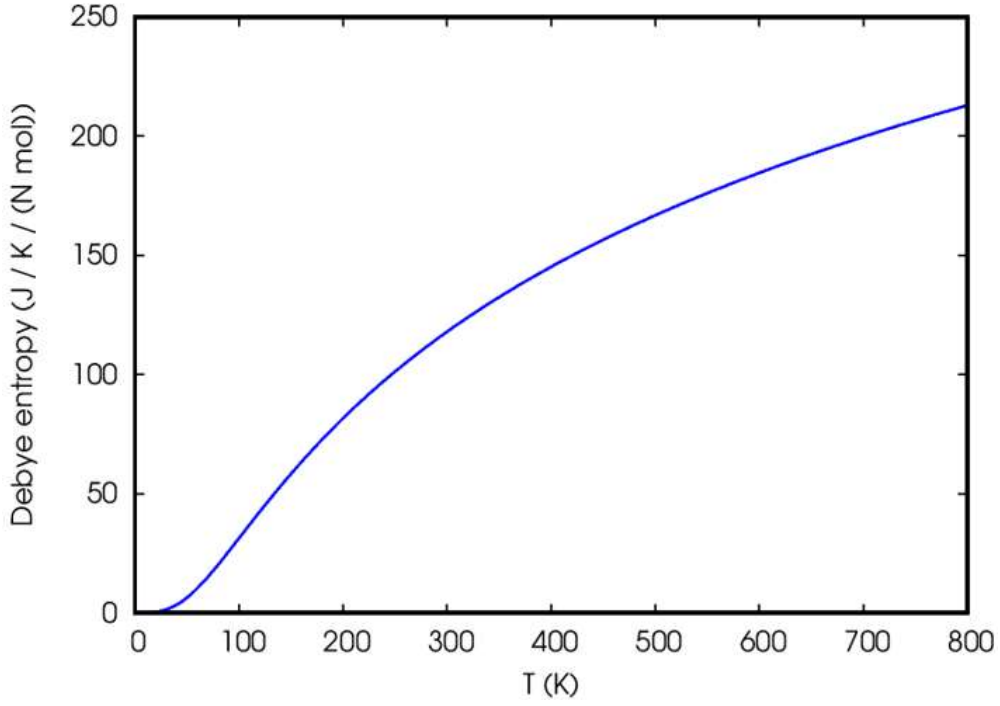


Şekil 4.  $\text{LiMn}_2\text{Ga}$  FH alaşımının titreşim enerjisinin sıcaklığa bağlı grafiği (Figure 4).

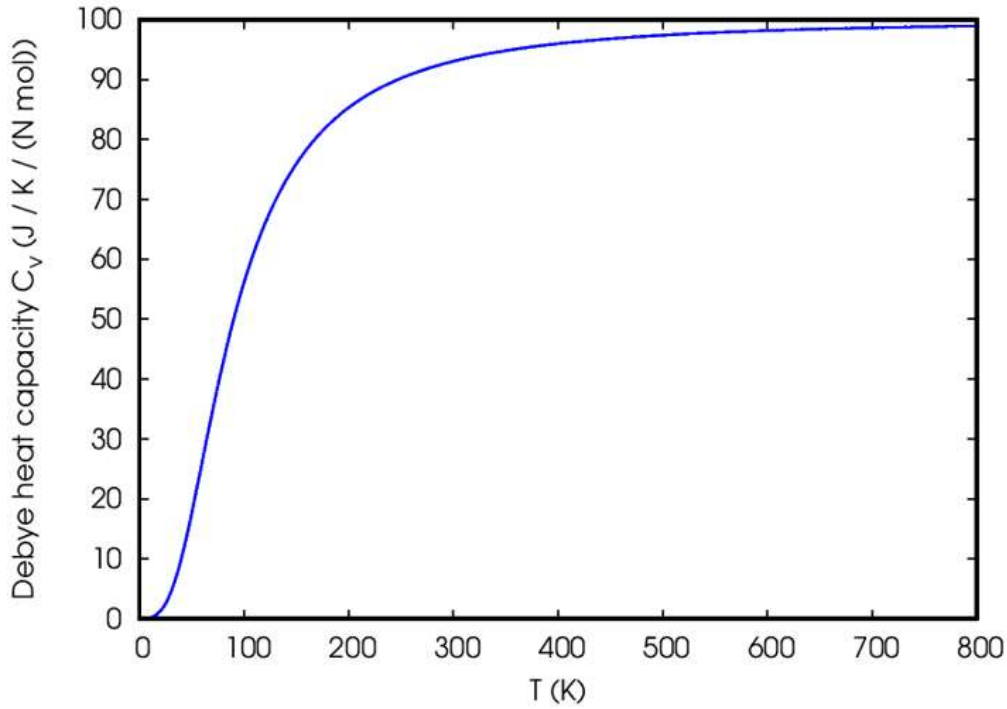


Şekil 5.  $\text{LiMn}_2\text{Ga}$  FH alaşımının serbest titreşim enerjisinin sıcaklığa bağlı grafiği (Figure 5).





Şekil 6. LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının entropisinin sıcaklığa bağlı grafiği (Figure 6).



Şekil 7. LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının ısı sığasının sıcaklığa bağlı grafiği (Figure 7).

Şekil 4. İncelendiğinde titreşim enerjisinin sıcaklık arttıkça arttığı görülür. Sıcaklığın artışı atomların kinetik enerjisini artıracığından titreşim enerjisindeki artış beklenen bir durumdur. Titreşim enerjisinin sıcaklıkla artmasına karşın serbest titreşim enerjisinin ise sıcaklık arttıkça azalması beklenir. Şekil 5de ki grafik bu durumun bir teyidi olarak görülebilir. Şekil 6 da düzensizliğin bir derecesi olan entropinin sıcaklığa bağlı grafiği görülmektedir. Entropi dolayısıyla alaşımdaki düzensizlik sıcaklıkla orantılı olarak artmaktadır. Şekil 7 incelendiğinde, dört atomu barındıran LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımının ısı sığası yüksek sıcaklık değerlerine çıkıldıkça Dulong-Petit limitine yakınsamaktadır. Bu durum mekanik kararlı bir alaşım için beklenen bir durumdur (Petit, 1819). Şekil 7 deki grafikte sıcaklık artmaya devam ederken ısı sığasının sabitlenmeye başladığı nokta bütün dalga boylarının uyarıldığı sıcaklık değeri olan Debye sıcaklığı olarak bilinir. Burada Debye sıcaklığı 168.441 K olarak hesaplanmıştır.

## 4. Sonuç

LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımı için DFT yaklaşımı kullanan Quantum-ESPRESSO paket programı kullanılarak alaşımın yapısal, elastik, elektronik ve termal özellikleri incelenmiştir. İncelenen LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımı ile ilgili yapılan literatür taramasında alaşımın yapısal, elastik, elektronik ve termal özellikleri ile ilgili herhangi bir çalışma gözlemlenmemiştir. Yukarıda belirtilen özellikler ilk kez bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Bu çalışmada hesaplanan örgü sabiti (5.40 Å) teorik değerinden % 0.664 lük bir farkla hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam manyetik moment ile elektronik bantlar teorik verilerle oldukça uyumlu bir sonuç vermiştir. Alaşımın hem spin yukarı hem de spin aşağı durumları için Fermi enerji seviyesi ile arasında herhangi bir yasak enerji aralığı gözlemlenmemiştir. Ayrıca spin aşağı ve spin yukarı yönelimlerine ait eğriler hem birbirlerini hem de Fermi enerji seviyesini kesmektedir. Bu durum malzemenin elektronik olarak iletken metalik olduğunu gösterir. Spin yukarı ve spin aşağı yönelimlerine ait eğrilerin simetrik olmamaları alaşımın bir manyetik momente sahip olduğunu, bu da alaşımın manyetik bir karaktere sahip olduğunu anlamamızı sağlar. LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımı Born kararlılık kriterlerini sağladığından mekanik kararlı bir alaşımdır. *B/G* oranının 1.75 değerinden küçük olması alaşımın gevrek bir yapıda olduğunu, Bulk modülünün 100 GPa'dan küçük olması da alaşımın sıkışabilir olduğunu göstermektedir. Young modülü değeri alaşımın sert, Poisson oranı değeri de alaşım içindeki atomik bağlanmaların iyonik karakterde olduğunu göstermektedir. Anizotropi faktörünün değerinin 1 den farklı bulunması ise alaşımın bazı yapısal ve mekanik özelliklerinin yöne bağlı olduğunu gösterir. Yapılan bu çalışmada rapor edilen hesaplama sonuçları ilk olup daha önce çalışılmamış ya da rapor edilmemiştir. Bu bağlamda LiMn<sub>2</sub>Ga FH alaşımı spintronik cihaz çalışmaları için ümit vaat edebilecek bir adaydır.

## Kaynakça

- Blumenthal R. L., 2022. *Lithium (li)*, Salem Press Encyclopedia of Science, 202, Research Starters
- Garrity K.F., *et al.* 2014. Pseudopotentials for high-throughput DFT calculations, *Comput. Mater. Sci.*, 81, pp. 446-452
- Giannozzi P. *et al.*, 2009. Quantum Espresso: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials *J. Phys.: Condens. Matter*, 21 (39), p. 395502
- Hem C.K., Gerhard H.F., Claudia F., 2007. Calculated electronic and magnetic properties of the half-metallic, transition metal based Heusler compounds, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 40, 6
- Hohenberg P., Kohn W., 1964. Inhomogeneous Electron Gas, *Phys. Rev.*, 136 (3B) (1964), pp. B864-B871
- İyigör A., Al S., Arıkan N., 2022. Density functional theory investigation on structural, mechanical, electronic and vibrational properties of Heusler alloys AlXIr<sub>2</sub> (X = Co, Cr, Cu, Fe and Zn), *Chemical Physics Letters*, 806, 140052. Doi: 10.1016/j.cplett.2022.140052
- Kohn W., Sham L.J., 1965. Self-consistent equations including exchange and correlation effects, *Phys. Rev.*, 140 (4A) (1965), pp. A1133-A1138
- McCormick, Eugene R., 2021. *Manganese (Mn)*, Salem Press Encyclopedia of Science, 202, Research Starters
- Methfessel M., Paxton A., 1989, High-precision sampling for Brillouin-zone integration in metals, *Phys. Rev. B*, 40 (6), p. 3616
- Örnek O., 2017. B2 fazda intermetalik RuTi alaşımının elektronik, elastik ve fonon özelliklerinin incelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi cilt:8, sayı:4, 845-851
- Perdew J.P., Burke K., Ernzerhof M., 1996, Generalized Gradient Approximation Made Simple, *Phys. Rev. Lett.*, 77 (18) , pp. 3865-3868
- Petit P., 1819. Recherches sur quelques points importants de la Théorie de la Chaleur, *Annales de Chimie et de Physique* 10395–413.
- Pugh S.F., 1954. XCII. Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 45:367, 823-843, DOI: 10.1080/14786440808520496
- Secrets R., 2023. *Gallium (Ga)*, Salem Press Encyclopedia of Science, 2023, Research Starters
- Srivastava G.P., 1990. *The physics of phonons*. Adam Hilger: Bristol,
- URL-1. The Open Quantum Materials Database, <https://oqmd.org/analysis/calculation/824849>
- Wei X.P., Deng J.B., Mao G.Y., Chu S.B., Hu X.R. (2012). Half-metallic properties for the Ti<sub>2</sub>YZ (Y = Fe, Co, Ni, Z = Al, Ga, In) Heusler alloys: A first-principles study, *Intermetallics Volume 29*, Pages 86-91



# İnsan Omurgasına Ait Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinin İyileştirilmesi ve Omur Segmentasyonu

Murat Türkmen<sup>1\*</sup>, Zeynep Orman<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2375-5337), [muratturkmen@baskent.edu.tr](mailto:muratturkmen@baskent.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0205-4198), [ormanz@iuc.edu.tr](mailto:ormanz@iuc.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 4 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10259100)

**ATIF/REFERENCE:** Türkmen, M., Orman, Z., (2023). İnsan Omurgasına Ait Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinin İyileştirilmesi ve Omur Segmentasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 95-103.

## Öz

Günümüzde insan omurgası ile ilişkili birçok sağlık sorunu mevcuttur. Omurga rahatsızlıklarının tespitinde biyomedikal görüntüler sıklıkla kullanılmaktadır. Bunların önde geleni ise Bilgisayarlı Tomografi (BT) teknolojisidir. BT görüntülerinden omurga rahatsızlıklarının doğru ve hızlı tespit edilmesi hasta tedavisinde önemli rol oynar. Bunun için BT görüntülerinin değerlendirme aşamasında kaliteli görüntülere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada VerSe veri kümesi kullanılarak görüntü iyileştirilmesi amacıyla ayrık dalgacık dönüşüm (discrete wavelet transform) yöntemi kullanılmıştır. Bağlı bileşen yöntemi ile görüntüdeki omurlar etiketlenmiştir. İyileştirilmiş BT görüntülerindeki omurlar evrişimli sinir ağı olan U-Net yöntemi uyarlanarak segmente edilmiştir. İyileştirme ve segmentasyon yöntemi uygulandıktan sonra doğruluk oranı %99.4, özgüllük oranı %99.8 ve hassasiyet oranı %99.2 olarak elde edilmiştir. Dice segmentasyon skoru ham görüntülerin iyileştirilmesi sonucunda %65.1'den %74.5'e yükseltilmiştir. Çalışmanın sonuçları literatürde VerSe veri kümesi ile yapılan diğer segmentasyon sonuçları ile kıyaslanmış; farklılıkları belirtilmiş ve daha başarılı sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, CNN U-Net modeli, bilgisayarlı tomografi, omur segmentasyonu.

## Enhancement of Computed Tomography Images of the Human Spine and Spine Segmentation

### Abstract

Today, there are many health problems associated with the human spine. Biomedical images are frequently used in the detection of spinal disorders. Chief among these is IT technology. Accurate and rapid detection of spinal disorders from CT images plays an important role in patient treatment. For this, quality images are needed in the evaluation phase of CT images. In this study, the discrete wavelet transform method was used for image enhancement using VerSe dataset. The vertebrae in the image are labeled with the connected component method. The vertebrae in the enhanced CT images were segmented by adapting the convolutional neural network U-Net method. With respect to the enhancement and segmentation method, the proposed model had 99.4% accuracy rate, 99.8% specificity rate, and 99.2% sensitivity rate. The dice segmentation score was increased from 65.1% to 74.5% as a result of improving the raw images. The results of the study were compared with other segmentation results made with the VerSe data set in the literature; differences were stated and more successful results were shown.

**Keywords:** Image processing, CNN U-Net model, computed tomography, spine segmentation.

\* Sorumlu Yazar: [muratturkmen@baskent.edu.tr](mailto:muratturkmen@baskent.edu.tr)

## 1. Giriş

Geçmişten günümüze yapay zeka teknikleri sağlık alanında etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Hastalık tespitlerinde ve analizlerinde biyomedikal görüntüleme yöntemlerine başvurulmaktadır. Söz konusu yöntemler, insan omurgası rahatsızlıklarının tedavi edilmesinde yardımcı çözümler olarak sunulmaktadır. İnsan omurgası ile ilişkili hastalıklar, gündelik hayatı etkileyen önemli sağlık sorunları arasında yer almaktadır. Omurgada meydana gelen pondilolistezis (bel kayması), kamburluk (kifoz), skalyoz (omurga eğriliği), travma, osteoporoz (kemik erimesi) ve omurga kırığı gibi hastalıklar sıklıkla rastlanan rahatsızlıklardır.

Son yıllarda, insan omurgası rahatsızlıklarının tespiti çalışmalarında çeşitli görüntüleme teknolojileri geliştirilmiştir. Görüntüleme teknolojilerinden bazıları Röntgen (X-ray) görüntüleme, BT, sayısal meme tomosentezi (DBT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI), nükleer görüntüleme (PET-SPECT), ultrasonografi, elektriksel empedans tomografisi (EIT) ve termal kızılötesi görüntüleme (IRT) şeklinde sayılabilir. Görüntüleme teknolojilerinden BT, omurga rahatsızlıklarında iyonlaştırıcı radyasyon yaymasına rağmen tercih edilir. BT teknolojisi; sagittal (yan), koroner (ön ve arka) ve aksiyal (tepe) olarak omurga görüntülerini inceleme imkanı sunar.

Literatürde, görüntü iyileştirme yöntemleri görüntüden başarılı analizler yapmak ve sınıflandırma sonuçları elde etmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Görüntü iyileştirme yöntemlerini mekânsal ve frekans alan teknikleri olarak ayırmak mümkündür.

Biyomedikal görüntülerde insan okumasını başarılı bir şekilde gerçekleştirmek için segmentasyon ile renklendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Omurga görüntülerindeki omurların segmentasyonu çeşitli yöntemler aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Görüntülerdeki omurların doğru bir şekilde segmentasyonunun yapıldığını ölçmek için dice coefficient, doğrusalık, hassasiyet, özgüllük ve ortalama birleştirme kesişimi (Intersection over Union - IOU) değerlendirme kriterleri kullanılabilir. Değerlendirme ölçütleri, segmentasyon çıktılarının başarısını ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Bu makalede VerSe veri kümesi kullanılarak dalgacık dönüşümü, etiketleme ve U-Net yöntemleriyle omurga segmentasyonu üzerine çalışılmıştır. Makalenin sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2’de literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalar analiz edilerek çalışmanın özgünlüğü belirtilmiştir. Bölüm 3’de çalışmada kullanılan veri kümesi ve segmentasyon yöntemleri ele alınmıştır. Bölüm 4’de önerilen model detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bölüm 5’de çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Son olarak, Bölüm 6’da araştırma çıkarımları ve sonuçları tartışılmıştır.

## 2. İlgili Çalışmalar

İnsan omurgası ilişkili rahatsızlıkları tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen bilgisayar destekli omur segmentasyonu çalışmaları geçmişten günümüze kadar devam etmiştir.

Literatürde omurga segmentasyonunda kullanılan yöntemler ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Mallat, çalışmalarında dalgacık dönüşümünün sinyal işleyebileceğini ortaya koymuştur (Mallat vd., 1999). DeVore ve arkadaşları dalgacık dönüşümü kodlaması yoluyla görüntü sıkıştırma çalışmalarını yapmışlardır (DeVore vd., 1992). Mihçak ve arkadaşları, dalgacık dönüşümü formülünü görüntülerde gürültü azaltma ve iyileştirmede kullanılabileceğini kanıtlamışlardır (Mihçak vd., 1999).

Sekuboyina ve arkadaşları, VerSe veri kümesini sunmakla birlikte Btrfly mimarisini geliştirmişlerdir ve bir omurga yerelleştirme modülü ile genişletmişlerdir. Eşzamanlı olarak, üretken çekişmeli öğrenme alanından ilham alarak, omurganın anatomik önceki bilgisini Btrfly ağına uygulayan bir öğrenme modülünü araştırmışlardır (Sekuboyina vd., 2021). Löffler ve arkadaşları VerSe veri kümesindeki kırıkları eğitilmiş öğrenme yöntemi CNN ile sınıflandırmışlardır (Löffler vd., 2020). Schinz ve arkadaşları, VerSe veri kümesi ile anatomik varyasyonlar ve çoklu tarayıcı verileri içeren bir bilgisayarlı tomografi omur veri kümesini segmente edilmiş şekilde tekrar oluşturmuşlardır (Liebl vd., 6).

Pang ve arkadaşları, lomber dar kanal teşhisi için aksenel MR görüntüleri üzerinde otomatik omurga indeksleri ölçümü elde etmek amacıyla bir segmentasyon kılavuzlu regresyon ağı (SGRNet) önermişlerdir. Segmentasyon aşamasını bir U-Net segmentasyon kodlayıcı ve kod çözücü içeren benzer ağ ile gerçekleştirmişlerdir (Pang vd., 2023). Qadri ve arkadaşları, yığılan seyrek otomatik kodlayıcı (SSAE) kullanarak etiketlenmemiş verilerden ayırt edici özellikleri çıkarmak için yama tabanlı bir derin öğrenme yaklaşımı önermektedir (Qadri vd., 2023). Yang ve arkadaşları, omurgayı bölümlere ayırmak için bir derin öğrenme yöntemi önermişlerdir. Segmentasyon sonuçlarını optimize etmek ve net segmentasyon kenarlarının etkisini elde etmek için bir ortak kayıp fonksiyonu kullanmışlardır (Yang vd., 2023). Cao ve arkadaşları, 3D Slicer tıbbi görüntü analiz platformu içinde derin öğrenme tabanlı segmentasyon modeli uygulayarak gerçek zamanlı spinal ultrason rekonstrüksiyonu ve görselleştirme sistemi oluşturmuşlardır (Cao vd., 2022). Fatima ve arkadaşları, vertebra lokalizasyonu ve omurga segmentasyonu için hibrit bir yaklaşım sunmuşlardır. Yerelleştirme sonuçları, YOLOv5'e göre ortalama kesinliğin 0,5 eşliğinde 0,94 olduğu görülmüştür (Fatima vd., 2022). Zhao ve arkadaşları, manyetik rezonans (MRI) görüntülerinden omurga sinir demeti segmentasyonu için yapay sinir ağı olan RA2 – Net yöntemini önermişlerdir (Zhao vd., 2022). Aydogdu ve arkadaşları, birkaç evrişimli Sinir Ağı (CNN) mimarisini tek aşamalı bir segmentasyon boru hattında değerlendirmişlerdir. BT taramaları ile veri kümesini voksel varyasyonunu ve yönünü düzeltmek için önceden işlemişlerdir (Aydogdu vd., 2022). Wang ve arkadaşları, MR görüntülerinde omurların ve omur disklerinin otomatik olarak bölümlenmesini sağlamak için bir omurga bölümlendirme önermişlerdir. Yöntemlerini, omur ve disk segmentasyonu için 172 MR hacimsel görüntüden oluşan genel bir omurga veri kümesi üzerinde test etmişlerdir (Wang vd., 2022). Yamakawa ve arkadaşları, MR görüntülerini Textonboost yöntemini diferansiyel evrim ve stokastik tepe tırmanma yöntemlerini kullanarak iyileştirmişlerdir (Yamakawa vd., 2022).



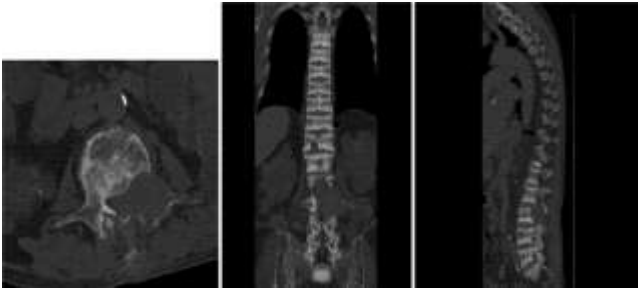
Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, omurga segmentasyonunun bilgisayar destekli teşhiste önemli bir adım olduğu görülmektedir. Bu sorunu çözmeyi amaçlayan mevcut yöntemler genellikle bir tür açık model kullanır. Bununla birlikte, yeterince güvenilir bir model oluşturmak için, yüksek miktarda uygun şekilde etiketlenmiş verilere ihtiyaç vardır. Veri kümelerinde yapılan etiketlemeler ve segmentasyon çıktıları her zaman erişilebilir değildir. Ayrıca, segmentasyon öncesinde biyomedikal görüntüler üzerinde ön iyileştirme ve onarma işlemleri gerekmektedir. Önerilen yöntemin literatürdeki çalışmalardan farklılıkları ve özgün yönleri aşağıda özetlenmiştir:

- U-Net segmentasyon yöntemi VerSe veri setine uyarlanarak 5 katmanlı biçimde kullanılmıştır.
- Ayrık dalgacık dönüşümü yöntemi ile ilk kez VerSe veri seti görüntüleri iyileştirilmiştir.
- Omur etiketlemek için ilk kez bağlı bileşen etiketleme yöntemi kullanılarak etiketler belirlenmiştir.
- Önerilen model omurganın bir parçası değil CT taramalarından elde edilen tüm omurga segmentasyonu oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir. Omurga rahatsızlarından kemik erimesi ile sınırlı kalan problemler değil, bel fıtığı, disk kayması gibi diğer rahatsızlıkları da kapsayan omurlar renklendirilmiştir.
- Değerlendirme ölçütlerinden sadece Dice skoru değil, doğruluk, hassaslık, özgünlük gibi ölçütlerde kullanılmıştır.
- VerSe veri seti ile yapılan diğer çalışmalar bu çalışma ile kıyaslanarak verilmiştir.

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Veri Kümesi

Omur etiketleme ve segmentasyon, otomatik bir omurga işleme boru hattındaki iki temel görevdir. Omurga görüntülerinin güvenilir ve doğru bir şekilde işlenmesinin teşhis, cerrahi planlama ve omurga ve kemik sağlığının nüfusa dayalı analizi için klinik karar destek sistemlerine fayda sağlaması beklenmektedir. Bununla birlikte, omurga işleme için otomatik algoritmalar tasarlamak, ağırlıklı olarak anatomi ve edinim protokollerindeki önemli farklılıklar ve kamuya açık verilerin ciddi eksikliği nedeniyle zordur. Bu sınırlamaları ele alan büyük ölçekli Vertebra Segmentasyonu (VerSe), 2019 ve 2020 gerçekleştirilen Uluslararası Tıbbi Görüntü Hesaplama ve Bilgisayar Destekli Müdahale Konferansı'nda (MICCAI) gerekli etik kurul izinleri alınarak açık kaynak sunulmuştur (<https://osf.io/nqjyw/>). Bu amaçla, 355 hastadan alınan toplam 374 BT taramasını içeren iki veri kümesi hazırlandı ve 4505 omur, insan-makine hibrit algoritması tarafından vokselle seviyesinde ayrı ayrı kaydedildi (Sekuboyina vd., 2020). VerSe'nin temel çıkarımına göre bir omurga taramasını etiketleme ve bölümlere ayırmada bir algoritmanın performansı, nadir anatomik varyasyonların olduğu durumlarda omurları doğru bir şekilde tanımlama yeteneğine bağlıdır. Şekil 1'de veri kümesine ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 1. Verse veri kümesi ham görüntü örneği (Sekuboyina vd., 2020) (Example of Verse dataset raw image)

Şekil 1'de görüldüğü üzere omur ve disklere yönelik gözle analiz yapmak oldukça güçtür. Bu nedenle ham verinin iyileştirilerek insan okumasına karar destek sağlayacak görüntüler elde etmek gerekmektedir.

#### 3.2. Görüntü Ön İyileştirme

Görüntü ön iyileştirmede kullanılan ayrık dalgacık dönüşümleri, özelliklerin farklı ölçeklerde değişiklik gösterdiği verileri analiz etmek için kullanılan matematiksel araçlardır. Sinyaller için, özellikler zaman içinde değişen frekanslar, geçişler veya yavaş değişen eğilimler olabilir. Görüntüler için özellikler, kenarları ve dokuları içerir. Ayrık dalgacık dönüşümleri, öncelikle Fourier dönüşümünün sınırlamalarını ele almak için yaratılmıştır. Eş sinyalleri, zaman serisi mali verileri ve biyomedikal sinyaller tipik olarak geçici olaylarla noktalanmış parçalı düzgün davranış sergiler. Benzer şekilde, görüntüler tipik olarak, kenarlar olarak görünen geçici olaylarla ayrılmış homojen, parçalı düz bölgeleri içerir. Hem sinyaller hem de görüntüler için, düzgün bölgeler ve geçişler, ayrık dalgacık dönüşümleriyle seyrek olarak temsil edilebilir.

Bir ayrık dalgacık, sinüs dalgasından farklı olarak, hızla azalan, dalga benzeri bir salınımdır. Bu, ayrık dalgacıkların verileri birden çok ölçekte temsil etmesini sağlar. Uygulamaya bağlı olarak farklı ayrık dalgacıklar kullanılabilir (Agboola ve Zacchters, 2023; Unser ve Aldroubi, 1996; Murala ve Mahaswari, 2012). Çalışma kapsamında kullanılan ayrık dalgacık dönüşümü Formül 1'de verilmiştir.

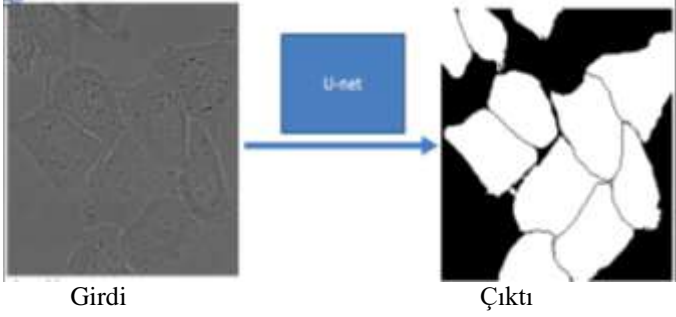
$$W(j, k) = \sum_j \sum_k x(k) 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}n - k) \quad (1)$$

Formül 1'de verilen  $j$  ve  $k$  tam sayı olarak kaydırma parametreleri,  $x(k)$  noktanın izdüşümü,  $\psi$  fonksiyonu dalgacık katsayısı ve  $n$  kesme frekans değeridir.

### 3.3. Görüntü Ön İyileştirme

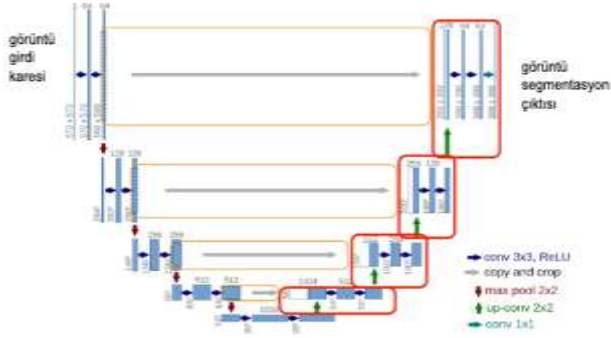
MRI ve BT gibi biyomedikal görüntülerde istenilen çerçeveyi elde etmek için bağlı bileşen etiketleme yöntemine başvurulabilmektedir (He vd., 2009; Javonmandi ve Tasdizen, 2018). Görüntü omur etiketlemede, bağlı bileşen yöntemi kullanılmıştır. Omur etiketleme ve sonrasında segmentasyona yardımcı olacak şekilde veri setine uyarlanmıştır.

Segmentasyon işleminde kullanılan U-net, görüntülerin hızlı ve hassas bir şekilde bölünmesi için geliştirilmiş evrişimli bir ağ mimarisidir. Şekil 2’de ağ mimarisinin uygulandığı ham görüntü ve çıktısı gösterilmiştir (Ronnerberger vd., 2015).



Şekil 2. U-Net uygulanan görüntü (Ronnerberger vd., 2015) (U-Net implemented image)

Şekil 3’de U-Net evrişimli sinir ağı mimarisi verilmiştir (Falk vd., 2019).



Şekil 3. U-Net evrişimli sinir ağı mimarisi (Falk vd., 2019) (U-Net convolutional neural network architecture)

Şekil 3’de verilen mimaride görüntünün önce bölündüğü daha sonra birleştiği açıkça görülmektedir. Girdi görüntüleri ve bunlara karşılık gelen segmentasyon haritaları, ağı Caffe’nin (Cia vd., 2014) stokastik gradyan iniş uygulamasıyla eğitmek için kullanılır. Ek yükü en aza indirmek ve GPU belleğinden maksimum düzeyde yararlanmak için, büyük toplu bir iş boyutu yerine büyük giriş kutucukları tercih edilmektedir; ve bu nedenle toplu iş tek bir görüntüye indirgenmektedir. Buna göre, daha önce görülen çok sayıda eğitim örneğinin mevcut optimizasyon adımındaki güncellemeyi belirleyeceği şekilde yüksek bir momentum (0.99) kullanılmaktadır. Formül 2’de U-Net performans değerlendirmede kullanılan ikili çapraz entropi  $L_{bce}$  verilmiştir.

$$L_{bce} = \sum_i y_i \log o_i + (1-y_i) \log(1-o_i) \quad (2)$$

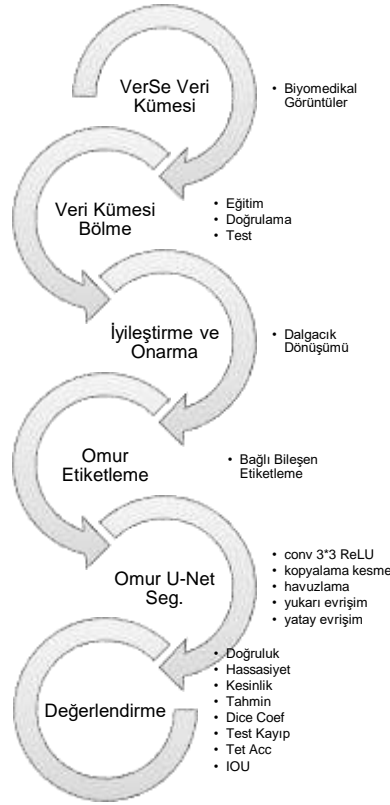
Formül 3’de U-Net değerlendirme ölçütlerinden bir diğeri Dice kayıp denklemi verilmiştir.

$$L_{Dice} = -\frac{2 \sum_i o_i y_i}{\sum_i o_i + \sum_i y_i} \quad (3)$$

Formül 2 ve Formül 3’de  $i$  indis değeri,  $y_i$  tahmin edilmeyen etiket fonksiyonu ve  $o_i$  ise tahmin edilmiş etiket fonksiyonunu temsil etmektedir.

## 4. Önerilen Model

Önerilen modelde VerSe omurga veri kümesi işlenmiştir. Bu veri kümesinin ön iyileştirme ve onarma aşamasında dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılmıştır. Omur etiketleme için bağlı bileşen etiketleme yöntemine başvurulmuştur. Daha sonra U-Net evrişimli sinir ağı 5 katmanlı şekilde uyarlanarak görüntü omurları segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. Son olarak, model performansı değerlendirilmiştir. Şekil 4’de önerilen modelin akış diyagramı verilmiştir.

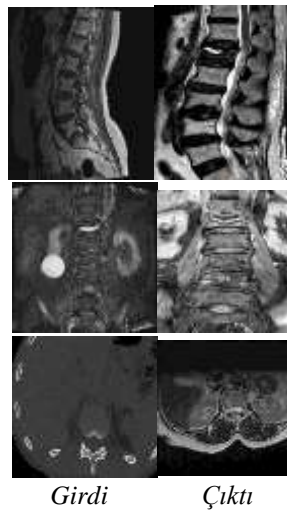


Şekil 4. Önerilen model akış diagramı (Suggested model flowchart)

İlk olarak biyomedikal görüntü veri kümesi alınmıştır. Veri kümesi eğitim (%60), doğrulama (%20) ve test (%20) olarak bölünmüştür. Bir sonraki aşamada eğitim kümesi görüntüleri üzerinde dalgacık dönüşümü ile iyileştirme ve onarma yapılmıştır. Etiketleme işlemi her bir hasta görüntüsü için sagittal açıdan bağlı bileşen yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Omur U-Net segmentasyonunda U-Net 5 katmanlı olarak veri kümesine uyarlanmıştır. Görüntülerdeki omurların bölütlenmiş çıktıları elde edilmiştir. Son olarak, model performansı, değerlendirme ölçütleri kullanılarak irdelenmiştir.

## 5. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

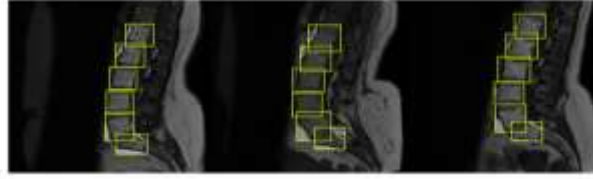
Veri kümesindeki hasta görüntülerine uygulanan dalgacık dönüşümü girdi ve çıktıları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Ayrık dalgacık dönüşümü iyileştirme girdi ve çıktıları (Discrete wavelet transform enhancement inputs and outputs)

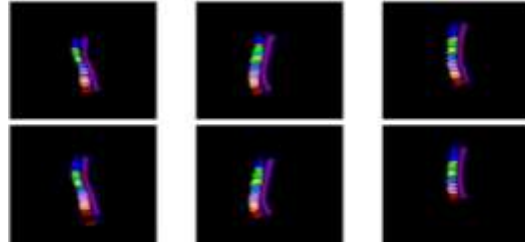
Şekil 5’te orijinal görüntü, her biri orijinal görüntü parlaklıktaki yerel değişiklikleri baz alarak üç büyük görüntü sağlayan yüksek geçişli filtreden geçirilmiştir. Daha sonra düşük geçişli filtreden geçirilmiştir ve ölçeği küçültülmüştür. Şekil 5 incelendiğinde girdi görüntüsündeki koroner açıdan omurlar çıktı görüntüsünde daha belirgin hale gelmiştir ve aksiyal açıdan hatlar netleşmiştir. Böylece iyileştirilmiş çıktı görüntüsü elde edilmiştir.

Şekil 6’da omur görüntülerinin bağlı bileşen yöntemi ile etiketlenmesinin örnekleri verilmiştir. Burada bir hastaya ait sagittal açı omur etiketleri gösterilmiştir.



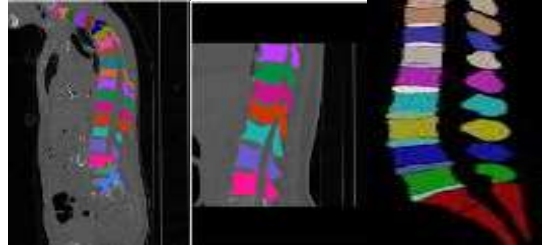
Şekil 6. Hataya ait omurların etiketlenmesi (Labeling of faulty vertebrae)

Sonraki adımda, omurlar etiketlenerek U-Net için semantik segmentasyona hazır hale getirilmiştir ve her omur farklı renk ile işaretlenmiştir. Şekil 7’de segmente edilmiş farklı hastalara ait omurga örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 7. Segmente edilmiş hasta omurga görüntüleri (Segmented patient spine images)

Omurların tek başına incelenmesine fırsat tanımak için sadece omurgadan oluşan görüntüler de elde edilmiştir. Şekil 8’de omurga ve insan biyomedikal görüntüsü üzerinde segmente edilmiş omurlar gösterilmiştir.



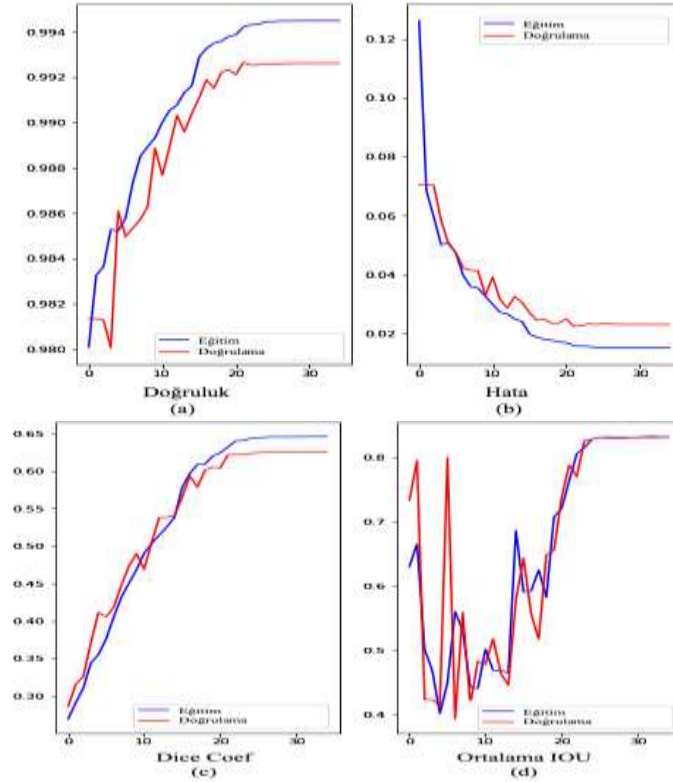
Şekil 8. Segmente edilmiş omurga dicom görüntüleri (Segmented spine dicom images)

Burada omurga ve ilişkili görüntünün tümü segmente edilmiştir. Şekil 9’da segmente edilen görüntülerin veri kümesi dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 9. Veri kümesinin eğitim, doğrulama ve test olarak bölünmesi (Splitting the dataset into training, validation and testing)

Şekil 9’de gösterildiği üzere veri kümesinde çaprazlama amacıyla doğrulama kümesi de oluşturulmuştur. Aşırı uyum göstermenin önüne geçmek için bu küme ayrılmıştır. Eğitim aşamasında elde edilen modelin performansını değerlendirmek için kullanılan alt bir veri olan doğrulama seti oluşturulmuştur. Ayrıca, bu veri seti hangi modelin iyi olduğunu belirlemek ve modeller için en uygun parametreleri ayarlamak için bir test platformu sağlamıştır. Şekil 10’da U-Net ile segmentasyon edilmiş eğitim ve doğrulama verilerinin değerlendirme sonuçları verilmiştir.



**Şekil 10.** Eğitim ve doğrulama verilerinin segmentasyon değerlendirme grafikleri (Segmentation evaluation graphs of training and validation data)

Şekil 10'da vakalar için segmentasyon sonuçları doğruluk oranlarının eğitim kümesinde %99.4'ün ve doğrulama kümesinde %99.2'nin üzerine ulaştığı görülmektedir. Şekil 10.b'de eğitim ve doğrulama kümesinde hatanın sırasıyla 0.1 ve 0.2'nin altında olduğu gösterilmektedir. Şekil 10.c'de dice coef segmentasyon değerlendirme ölçütü için eğitim ve doğrulama kümelerinde %65'e yakın oranlar elde edilmiştir. Şekil 10.d'de eğitim ve doğrulama kümesi ortalama IOU değeri %80 değerinin üzerinde performans göstermiştir.

Tablo 1'de test, eğitim ve doğrulama segmentasyon değerlendirme sonuçları ve literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılması verilmiştir.

**Tablo 1.** Önerilen modelin literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması (Comparison of the proposed model with the studies in the literature)

Değerlendirme Ölçütü	Önerilen Model	Btrfly (Sekiboyuna vd., 2021)	Btrfly* (Zakharov vd., 2023)	Cor +Sag (Altini vd., 2021)
Doğruluk	<b>0.994</b>	0.834	0.879	0.795
Ortalama IOU	0.831	-	-	-
Dice Coef	0.651	-	-	-
Tahmin	<b>0.994</b>	0.802	0.799	0.795
Hassaslık (Sensitivity)	<b>0.992</b>	0.879	0.851	0.825
Özgüllük (specificity)	0.998	-	-	-
İyileştirilmiş Dice coef	0.745	-	-	-
Test loss	0.017	-	-	-
Test acc	0.994	-	-	-

Tablo 1'de literatürde segmentasyon değerlendirmede sıklıkla kullanılan doğruluk, tahmin ve hassaslık ölçütleri baz alınmıştır. İnsan sağlığını yakından ilgilendiren çalışmalara güvenilirliği arttırmak ve omurga rahatsızlıklarının tespitinde doğru kararlar verilmesine destek sağlayabilmek için segmentasyon sonuçlarının güvenilir olması önem teşkil etmektedir. Bu nedenle, çalışmada literatürde aynı veri kümesi ile yapılan araştırmalarda ele alınmayan ortalama IOU, Dice Coef, Özgüllük, test loss ve test acc değerlendirme ölçütlerine



de yer verilmiştir. Bu değerlendirme ölçütleri (Rahman ve Wang,2016; Worfield vd., 2004; Willetari vd., 2016; Waid vd., 2008) segmentasyon çalışmalarında da farklı veri kümeleri ve hastalıkların teşhisi için elde edilen sonuçların performans analizi için kullanılmıştır.

Segmentasyon değerlendirme sonucunda, %99.4 üzerinde doğruluk oranı ve %99.8 özgüllük oranı elde edilmiştir. İnsan omurlarının segmentasyonu %99.4 başarı oranıyla tahmin edilmiştir. Elde edilen tahmin, doğruluk ve hassaslık sonuçları VerSe veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışmalarındaki sonuçlar ile kıyaslandığında daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Segmentasyon değerlendirmenin önemli ölçütlerinden biri olan Dice coef ölçütü %65.1 olarak elde edilmiştir. VerSe ham görüntülerine dalgacık dönüşümü uygulandıktan sonra Dice skorunun iyileştiği görülmüş ve %74.5 skoru elde edilmiştir.

## 6. Sonuç

Çalışma sonucunda, omurga görüntülerinin işlenerek hastalık tespitinde karar desteği sağlanması için segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. Segmentasyon çıktılarının doğruluk, ortalama IOU, dice coef, tahmin, Hassaslık, Özgüllük, test loss ve test acc değerlendirme ölçütleri ile performans analizi yapılmıştır. Çalışma bulguları analiz sonuçları literatürde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha başarılı segmentasyon gerçekleştirildiği görülmüştür. Bununla birlikte, literatürde görüntülerin segmentasyonu çalışmalarında yaygın olarak kullanılan değerlendirme kriterlerinin omurga segmentasyonu çalışmalarında sınırlı şekilde kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların doğruluğunu desteklemek için VerSe veri kümesi üzerinde hali hazırda yapılmış çalışmalarda kullanılan değerlendirme kriterleri haricinde literatürde kullanılan farklı segmentasyon değerlendirme kriterlerine de yer verilmiştir.

Bu çalışmanın biyomedikal görüntülerde hasta tespiti aşamalarında, güvenilir sonuçlar elde etmek için gelecekteki çalışmalara temel oluşturması hedeflenmiştir. Elde edilen segmentasyon görüntüleri gelecek omurga görüntülerinden rahatsızlıkların tespiti çalışmaları için de kullanılabilir olacaktır. Çalışmada önerilen modelin özgün farklı veri kümeleri için kullanılabilmesi de mümkündür. Bununla birlikte, çalışmanın pratikte de kullanılması ile hasta tedavi aşamalarının hızlanması ve sağlık alanındaki yoğunluğun dolaylı yünden azaltılması amaçlanmıştır. İleriki çalışmalarımız için yeni ve özgün veri kümelerinin oluşturulması ve bu veri kümeleri kullanılarak yeni tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanması hedeflenmektedir.

## Kaynakça

- Mallat, S. (1999). A wavelet tour of signal processing. Elsevier.
- DeVore, R. A., Jawerth, B., & Lucier, B. J. (1992). Image compression through wavelet transform coding. *IEEE Transactions on information theory*, 38(2), 719-746.
- Mihcak, M. K., Kozintsev, I., Ramchandran, K., & Moulin, P. (1999). Low-complexity image denoising based on statistical modeling of wavelet coefficients. *IEEE Signal Processing Letters*, 6(12), 300-303.
- Sekuboyina, A., Husseini, M. E., Bayat, A., Löffler, M., Liebl, H., Li, H., ... & Kirschke, J. S. (2021). VerSe: A vertebrae labelling and segmentation benchmark for multi-detector CT images. *Medical image analysis*, 73, 102166.
- Löffler, M. T., Sekuboyina, A., Jacob, A., Grau, A. L., Scharr, A., El Husseini, M., ... & Kirschke, J. S. (2020). A vertebral segmentation dataset with fracture grading. *Radiology: Artificial Intelligence*, 2(4), e190138.
- Liebl, H., Schinz, D., Sekuboyina, A., Malagutti, L., Löffler, M. T., Bayat, A., ... & Kirschke, J. S. (2021). A computed tomography vertebral segmentation dataset with anatomical variations and multi-vendor scanner data. *Scientific Data*, 8(1), 284.
- Pang, C., Su, Z., Lin, L., Lin, G., He, J., Lu, H., ... & Pang, S. (2023). Automated measurement of spine indices on axial MR images for lumbar spinal stenosis diagnosis using segmentation-guided regression network. *Medical Physics*, 50(1), 104-116.
- Qadri, S. F., Lin, H., Shen, L., Ahmad, M., Qadri, S., Khan, S., ... & Qamar, S. (2023). CT-Based Automatic Spine Segmentation Using Patch-Based Deep Learning. *International Journal of Intelligent Systems*, 2023.
- Yang, Z., Wang, Q., Zeng, J., Qin, P., Chai, R., & Sun, D. (2023). RAU-net: U-net network based on residual multi-scale fusion and attention skip layer for overall spine segmentation. *Machine Vision and Applications*, 34(1), 10.
- Cao, Y., Tan, C., Qian, W., Chai, W., Cui, L., Yang, W., ... & Shen, X. (2022, October). Automatic Spinal Ultrasound Image Segmentation and Deployment for Real-time Spine Volumetric Reconstruction. In *2022 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS)* (pp. 922-927). IEEE.
- Fatima, J., Mohsan, M., Jameel, A., Akram, M. U., & Muzaffar Syed, A. (2022). Vertebrae localization and spine segmentation on radiographic images for feature-based curvature classification for scoliosis. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 34(26), e7300.
- Zhao, J., Sun, L., Zhou, X., Huang, S., Si, H., & Zhang, D. (2022). Residual-atrous attention network for lumbosacral plexus segmentation with MR image. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 100, 102109.
- Aydogdu, S., Stoyanov, D., Kalaskar, D., & Mazomenos, E. (2022, July). *Vertebral Column Segmentation Using Single-staged CNNs*. Cambridge University Press.
- Wang, D., Yang, Z., Huang, Z., & Gu, L. (2022, July). Spine Segmentation with Multi-view GCN and Boundary Constraint. In *2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)* (pp. 2136-2139). IEEE.
- Yamakawa, S., Ono, K., Makihara, E., Tawara, D., Yakushijin, S., & Ikushima, N. (2022, July). Textonmap optimization for spine segmentation using adaptive differential evolution. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion* (pp. 75-76).
- Sekuboyina, A., Rempfler, M., Valentinitzsch, A., Menze, B. H., & Kirschke, J. S. (2020). Labeling vertebrae with two-dimensional reformations of multidetector CT images: an adversarial approach for incorporating prior knowledge of spine anatomy. *Radiology: Artificial Intelligence*, 2(2), e190074.

- Agboola, H. A., & Zaccheus, J. E. (2023). Wavelet image scattering based glaucoma detection. *BMC Biomedical Engineering*, 5(1), 1.
- Unser, M., & Aldroubi, A. (1996). A review of wavelets in biomedical applications. *Proceedings of the IEEE*, 84(4), 626-638.
- Murala, S., Maheshwari, R. P., & Balasubramanian, R. (2012). Directional binary wavelet patterns for biomedical image indexing and retrieval. *Journal of Medical Systems*, 36, 2865-2879.
- He, L., Chao, Y., Suzuki, K., & Wu, K. (2009). Fast connected-component labeling. *Pattern recognition*, 42(9), 1977-1987.
- Javanmardi, M., & Tasdizen, T. (2018, April). Domain adaptation for biomedical image segmentation using adversarial training. In *2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2018)* (pp. 554-558). IEEE.
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III 18* (pp. 234-241). Springer International Publishing.
- Falk, T., Mai, D., Bensch, R., Çiçek, Ö., Abdulkadir, A., Marrakchi, Y., ... & Ronneberger, O. (2019). Author Correction: U-Net: deep learning for cell counting, detection, and morphometry. *Nature Methods*, 16(4), 351-351.
- Jia, Y., Shelhamer, E., Donahue, J., Karayev, S., Long, J., Girshick, R., ... & Darrell, T. (2014, November). Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding. In *Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia* (pp. 675-678).
- Zakharov, A., Pisov, M., Bukharaev, A., Petraikin, A., Morozov, S., Gombolevskiy, V., & Belyaev, M. (2023). Interpretable vertebral fracture quantification via anchor-free landmarks localization. *Medical Image Analysis*, 83, 102646.
- Altini, N., De Giosa, G., Fragasso, N., Coscia, C., Sibilano, E., Prencipe, B., ... & Bevilacqua, V. (2021, June). Segmentation and identification of vertebrae in CT scans using CNN, k-means clustering and k-NN. In *Informatics* (Vol. 8, No. 2, p. 40).
- Rahman, M. A., & Wang, Y. (2016). Optimizing intersection-over-union in deep neural networks for image segmentation. In *International symposium on visual computing* (pp. 234-244). Springer, Cham.
- Warfield, S. K., Zou, K. H., & Wells, W. M. (2004). Simultaneous truth and performance level estimation (STAPLE): an algorithm for the validation of image segmentation. *IEEE transactions on medical imaging*, 23(7), 903-921.
- Milletari, F., Navab, N., & Ahmadi, S. A. (2016, October). V-net: Fully convolutional neural networks for volumetric medical image segmentation. In *2016 fourth international conference on 3D vision (3DV)* (pp. 565-571). Ieee.
- Naik, S., Doyle, S., Agner, S., Madabhushi, A., Feldman, M., & Tomaszewski, J. (2008, May). Automated gland and nuclei segmentation for grading of prostate and breast cancer histopathology. In *2008 5th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro* (pp. 284-287). IEEE.



# Dopamine Detection from PC12 Cells with a Carbon-fiber Microelectrode Controlled by a Homemade System

Tuğba Akkaş<sup>1</sup>, Mustafa Şen<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>İzmir Katip Celebi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Biomedical Engineering Graduate Program, İzmir, Turkey, (ORCID: 0009-0004-1728-8490), [tugbaakkas009@gmail.com](mailto:tugbaakkas009@gmail.com)

<sup>2\*</sup>İzmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Biomedical Engineering, İzmir, Turkey (ORCID: 0000-0002-2421-9184), [mustafa.sen@ikc.edu.tr](mailto:mustafa.sen@ikc.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 26 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 9 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10259133)

**ATIF/REFERENCE:** Akkaş, T., Şen, M. (2023). Dopamine Detection from PC12 Cells with a Carbon-fiber Microelectrode Controlled by a Homemade System. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 104-109.

## Abstract

Dopamine (DA) is a neurotransmitter that is naturally produced in the body. It provides nerve conduction in the central nervous system and plays an important role in the regulation and control of movements, motivation and cognitive development. Imbalance in the amount of DA can cause many diseases ranging from Parkinson's disease to depression. In this study, a homemade system that can locally detect DA released from a PC12 cell cluster after chemical stimulation with K<sup>+</sup> ions was developed. First, the production of a needle-tipped carbon-fiber microdisk electrode (CF-MDE) was carried out by micropulling method. CF-MDEs are frequently used for effective and high sensitivity detection of DA. Afterwards, a cell cluster of PC12 cells was obtained and the change in the amount of DA release by the PC12 cells in the cluster was electrochemically measurement. For the measurement process, the homemade system comprised of a microcontroller unit integrated to an inverted microscope and a potentiostat was used to precisely position the needle-tipped electrode and carry out the electrochemical measurement. Results clearly showed that DA release following chemical stimulation with K<sup>+</sup> ions was successfully measured. The homemade system is thought to have the potential to be used in the evaluation of dopaminergic cells and the effects of dopaminergic drugs.

**Keywords:** Carbon-fiber Microelectrode, Dopamine, PC12 cells, Electrochemical Detection, Local Analysis.

## Ev Yapımı Bir Sistem Tarafından Kontrol Edilen Karbon Fiber Mikroelektrot ile PC12 Hücrelerinden Dopamin Tespiti

### Öz

Dopamin (DA), vücutta doğal olarak üretilen bir nörotransmitterdir. DA, merkezi sinir sisteminde sinir iletimini sağlar ve hareketlerin düzenlenmesi ve kontrolünde, motivasyonda ve bilişsel gelişimde önemli bir rol oynar. DA miktarındaki dengesizlik, Parkinson hastalığından depresyona kadar birçok hastalığa neden olabilir. Bu çalışmada, bir PC12 hücre kümesinden K<sup>+</sup> iyonları ile kimyasal uyarımı sonrasında DA'yı lokal olarak tespit edebilen ev yapımı bir sistem geliştirilmiştir. İlk olarak mikro çekme yöntemi kullanılarak iğne uçlu karbon fiber mikrodiskelektrotların (KF-MDE) üretimi gerçekleştirilmiştir. KF-MDE'ler, DA'nın etkili ve yüksek hassasiyetli tespiti için sıklıkla kullanılmaktadır. Daha sonra PC12 hücrelerinden oluşan bir hücre kümesi elde edilmiş ve kümedeki PC12 hücrelerinin DA salınım miktarındaki değişim elektrokimyasal olarak ölçülmüştür. Ölçüm işlemi için, ters mikroskoba entegre edilmiş bir mikrokontrol ünitesi ve bir potansiyostattan oluşan ev yapımı sistem, iğne uçlu elektrodu hassas bir şekilde konumlandırmak ve elektrokimyasal ölçümü gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, K<sup>+</sup> iyonlarıyla kimyasal uyarım sonrasında DA salınımının başarıyla ölçüldüğünü açıkça göstermektedir. Ev yapımı sistem, dopaminergik hücrelerin ve dopaminergik ilaçların etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılma potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon fiber Mikroelektrot, Dopamin, PC12 hücreleri, Elektrokimyasal Tespit, Lokal Analiz.

\* Sorumlu Yazar: [mustafa.sen@ikc.edu.tr](mailto:mustafa.sen@ikc.edu.tr)

## 1. Introduction

Dopamine (DA), also known as 3,4-dihydroxy phenethylamine, is a catecholamine neurotransmitter naturally produced in the body (Güzel vd., 2019). It provides neurotransmission in the central nervous system and plays an important role in regulation and control of movements, motivation and cognitive development (Latif vd., 2021). The normal level of DA in human blood is in the range of 0.01 to 1  $\mu\text{M}$  (Jiang vd., 2015). Abnormal levels of DA have been associated with various conditions. While high levels of DA results in cardiotoxicity causing rapid heartbeat, hypertension and heart failure (Feng vd., 2018), low levels of DA levels can cause Parkinson's disease, Alzheimer's disease, stress and depression (Begieneman vd., 2016; Pan vd., 2019). Detecting quick changes in DA level could provide means for early diagnosis and control of related diseases (Balestrino vd., 2020). Hence, it is of paramount importance to develop systems for the measurement of DA in order to understand its physiological functions and evaluate dopaminergic cells and drugs (Whitton vd., 2020). Considering some of the advantages such as high sensitivity, fast response, real-time analysis, good stability, reproducibility, simplicity of application and low cost, electrochemical methods are frequently preferred in measurement of catecholamines including DA. The applications of various electroanalytical methods including cyclic voltammetry (CV), chronoamperometry, differential pulse voltammetry, fast scan CV for high detection of DA detection (Ding vd., 2018; Şen vd., 2022, 2023; Seven, Gölceç, & Şen, 2020; Yang vd., 2021) have been successfully demonstrated. Among these methods, chronoamperometry provides high sensitivity due to reduced non-Faradaic current and real-time analysis. Measuring the current over time allows evaluation of the rate of compound arrival at the electrode, diffusion processes and the rate of electrochemical reaction (Habekost, 2019).

Dopaminergic drugs affect the dopaminergic system by altering DA levels or by acting on DA receptors (Miller vd., 1988). Dopaminergic drugs are used to increase DA levels in the brain, and are often used in the treatment of many diseases caused by low levels of DA. These drugs are often used to control the symptoms of Parkinson's disease and compensate by stimulating DA receptors (Olanow vd., 2006). Dopaminergic drugs are used in different combinations and doses according to the patient's condition. However, dopaminergic drugs can cause some side effects and their dosage should be carefully adjusted (Cummings, 1991). An *in vitro* model system can contribute to the trial and development of dopaminergic drugs in different aspects, such as cost and convenience. The system can be used to monitor DA release and to monitor the effect of dopaminergic drugs under controlled conditions *in vitro*. In many studies, rat pheochromocytoma cells, known as PC12, have been used as a mature dopaminergic neuron (source of DA) due to their nerve cell-like structure and their ability to release neurotransmitters, particularly DA and norepinephrine (Pozzan vd., 1984). PC12 cells are preferred mainly because of their extreme versatility, ease of culture, and large amount of background information about proliferation and differentiation. PC12 cells can synthesize and store DA. Therefore, PC12 cells are an appropriate model system for use in *in vitro* catecholaminergic neurotoxicity studies (Giordano vd., 2011). Increased extracellular  $\text{K}^+$  level causes depolarization of PC12 cells and induces exocytosis (Qin vd., 2020). Depolarization occurs in the plasma membrane and triggers  $\text{Ca}^{2+}$  channels and  $\text{Ca}^{2+}$  ions to enter the cell. The increase in  $\text{Ca}^{2+}$  ions in the cell causes neurotransmitter release (Shinohara vd., 2013).

Here, a homemade system with a microcontroller unit was set up to monitor the release of DA from an adherent PC12 cell cluster using a closely positioned carbon-fiber microdisk electrode (CF-MDE). The physical and chemical properties of CF-MDE are favorable for DA detection (Swamy vd., 2007). The electrode has high-speed electron transfer kinetics, allowing real-time monitoring of neurotransmitter release (Tian vd., 2023) and good biocompatibility for use in biological media (Zhou vd., 2019). Also considering their size, CF-MDE might not cause significant harm to living cells during interaction. First, a CF-MDE was fabricated using a micropuller and then successfully applied for the real-time monitoring of DA release from PC12 cells following stimulation with  $\text{K}^+$  ions. The integrated system has great potential to be used in the evaluation of dopaminergic cells and the effects of dopaminergic drugs.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

DA (Sigma-Aldrich, USA), ferrocenemethanol ( $\text{FcCH}_2\text{OH}$ ) (Sigma-Aldrich, USA), collagen (type IV, 0.5–2 mg/mL) (Sigma-Aldrich, USA), fetal bovine serum (FBS) (Sigma-Aldrich, USA), penicillin/streptomisin (Sigma-Aldrich, USA), RPMI 1640 (Sigma-Aldrich, USA), potassium chlorate ( $\text{KClO}_3$ ) (Sigma-Aldrich, USA), Borosilicate Glass (World Precision Instruments Inc., USA), Conductive Silver Paste (Sigma-Aldrich, USA), 2K Fast Hardener and Varnish (Akrifol, Turkey).

### 2.2. Fabrication of CF-MDE

First, an individual carbon-fiber was cut to an appropriate length and connected to a copper wire using a conductive Ag paste. The Ag paste was solidified on a hot plate at 120°C for 10-15 minutes to strongly link the carbon-fiber to the wire. Subsequently, the individual carbon-fiber was placed in a glass capillary tubes with the help of the copper wires. The copper wire was rounded around the tip of the glass capillary tube and fixed with a piece of macaron to ensure the electrical connection and fixation of the carbon-fibers. The glass tube with the carbon-fiber inside was pulled using a micro-puller (PC-10, Narishige Inc. Japan) to seal the carbon-fiber with glass (Aydin vd., 2017; Aykaç vd., 2021; Şen, 2019). Next, the protruding carbon-fiber at the electrode tip was removed using a microforge (MF-800, Narishige Inc. Japan) and the electrode was made water tight by dipping it into a varnish. The varnish was left to dry and hence solidify at room temperature for 4 h. Lastly, the tip of the electrode was ground with a micro grinder (EG-400, Narishige Inc. Japan) to obtain a microdisk electrode.



### 2.3. Characterization of CF-MDE

First, the CF-MDE was visualized under an inverted microscope to ensure that the electrode is in the shape of a disk. Electrochemical behavior of the electrode was checked using CV, where the potential applied to the electrode was swept between 0 and +0.5 V (vs. Ag/AgCl) in 1 mM FcCH<sub>2</sub>OH containing PBS solution at a scan rate of 50 mV/s. A CV curve was also obtained in DA at 200  $\mu$ M by sweeping the potential between 0 and +0.4 V (vs. Ag/AgCl). Chronoamperometry was used to detect DA at varying concentrations to determine limit of detection (LOD). Briefly, a constant potential of +0.4 V (vs. Ag/AgCl) was applied for 100 seconds in DA solutions at different concentrations (5, 10, 25, 50, 100, and 200  $\mu$ M) and the final current was used to obtain a calibration curve.

### 2.4. Cell culture

PC12 cells were purchased from German Collection of Microorganisms and Cell Cultures GmbH (DSMZ). Considering the fact that the cells were inherently semi-suspended, the surface of the culture flasks was coated with collagen type IV. The cells were cultured in RPMI 1640 (10% DHS + 1% FBS + 1% L-Glutamine + 0.1% Gentamycin) (Seven, Gölceç, Yaralı, vd., 2020). To obtain cell clusters, cells were seeded into a 60 mm petri dish coated with collagen and left to proliferate a few days in an incubator (% 5 CO<sub>2</sub>) at 37 °C.

### 2.5. Real-time measurement of DA release from PC12 cells

The measurement of DA released from a PC12 cell cluster was performed in PBS via the homemade system. The system was composed of an inverted microscope with a camera, a three axis (x-, y- and z-) microcontroller unit and a potentiostat. The CF-MDE was positioned 20  $\mu$ m above the cell cluster and the release of DA was detected in real time following stimulation with K<sup>+</sup> ions. The whole process was monitored with the camera of the microscope. The data was recorded using the potentiostat (Autolab PGSTAT204, Metrohm, Switzerland). Briefly, +0.4 V (vs. Ag/AgCl) was applied to CF-MDE and once the current reached a steady state, 0.1 mM K<sup>+</sup> ions were added to stimulate DA release by exocytosis.

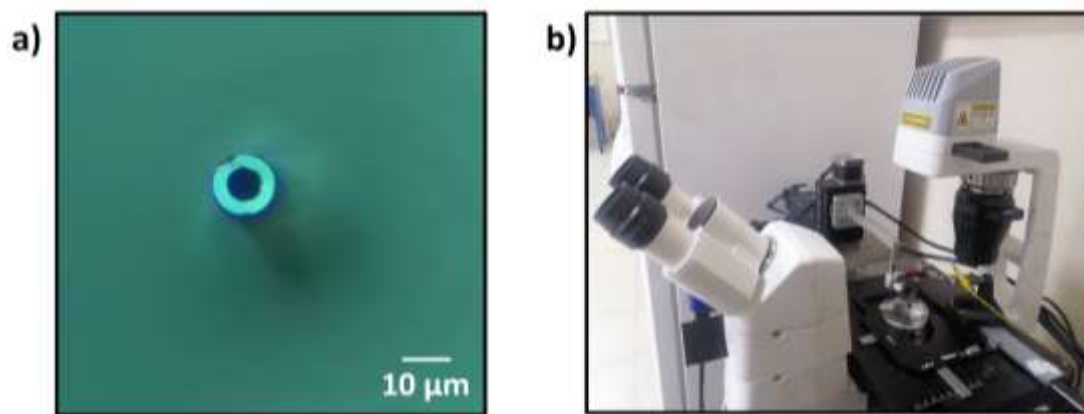


Figure 1. Optical images of the tip of a CF-MDE (a) and the homemade system that can control the position of the microelectrode in x-, y- and z-axis.

## 3. Results and Discussion

The adopted strategy allowed successful fabrication of CF-MDE as can be seen in Figure 1a. The electrode had a diameter of ~8  $\mu$ m. Considering its small size, the microelectrode potentially gives no or minimal damage to cells or tissues, when used in *in vitro* or *in vivo* studies. The CV curve obtained in FcCH<sub>2</sub>OH confirmed that the electrode displayed a reasonable microelectrode behavior (Figure 2a). A CV curve was also obtained in DA in which case the electrode displayed a peak-to-peak potential separation of 68.6 mV, proving that the electrode displayed a high electron transfer efficiency and can be used for quantitative detection of DA (Figure 2b). Basically, DA is an electroactive molecule and converted to o-dopaminequinone electrochemically by giving two electrons to an electrode in aqueous solution (Alipour vd., 2013). Next, chronoamperometry measurements were taken in PBS containing DA at varying concentrations (0, 5, 10, 25, 50, 100 and 200  $\mu$ M). As can be seen in Figure 2c, the level of DA oxidation current increased linearly with increasing DA level. The current values of each concentration level at 60 sec was used to obtain a calibration curve, which basically demonstrates the relationship between DA and the electric current signal. Figure 2d clearly shows that the relationship was linear in the range of 5 to 200  $\mu$ M of DA with an R<sup>2</sup> value of 0.996. The LOD of the CF-MDE was calculated as 0.88  $\mu$ M using the formula of LOD = 3.3  $\times$   $\sigma$ /slope. The low LOD value proves that the microelectrode is suitable for monitoring DA release from cells or tissues. The electrode displayed an excellent sensitivity of 42,116.2  $\mu$ A  $\cdot$  mM<sup>-1</sup>  $\cdot$  cm<sup>-2</sup>.

Next, the homemade system integrating a microcontroller unit to an inverted microscope was used for real-time measurement of DA release from PC12 cells after chemical stimulation with K<sup>+</sup> ions. The microcontroller system can be automatically controlled with a precision close to 1  $\mu$ m in the x-, y- and z-axis via a user friendly interface. The length and speed of the microcontroller system steps have been optimized for cell analysis. The motion of the electrode can be monitored continuously through the camera of the inverted microscope. Considering the low level of current that needs to be detected, the noise of the system was drastically reduced by grounding both the microcontroller unit and the microscope components.



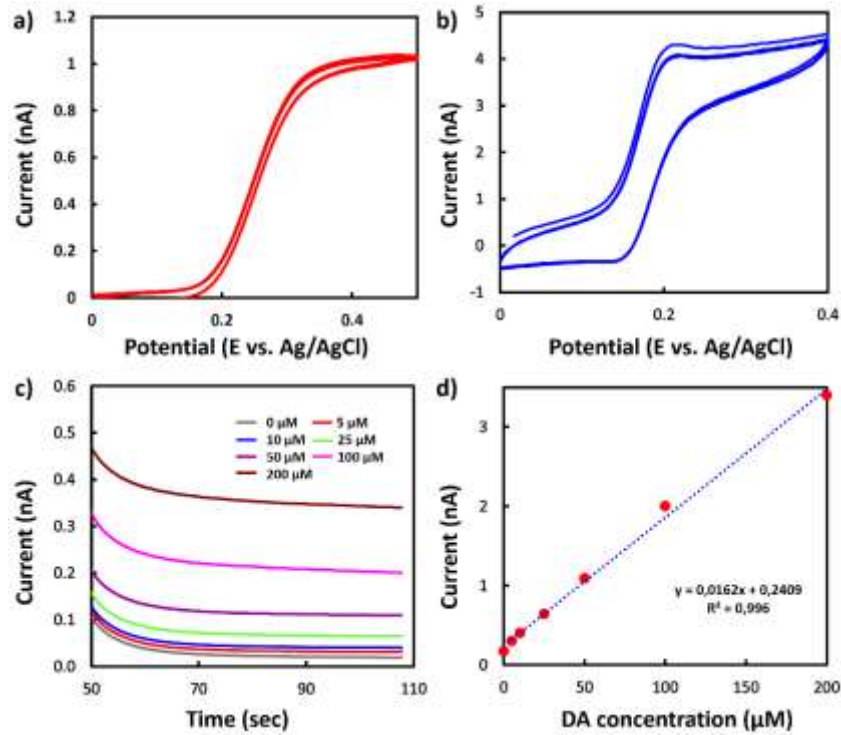


Figure 2. CV curves of a CF-MDE obtained in 1 mM FcCH<sub>2</sub>OH (a) and 200 μM DA (b). Chronoamperometry curves obtained in PBS containing varying concentrations of DA (c) along with a calibration curve (d).

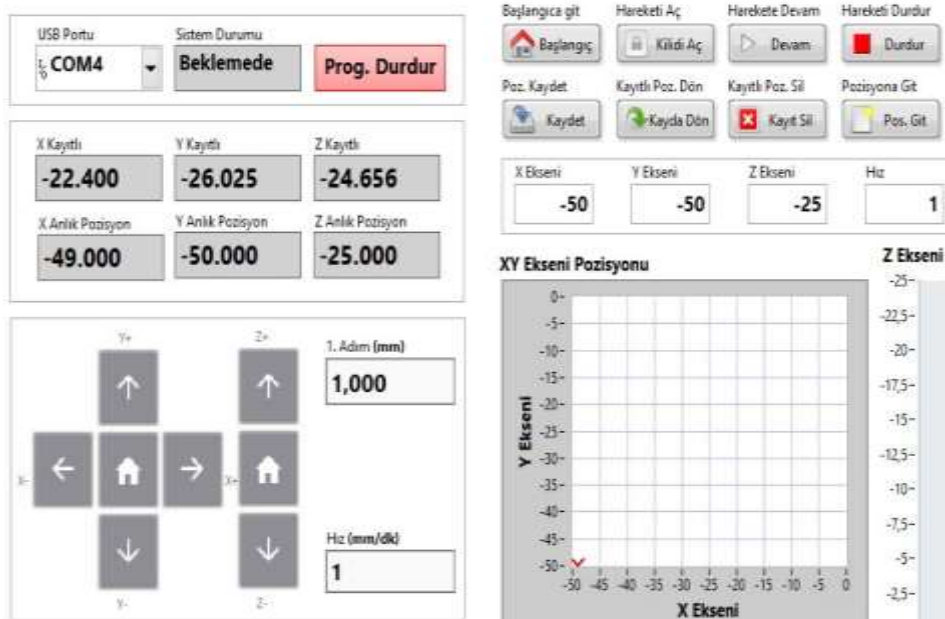


Figure 3. An image of the homemade system's user interface for controlling the position of the CF-MDE in x-, y- and z-axis.

It is known that extracellular stimulation by K<sup>+</sup> ions induces membrane depolarization, which in turn causes Ca<sup>2+</sup> channels to open. The influx of intracellular Ca<sup>2+</sup> through these channels stimulates PC12 cells to rapidly release DA stored in vesicles. Here, the homemade system was tested for real time measurement of DA release from a cell cluster following stimulation with a high level of K<sup>+</sup> ions. First, PC12 cells were first seeded into a collagen-coated petri dish and cultured a few days in an incubator to obtain a cell cluster. The size of the cluster was daily checked to make sure it reaches to a substantial size (around 100 μm). On day 3, the cells were used for testing. Prior to the measurement, the cell medium was replaced with warm PBS minimize any damage to the cluster. The CF-MDE was slowly approached to a spot where no cell was present at 1 μm/sec with the help of the microcontroller unit of the system where the current at +0.4 V (vs. Ag/AgCl) was monitored. As the probe approached to the empty surface, the current slowly decreased and reached a plateau as the diffusion of molecules was hindered by the empty surface. After reaching the plateau, the monition of the microcontroller unit was stopped and the CF-MDE was retracted 20 μm. Next, the electrode was moved to a position right above the cells. Prior to stimulating DA release from PC12 cell clusters, the electrical current was first allowed to attain a steady state at +0.4 V (vs. Ag/AgCl) and then K<sup>+</sup> ions were injected into the petri dish four times in a row with a micropipette. As can be clearly seen in Figure 4, the DA oxidation current increased every time K<sup>+</sup> ions were introduced. As mentioned above, K<sup>+</sup> ions induced membrane

depolarization and eventually caused DA release from the cells. Stimulation with high level of  $K^+$  ions did not cause any observable damage to the cells according to the optical images and the release DA was successfully and reasonably detected in real time by the electrode. It is believed that all cells collectively contributed to the current response.

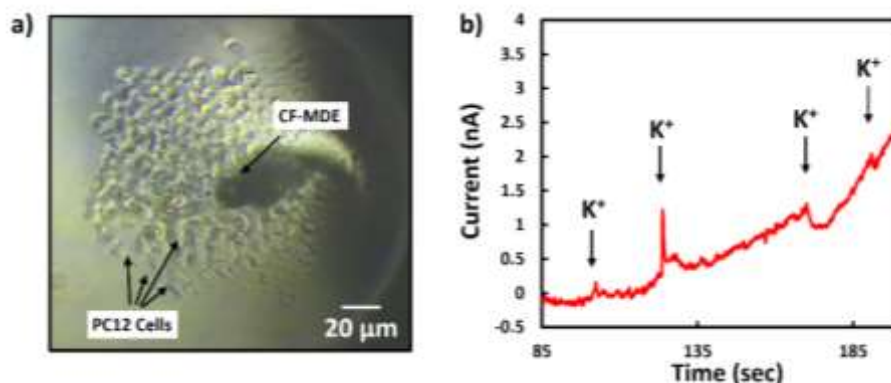


Figure 4. An optical image of a CF-MDE 20  $\mu\text{m}$  above a PC12 cell cluster (a). A chronoamperometry curve showing the real-time change in DA release as a result of chemical stimulation of the cell cluster with  $K^+$  ions (b).

## 4. Conclusions and Recommendations

DA functions as a neurotransmitter in the central nervous system and plays a key role in cell communication. Some diseases of the nervous system are related to an imbalance in DA levels. Dopaminergic drugs that increase DA level are frequently used to treat such diseases. An *in vitro* model system has the potential to contribute to the trial and development of such drugs in terms of cost and convenience. Here, a homemade model system was developed for real time measurement of DA release from a PC12 cell cluster that is exposed to a chemical stimulus. The system helped precisely control the motion of the CF-MDE. Results confirmed that the electrode exhibited a high sensitivity in the measurement of DA and was successfully applied to local and real time measurement of the neurotransmitter released from a cell cluster following stimulation by high level of  $K^+$  ions. The homemade system has great potential to be applied to dopaminergic cell studies and screening of dopaminergic drugs.

## 5. Acknowledge

The study was supported by the Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK 2209/A, Project No: 1919B012218283). We thank Dr. Özkur KURAN for his help in the installation of the microcontroller unit.

## References

- Alipour, E., Majidi, M. R., Saadatirad, A., mahdi Golabi, S., & Alizadeh, A. M. (2013). Simultaneous determination of dopamine and uric acid in biological samples on the pretreated pencil graphite electrode. *Electrochimica Acta*, 91, 36–42.
- Aydin, V. K., & Şen, M. (2017). A facile method for fabricating carbon fiber-based gold ultramicroelectrodes with different shapes using flame etching and electrochemical deposition. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 799, 525–530.
- Aykaç, A., Tunç, I. D., Güneş, F., Erol, M., & Şen, M. (2021). Sensitive pH measurement using EGFET pH-microsensor based on ZnO nanowire functionalized carbon-fibers. *Nanotechnology*, 32(36), 365501.
- Balestrino, R., & Schapira, A. H. V. (2020). Parkinson disease. *European journal of neurology*, 27(1), 27–42.
- Begieneman, M. P. V, Ter Horst, E. N., Rijvers, L., Meinster, E., Leen, R., Pankras, J. E., Fritz, J., Kubat, B., Musters, R. J. P., & van Kuilenburg, A. B. P. (2016). Dopamine induces lipid accumulation, NADPH oxidase-related oxidative stress, and a proinflammatory status of the plasma membrane in H9c2 cells. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 311(5), H1097–H1107.
- Cummings, J. L. (1991). Behavioral complications of drug treatment of Parkinson's disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(7), 708–716.
- Ding, A., Wang, B., Zheng, J., Weng, B., & Li, C. (2018). Sensitive dopamine sensor based on three dimensional and macroporous carbon aerogel microelectrode. *Int. J. Electrochem. Sci*, 13, 4379–4389.
- Feng, P., Chen, Y., Zhang, L., Qian, C.-G., Xiao, X., Han, X., & Shen, Q.-D. (2018). Near-infrared fluorescent Nanoprobes for revealing the role of dopamine in drug addiction. *ACS applied materials & interfaces*, 10(5), 4359–4368.
- Giordano, G., & Costa, L. G. (2011). Primary neurons in culture and neuronal cell lines for *in vitro* neurotoxicological studies. *In Vitro Neurotoxicology: Methods and Protocols*, 13–27.
- Güzel, Ö. Ü. D., Tanyeli, Ö. Ü. A., Kalfa, Z., & Yalım, H. N. (2019). Dopamin ve Fizyolojik Özellikleri. İçinde Academic Researches in Health Sciences.
- Jiang, G., Jiang, T., Zhou, H., Yao, J., & Kong, X. (2015). Preparation of N-doped carbon quantum dots for highly sensitive detection of dopamine by an electrochemical method. *RSC Advances*, 5(12), 9064–9068.
- Latif, S., Jahangeer, M., Razia, D. M., Ashiq, M., Ghaffar, A., Akram, M., El Allam, A., Bouyahya, A., Garipova, L., & Shariati, M. A. (2021). Dopamine in Parkinson's disease. *Clinica chimica acta*, 522, 114–126.

- Miller, D. D., Harroid, M., Wallace, R. A., Wallace, L. J., & Uretsky, N. J. (1988). Dopaminergic drugs in the cationic form interact with D2 dopamine receptors. *Trends in Pharmacological Sciences*, 9(8), 282–284.
- Olanow, C. W., Obeso, J. A., & Stocchi, F. (2006). Continuous dopamine-receptor treatment of Parkinson's disease: scientific rationale and clinical implications. *The Lancet Neurology*, 5(8), 677–687.
- Pan, X., Kaminga, A. C., Wen, S. W., Wu, X., Acheampong, K., & Liu, A. (2019). Dopamine and dopamine receptors in Alzheimer's disease: A systematic review and network meta-analysis. *Frontiers in aging neuroscience*, 11, 175.
- Pozzan, T., Gatti, G., Dozio, N., Vicentini, L. M., & Meldolesi, J. (1984). Ca<sup>2+</sup>-dependent and-independent release of neurotransmitters from PC12 cells: a role for protein kinase C activation? *The Journal of cell biology*, 99(2), 628–638.
- Qin, X., Li, Z.-Q., Zhou, Y., Pan, J.-B., Li, J., Wang, K., Xu, J.-J., & Xia, X.-H. (2020). Fabrication of high-density and superuniform gold nanoelectrode arrays for electrochemical fluorescence imaging. *Analytical Chemistry*, 92(19), 13493–13499.
- Şen, M. (2019). Using electropolymerization-based doping for the electroaddressable functionalization of a multi-electrode array probe for nucleic acid detection. *Analytical Sciences*, 35(5), 565–569.
- Şen, M., & Avcı, İ. (2023). A simple microfluidic redox cycling-based device for high-sensitive detection of dopamine released from PC12 cells. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 939, 117473.
- Şen, M., Azizi, E., Avcı, İ., Aykaç, A., Ensarioğlu, K., Ok, İ., Yavuz, G. F., & Güneş, F. (2022). Screen printed carbon electrodes modified with 3D nanostructured materials for bioanalysis. *Electroanalysis*, 34(9), 1463–1471.
- Seven, F., Gölceç, T., & Şen, M. (2020). Nanoporous carbon-fiber microelectrodes for sensitive detection of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and dopamine. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 864, 114104.
- Seven, F., Gölceç, T., Yaralı, Z. B., Onak, G., Karaman, O., & Şen, M. (2020). Guiding neural extensions of PC12 cells on carbon nanotube tracks dielectrophoretically formed in poly (ethylene glycol) dimethacrylate. *RSC advances*, 10(44), 26120–26125.
- Shinohara, H., Sakai, Y., & Mir, T. A. (2013). Real-time monitoring of intracellular signal transduction in PC12 cells by two-dimensional surface plasmon resonance imager. *Analytical biochemistry*, 441(2), 185–189.
- Swamy, B. E. K., & Venton, B. J. (2007). Carbon nanotube-modified microelectrodes for simultaneous detection of dopamine and serotonin in vivo. *Analyst*, 132(9), 876–884.
- Tian, Z., Qin, X., Shao, F., Li, X., Wang, Z., Liu, S., & Wu, Y. (2023). Electrofluorochromic imaging analysis of dopamine release from living PC12 cells with bipolar nanoelectrodes array. *Chinese Chemical Letters*, 34(1), 107656.
- Whitton, A. E., Reinen, J. M., Slifstein, M., Ang, Y.-S., McGrath, P. J., Iosifescu, D. V, Abi-Dargham, A., Pizzagalli, D. A., & Schneier, F. R. (2020). Baseline reward processing and ventrostriatal dopamine function are associated with pramipexole response in depression. *Brain*, 143(2), 701–710.
- Yang, L., Wang, J., Lü, H., & Hui, N. (2021). Electrochemical sensor based on Prussian blue/multi-walled carbon nanotubes functionalized polypyrrole nanowire arrays for hydrogen peroxide and microRNA detection. *Microchimica Acta*, 188(1), 25.
- Zhou, L., Hou, H., Wei, H., Yao, L., Sun, L., Yu, P., Su, B., & Mao, L. (2019). In vivo monitoring of oxygen in rat brain by carbon fiber microelectrode modified with antifouling nanoporous membrane. *Analytical chemistry*, 91(5), 3645–3651.



# Makine Öğrenmesi ile E-Ticaret Ürün Yorumlarının Otomatik Analizi

Müjdat Çabuk<sup>1\*</sup>, Fatih Yücalar<sup>2</sup>, Mansur Alp Toçoğlu<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yazılım Mühendisliği A.B.D, Manisa, Türkiye,  
(ORCID: 0000-0002-4863-7217), [mujdat.cabuk@yandex.com](mailto:mujdat.cabuk@yandex.com)

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-1006-2227), [fatih.yucalar@cbu.edu.tr](mailto:fatih.yucalar@cbu.edu.tr)

<sup>3</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye  
(ORCID: 0000-0003-1784-9003), [mansuralp.tocoglu@ikc.edu.tr](mailto:mansuralp.tocoglu@ikc.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 27 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10259157)

**ATIF/REFERENCE:** Çabuk, M., Yücalar, F., & Toçoğlu, M. A. (2023). Makine Öğrenmesi ile E-Ticaret Ürün Yorumlarının Otomatik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 110-121.

## Öz

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte e-ticaret sektörü oldukça hızlı bir büyüme sağlamıştır. Bu gelişim sayesinde ürünlere yapılan yorumlarda büyük oranlarda artış gözlemlenmektedir. Ürünlerin yorum sayıları arttıkça bunları tek tek inceleyip analiz etmek oldukça zorlaşmış ve satıcılar ürünlerine yapılan yorumların hepsini değerlendiremez duruma gelmiştir. Bu çalışma kapsamında, e-ticaret ürün yorumları üzerinden bir duygu analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Türkiye’de faaliyet gösteren e-ticaret platformlarından 15170 adet ürün yorumu toplanmıştır. Ham veri setinin etiketleme aşamasında yorumlar olumlu ve olumsuz olarak farklı zamanlarda iki kere etiketlenmiş ve iki sınıflı bir veri seti hazırlanmıştır. Bu veri seti ile Uzun-Kısa Süreli Bellek algoritması kullanılarak bir model eğitilmiş ve bu modelle yine e-ticaret platformlarından toplanan 203274 adet yorumun yer aldığı bir veri seti otomatik olarak etiketlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, otomatik olarak etiketlenmiş veri setinin performansı dört farklı derin öğrenme algoritması (Tekrarlayan Sinir Ağları, Uzun-Kısa Süreli Bellek, Geçitli Tekrarlayan Birim, Evrişimli Sinir Ağları) kullanılarak manuel olarak etiketlenmiş veri setiyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son aşamasında, yüksek sınıflandırma performansı gösteren otomatik olarak etiketlenmiş veri seti kullanılarak dört geleneksel makine öğrenmesi (Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman, Naive Bayes) ile dört farklı derin öğrenme algoritmasının sınıflandırma performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, derin öğrenme algoritmalarının makine öğrenmesi algoritmalarına kıyasla daha başarılı olduğu gözlemlenmiş ve geliştirilen modelle otomatik olarak etiketlenen veri setinin kullanıldığı deneylerde yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme, Metin Madenciliği, Türkçe Metinler, E-ticaret, Ürün Yorumları

## Automated Analysis of E-Commerce Product Reviews with Machine Learning

### Abstract

With the development of technology, the e-commerce sector has grown very rapidly. Thanks to this development, a large increase is observed in the comments made on the products. As the number of reviews of the products increased, it became very difficult to examine and analyze them one by one, and the sellers became unable to evaluate all the comments made on their products. Within the scope of this study, a sentiment analysis study was conducted on e-commerce product reviews. First, 15170 product reviews were collected from e-commerce platforms operating in Turkey. In the labeling phase of the raw data set, the comments were labeled twice as positive and negative at different times and a two-class data set was prepared. With this dataset, a model was trained using the

\* Sorumlu Yazar: [mujdat.cabuk@yandex.com](mailto:mujdat.cabuk@yandex.com)



Long-Short-Term Memory algorithm, and a data set containing 203274 comments collected from e-commerce platforms was automatically labeled with this model. In the second stage of the study, the performance of the automatically labeled dataset was compared with the manually labeled dataset using four different deep learning algorithms (Recurrent Neural Networks, Long-Short-Term Memory, Gated Recurrent Unit, Convolutional Neural Networks). In the last stage of the study, classification performances of four traditional machine learning (Logistic Regression, Support Vector Machines, Random Forest, Naive Bayes) and four different deep learning algorithms were compared using automatically labeled datasets with high classification performance. As a result of the experimental studies, it has been observed that deep learning algorithms are more successful than machine learning algorithms, and high results have been obtained in experiments where the data set automatically labeled with the developed model is used.

**Keywords:** Machine Learning, Deep Learning, Text Mining, Turkish Texts, E-commerce, Product Reviews

## 1. Giriş

Günümüzde teknolojik gelişmeler tüm hızıyla devam etmektedir. Tüm sektörler bu teknolojik gelişmelerden faydalandığı gibi ticaret sektörü de büyük ölçüde faydalanmaktadır. Ticaret sektörü hem perakende hem de toptan satışlar için artık dijital kanalları tercih etmektedir. Mobil cihazların ortaya çıkması ve yaygınlaşmasıyla e-ticaret sektörü adeta bir devrim yaşamıştır. İnsanlar artık kolaylıkla mobil cihazlarıyla e-ticaret platformlarına ulaşabilmekte ve saniyeler içerisinde ihtiyacı olan ürünleri alabilmektedirler. E-ticaret işletmeleri sosyal medya pazarlaması ve yapay zekâ gibi teknolojileri kullanarak müşteri deneyimini daha da geliştirmeye odaklanmaktadır. Son yıllarda yaşanan Covid-19 pandemisinin etkisiyle beraber e-ticaret sektörü hızlı bir şekilde büyümüş ve önemli bir pazar haline gelmiştir. İnsanlar online alışveriş yapmak için fiziksel mağazalara gitmek yerine interneti tercih etmektedirler ve birçok geleneksel mağazada bu trende ayak uydurarak online satışlara odaklanmaktadır.

E-ticarete ürün yorumları müşterilerin bir ürün hakkında görüşlerini paylaştığı ve diğer müşterilerin de bu görüşleri inceleyerek ürün hakkında bir fikir sahibi olabilecekleri önemli bir unsurdur. Ürün yorumları e-ticaret şirketleri için çok önemli bir geri bildirim mekanizmasıdır ve hem müşterilerin memnuniyetini arttırmaya hem de şirketlerin pazarlama stratejilerini belirlemeye yardımcı olur.

Ürün yorumları müşterilerin ürünler hakkında doğru ve açıklayıcı geri bildirimler sunmasını sağlar. Bu yorumlar müşterilerin ürünleri nasıl kullandığı, hangi özelliklerinin beğenilip beğenilmediği, ürünün kalitesi gibi unsurlar hakkında bilgi vermektedir. Bu geri bildirimler şirketlerin ürünlerini geliştirmelerine yardımcı olur ve müşteri memnuniyetini artırır. Ayrıca ürün yorumları diğer müşterilerin de ürün hakkında bilgi sahibi olmalarını sağlamaktadır. Müşterilerin gerçek deneyimlerine dayalı olarak yazdığı yorumlar diğer müşterilerin ürün hakkında karar vermelerine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle ürün yorumları e-ticaret şirketleri için önemli bir pazarlama aracıdır.

E-ticaret sektörünün gelişmesiyle ürünlere yapılan yorumlar da muazzam bir şekilde artmıştır. Ürünlerin yorum sayıları artıkça bunları tek tek inceleyip analiz etmek oldukça zorlaşmıştır. Satıcılar ürünlerine yapılan yorumların hepsini değerlendirememekte ve yararlı olabilecek yorumları gözden kaçırabilmektedir. Ayrıca yapılan yorumların tam olarak ne hakkında olduğu da manuel olarak tespit edilemez hale gelmiştir. Müşteriler için de aynı problem geçerlidir. Müşteriler ürün hakkındaki yorumların en fazla iki üç sayfasını okuyabilmektedir. Bu problemler, e-ticaret ürün yorumlarının otomatik olarak analiz edebilme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada e-ticaret ürün yorumları üzerinden bir duygu analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında Türkiye’de faaliyet gösteren e-ticaret platformlarından Türkçe yorumlar toplanarak ham bir veri seti oluşturulmuştur. Ürün yorumlarını toplamak için bir uygulama geliştirilmiş ve bu uygulama içerisinde Web Scraping yöntemi kullanılmıştır. Ürün yorumları farklı zamanlarda iki kere olumlu, olumsuz ve nötr olarak manuel sınıflandırılmıştır. Sonrasında nötr yorumlar ve kararsız kalınan yorumlar çıkarılarak iki sınıflı bir veri seti oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları (Long-Short Term Memory – LSTM) derin öğrenme yöntemi kullanılarak otomatik olarak etiketlenmiş bir veri seti oluşturulmuştur. Sonraki aşamada, oluşturulan manuel ve otomatik etiketlenmiş veri setleri üzerinde Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Network – RNN), Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları (Long-Short Term Memory – LSTM), Geçitli Tekrarlayan Birim (Gated Recurrent Unit – GRU) ve Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Network – CNN) gibi derin öğrenme algoritmaları kullanılarak duygu analizi test sonuçları elde edilmiştir. Testler sonucunda otomatik olarak etiketlenmiş veri setiyle eğitilen makine öğrenmesi modellerinin manuel olarak etiketlenmiş veri setiyle eğitilen modellere yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Sonrasında otomatik olarak etiketlenmiş veri seti ile Rastgele Orman (Random Forest – RF), Lojistik Regresyon (Logistic Regression – LR), Naive Bayes (NB), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine – SVM) gibi temel geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak testler yapılmıştır. Bunun sonucunda derin öğrenme mimarilerinin geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

## 2. Literatür Çalışmaları

Bu çalışma kapsamı öncesinde literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Bu aşamada öncelikle Türkçe metinler ile yapılan çalışmalar ve ağırlıklı olarak müşteri yorumlarının yer aldığı veri setleri ile yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Ele alınan çalışmalar arasında İngilizce metinlerden oluşan veri setleri ile yapılan çalışmalar da yer almaktadır. Bu çalışmalar kullanılan teknikler için tercih edilmiştir.

Rumelli ve ark. [1], ele aldıkları çalışmalarında e-ticaret ürün yorumlarını kullanarak bir duygu analizi modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada hepsiburada.com e-ticaret sitesi üzerinden 272 bin adet ürün yorumu çekilerek bir veri seti hazırlanmıştır. Bu veri setinde 1 ve 2 yıldız olan yorumlar olumsuz, 3 yıldız olanlar nötr, 4 ve 5 yıldız olanlar da olumlu olarak etiketlenmiştir. Son olarak 13 bin olumlu ve 13 bin olumsuz yorum seçilerek çalışmada kullanılacak veri seti hazırlanmıştır. Çalışmada NB, RF, SVM ve K – En



Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors – KNN) algoritmaları kullanılarak sonuçlar alınmıştır. Çalışma sonucunda ortalama %73 doğruluk oranı elde etmişlerdir.

Topçu ve Erkaya [2], Müşteri İlişkileri Yönetimi (Customer Relations Management – CRM) yazılımlarında toplanan talep mesajlarının makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak kategorize edilmesi amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada vatandaşlar tarafından gönderilen 3 bin farklı konudan oluşan 220 bin talep mektubu kullanılmıştır. Veriler ön işlemlerden geçirildikten sonra TF-IDF algoritması kullanılarak özellik seçimi yapılmıştır. Veri seti 5 farklı algoritma kullanılarak test edilmiştir. En verimli algoritmanın %85 doğruluk oranıyla LSTM olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda oluşturulan model örnek olarak “1314. sokakta bozuk yollar var. Bir an önce asfalt atılmasını ve yolun onarılmasını talep etmekteyim. Gereğini arz ederim.” şeklinde gelen talebi “Asfalt Bakım Onarım” olarak kategorilendirmiştir.

Tuzcu [3], kitap yorumlarının duygu analizi yöntemleri ile sınıflandırılması çalışması yapmıştır. Popüler bir çevrimiçi kitap platformundan topladıkları okuyucu yorumlarından bir veri seti hazırlamıştır. Bu çalışmada Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron – MLP) algoritmasını uygulamıştır. Sonrasında NB, SVM ve LR gibi geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları ile de testler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda %89 başarı oranı ile MLP algoritmasının en yüksek başarı elde ettiği görülmüştür.

Mengutaycı ve Temurtas [4], Türkçe otel yorumlarının yapay sinir ağları ile sınıflandırılması konulu bir çalışma yapmıştır. Çalışmalarında çevrimiçi otel rezervasyonu yapılan bir platformda yer alan müşteri yorumlarını incelemişlerdir. Bu yorumların 4-5 yıldız olanları olumlu, 1-2 yıldız olanları olumsuz olarak etiketlenmesini sağlayarak iki sınıflı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Veri setini gerekli ön işlemlerden geçirdikten sonra TF-IDF modeli ile yorumlar bir matrise dönüştürülmüş ve her terimin sınıflandırmadaki önem derecesinin belirlenmesi sağlanmıştır. Veri seti iki farklı yöntemle eğitim ve test verilerine ayrılmış ve bu veri setlerinin başarısı test edilmiştir. Testlerini yapay sinir ağı mimarileriyle gerçekleştirmişlerdir.

Mayda ve Korkmaz [5], ortak çalışmalarında müşteri yorumlarının sınıflandırılması için sözlük tabanlı bir yaklaşım kullanmışlardır. Bu çalışma kapsamında bir sıfat sözlüğü hazırlanmıştır. Kitap satışının yapıldığı bir e-ticaret platformundan topladıkları okuyucu yorumlarından bir veri seti hazırlamışlar ve sıfat sözlüğünü kullanarak olumlu, olumsuz, nötr sınıflar için bir duygu analizi çalışması yapmışlardır. Ayrıca çalışmalarında Türkçe diline özgü kurallar geliştirerek de çalışmanın başarısını arttırmayı başarmışlardır. Çalışma sonucunda yaklaşık %62’lik doğruluk oranı elde etmişlerdir.

Gezici ve Yanıkoğlu [6], çalışmalarında makine öğrenmesi algoritmalarıyla Türkçe film incelemelerinin duygu analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında denetimli öğrenme ve sözlük tabanlı yaklaşımları birleştirerek yeni bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmalarında “beyazperde.com” adlı film sitesinden önceden oluşturulan bir veri seti kullanılmış ve bu veri setindeki incelemelerin 4 ve 5 yıldızlı olanları olumlu, 1 ve 2 yıldız olanları olumsuz olarak etiketleyerek ikili sınıflandırma çalışması yapmışlardır. NB ve SVM algoritmalarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma esnasında sözlük tabanlı yaklaşım ile denetimli öğrenme yaklaşımlarının sonuçları da göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçlarda NB algoritmasının doğruluk oranının %75 olduğu görülmüştür.

Pervan ve Keleş [7], RF algoritmasını kullanarak Türkçe yorumlarda duygu analizi çalışması yapmışlardır. Popüler bir e-ticaret platformundan elektronik kategorisi altında yer alan ürünlere yapılan müşteri yorumlarından bir veri seti hazırlamışlar ve etiketleme işlemini yıldız puanına göre otomatik yapmışlardır. RF algoritmasıyla yaklaşık %85 doğruluk oranı elde etmişlerdir.

Onan [8], bir çalışmada denetimli ve denetimsiz terim ağırlıklandırma modellerini kullanarak kapsamlı bir duygu analizi karşılaştırması gerçekleştirmiştir. Veri seti olarak Türkçe Twitter mesajları kullanılmıştır. Mesajlar pozitif ve negatif olarak iki kişi tarafından etiketlenmiş ve gerekli ön işlemlerden geçirilmiştir. Sonrasında KNN, SVM, LR ve NB algoritmalarıyla testler yapılmıştır. Bu testlere AdaBoost, Bagging ve Random SubSpace topluluk öğrenme yöntemleriyle devam edilmiştir. Testler sonucunda denetimli terim ağırlıklandırma modellerinin denetimsiz terim ağırlıklandırma modellerine göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Demircan ve ark. [9], ise çalışmalarında Türkçe metinler üzerinde duygu analizi yöntemlerini ele almışlardır. Veri seti olarak e-ticaret ürün yorumlarını kullanmışlar ve veri etiketlenmesi için ürün yorumlarındaki puanlardan faydalanmışlardır. SVM, RF, DT, LR ve KNN algoritmalarıyla modeller geliştirip testlerini yapmışlardır. Testler sonucunda SVM ve RF modellerinin daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Toçoğlu ve ark. [10], Türkçe tweetler üzerinden duygu analizi çalışması yapmışlardır. Çalışmada sözlük tabanlı bir yaklaşım kullanarak her tweete altı duygu kategorisi için otomatik olarak açıklama eklemiştir. Çalışmalarında ANN, CNN, LSTM ve RNN mimarilerini inceleyerek bunlar üzerinden testleri gerçekleştirmişlerdir. Testler sonucunda sözlük tabanlı yaklaşım ile otomatik eklenen açıklamaların etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucu elde ettikleri doğruluk oranlarını karşılaştırdıklarında en yüksek puanı %74 ile CNN mimarisinin verdiğini gözlemlemişlerdir.

Çataltaş ve ark. [11], bir çalışmalarında e-ticaret olumsuz ürün yorumlarından ürünlerin kusurlu özelliklerini bulmak için bir metin analizi yöntemi önermişler ve bulunan ürün kusurlarından da yapılandırılmış bir özet oluşturmaya odaklanmışlardır. Amazon.com üzerinden ayakkabı kategorisine ait 10 bin olumsuz yorum çekerek bir veri seti oluşturmuşlardır. Ön işlemlerin ardından veri sayısı 6190’a inmiş ve çalışmayı bu verilerle gerçekleştirmişlerdir. Ürün kusurlarını bulmak için DBSCAN algoritması kullanılarak yorumlar kümelere ayrılmıştır. Bulunan her kusur daha önceden tanımlanmış Part-of-Speech (Konuşma Parçası) kalıplarını arayarak kendisinin görüş sözcüklerini bulmak için kullanılmıştır. Bulunan kusurlar ve onların görüş sözcükleri kullanılarak yapılandırılmış bir özet oluşturulmuştur.

Literatürde Türkçe metinlerle yapılan çalışmalar günümüzde gittikçe artmaktadır. İncelenen çalışmalarda çoğunlukla çevrimiçi müşteri yorumlarından oluşan veri setlerinin kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca, ilgili çalışmalarda veri etiketleme işlemlerinin karşılaştırıldığı ve manuel olarak etiketlemenin daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

### 3. Materyal ve Metot

Bu bölümde, çalışma kapsamında oluşturulan manuel ve otomatik olarak etiketlenmiş iki veri setinin geliştirilme süreçleri, öznitelik çıkarma aşamaları ve kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları hakkında bilgiler paylaşılmıştır.

#### 3.1. Manuel Etiketli Veri Setinin Oluşturulması

Manuel olarak etiketlenmiş veri setinin oluşturulması için ülkemizde faaliyet gösteren Hepsiburada, Trendyol, N11 gibi popüler e-ticaret platformlarından ürün yorumları toplanmıştır. Öncelikle 15.170 adet yorum toplanarak bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti için ağırlıklı olarak tıraş makinesi, çalışma koltuğu ve oyun konsolu kategorileri seçilmiştir. Toplanan veriler veri temizleme aşamasından geçirilmiştir. Bu kapsamda sadece noktalama işareti veya emoji içeren veriler çıkarılmıştır. Metinlerin arasında yer alan noktalama işaretleri ve emojiler de kaldırılarak veri setinin sadece metinlerden oluşması sağlanmıştır. Metinlerdeki yazım yanlışları da olabildiğince düzeltilmiştir. Ayrıca alakasız bir yorum içeren metinler de veri setinden çıkarılarak veri temizleme adımı tamamlanmıştır. Tüm harflerin küçük harfe çevrilmesi, sayıların kaldırılması ve StopWords olarak sınıflandırılan kelimelerin de metinlerin içerisinden çıkarılması gibi standart veri ön işleme adımları da veri seti üzerinde model eğitiminden önce uygulanmıştır.

Ham veri setinin oluşturulmasından sonra manuel olarak etiketleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu etiketleme için genellikle ürün yorumlarının değerlendirme puanı kullanıldığı görülmüştür. Örneğin incelenen çalışmalarda 4 ve 5 yıldız puanına sahip yorumlar olumlu, 1 ve 2 yıldız puanına sahip yorumlar olumsuz ve 3 yıldız puanına sahip yorumlar ise nötr olarak etiketlendiği görülmüştür. E-ticaret platformlarından toplanan yorumlar tek tek okunarak olumlu, olumsuz ve nötr olarak etiketlenmiştir. Ardından farklı bir zamanda önceki etiketler gizlenerek veri seti tekrar etiketlenmiştir. Bu sayede iki farklı etiketleme sonucu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar karşılaştırılarak etiketi farklı olan yorumlar veri setinden çıkarılmıştır. Örneğin ilk etiketleme işleminde olumlu olarak belirlenen bir yorum sonraki etiketleme işleminde nötr olarak etiketlendiyse, bu durum eğitilecek modeli etkileyeceği için bu yorum veri setinden çıkarılmıştır. Bu işlemin sonucunda olumlu yorumların olumsuz yorumlardan çok fazla olduğu tespit edilmiş ve e-ticaret platformlarından olumsuz yorumlar çekilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen uygulamanın veri çekme modülünde yer alan yıldız puanı filtresi kullanılarak kolaylıkla olumsuz yorumlar toplanmıştır. Sonrasında tekrar çekilen veriler tek tek okunarak olumlu yorumlar çıkarılmış ve sadece olumsuz yorumlar veri setine eklenmiştir. Etiketleme işleminin ardından 6818 adet olumlu, 6926 adet olumsuz ve 1393 adet nötr yorumun olduğu bir seti hazırlanmıştır. Nötr yorumların az olması ve tespit edilmesinin de zor olması nedeniyle nötr yorumlar veri setinden çıkarılmıştır. Son olarak dengeli ve iki sınıflı bir veri seti çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Tablo 1'de yorumların etiket dağılımına yer verilmiştir.

Tablo 1. Sınıflardaki Yorum Sayısı (Table 1. Number of comments in classes)

Sınıf	Yorum Sayısı
Olumlu	6818
Olumsuz	6926
Toplam	13744

#### 3.2. Otomatik Etiketli Veri Setinin Oluşturulması

Çalışmada kullanılan bir diğer veri seti olan otomatik olarak etiketlenmiş veri setini oluşturmak için e-ticaret platformlarından 203 bin 274 adet ürün yorumu toplanmıştır. Bu veri setinde bir önceki veri setinde kullanılan ürün kategorileri dışında ayakkabı, kol saati, kulaklık, oyuncak, akıllı saat ve hoparlör gibi birçok ürün kategorisi kullanılmıştır. Toplanan verilerin otomatik etiketlenmesi için LSTM algoritmasının kullanıldığı bir model geliştirilmiştir. Bu modelin eğitilmesinde manuel olarak etiketlenen veri seti kullanılmıştır.

LSTM modelinde kullanılan parametreler Tablo 2'de yer almaktadır. Bu parametrelerden Gömme Boyutu (Embedding Dimension Size), kelime gömme yönteminde her kelimenin temsil edildiği vektörün boyutunu belirler ve örneğin 200 seçildiğinde her kelime için 200 boyutlu vektör kullanılır. Gömme Dolgu Boyutu (Embedding Padding Size) parametresi, metin verilerinin gömme işlemi öncesinde veya sonrasında yapılacak olan dolgu işlemidir ve örneğin 100 seçildiğinde metin verileri 100 kelimeye tamamlanır. Nöron Boyutu (Neuron Size) parametresi, LSTM modellerinde hücrelerin boyutunu temsil eder ve daha büyük bir nöron boyutu daha fazla bilgiyi depolayabilme ve karmaşık ilişkileri daha iyi öğrenebilme yeteneği sağlar. Bırakma Oranı (Dropout Rate) parametresi, modelin aşırı öğrenmesini azaltmak için kullanılan bir parametredir. Dönem Sayısı (Number of Epochs) parametresi, modelin veri setini kaç kez tamamladığını belirler ve yeterli değer verildiğinde daha iyi sonuçlar elde edilmesi sağlanır. Grup Boyutu (Batch Size) parametresi, verilerin kaç alt gruba ayrılacağını belirler ve bu alt gruplar sırasıyla modele sunularak eğitim süreci tamamlanır. Optimize Edici (Optimizer) parametresi, modelin ağırlıklarını güncellemek ve kayıp fonksiyonunu minimize etmek için kullanılır ve Adamax algoritması büyük veri setleri ve büyük parametre uzayları için etkili bir algoritmadır. Aktivasyon Fonksiyonu (Activation

Function) parametresi ise sinir ağlarının katmanlarında kullanılan non-lineer dönüşüm işlevini temsil eder ve her bir sinir hücresi aktivasyon fonksiyonu tarafından çıktıya dönüştürülür. Doğrultulmuş doğrusal birim (ReLU) aktivasyon fonksiyonu negatif girişleri 0'a dönüştürür, pozitif girişleri olduğu gibi bırakır. Aktivasyon fonksiyonu modelin başarısını olumlu yönde etkilemektedir. Bu parametrelerin en başarılı değerleri deneme yanılma yoluyla seçilmiştir.

Tablo 2. LSTM Modelinde Kullanılan Parametreler (Table 2. Parameters Used in LSTM Model)

Parametre Adı	Değeri
Gömme Boyutu (Embedding Dimension Size)	200
Gömme Dolgu Boyutu (Embedding Padding Size)	100
Nöron Boyutu (Neuron Size)	100
Bırakma Oranı (Dropout Rate)	0.4
Dönem Sayısı (Number of Epochs)	10
Grup Boyutu (Batch Size)	16
Optimize Edici (Optimizer)	Adamax
Aktivasyon Fonksiyonu (Activation Function)	ReLU

### 3.3. Sınıflandırma Algoritmaları

#### 3.3.1. Geleneksel Algoritmalar

Lojistik Regresyon (Logistic Regression – LR) algoritması, veri setindeki değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılır ve sınıflandırılmış bir değer olarak çıktı verir. Bir bağımlı değişkenin iki veya daha fazla kategorik veya sayısal bir değer alabileceği veri setlerinde kullanılabilir. Bu algoritma öncelikle bir doğrusal regresyon yöntemi kullanarak bir çıktı verir ve sonra bu çıktı değerini bir olasılık değerine dönüştürür. Bu olasılık değeri, bir sınıfa ait olma olasılığını temsil eder [12].

Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine – SVM) algoritması sınıflandırma ve gruplandırma problemlerinde kullanılmaktadır. Veri noktalarını birbirinden ayıran bir çizgi oluşturarak sınıflandırma işlemini yapmaktadır. SVM algoritması genellikle çözümlenmesi zor olan büyük veri setlerinde etkili olduğu görülmüştür [13]. SVM algoritması, verileri birbirinden ayıran en iyi hiper düzlemi bulmak için çalışır. Hiper düzlem verilerin tam olarak ayıramadığı durumlarda da kullanılabilir. Bu durumda bir hata payı belirlenir ve hiper düzlem en düşük hata payını sağlayacak şekilde oluşturulur. Bu algoritma özellikle doğrusal olmayan veri setleri için etkilidir. Bu veri setlerinde verileri daha yüksek boyutlu bir uzaya taşır ve orada daha kolay sınıflandırılabilir hale getirir. Bu işlem çekirdek fonksiyonları kullanılarak yapılır.

Rastgele Orman (Random Forest – RF) algoritması, bir ağaç yapısı kullanarak bir sınıflandırma modeli oluşturur ve veri kümesindeki öznitelikleri test ederek sonuçlar elde eder. Bu algoritma veri setini daha küçük parçalara ayırarak her bir parçayı ayrı ayrı öğrenir ve sonrasında bu parçaları birleştirerek tahminler yapar [14]. RF algoritması yüksek boyutlu verilerin sınıflandırılmasında kullanılır ve doğrusal olmayan ilişkileri tespit edebilir. Bu algoritma her bir karar ağacının kendine özgü bir eğitim seti ve farklı özellikler ile eğitildiği bir topluluk öğrenmesi yöntemidir. Bu sayede RF algoritması öğrenme aşamasında daha esnek ve doğru sonuçlar vermektedir.

Naive Bayes (NB) algoritması, bayes teoremini kullanarak veri setindeki özellikleri ve sınıfları birbirine bağlar. Özellikle veri setindeki özelliklerin birbirinden bağımsız olduğunu varsayar ve “naive” adı da buradan gelmektedir. NB algoritması sınıflandırılacak verinin özelliklerini kullanarak her sınıfın olasılık dağılımını hesaplar. Bu dağılımlar eğitim verileri üzerinde hesaplanarak öğrenilir. Sonrasında yeni bir veri geldiğinde bu verinin her bir sınıfta olma olasılığı hesaplanır ve sonucunda en yüksek olasılığa sahip sınıf seçilir [13].

#### 3.3.2. Derin Öğrenme Algoritmaları

Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Network – RNN), zaman serilerinde veya sıralı verilerde kullanılan bir derin öğrenme mimarisidir. Girdilerin sıralı olarak işlendiği bir yapıya sahiptir. Önceki adımlarda hesaplanan çıktıların ve saklanan bilgilerin bir sonraki adımda tekrar kullanılmasına olarak tanır. RNN modelleri doğal dil işleme, metin üretimi ve ses tanıma gibi uygulamalarda kullanılır [15]. RNN mimarisinde girdi verilerini işleyen gizli bir durum hücresi bulunmaktadır. Gizli durum hücresi önceki adımdaki bilgileri içerir ve sonraki adımda tahmin yapmak için kullanılır. Yeni bir veri geldiğinde her adımda bir girdi alır ve çıktı üretir. Bu çıktı bir sonraki adımda girdi olarak kullanılır ve bu şekilde süreç devam eder. RNN modelleri geriye doğru yayılma ve veri setindeki örneklerin sırasına göre eğitilir. Bu eğitim sırasında model, girdilerin ardışık adımlarında beklenen çıktılarla gerçek çıktıları karşılaştırarak hata oranını azaltmaya çalışır.

Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları (Long-Short Term Memory – LSTM) mimarisi, aslında RNN'nin bir sorununa çözüm olarak literatüre girmiş ve RNN'nin alt türü olarak görülmektedir. RNN mimarisindeki “uzun süreli bellek kaybı” sorununu çözmek üzere

gizli durum hücrelerine ek olarak birçok kapı mekanizması içermektedir. Bu kapılar ağına hangi bilgileri saklayıp hangilerini saklamayacağına karar vermesine yardımcı olur [16]. LSTM mimarisinde üç temel kapı vardır. Bu kapılar unutma (forgot) kapısı, giriş (input) kapısı ve çıkış (output) kapısıdır. Unutma kapısı, hafıza hücresindeki bilginin ne kadarını unutacağını belirler. Bu kapı önceki hafıza hücresindeki bilgi ve şimdiki girdiye dayanarak belirlenir. Giriş kapısı, hafıza hücresine ne kadar yeni bilgi ekleneceğine karar verir. Bu kapı şimdiki girdi ve önceki saklı durum arasındaki ilişkiye dayanarak belirlenir. Çıkış kapısı ise, hafıza hücresindeki bilgiyi kullanarak ne kadar çıktı üretileceğini belirler. Bu kapı hafıza hücresindeki bilgi ve şimdiki girdiye dayanarak belirlenir.

Geçitli Tekrarlayan Birim (Gated Recurrent Unit – GRU) mimarisi, LSTM ile benzer şekilde RNN mimarisinin alt türüdür. Özellikle doğal dil işleme gibi sıralı verilerin modellenmesi için kullanılır. GRU, LSTM ile benzer bir kapı mekanizması kullanır. Ancak, LSTM'e göre daha az parametreye sahip ve daha hızlıdır. GRU mimarisinde LSTM mimarisinden farklı olarak 2 temel kapı bulunmaktadır. Bu kapılar yenileme (reset) ve güncelleme (update) kapılarıdır. Yenileme kapısı önceki durumdaki hafıza hücresinin ne kadarının unutulacağını belirler. Bu kapı önceki durumdaki saklı durum ve şimdiki durumdaki girdi arasındaki bir ilişkiye dayanarak belirlenir. Güncelleme kapısı hafıza hücresinin ne kadarının güncelleneceğini belirler. Bu kapı önceki durumdaki saklı durum ve şimdiki durumdaki girdi arasındaki ilişkiye göre belirlenir [16].

Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Network – CNN) mimarisi, özellikle görüntü işleme alanında kullanılan bir derin öğrenme mimarisidir. CNN mimarisi evrişim katmanlarından oluşur ve her katmanda filtreler kullanılarak verilerin özelliklerinin çıkarılmasına dayanır [15]. CNN modelleri girdi olarak alınan görüntülerin özelliklerini çıkarır ve bu işlemi yaparken filtreler kullanır. Örneğin bir görüntü için bu filtreler kenarlar, köşeler veya şekiller olabilir. Ardından bir veya birden fazla tam bağımlı katman kullanarak bu özellikleri sınıflara ayırır. Bu katmanlar son çıktıyı hesaplayarak modelin tahmin ettiği sınıfın olasılığını hesaplar. CNN mimarisinin avantajı verilerin özelliklerini otomatik öğrenebilmesidir. Bu nedenle verilerin özelliklerinin elle çıkarılmasına gerek yoktur. Ayrıca eğitim verilerindeki küçük değişikliklere dayanıklıdır ve genelleştirme yeteneği yüksektir.

### 3.4. Ölçüm Metrikleri

Duygu analizi sonuçları doğruluk (accuracy) ve F1-Puanı (F1-Score) performans ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Doğruluk değeri, algoritmanın doğru sınıflandırdığı örnek sayısının toplam örnek sayısına oranıdır. F1-Puanı değeri, geri çağırma ve kesinlik değerlerinin harmonik ortalaması olarak görülmektedir. Geri çağırma değeri, algoritmanın pozitif örnekleri sınıflandırma başarısını ölçmektedir. Kesinlik değeri, algoritmanın pozitif olarak sınıflandırdığı örneklerin gerçekten pozitif olma olasılığını ölçmektedir. F1-Puanı değerinin yüksek olabilmesi için her iki değer de yüksek olması gerekmektedir [17].

Geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları deneylerinde N-gram ve ağırlıklandırma metotları kullanılmıştır. N-gram metodu bir dil modelleme tekniğidir ve metindeki ardışık kelime gruplarını temsil etmektedir. Bu çalışmada üç farklı N-gram tekniği kullanılmıştır. Bunlar Unigram, Bigram ve Trigram'dır. Unigram, bir metindeki her bir kelimeyi ayrı ayrı temsil eden bir N-gram tekniğidir ve metindeki kelime dağılımını modellemek için kullanılır. Bigram, metindeki ardışık iki kelimeyi temsil eden bir N-gram tekniğidir ve bir kelimenin ardından gelen kelimeyi tahmin etmek için kullanılır. Trigram, metindeki ardışık üç kelimeyi temsil eden bir N-gram tekniğidir ve bir kelimenin iki önceki kelimesine ve bir sonraki kelimesine dayalı olarak bir kelimenin tahmin edilmesi için kullanılır. Ağırlıklandırma metodu, metinlerin temsil edilmesi ve özelliklerin çıkarılması için kullanılan yöntemdir. Bu çalışmada üç farklı ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Bunlar Terim Varlığı (Term Presence – TP), Terim Frekansı (Term Frequency – TF) ve Terim Frekansı – Ters Doküman Frekansı (Term Frequency – Inverse Document Frequency – TF-IDF)'dir. TP, bir belgede bir terimin var olup olmadığını ifade eder ve belgede terim varsa 1, yoksa değeri 0 olur. TF, bir belgede bir terimin ne sıklıkla geçtiğini ifade eder. TF-IDF ise bir terimin belge içindeki sıklığını ve tüm belgelerdeki yaygınlığını birleştiren bir yöntemdir. TP ve TF basit bir metin temsil yöntemi sağlarken, TF-IDF daha gelişmiş bir özellik çıkarım yöntemidir ve daha ayrıntılı bir metin temsili sunar.

## 4. Bulgular

Bu bölümde ürün yorumlarından hazırlanan veri setleri ile olumlu ve olumsuz olarak iki sınıflı duygu analizi deneyleri yapılmıştır. Deneylerin ilk aşamasında manuel ve otomatik etiketlenmiş iki veri seti kullanılarak derin öğrenme algoritmaları tarafından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonraki aşamada otomatik etiketlenmiş veri seti ile geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları ile sonuçlar alınıp derin öğrenme algoritmalarıyla alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çeşitli sınıflandırma algoritmalarının performansını ölçmek için deneylerde Keras ve Python kullanılmıştır. 10 katlı bir çapraz doğrulama yaklaşımı ile verinin 10 eşit parçaya bölünmesi ve modelin 9 parça ile eğitilip geri kalan parça ile test edilmesi ile sonuçlar alınmıştır. Ayrıca bu işlem testte kullanılacak her parça için 10 kez tekrarlanmaktadır.

Yapılan deneylerin temel amacı manuel ve otomatik olarak etiketlenen veri setlerini kullanarak çeşitli sınıflandırma algoritmalarının performanslarını karşılaştırmaktır. Bu karşılaştırma sonucunda da otomatik etiketleme modelimizin gerçek hayatta kullanılabilirliğini göstermektedir.

Tablo 3 ve Tablo 4 manuel etiketlenmiş veri seti kullanılarak derin öğrenme algoritmaları ile elde edilen sırasıyla doğruluk ve F1-Puanı sonuçlarını göstermektedir. Doğruluk sonuçları incelendiğinde 0,96 ile en yüksek sonuca ulaşan algoritmanın GRU algoritması olduğu görülmektedir. F1-Puanı sonuçlarına bakıldığında da 0,9598 ile yine GRU algoritmasının en yüksek sonucu verdiği görülmektedir.

Tablo 3. Manuel Veri Seti Kullanılarak Derin Öğrenme Algoritmaları Tarafından Elde Edilen Doğruluk Sonuçları (Table 3. Accuracy Results Obtained by Deep Learning Algorithms Using Manual Data Set)

Gömme Boyutu	Katman Birimi	RNN	LSTM	GRU	CNN
100	100	0,9519	0,9566	0,9571	0,9574
200	100	0,9510	0,9557	0,9581	0,9549
300	100	<b>0,9525</b>	<b>0,9572</b>	0,9563	0,9562
100	200	0,9488	0,9533	0,9521	0,9544
200	200	0,9498	0,9542	0,9590	0,9573
300	200	0,9473	0,9550	0,9598	<b>0,9578</b>
100	300	0,9486	0,9556	0,9573	0,9559
200	300	0,9490	0,9564	<b>0,9600</b>	0,9559
300	300	0,9521	0,9550	0,9588	0,9574

Tablo Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Manuel Veri Seti Kullanılarak Derin Öğrenme Algoritmaları Tarafından Elde Edilen F1-Puanı Sonuçları (Table 4. F1-Score Results Obtained by Deep Learning Algorithms Using Manual Data Set)

Gömme Boyutu	Katman Birimi	RNN	LSTM	GRU	CNN
100	100	0,9516	0,9563	0,9568	0,9573
200	100	0,9508	0,9553	0,9578	0,9547
300	100	<b>0,9524</b>	<b>0,9571</b>	0,9560	0,9559
100	200	0,9478	0,9530	0,9519	0,9541
200	200	0,9496	0,9541	0,9589	0,9571
300	200	0,9476	0,9547	0,9596	<b>0,9576</b>
100	300	0,9484	0,9554	0,9569	0,9557
200	300	0,9490	0,9562	<b>0,9598</b>	0,9557
300	300	0,9519	0,9550	0,9587	0,9573

Tablo 5 ve Tablo 6 ise otomatik etiketlenmiş veri seti kullanılarak derin öğrenme algoritmaları ile elde edilen sırasıyla doğruluk ve F1-Puanı sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlarda doğruluk sonuçları incelendiğinde 0,9555 ile en yüksek sonuca ulaşan algoritmanın CNN olduğu görülmektedir. F1-Puanı sonuçlarına bakıldığında da 0,9505 ile yine CNN algoritmasının en yüksek sonucu verdiği görülmektedir.

Tablo 5. Otomatik Veri Seti Kullanılarak Derin Öğrenme Algoritmaları Tarafından Elde Edilen Doğruluk Sonuçları (Table 5. Accuracy Results Obtained by Deep Learning Algorithms Using Automatic Data Set)

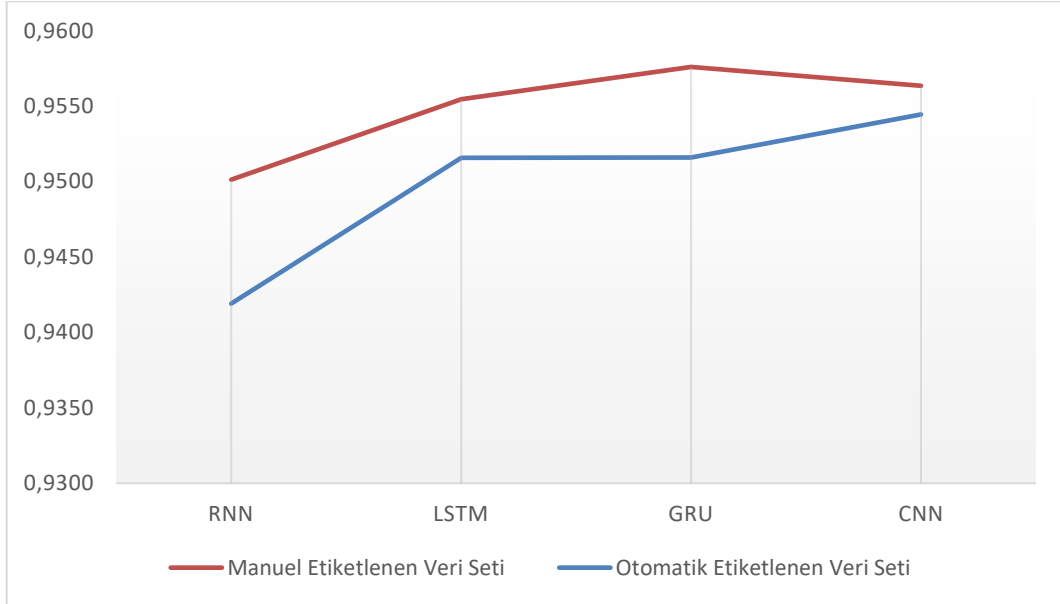
Gömme Boyutu	Katman Birimi	RNN	LSTM	GRU	CNN
100	100	0,9421	0,9528	0,9509	0,9539
200	100	0,9451	<b>0,9531</b>	0,9515	0,9521
300	100	<b>0,9460</b>	0,9521	0,9514	0,9538
100	200	0,9447	0,9499	0,9520	0,9552
200	200	0,9452	0,9509	0,9517	0,9550
300	200	0,9411	0,9513	0,9513	<b>0,9555</b>
100	300	0,9373	0,9513	<b>0,9525</b>	0,9538
200	300	0,9390	0,9521	0,9524	0,9554
300	300	0,9367	0,9507	0,9507	0,9552



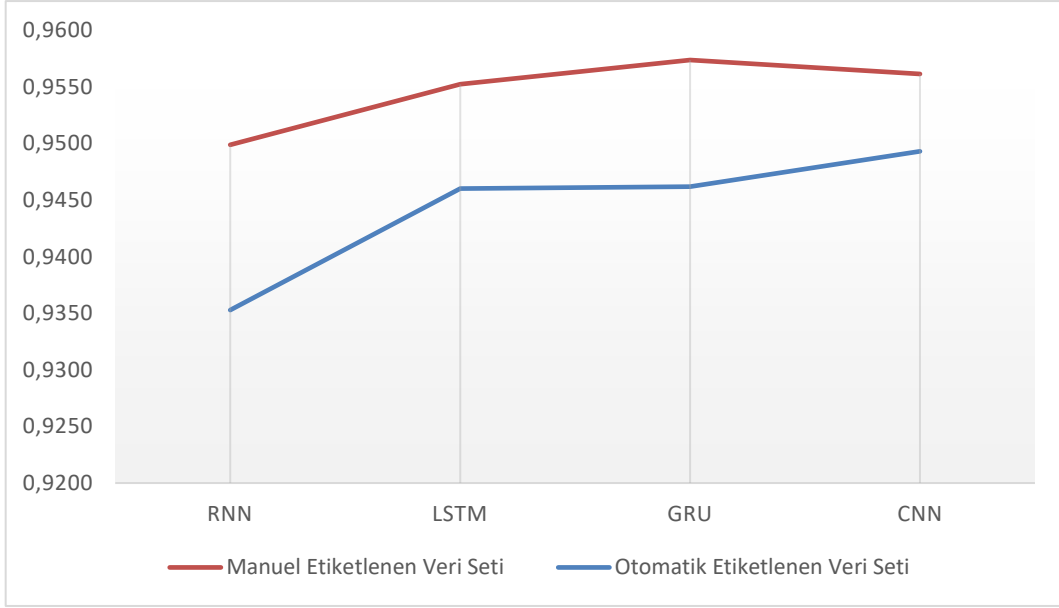
Tablo 6. Otomatik Veri Seti Kullanılarak Derin Öğrenme Algoritmaları Tarafından Elde Edilen F1-Puanı Sonuçları (Table 6. F1-Score Results Obtained by Deep Learning Algorithms Using Automatic Data Set)

Gömme Boyutu	Katman Birimi	RNN	LSTM	GRU	CNN
100	100	0,9360	0,9471	0,9458	0,9487
200	100	0,9392	<b>0,9478</b>	0,9460	0,9462
300	100	<b>0,9397</b>	0,9469	0,9463	0,9488
100	200	0,9390	0,9438	0,9462	0,9504
200	200	0,9391	0,9453	0,9459	0,9497
300	200	0,9343	0,9458	0,9457	<b>0,9505</b>
100	300	0,9302	0,9456	0,9472	0,9487
200	300	0,9320	0,9467	<b>0,9473</b>	0,9504
300	300	0,9279	0,9453	0,9454	0,9503

Manuel ve otomatik etiketlenmiş veri setleri kullanılarak derin öğrenme algoritmaları ile elde edilen ortalama doğruluk ve F1-Puanı sonuçları Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde CNN algoritması ile alınan sonuçların manuel ve otomatik etiketlenmiş veri setleri için birbirine yakın olduğu görülmektedir. CNN algoritmasının sonuçları daha detaylı incelendiğinde, manuel etiketlenen veri seti ile elde edilen ortalama doğruluk 0,9563 ve otomatik etiketlenen veri seti ile elde edilen ortalama doğruluk ise 0,9544 olduğu ve aradaki farkın 0,0019 olarak hesaplandığı görülmüştür. Ortalama F1-Puanı sonuçlarına bakıldığında da yine CNN algoritmasının verdiği sonuçların yüksek olduğu görülmektedir. CNN algoritmasında manuel etiketlenen veri seti ile elde edilen ortalama F1-Puanı 0,9562 ve otomatik etiketlenen veri seti ile elde edilen F1-Puanı 0,9493 olduğu görülmüştür. Bu sonuçlarda da aradaki farkın 0,0069 olarak hesaplandığı görülmüştür.



Şekil 1. Derin Öğrenme Algoritmaları Ortalama Doğruluk Sonuçları (Figure 1. Deep Learning Algorithms Average Accuracy Results)



Şekil 2. Derin Öğrenme Algoritmaları Ortalama F1-Puanı Sonuçları (Figure 2. Deep Learning Algorithms Average F1-Score Results)

Manuel ve otomatik etiketlenmiş veri setleriyle elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında aradaki farkların çok düşük olduğu görüldüğünden oluşturulan otomatik etiketleme modelinin kullanılabilirliği saptanmıştır. Bu sayede milyonlarca verinin olduğu büyük veri setleri bu model sayesinde dakikalar içerisinde otomatik olarak etiketlenebilecektir. Sonraki aşamada otomatik etiketlenmiş veri setinin geleneksel makine öğrenmesi ile elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 7 ve Tablo 8 otomatik etiketlenmiş veri seti kullanılarak geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları ile elde edilen sırasıyla doğruluk ve F1-Puanı sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlarda doğruluk sonuçları incelendiğinde 0,9090 ile en yüksek sonuca ulaşan algoritmanın SVM olduğu görülmektedir. F1-Puanı sonuçlarına bakıldığında da 0,8986 ortalama ile yine SVM algoritmasının en yüksek sonucu verdiği görülmektedir.

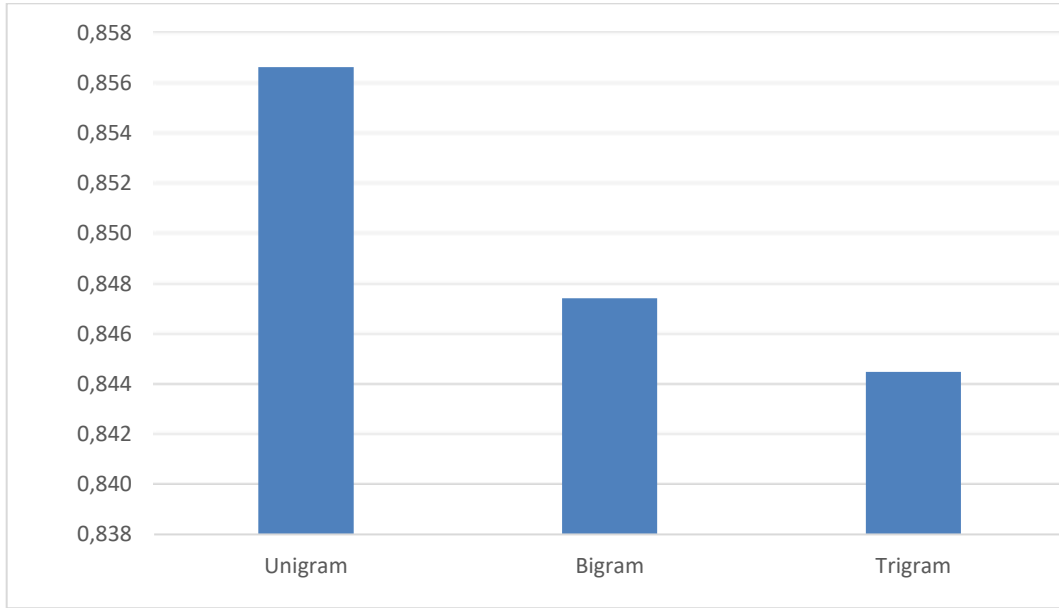
Tablo 7. Otomatik Veri Seti Kullanılarak Geleneksel Makine Öğrenmesi Algoritmaları Tarafından Elde Edilen Doğruluk Sonuçları (Table 7. Accuracy Results Obtained by Traditional Machine Learning Algorithms Using Automatic Data Set)

N-Gram ve Ağırlıklandırma Metotları	LR	SVM	RF	NB
Unigram, TF	0,9074	0,9065	0,8183	0,7983
Unigram, TP	0,8999	0,8988	0,8168	0,7963
Unigram, TF-IDF	<b>0,9081</b>	<b>0,9090</b>	<b>0,8202</b>	<b>0,7998</b>
Bigram, TF	0,8958	0,8952	0,8131	0,7873
Bigram, TP	0,8898	0,8889	0,8121	0,7863
Bigram, TF-IDF	0,8961	0,8971	0,8113	0,7960
Trigram, TF	0,8936	0,8927	0,8124	0,7841
Trigram, TP	0,8878	0,8867	0,8114	0,7832
Trigram, TF-IDF	0,8935	0,8867	0,8106	0,7910

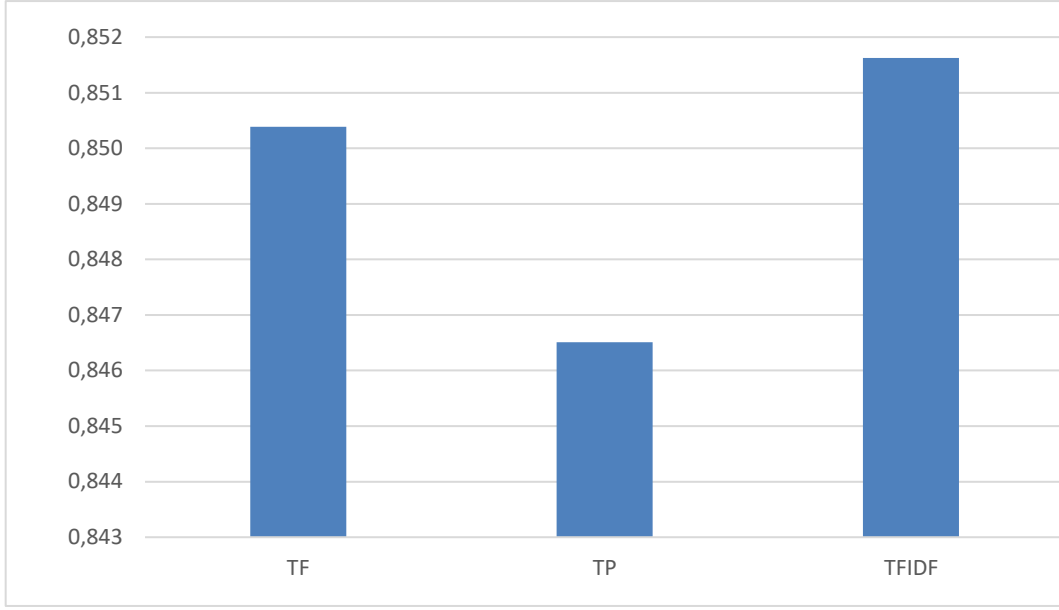
Tablo 8. Otomatik Veri Seti Kullanılarak Geleneksel Makine Öğrenmesi Algoritmaları Tarafından Elde Edilen F1-Puanı Sonuçları  
(Table 8. F1-Score Results Obtained by Traditional Machine Learning Algorithms Using Automated Dataset)

N-Gram ve Ağırlıklandırma Metotları	LR	SVM	RF	NB
Unigram, TF	<b>0,8975</b>	0,8967	<b>0,7931</b>	<b>0,7785</b>
Unigram, TP	0,8890	0,8880	0,7917	0,7756
Unigram, TF-IDF	0,8974	<b>0,8986</b>	0,7894	0,7579
Bigram, TF	0,8844	0,8838	0,7865	0,7600
Bigram, TP	0,8775	0,8766	0,7854	0,7578
Bigram, TF-IDF	0,8842	0,8856	0,7804	0,7554
Trigram, TF	0,8820	0,8811	0,7854	0,7548
Trigram, TP	0,8753	0,8742	0,7843	0,7526
Trigram, TF-IDF	0,8814	0,8742	0,7798	0,7488

Şekil 3 ve Şekil 4'te geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları ile yapılan deneylerde kullanılan N-Gram ve ağırlıklandırma metotlarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



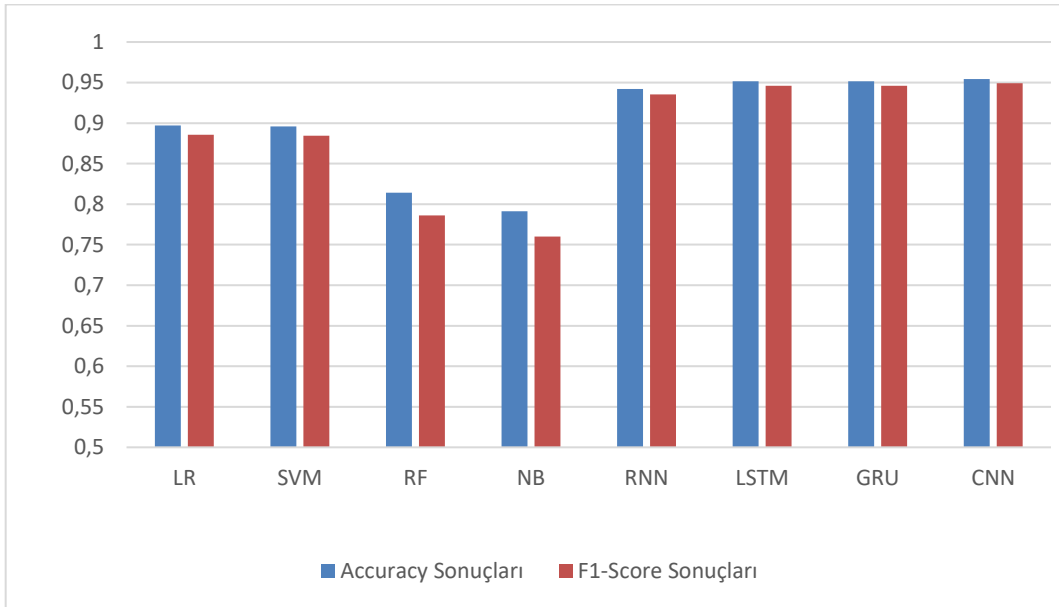
Şekil 3. Geleneksel Makine Öğrenmesi Algoritmaları N-Gram Metotları Ortalama Doğruluk Sonuçları (Figure 3. Traditional Machine Learning Algorithms N-Gram Methods Average Accuracy Results)



Şekil 4. Geleneksel Makine Öğrenmesi Algoritmaları Ağırlıklandırma Metotları Ortalama Doğruluk Sonuçları (Figure 4. Traditional Machine Learning Algorithms Weighting Methods Average Accuracy Results)

Burada görüldüğü gibi N-gram metotlarından Unigram 0,8566 ortalama ile diğer metotlara göre yüksek ortalamaya sahiptir. Ağırlıklandırma metotlarından ise TF-IDF metodu 0,8516 ortalama ile diğer metotlara göre yüksek ortalamaya sahiptir. Tersine en düşük ortalama ise 0,8445 ile Trigram ve 0,8465 ile TP yöntemlerinin olduğu görülmüştür. Yukarıda yer alan tablolara da bu metotlar özelinde bakıldığında en yüksek sonuçlar Unigram ve TF-IDF yöntemlerinin birlikte kullanıldığı deneylerde elde edildiği net bir şekilde görülmektedir.

Şekil 5'te otomatik olarak etiketlenmiş veri seti kullanılarak tüm algoritmalar ile elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Burada derin öğrenme algoritmalarının makine öğrenmesi algoritmalarına karşı başarısı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5. Otomatik Olarak Etiketlenmiş Veri Seti Kullanılarak Elde Edilen Ortalama Sonuçlar (Figure 5. Average Results Using Automatically Tagged Data Set)

## 5. Sonuç

E-ticaret sektörünün gelişmesiyle birlikte ürünlere yapılan yorumların büyük oranlarda artmasının ardından tüm yorumların manuel analiz edilmesi hem e-ticaret satıcıları hem de müşteriler için önemli bir problem haline gelmiştir. Bu problemin çözümü için ürün yorumlarının otomatik analizini gerçekleştiren bir çalışma sunulmuştur. Sunulan bu çalışmada ürün yorumlarının otomatik sınıflandırılması sağlanarak sektöre fayda sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında iki veri seti hazırlanmış ve bu veri setlerinden biri manuel biri de otomatik olarak etiketlenmiştir. Manuel olarak etiketlenen veri farklı zamanlarda iki defa etiketlenmiş ve etiketleme sonuçları karşılaştırılarak doğruluk oranı artırılmaya çalışılmıştır. Otomatik olarak etiketlenen veri seti ise bu çalışma kapsamında oluşturulan LSTM modeli ile elde edilmiştir. Bu LSTM modeli manuel olarak etiketlenen veri seti ile eğitilmiştir. Manuel ve otomatik etiketlenen veri setleriyle dört farklı derin öğrenme algoritması kullanılarak sonuçlar alınıp karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde manuel ve otomatik etiketlenmiş veri setlerinin birbirine yakın sonuçlar sağladığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında otomatik etiketlenmiş veri setiyle dört farklı geleneksel makine öğrenme ve dört farklı derin öğrenme algoritmalarının sınıflandırma performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda derin öğrenme algoritmaları geleneksel makine öğrenme algoritmalarına karşı daha başarılı olmuşlardır.

## **Kaynakça**

- [1] Rumelli, M., Akkuş, D., Kart, Ö. ve Isik, Z. (2019) Türkçe Metinlerde Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Duygu Analizi. 2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU). 31 Ekim – 02 Kasım, İzmir, Türkiye. (IEEE, 1-5)
- [2] Topçu, A. E. ve Erkaya, A. E. (2020). Recent Research and Assessments for Computer Engineering. Ed.: Ahmet Ercan Topçu, Livre de Lyon, 1-14 s.
- [3] Tuzcu, S. (2020), Çevrimiçi Kullanıcı Yorumlarının Duygu Analizi ile Sınıflandırılması. ESTUDAM Bilişim Dergisi. 1(2), 1-5.
- [4] Mengutayci, Ü. ve Temurtas, H. (2021). Yapay Sinir Ağları ile Türkçe Otel Yorumlarının Sınıflandırılması. International Black Sea Coastline Countries Scientific Research Symposium – VI. 683-687
- [5] Mayda, I. ve Korkmaz, M. (2018). Sentiment Analysis with Turkish Adjective Dictionary. 2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU). 4-6 Ekim, Adana, Türkiye. (IEEE, 1-6)
- [6] Gezici, G. ve Yanıkoğlu, B. (2018). Sentiment Analysis in Turkish. Theory and Applications of Natural Language Processing. 255–271.
- [7] Pervan, N. ve Keleş, H. Y. (2017). Sentiment Analysis Using A Random Forest Classifier On Turkish Web Comments. Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A2-A3 Physical Sciences and Engineering. 59(2), 69-79.
- [8] Onan, A. (2021). Ensemble of Classifiers and Term Weighting Schemes for Sentiment Analysis in Turkish. Scientific Research Communications. 1(1), 1-12.
- [9] Demircan, M., Seller, A., Abut, F. ve Akay, M. F. (2021). Developing Turkish sentiment analysis models using machine learning and e-commerce data. International Journal of Cognitive Computing in Engineering. 2, 202-207.
- [10] Toçoğlu, M. A., Öztürkmenoğlu, O. ve Alpoçak, A. (2019). Emotion Analysis from Turkish Tweets using Deep Neural Networks. IEEE Access. 7, 183061-183069.
- [11] Çataltaş, M., Doğramacı, S., Yumuşak, S. ve Öztoprak, K. (2020). Extraction of Product Defects and Opinions from Customer Reviews by Using Text Clustering and Sentiment Analysis. 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Atlanta, ABD, 4529-4534.
- [12] Maalouf, M. (2011). Logistic regression in data analysis: an overview. International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies. 3(3), 281-299.
- [13] Mahesh, B. (2020). Machine Learning Algorithms - A Review. International Journal of Science and Research (IJSR). 9(1), 381-386.
- [14] Drăguț, L., Belgiu, M. (2016). Random Forest in remote sensing: A review of applications and future directions. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 114, 24-31.
- [15] LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature. 521, 436–444.
- [16] Yang, S., Yu X., Zhou, Y. (2020). LSTM and GRU Neural Network Performance Comparison Study: Taking Yelp Review Dataset as an Example. 2020 International Workshop on Electronic Communication and Artificial Intelligence (IWECAI). Shanghai, China, 98-101.
- [17] Bozuyula, M., Özçift, A. (2022). Developing a fake news identification model with advanced deep language transformers for Turkish COVID-19 misinformation data. 30, 908-926.





# Theoretical Insights into the Effects of Positional Isomerism: DFT/TD-DFT Approach

Sümeyya Serin<sup>1\*</sup>, Öznur Doğan Ulu<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Scientific and Technological Research Center, İnönü University, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4637-1734), [sumeyya.alatas@inonu.edu.tr](mailto:sumeyya.alatas@inonu.edu.tr)

<sup>2</sup> Scientific and Technological Research Center, İnönü University, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5561-227X), [oznur.dogan@inonu.edu.tr](mailto:oznur.dogan@inonu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 5 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 15 Ekim 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10259308)

**ATIF/REFERENCE:** Serin, S., Doğan Ulu, Ö. (2023). Theoretical Insights into the Effects of Positional Isomerism: DFT/TD-DFT Approach. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 122-135.

## Abstract

The phenomenon of positional isomerism arises when functional groups or substituents occupy different positions in the same carbon skeleton. Although the molecular formula remains the same, the arrangement of atoms in the molecule is different. This leads to differences in physical and chemical properties. In this context, the present study aims to investigate the properties of the three isomers (**1-3**) obtained from the interaction of 3-formylacetylacetone with ortho-, meta- and para-aminobenzoic acids using computational chemistry methods. Density Functional Theory (DFT) studies were carried out to explore the effects of positional isomerism on thermodynamic parameters, physicochemical quantities, reactivity indices, electrostatic surface properties and intramolecular interactions. All calculations in the study were carried out using the GAUSSIAN 16 software package by applying the B3LYP functional and the 6-311++G (d, p) basis set. Also, the TD-DFT method was used in order to examine ground and excited state characteristics. No significant changes were observed in the computed  $\Delta E$  (total energy),  $\Delta H$  (enthalpy), and  $\Delta G$  (Gibbs free energy) values of all three isomers. On the other hand, as a result of the frontier molecular orbital analysis, it was determined that the quantum chemical reactivity descriptors differed.

**Keywords:** Positional Isomerism, Aminobenzoic Acid, DFT, Reactivity.

# Konumsal İzomerizmin Etkilerine İlişkin Teorik Görüşler: DFT/TD-DFT Yaklaşımı

## Öz

Fonksiyonel grupların veya sübstitüentlerin aynı karbon iskeletinde farklı konumları işgal etmesiyle konumsal izomerizm olgusu ortaya çıkmaktadır. Moleküler formül aynı kaldığı halde molekül içindeki atomların dizilişi farklıdır. Bu durum fiziksel ve kimyasal özelliklerde farklılıklara yol açar. Bu bağlamda, mevcut çalışma, 3-formilasetilasetonun orto-, meta- ve para-aminobenzoik asitlerle etkileşiminden elde edilen üç izomerin (**1-3**) özelliklerinin hesaplamalı kimya yöntemleri kullanılarak incelenmesini amaçlamaktadır. Konumsal izomerinin, termodinamik parametreler, fizikokimyasal büyüklükler, reaktivite indisleri, elektrostatik yüzey özellikleri ve molekül içi etkileşimler üzerindeki etkilerini araştırmak için Yoğunluk Fonksiyonel Teori (YFT) çalışması yapıldı. Çalışmada yer alan tüm hesaplamalar, B3LYP fonksiyoneli ve 6-311++G (d, p) temel seti uygulanarak GAUSSIAN 16 yazılım paketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, temel ve uyarılmış durum özelliklerini incelemek için TD-DFT yöntemi kullanılmıştır. Her üç izomerin hesaplanan  $\Delta E$  (toplam enerji),  $\Delta H$  (entalpi) ve  $\Delta G$  (Gibbs serbest enerjisi) değerlerinde kaydadeğer değişimler gözlenmemiştir. Buna karşın, sınır moleküler orbital analizi sonucunda kuantum kimyasal reaktivite tanımlayıcılarının farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Konumsal İzomerizm, Aminobenzoik Asit, YFT, Reaktivite.

\* Corresponding Author: [sumeyya.alatas@inonu.edu.tr](mailto:sumeyya.alatas@inonu.edu.tr)

## 1. Introduction

Organic reactions involving the condensation of different molecules to synthesize new compounds are very important in candidate drug design. The azomethine group, also known as Schiff bases, containing (C=N) as a functional group, are condensation products formed as a result of the reaction of primary amines and aldehydes or ketones. These compounds have applications in many fields such as organometallic chemistry, industrial, photography and textile (Gogoi et al., 2022). In addition, due to their biological properties, they are used very effectively in medicinal chemistry such as antioxidant (Singh et al., 2022), antibacterial (Ardakani et al., 2018), antifungal, and anticancer (Tadele et al., 2019). This compound, which was not known until the 19th century, was recognized in coordination chemistry, and attracted a lot of attention not only with its biological activities, but also with the complexes it formed with metals. Many studies have been conducted on both the synthesis and characterization of Schiff base metal complexes and their applications in different fields. For example, Yin et al. (2012) reported the DNA binding properties of Schiff base-based organotin complexes. Similarly, the synthesis of the Cu complex of Schiff base was reported by Niu et al. (2011), while the prepared ONO Schiff base ligand and the biological activities of Cu(II), Zn(II) and Cd(II) complexes were studied by Gogoi et al. (2022). In a study reported by Halz et al., new Schiff bases were synthesized from the reaction of different isomers of aminobenzoic acid with 3-formylacetylacetone and their structures were also determined by X-ray single crystal diffraction (Halz et al., 2022). There are strong intramolecular N-H...O hydrogen bridge in the structures of the synthesized compounds. Due to the position of the carboxyl, the synthesized molecules exhibit the positional isomerism. The relative position of the substituents in a molecule is one of the critical factors affecting its physicochemical properties. The critical role of positional isomerism has been documented in various fields of the chemical sciences (Eliel and Wilen, 1994). In a study by Chen et al., they have reported two new potentially energetic melt-castable molecules that are a pair of positional isomers. They demonstrated both experimentally and theoretically the effects of the positional isomerism on properties such as density, melting point, decomposition temperature, and stability. The aforementioned study drew attention to the importance of developing positional isomerization for superior performance in the design of new energetic materials (Chen et al., 2023). In another study, the effects of positional isomerism on the mesophase behavior of two newly synthesized liquid crystal series were investigated. (Vyas et al., 2022). It has been demonstrated that the different twist angles as a result of the change in the positions of the substituents have affected the transition enthalpy values of the series. In addition, Aadhityan et al., investigated the spin-dependent electron transport properties of 4,6-dibromobenzene-1,3-dithiol, 2,4-dibromobenzene-1,3-dithiol, and 2,5-dibromobenzene-1,3-dithiol isomers. They also supported the findings with theoretical studies (Aadhityan et al., 2021). Related work highlights the importance of an atom's position in the spin-dependent electronic transport properties of dibromobenzene isomers to find efficient molecular junction. Thus, studies on positional isomers reveal the possibility of improving a molecular property of interest by selecting an appropriate isomer. Based on these considerations, it is becoming more significant to explore the effects of positional isomerism on molecules. The use of quantum chemical computation methods in this laborious exploration process provides a great advantage to researchers as it will ensure the opportunity to evaluate it numerically and visually. Therefore, in this study, it is aimed to deal with the specified *ortho* (**1**), *meta* (**2**), and *para* (**3**) isomers from a quantum chemical point of view. In this context, the effects of positional isomerism in terms of physicochemical properties, reactivity behaviors, intramolecular interactions, and electrostatic surface properties are discussed by performing DFT-based calculations. It is expected that the findings obtained from this study will be efficient in guiding further research on the relevant isomers. Besides, the research results are important in terms of providing new insights into the effects of the positional isomerism.

## 2. Computational Methodology

All optimization and frequency computations presented in the study were performed by using GAUSSIAN 16 software package (Frisch et al., 2016) on applying the B3LYP method and the 6-311++G (d, p) basis set to realize the optimized structures of **1-3** (Becke, 1993; Lee et al., 1988; Becke, 1993). Gauss View 6 software (Dennington et al., 2016) was utilized for illustrations of the optimized structures, FMO, and MEP diagrams. To gain the density of states (DOS) plots, Gauss-Sum 3.0 (O'Boyle et al., 2008) program was operated. The solvent phase calculations (acetonitrile and water) were carried out by using solvation model based on density (SMD) (Marenich et al., 2009).

The thermochemical quantities,  $E_{vib.}$ ,  $S_{vib.}$ , and  $C_{vib.}$  of the studied isomers were computed through specific equations ((1)-(5)) defined below in accordance with the principles of quantum mechanics (McQuarrie, 1973; Hill, 1962; Herzberg, 1964; Serdaroğlu, 2010). The following explanations refer to the terms presented in the eqns:  $\Theta_{v,j} = hv_j / k \rightarrow$  vibrational temperature,  $k \rightarrow$  Boltzmann constant,  $h \rightarrow$  Planck constant, and  $\nu_j \rightarrow j^{th}$  fundamental frequency.

$$Q = Q_{trans.} \times Q_{rot.} \times Q_{vib.} Q_{elec.} \quad (1)$$

$$Q_{vib.} = \prod_{j=1}^{3N-6} \frac{e^{-\Theta_{v,j}/2T}}{\left(1 - e^{-\frac{\Theta_{v,j}}{T}}\right)} \quad (2)$$

$$E_{vib.} = Nk \sum_{j=1}^{3N-6} \left( \frac{\Theta_{v,j}}{2} + \frac{\Theta_{v,j} e^{-\Theta_{v,j}/T}}{(1 - e^{-\Theta_{v,j}/T})} \right) \quad (3)$$

$$S_{vib.} = Nk \sum_{j=1}^{3N-6} \left[ \frac{\Theta_{v,j}/T}{(e^{\Theta_{v,j}/T} - 1)} - \ln(1 - e^{-\Theta_{v,j}/T}) \right] \quad (4)$$

$$Cv_{vib.} = Nk \sum_{j=1}^{3N-6} \left[ \left( \frac{\Theta_{v,j}}{T} \right)^2 \frac{e^{\Theta_{v,j}/T}}{(e^{\Theta_{v,j}/T} - 1)^2} \right] \quad (5)$$

According to Koopmans theorem (Koopmans, 1934), ionization energy (I) and electron affinity (A) values can be defined by Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) and Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) energies. Moreover, some DFT-based reactivity parameters such as chemical hardness ( $\eta$ ), chemical potential ( $\mu$ ), electronegativity ( $\chi$ ), electrophilicity index ( $\omega$ ), maximum charge transfer capability index ( $\Delta N_{max}$ ), back-donation energy ( $\Delta E_{back-donation}$ ), electron-accepting power ( $\omega^+$ ), and electron-donating power ( $\omega^-$ ) as well as frontier molecular orbital energies ( $E_{HOMO}$  and  $E_{LUMO}$ ) are presented in the equations below ((6)-(13)) (Parr and Pearson, 1983; Pearson, 1986; Parr, 1999; Perdew and Levy, 1983; Perdew et al., 1982; Gazquez et al., 2007; Gomez et al., 2006).

$$\mu = -\frac{I + A}{2} \quad (6)$$

$$\eta = \frac{I - A}{2} \quad (7)$$

$$\chi = \frac{I + A}{2} \quad (8)$$

$$\omega = \frac{\mu^2}{2\eta} \quad (9)$$

$$\omega^+ \approx (I + 3A)^2 / (16(I - A)) \quad (10)$$

$$\omega^- \approx (3I + A)^2 / (16(I - A)) \quad (11)$$

$$\Delta N_{max} = \frac{I + A}{2(I - A)} \quad (12)$$

$$\Delta E_{back-donation} = -\frac{\eta}{4} \quad (13)$$

NBO analyses of the **1-3** were carried out utilizing the second-order Fock matrix (Weinhold et al., 2016; Reed et al., 1988) at DFT/B3LYP/6-311++G (d, p) methodology. In this way, donor-acceptor orbital interactions and stabilization energy estimations were defined. Energy values were computed via formula specified in equation (14). The symbols in the formula can be expressed as follows:  $E^{(2)}$ : Stabilization energy,  $q_i$ : Donor orbital occupancy,  $F_{ij}$ : Off diagonal Fock matrix,  $\epsilon_i$  and  $\epsilon_j$ : diagonal element, donor and acceptor orbital energies.

$$E^{(2)} = \Delta E_{ij} = q_i \left[ \frac{(F_{ij})^2}{(\epsilon_j - \epsilon_i)} \right] \quad (14)$$

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Molecular Structure

Three positional isomers **1**, **2**, and **3** were optimized by DFT/B3LYP/6-311++G (d, p) methodology. The three-dimensional structures of the optimized, numbered and labeled compounds are illustrated in Figure 1. It has been reported that the derivative **1** crystallizes in the monoclinic system (C2/c space group), the derivative **2** in the orthorhombic system (Pnma space group), and the derivative **3** in the monoclinic system (P2<sub>1</sub>/c space group) (Halz et al., 2022). Also, Table 1 represents some selected geometrical parameters of studied compounds with corresponding experimental values) (Halz et al., 2022).

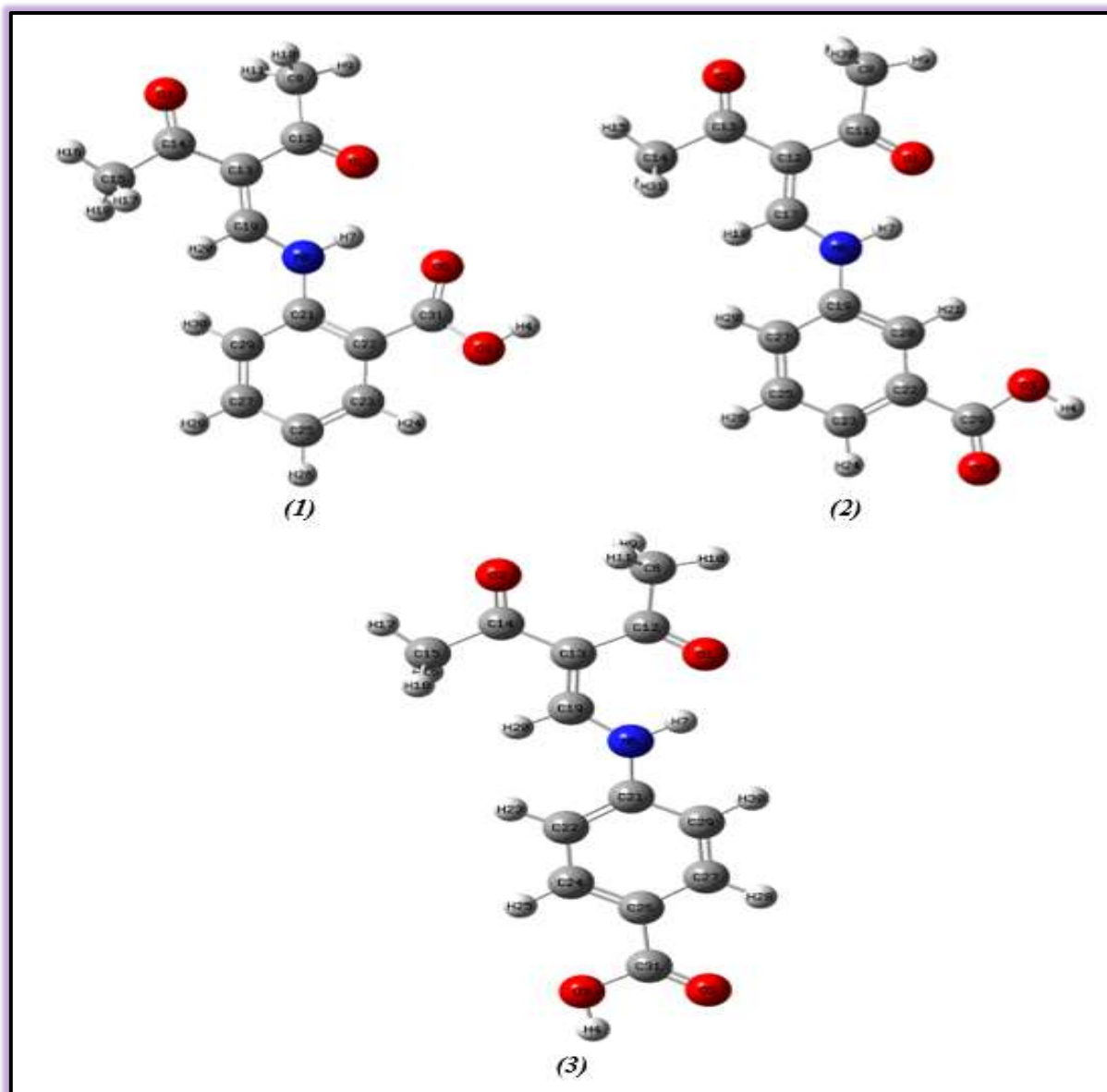


Figure 1. The optimized structures of studied molecules in the gas phase

According to Table 1, O1-C12 bond distances were computed as 1.231 Å for compound **1** and 1.239 Å for compound **3**. On the other hand, in compound **2**, the O1-C11 bond length corresponding to the same bond was calculated as 1.239 Å. Similarly, O2-C14 bond distances were defined as 1.222 Å for both compounds **1** and **3**. It was estimated as 1.222 Å for O2-C13, which is its equivalent in compound **2**. The angles of C19-N6-C21, N6-C19-C13, and O1-C12-C8 of compound **1** were estimated as 124.4°, 127.5°, and 118.9°, respectively, while these angles were computed as 127.8°, 125.6°, and 118.3° for compound **3**. The equivalents of the mentioned angles in compound **2** were calculated as 127.8°, 125.7°, and 118.3°, respectively. Considering the dihedral angles, similar results were obtained for compounds **1** and **3**. The N6-C21-C22-C23 dihedral angle of **1** was calculated as 178.8°, while in **3**, the angle of N6-C21-C22-C23 corresponding to the same angle was predicted as 179.9°. In addition, obtaining the dihedral angles of compound **2** as 0.0° and 180.0° supports the exact planarity. As demonstrated in Table 1, the values computed for compounds **1-3** are in good agreement with the X-ray data.

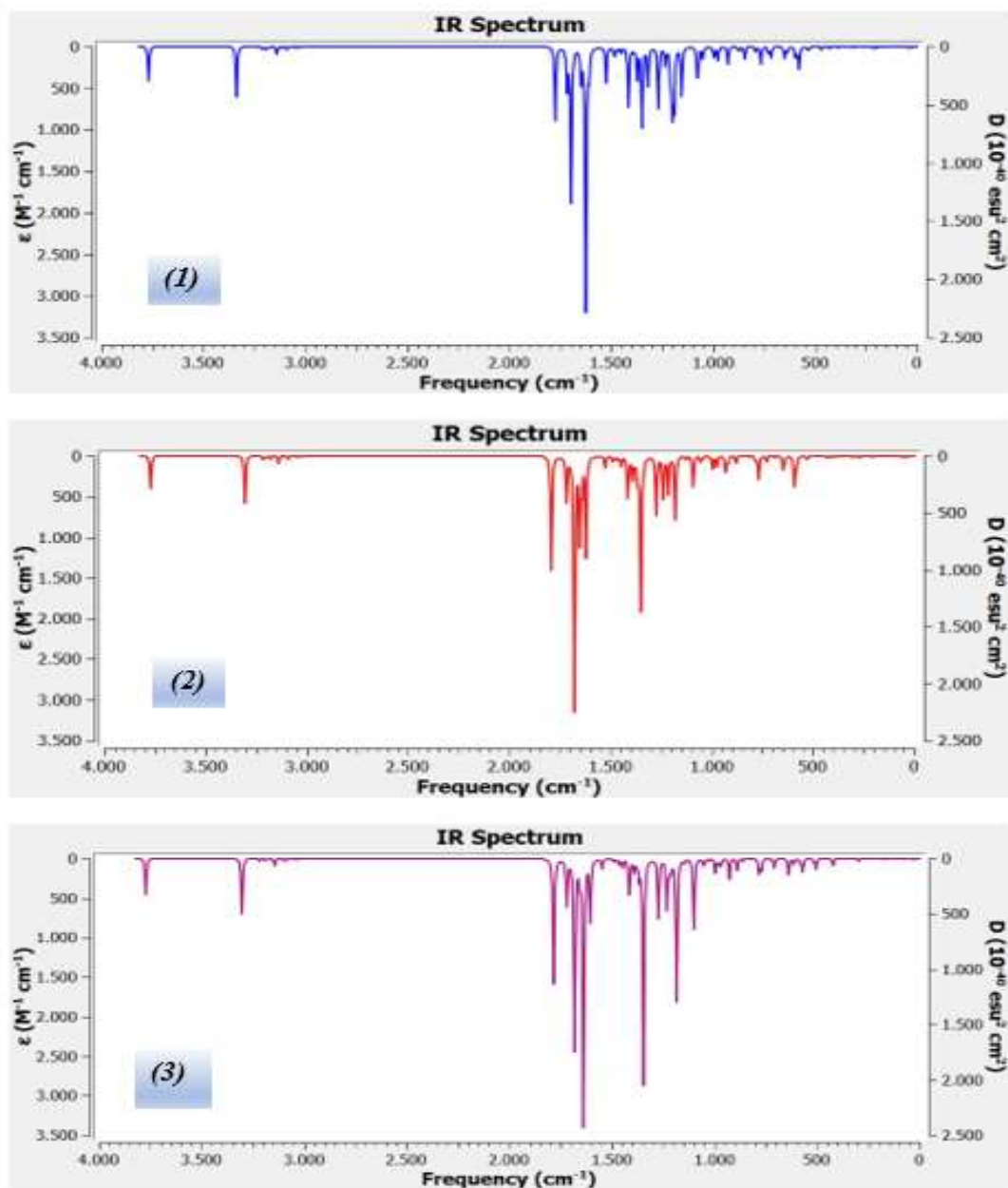
Table 1. Some selected structural parameters of 1-3

Bond Length (Å)	Exp.	1	Bond Length (Å)	Exp.	2	Bond Length (Å)	Exp.	3
O1-C12	1.238	1.231	O1-C11	1.243	1.239	O1-C12	1.240	1.239
O2-C14	1.239	1.222	O2-C13	1.226	1.222	O2-C14	1.223	1.222
O3-C31	1.331	1.357	O3-C29	1.330	1.356	C12-C13	1.475	1.482
O5-C31	1.211	1.212	O5-C29	1.210	1.208	C13-C14	1.470	1.482
N6-C19	1.334	1.346	N6-C17	1.337	1.339	N6-C19	1.333	1.341
N6-C21	1.410	1.401	N6-C19	1.422	1.406	N6-C21	1.402	1.401
C31-C22	1.493	1.482	C12-C13	1.482	1.480	C21-C22	1.392	1.402
C21-C22	1.414	1.419	C12-C17	1.394	1.388	C21-C29	1.398	1.404
Bond Angle (°)	Exp.	1	Bond Angle (°)	Exp.	2	Bond Angle (°)	Exp.	3
C19-N6-C21	124.7	124.4	C17-N6-C19	125.9	127.8	C19-N6-C21	126.3	127.8
N6-C19-C13	127.3	127.5	N6-C17-C12	126.5	125.7	N6-C19-C13	125.2	125.6
O1-C12-C8	118.3	118.9	O1-C11-C8	118.1	118.3	O1-C12-C8	117.8	118.3
O1-C12-C13	118.9	119.3	O1-C11-C12	119.3	119.8	O1-C12-C13	119.9	119.8
C13-C12-C8	122.8	121.7	C8-C11-C12	122.6	121.8	C13-C12-C8	122.1	121.9
C12-C13-C14	123.3	122.6	C11-C12-C13	122.5	122.6	C12-C13-C14	122.0	122.5
O2-C14-C15	118.3	118.1	C17-C12-C11	120.2	119.3	O2-C14-C15	118.4	118.3
O2-C14-C13	121.6	122.2	C17-C12-C13	117.4	118.1	O2-C14-C13	122.1	122.3
O5-C31-C22	124.8	125.5	O2-C13-C12	122.2	122.4	C29-C21-N6	118.5	117.3
C12-C13-C19	120.0	119.5	O2-C13-C14	118.8	118.2	C12-C13-C19	119.5	119.4
Dihedral Angle (°)	Exp.	1	Dihedral Angle (°)	Exp.	2	Dihedral Angle (°)	Exp.	3
N6-C21-C22-C23	178.5	178.8	O1-C11-C12-C17	0.0	0.0	O1-C12-C13-C14	-175.8	-179.5
N6-C21-C22-C31	-2.3	-1.8	C8-C11-C12-C13	0.0	0.0	N6-C21-C22-C24	179.6	179.9
N6-C21-C29-C27	-178.6	-178.5	C25-C23-C22-C19	180.0	180.0	C8-C12-C13-C19	-177.2	-179.6
C19-C13-C14-O2	176.1	178.3	C23-C22-C29-O3	180.0	180.0	C21-N6-C19-C13	178.5	179.6
C21-C22-C23-C25	0.1	0.4	C22-C20-C19-C27	0.0	0.0	C22-C21-C29-C27	0.7	0.2
C29-C21-C22-C31	178.0	177.7	C22-C23-C25-C27	0.0	0.0	C22-C24-C26-C27	0.2	0.1
C31-C22-C23-C25	-179.1	-179.1	C23-C22-C29-O5	0.0	0.0	C31-C26-C27-C29	178.5	179.9

### 3.2. Vibrational analysis

FT-IR spectroscopy is one of the most widespread methods used to identify the functional groups and bond structures of a particular molecule. However, a scaling factor is used to balance for the difference between experimental and theoretical vibrational frequencies. In this study, the computed frequencies were scaled with a factor of 0.983 for the 4000-1700  $\text{cm}^{-1}$  region and 0.958 for the 1700-0  $\text{cm}^{-1}$  region (Sundaraganesan et al., 2005). The FT-IR spectra of the studied isomers (**1-3**) obtained by quantum mechanical calculations are shown in Figure 2. In addition, for **1-3**, some selected computed approximate frequencies (unscaled and scaled) along with their IR intensities and probable assignments were exhibited in Table 2. The theoretical results are accompanied by experimental data (Halz et al., 2022).



Figure 2. Theoretical FT-IR spectra of **1-3**

As demonstrated in Table 2, O-H and N-H stretching vibration modes were computed as  $3768\text{ cm}^{-1}$  and  $3336\text{ cm}^{-1}$  for compound **1**,  $3769\text{ cm}^{-1}$  and  $3303\text{ cm}^{-1}$  for compound **2**, and  $3771\text{ cm}^{-1}$  and  $3303\text{ cm}^{-1}$  for compound **3**, respectively. C-H stretching vibrations of the aromatic ring were predicted in the range of  $3218\text{--}3173\text{ cm}^{-1}$  for **1**,  $3214\text{--}3178\text{ cm}^{-1}$  for **2**, and  $3217\text{--}3175\text{ cm}^{-1}$  for **3**. In addition, strong bands observed around  $1650\text{--}1790\text{ cm}^{-1}$  in the theoretical spectra confirm the stretching motion of the carbonyl group. On the other hand, experimental results indicate that C=O stretching vibrations are observed in the region of  $1647/1696\text{ cm}^{-1}$  for **1**,  $1656/1704\text{ cm}^{-1}$  for **2**, and  $1674\text{ cm}^{-1}$  for **3**. When the whole table is examined, it is evident that the experimental and theoretical results are compatible.

Table 2. Experimental and computed approximate vibrational frequencies (in  $\text{cm}^{-1}$ ) of compounds 1-3

Assignment	1				2				3			
	Exp. <sup>a</sup>	I <sub>IR</sub>	Unscaled	Scaled	Exp. <sup>a</sup>	I <sub>IR</sub>	Unscaled	Scaled	Exp. <sup>a</sup>	I <sub>IR</sub>	Unscaled	Scaled
vOH		120	3768	3704		118	3769	3705		133	3771	3707
vNH		176	3336	3279		169	3303	3247		203	3303	3247
vCH (Ar.)		2	3218	3163		11	3214	3159		10	3217	3162
vCH (Ar.)		9	3211	3156		2	3210	3155		1	3210	3155
vCH (Ar.)		1	3198	3144		3	3200	3146		1	3203	3149
vCH (Ar.)		10	3191	3137		3	3194	3140		7	3189	3135
vCH (Ar.)		5	3173	3119		11	3178	3124		3	3175	3121
v <sub>as</sub> CH <sub>3</sub>		11	3140	3087		10	3140	3087		10	3142	3089
v <sub>as</sub> CH <sub>3</sub>		16	3139	3086		15	3139	3086		16	3141	3088
v <sub>as</sub> CH <sub>3</sub>		5	3111	3058		3	3110	3057		3	3111	3058
v <sub>as</sub> CH <sub>3</sub>		11	3089	3036		11	3089	3036		10	3089	3036
vCH <sub>3</sub>		5	3048	2996		4	3048	2996		4	3049	2997
vCH <sub>3</sub>		6	3030	2978		5	3029	2978		5	3030	2978
vC=O		258	1773	1743		406	1790	1760		458	1783	1753
vC=O		138	1715	1686	1704	157	1716	1687		166	1718	1689
vC=O + vCN	1696	538	1696	1625		902	1678	1608		697	1681	1610
vCC + vC=O	1647	109	1647	1578	1656	289	1652	1583	1674	60	1656	1586
vCC + ipb HNC		917	1624	1556	1632	353	1620	1552	1628	974	1638	1569
vCC + ipb HCC	1552	124	1524	1460	1557	42	1525	1461	1586	35	1547	1482
δ CH <sub>3</sub>	1492	11	1489	1426	1497	11	1489	1426		12	1489	1426
δ CH <sub>3</sub>		2	1475	1413		5	1475	1413		1	1477	1415
δ CH <sub>3</sub> + ipb HCC		10	1465	1403		10	1464	1403		10	1465	1403
δ CH <sub>3</sub>		20	1449	1388		34	1447	1386	1433	30	1447	1386
CH <sub>3</sub> umb. + ipb HCC	1405	208	1414	1355	1405	144	1415	1356		116	1414	1355
CH <sub>3</sub> umb. + ipb HCC		12	1391	1333		77	1389	1331	1390	42	1391	1333
ipb HCC + ipb HCN	1325	278	1348	1291	1347	492	1348	1291	1314	815	1345	1289
ipb HCC + ipb HCN	1144	169	1153	1105		227	1180	1130	1175	522	1184	1134
ipb HCC + vC-O	1077	68	1078	1033		11	1126	1079		259	1099	1053
ipb HCC + vC-O		72	1074	1029		110	1091	1045		22	1053	1009
opb HCC	978	3	978	937		2	996	954		1	994	952
opb HNC		47	976	935	979	38	975	934		15	980	939
ω CH <sub>3</sub>	935	62	927	888		51	931	892	929	74	926	887
opb HCC	789	17	792	759	802	83	768	736	793	54	783	750

<sup>a</sup> Ref. (Halz et al., 2022) Abbreviations; I<sub>IR</sub>: IR intensity, Ar: Aromatic; v: symmetric stretching, v<sub>as</sub>: asymmetric stretching, ω: wagging, δ: scissoring, , umb: umbrella ipb: in plane bending, opb: out of plane bending

### 3.3. Thermodynamic parameters

Thermodynamic and physicochemical parameters of the studied isomers have been computed at 298.15 K. The results obtained from the calculations for vacuum, acetonitrile, and water phases at B3LYP/6-311++G (d, p) theory level are listed in Table 3. It was observed that the solvent phase dipole moment values for all three isomers were higher than those in the vacuum environment. The highest dipole moment values were calculated as 6.182 D (vacuum), 9.291 D (acetonitrile), and 10.638 D (water) for the ortho isomer (1). On the other side, the highest polarizability values were computed as 207.050 a. u. (vacuum), 288.190 a. u. (acetonitrile), and 302.480 a. u. (water) for the para isomer (3). Considering the thermodynamic state functions, it was observed that the positional isomerism did not cause significant changes in ΔE (total energy), ΔH (enthalpy), and ΔG (Gibbs free energy) values, as indicated in Table 3.

Table 3. The calculated thermodynamic and physicochemical quantities of studied isomers

1	Vacuum	Acetonitrile	Water
DM (Debye)	6.182	9.291	10.638
ΔE (a.u.)	-858.873	-858.903	-858.900
ΔH (a.u.)	-858.872	-858.902	-858.899
ΔG (a.u.)	-858.937	-858.967	-858.964
ΔE <sub>thermal</sub> (kcal/mol)	161.581	161.229	161.071
ΔE <sub>vib.</sub> (kcal/mol)	159.803	159.451	159.294
C <sub>v</sub> (cal/molK)	63.900	63.925	64.025

C <sub>v</sub> vib. (cal/molK)	57.939	57.963	58.064
S (cal/molK)	136.823	137.499	137.093
S <sub>vib</sub> . (cal/molK)	60.838	61.513	61.116
α (a.u.)	197.387	277.522	290.357
<b>2</b>	<b>Vacuum</b>	<b>Acetonitrile</b>	<b>Water</b>
DM (Debye)	2.977	4.687	5.268
ΔE (a.u.)	-858.878	-858.907	-858.904
ΔH (a.u.)	-858.877	-858.906	-858.903
ΔG (a.u.)	-858.940	-858.972	-858.968
ΔE <sub>thermal</sub> (kcal/mol)	160.908	161.339	161.295
ΔE <sub>vib</sub> . (kcal/mol)	159.131	159.562	159.517
C <sub>v</sub> (cal/molK)	62.082	63.982	63.871
C <sub>v</sub> vib. (cal/molK)	56.120	58.021	57.909
S (cal/molK)	131.468	139.343	137.996
S <sub>vib</sub> . (cal/molK)	55.177	63.051	61.705
α (a.u.)	199.448	276.755	289.285
<b>3</b>	<b>Vacuum</b>	<b>Acetonitrile</b>	<b>Water</b>
DM (Debye)	3.458	5.161	6.076
ΔE (a.u.)	-858.879	-858.909	-858.906
ΔH (a.u.)	-858.878	-858.908	-858.905
ΔG (a.u.)	-858.945	-858.975	-858.970
ΔE <sub>thermal</sub> (kcal/mol)	161.536	161.264	161.218
ΔE <sub>vib</sub> . (kcal/mol)	159.758	159.487	159.441
C <sub>v</sub> (cal/molK)	64.051	64.154	64.067
C <sub>v</sub> vib. (cal/molK)	58.089	58.192	58.106
S (cal/molK)	141.054	139.307	137.147
S <sub>vib</sub> . (cal/molK)	64.752	63.005	60.846
α (a.u.)	207.050	288.190	302.480

### 3.4. FMO and MEP analyses

HOMO functions as an electron donor as it is the outermost molecular orbital occupied with electrons while LUMO functions as electron acceptor as it is the first empty molecular orbital that is not occupied with electrons. Therefore, HOMO represents the ionization potential ( $I$ ,  $I = -E_{\text{HOMO}}$ ) of the molecule while LUMO represents the electron affinity ( $A$ ,  $A = -E_{\text{LUMO}}$ ) of the molecule. The energy range ( $\Delta E = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}$ ) is chemical stability indicator of a particular molecule. Besides the energy gap, some quantum chemical reactivity identifiers (QCRI) such as chemical hardness, electronegativity, and back donation energy were calculated for vacuum, acetonitrile, and water environments. The results obtained are presented in Table 4. According to Table 4, among the o-, m- and p- isomers the highest  $\Delta E$  value was calculated for the ortho isomer as 4.179 eV (water phase). Hence, the order of stability of the isomers is predicted as **1** > **2** > **3**. In addition, it was determined that the  $\Delta E$  increased during the transitions from the gas phase to the solvent phase. As expected, a similar trend was also observed for chemical hardness values. Considering electrophilicity indexes ( $\omega$ ), the highest values were obtained in the vacuum phase and the order is as follows: **3** (5.273 eV) > **2** (4.991 eV) > **1** (4.720 eV). Similarly, the electronegativity values ( $\chi$ ) of studied compounds were estimated as **3** (4.608 eV) > **2** (4.501 eV) > **1** (4.399 eV) for vacuum environment. FMO theory analysis results revealed the effects of positional isomerism on reactivity indices.

Table 4. The computed QCRI values (in eV)

<b>1</b>	E <sub>HOMO</sub>	E <sub>LUMO</sub>	ΔE	η	μ	χ	ω	ω <sup>+</sup>	ω <sup>-</sup>	ΔN <sub>max</sub>	ΔE <sub>back</sub>
Vacuum	-6.449	-2.349	4.101	2.050	-4.399	4.399	4.720	2.776	7.176	2.146	-0.513
Acetonitrile	-6.246	-2.079	4.167	2.084	-4.163	4.163	4.158	2.337	6.499	1.998	-0.521
Water	-6.382	-2.203	4.179	2.090	-4.293	4.293	4.409	2.524	6.816	2.054	-0.522
<b>2</b>	E <sub>HOMO</sub>	E <sub>LUMO</sub>	ΔE	η	μ	χ	ω	ω <sup>+</sup>	ω <sup>-</sup>	ΔN <sub>max</sub>	ΔE <sub>back</sub>
Vacuum	-6.530	-2.472	4.059	2.029	-4.501	4.501	4.991	2.995	7.495	2.218	-0.507
Acetonitrile	-6.189	-2.079	4.110	2.055	-4.134	4.134	4.158	2.348	6.481	2.012	-0.514
Water	-6.319	-2.181	4.137	2.069	-4.250	4.250	4.366	2.500	6.749	2.055	-0.517
<b>3</b>	E <sub>HOMO</sub>	E <sub>LUMO</sub>	ΔE	η	μ	χ	ω	ω <sup>+</sup>	ω <sup>-</sup>	ΔN <sub>max</sub>	ΔE <sub>back</sub>
Vacuum	-6.621	-2.595	4.027	2.013	-4.608	4.608	5.273	3.221	7.829	2.289	-0.503
Acetonitrile	-6.252	-2.214	4.038	2.019	-4.233	4.233	4.437	2.573	6.806	2.097	-0.505
Water	-6.379	-2.335	4.044	2.022	-4.357	4.357	4.694	2.769	7.125	2.155	-0.505

The FMO distributions of studied isomers with DOS diagrams were depicted in Figure 3. The green color indicates negative lobes, and the red color indicates positive lobes. The HOMO and LUMO amplitudes of **1-3** are quite similar. HOMOs are dispersed throughout the molecules except for the methyl and carbonyl groups. Similarly, LUMOs are distributed throughout the molecules except the methyl groups.

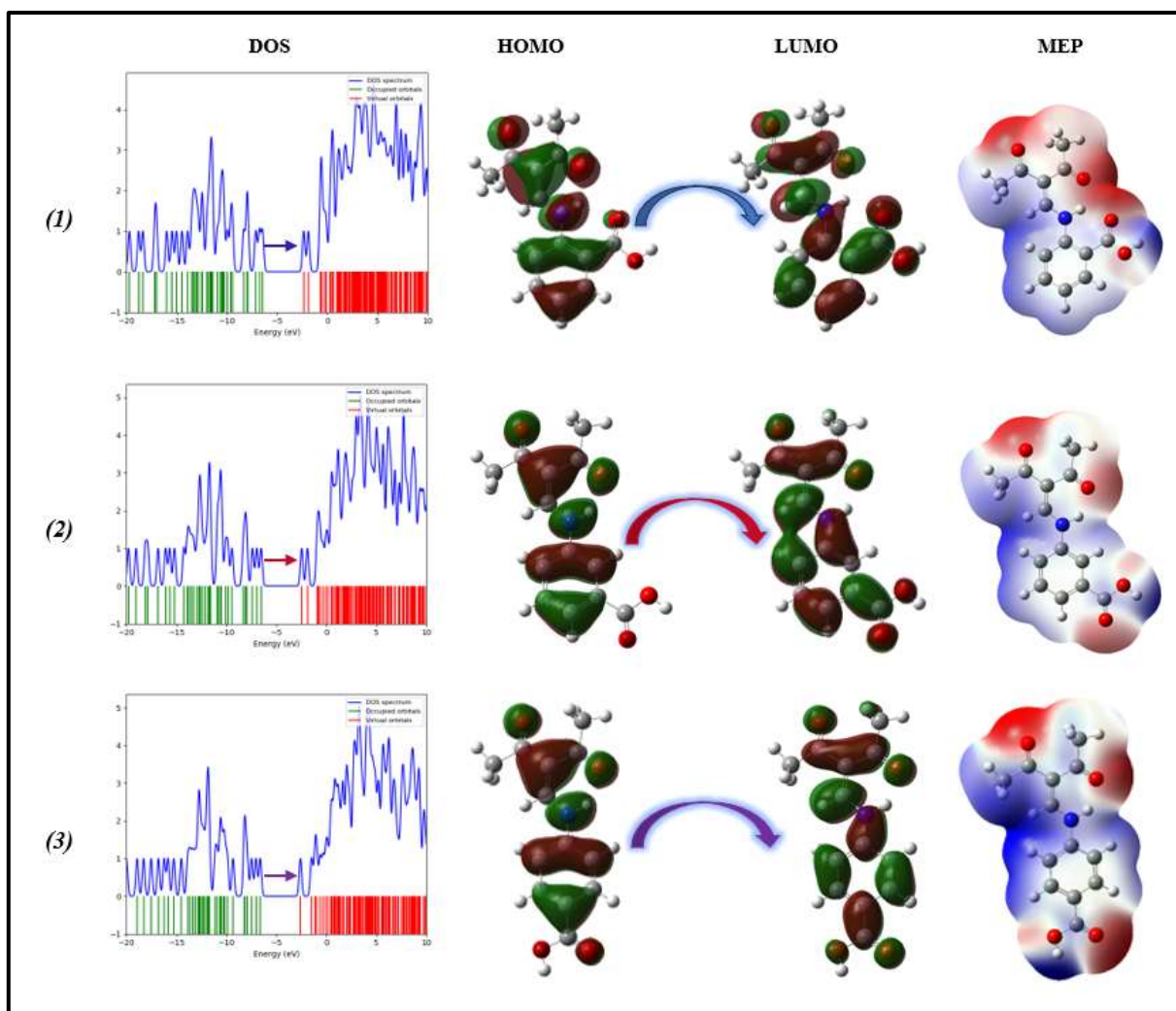


Figure 3. DOS, FMO (isoval:0.02) and MEP (isoval:0.0004) diagrams of **1-3**

Molecular electrostatic potential (MEP) mapping technique is used to better understand molecular interactions and provides important information about electron charge distribution or total charge density. In this part of the study, MEP maps have been visualized in order to clearly see the differences caused by positional isomerism in the electrostatic surface properties of compounds **1-3**. MEP diagrams are exhibited in Figure 3. The molecular electrostatic potentials of studied compounds are in the range of  $-0.0066$  a. u. (deepest red) -  $+0.0066$  a. u. (deepest blue) in vacuum. Generally, on the color scale of MEP maps, red designates high electron density, blue color indicates low electron density. That is, for each compound, a greater amount of electron density is observed around the oxygen atoms. Also, a lower amount of electron density was observed at the hydrogen surroundings and predominantly blue shading is present.

### 3.5. UV-Vis analysis

UV-Vis calculations of mentioned ortho (**1**), meta (**2**) and para (**3**) derivatives were carried out using TD-DFT/B3LYP/6-311++G (d, p) methodology in acetonitrile and water medium (casida et al., 1988; Scalmani et al., 2006; Van Caillie and Amos, 1999; Adamo and Jacquemin, 2013). Figure 4 presents computed absorption spectra of **1-3** in acetonitrile. In addition, theoretical UV-Vis analysis outputs (computed absorption wavelengths ( $\lambda_{\text{calc}}$ ), excitation energies ( $\Delta E$ ), oscillator strengths ( $f$ ) and major contributions) are given in Table 5. As demonstrated in Table 5, it was defined that the calculated peaks for compounds **1-3** at about 342 nm were caused by

H→L (70% MO contribution) electronic transitions. Besides, the second states S<sub>2</sub> correspond to H-1→L and H-1→L+1 electronic transitions.

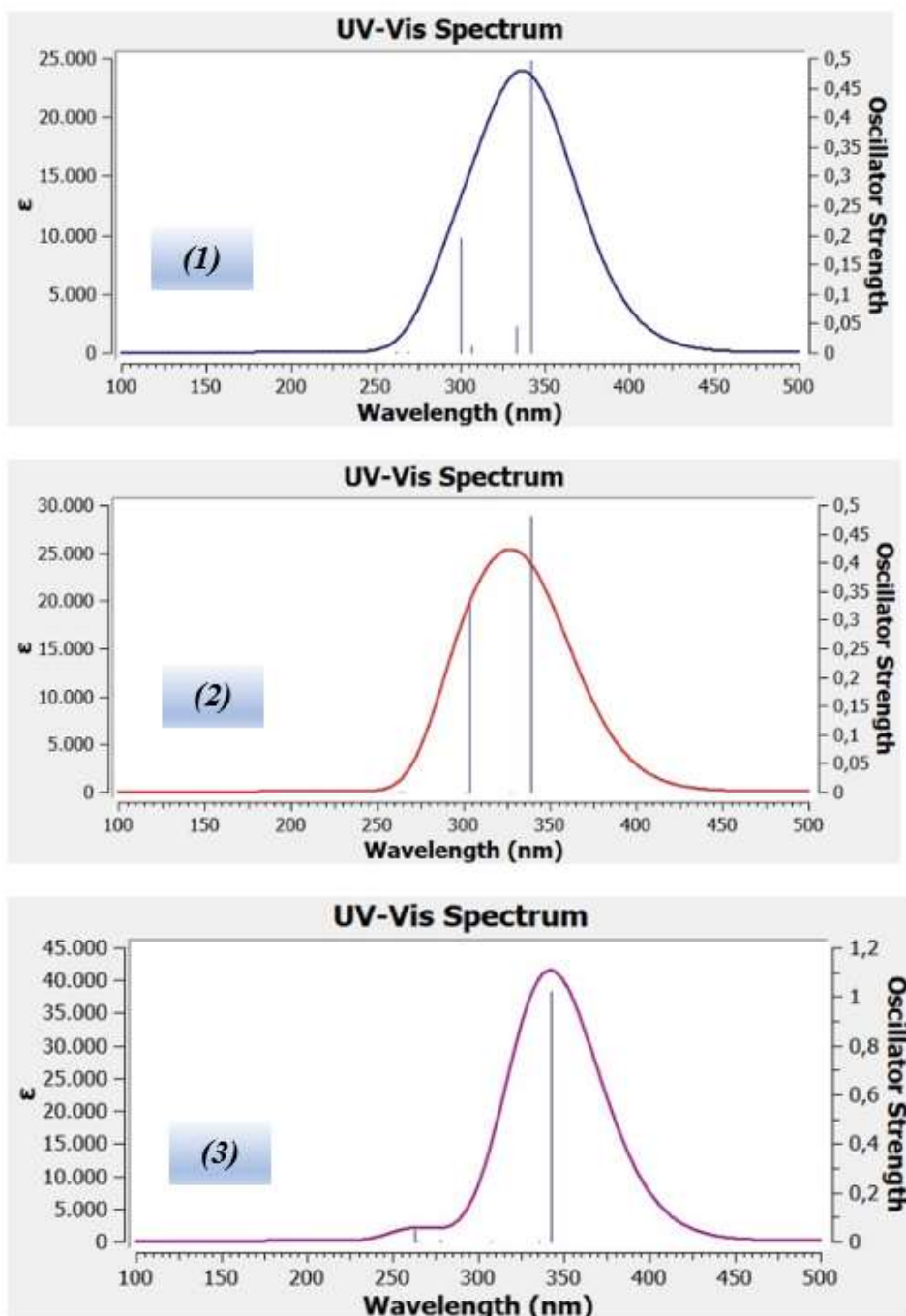


Figure 4. Computed UV-vis spectra of 1-3 in acetonitrile



Table 5. UV-Vis analysis results of 1-3

<b>1</b>	<b>Medium</b>	<b>ES</b>	$\lambda_{\text{calc.}}$ (nm)	$\Delta E$ (eV)	$f$	<b>Major Contributions (H=HOMO, L=LUMO)</b>
	Water	S <sub>1</sub>	341.74	3.6280	0.4992	H→L (67%)
		S <sub>2</sub>	332.40	3.7300	0.0389	H-1→L (62%), H-1→L+1 (21%)
		S <sub>3</sub>	306.05	4.0511	0.0129	H-2→L (53%), H→L+1 (28%), H-1→L+2 (27%)
		S <sub>4</sub>	299.93	4.1338	0.1915	H→L+1 (61%), H-2→L (24%)
		S <sub>5</sub>	268.13	4.6240	0.0024	H-1→L+1 (60%), H-1→L (23%)
		S <sub>6</sub>	262.08	4.7309	0.0016	H-1→L+2 (59%), H-2→L (31%)
	Acetonitrile	S <sub>1</sub>	342.00	3.6253	0.4958	H→L (67%)
		S <sub>2</sub>	333.03	3.7229	0.0440	H-1→L (62%), H-1→L+1(21%)
		S <sub>3</sub>	306.57	4.0443	0.0111	H-1→L (54%), H-1→L+2 (27%), H→L+1(27%)
		S <sub>4</sub>	300.20	4.1300	0.1952	H→L+1(62%), H-2→L (23%)
		S <sub>5</sub>	268.71	4.6141	0.0024	H-1→L+1 (61%), H-1→L (24%)
		S <sub>6</sub>	262.19	4.7288	0.0016	H-1→L+2 (59%), H-1→L (31%)
<b>2</b>	<b>Medium</b>	<b>ES</b>	$\lambda_{\text{calc.}}$ (nm)	$\Delta E$ (eV)	$f$	<b>Major Contributions (H=HOMO, L=LUMO)</b>
	Water	S <sub>1</sub>	338.92	3.6582	0.4773	H→L (67%)
		S <sub>2</sub>	326.42	3.7983	0.0000	H-1→L (62%), H-1→L+1 (25%)
		S <sub>3</sub>	303.50	4.0851	0.3366	H→L+1 (68%)
		S <sub>4</sub>	301.12	4.1175	0.0006	H-2→L (56%), H-2→L+1 (27%), H-1→L+2 (29%)
		S <sub>5</sub>	264.85	4.6813	0.0001	H-1→L+2 (52%), H-1→L+1 (30%), H-1→L (28%)
		S <sub>6</sub>	262.38	4.7254	0.0001	H-1→L+1(55%), H-1→L+2 (33%), H-2→L (25%)
	Acetonitrile	S <sub>1</sub>	339.17	3.6555	0.4809	H→L (70%)
		S <sub>2</sub>	327.04	3.7911	0.0000	H-1→L (62%), H-1→L+1 (25%)
		S <sub>3</sub>	303.55	4.0844	0.3354	H→L+1 (68%)
		S <sub>4</sub>	301.58	4.1112	0.0006	H-2→L (56%), H-2→L+1(27%), H-1→L+2 (29%)
		S <sub>5</sub>	265.06	4.6777	0.0001	H-1→L+2 (50%), H-1→L+1(31%), H-1→L (29%)
		S <sub>6</sub>	262.62	4.7211	0.0001	H-1→L+1(54%), H-1→L+2 (35%), H-2→L (25%)
<b>3</b>	<b>Medium</b>	<b>ES</b>	$\lambda_{\text{calc.}}$ (nm)	$\Delta E$ (eV)	$f$	<b>Major Contributions (H=HOMO, L=LUMO)</b>
	Water	S <sub>1</sub>	342.04	3.6248	1.0196	H→L (70%)
		S <sub>2</sub>	335.27	3.6980	0.0007	H-1→L (66%)
		S <sub>3</sub>	306.98	4.0388	0.0006	H-2→L (61%), H-1→L+2 (23%)
		S <sub>4</sub>	278.25	4.4559	0.0046	H-3→L (54%), H→L+1 (30%), H→L+3 (25%)
		S <sub>5</sub>	264.63	4.6852	0.0003	H-1→L+2 (56%), H-1→L+3 (30%), H-2→L (23%)
		S <sub>6</sub>	263.03	4.7138	0.0450	H→L+1 (58%), H-3→L (26%), H-4→L (23%)
	Acetonitrile	S <sub>1</sub>	342.29	3.6222	1.0214	H→L (70%)
		S <sub>2</sub>	335.84	3.6918	0.0008	H-1→L (66%)
		S <sub>3</sub>	307.42	4.0330	0.0006	H-2→L (62%), H-1→L+2 (22%)
		S <sub>4</sub>	278.24	4.4560	0.0046	H-3→L (54%), H→L+1 (30%), H→L+3 (25%)
		S <sub>5</sub>	264.75	4.6831	0.0003	H-1→L+2 (56%), H-1→L+3 (31%), H-2→L (23%)
		S <sub>6</sub>	263.01	4.7140	0.0452	H→L+1 (58%), H-3→L (26%), H-4→L (22%)

### 3.6. NBO study

In this section, NBO studies were carried out to evaluate the charge transfer and electronic transitions between donor and acceptor fragments of studied compounds. To this end, possible intramolecular interactions were examined for compounds **1-3** and the stabilization energy values corresponding to these interactions were computed and listed in Table 6. Stabilization energies greater than 10 kcal/mol are taken into account. LP represents lone pairs. See the atomic numbering in Figure 1 for selected NBO pairs. As indicated in Table 6, similar interactions were determined for all three isomers. These interactions are  $\pi \rightarrow \pi^*$ ,  $LP \rightarrow \pi^*$ , and  $LP \rightarrow \sigma^*$  interactions with stabilization energies varying between 12.64-62.54 kcal/mol. The highest stabilization energy values were calculated for LP (2) O3 ( $ED_i = 1.83139e$ )  $\rightarrow \pi^*$  (O5-C31) ( $ED_j = 0.25883e$ ) (**1**; 42.51 kcal/mol), LP (1) N6 ( $ED_i = 1.56865e$ )  $\rightarrow \pi^*$  (C12-C17) ( $ED_j = 0.31229e$ ) (**2**; 57.23 kcal/mol), and LP (1) N6 ( $ED_i = 1.56546e$ )  $\rightarrow \pi^*$  (C13-C19) ( $ED_j = 0.30155e$ ) (**3**; 62.54 kcal/mol) interactions. Considering C-C ( $\pi \rightarrow \pi^*$ ) resonance energies, the stabilization energies of  $\pi$  (C23-C25)  $\rightarrow \pi^*$  (C27-C29) and  $\pi$  (C27-C29)  $\rightarrow \pi^*$  (C23-C25) interactions for the ortho isomer (**1**) were determined as 23.32 kcal/mol and 16.12 kcal/mol, respectively. For meta (**2**) and para (**3**) isomers, these values vary between 17.65-21.04 kcal/mol and 16.65-24.26 kcal/mol.

Table 6. Main findings of the NBO study for 1-3

	Donor(i)	ED <sub>i</sub> /e	Acceptor(j)	ED <sub>j</sub> /e	E <sup>(2)</sup> kcal/mol	E(j)-E(i)/a.u	F(i,j)/a.u
1	π N6-C21	1.75262	π* C13-C19	0.28834	34.67	0.35	0.099
	π C13-C19	1.75475	π* O1-C12	0.18498	21.90	0.30	0.073
			π* O2-C14	0.18728	24.86	0.30	0.078
	π C23-C25	1.65976	π* C27-C29	0.31690	23.32	0.28	0.072
	π C27-C29	1.68171	π* N6-C21	0.78265	34.95	0.21	0.088
			π* C23-C25	0.29923	16.12	0.29	0.062
	LP (2) O1	1.89074	σ* C8-C12	0.04432	17.90	0.68	0.100
			σ* C12-C13	0.05997	15.06	0.73	0.094
	LP (2) O2	1.89200	σ* C13-C14	0.06026	17.89	0.71	0.102
			σ* C14-C15	0.05594	19.89	0.63	0.101
LP (2) O3	1.83139	π* O5-C31	0.25883	42.51	0.34	0.111	
LP (2) O5	1.84831	σ* C22-C31	0.06070	15.87	0.70	0.096	
2	π C12-C17	1.73987	π* O1-C11	0.21245	25.07	0.29	0.077
			π* O2-C13	0.18943	25.19	0.30	0.079
	π C19-C27	1.63222	π* C20-C22	0.36696	19.66	0.29	0.068
			π* C23-C25	0.30787	17.65	0.33	0.069
	π C20-C22	1.66113	π* O5-C29	0.23883	20.06	0.27	0.068
			π* C19-C27	0.39684	20.20	0.28	0.068
	π C23-C25	1.64077	π* C23-C25	0.30787	18.53	0.32	0.069
			π* C19-C27	0.39684	21.04	0.27	0.068
	π* C20-C22		0.36696	21.01	0.28	0.068	
			σ* N6-H7	0.05484	13.97	0.68	0.088
	LP (2) O1	1.88676	σ* C8-C11	0.04144	16.78	0.70	0.099
			σ* C11-C12	0.05657	12.64	0.75	0.088
	LP (2) O2	1.89135	σ* C12-C13	0.06090	18.08	0.71	0.102
			σ* C13-C14	0.05573	19.86	0.63	0.101
	LP (2) O3	1.82847	π* O5-C29	0.23883	43.05	0.35	0.111
	LP (2) O5	1.84957	σ* O3-C29	0.09659	33.42	0.61	0.129
			σ* C22-C29	0.06642	17.41	0.69	0.100
LP (1) N6	1.56865	π* C12-C17	0.31229	57.23	0.28	0.116	
		π* C19-C27	0.39684	37.79	0.28	0.093	
3	π C13-C19	1.74374	π* O1-C12	0.20861	24.59	0.29	0.076
			π* O2-C14	0.18540	24.67	0.30	0.079
	π C21-C22	1.62823	π* C24-C26	0.38223	24.26	0.29	0.075
			π* C27-C29	0.28382	15.02	0.30	0.061
	π C24-C26	1.63396	π* O5-C31	0.25123	22.33	0.27	0.071
			π* C21-C22	0.40301	17.71	0.27	0.062
	π* C27-C29		0.28382	22.00	0.28	0.072	
			π C27-C29	1.67678	π* C21-C22	0.40301	23.27
	π* C24-C26		0.38223	16.65	0.28	0.062	
			LP (2) O1	1.88662	σ* N6-H7	0.05541	13.97
	σ* C8-C12		0.04130	16.77	0.70	0.099	
			σ* C12-C13	0.05694	12.73	0.75	0.088
	LP (2) O2	1.89134	σ* C13-C14	0.06132	18.21	0.71	0.102
			σ* C14-C15	0.05543	19.23	0.64	0.100
	LP (2) O3	1.83308	π* O5-C31	0.25123	41.98	0.35	0.110
	LP (1) N6	1.56546	π* C13-C19	0.30155	62.54	0.25	0.116
π* C21-C22			0.40301	44.53	0.26	0.096	

## 4. Conclusion

Herein, the main findings as a result of quantum chemical calculations on the mentioned isomers are discussed. The DFT study results show that computed geometrical parameters and vibrational frequencies are in good agreement with experimental values. Examination of the dihedral angles reveals that molecules **1** and **3** exhibit nearly planar structures, while molecule **2** exhibits an exact planar structure. It was determined that the values of thermodynamic state functions for all three isomers were slightly different from each other. Therefore, it can be concluded that the effect of positional isomerism on  $\Delta E$  (total energy),  $\Delta H$  (enthalpy) and  $\Delta G$  (Gibbs free energy) values is quite small. On the other side, it was observed that the calculated DFT-based reactivity descriptors had similar tendencies for the gas and solvent phases. According to the results, among the *o*-, *m*- and *p*- isomers the highest  $\Delta E$  value was calculated for the ortho isomer as 4.179 eV (water phase). Hence, the order of stability of the isomers is predicted as **1** > **2** > **3**. From the TD-DFT results, it can be concluded that the peaks are predominantly due to  $\pi \rightarrow \pi^*$  and  $n \rightarrow \pi^*$  transitions. In addition, the three-dimensional visualization of MEP surfaces allowed the identification of reactive and possible interaction zones of the isomers of interest. Considering the successful applications of the studied compound class in medicinal chemistry, the drug-like properties of the relevant derivatives can be investigated in further studies. With the support of the data presented in this study, structure-activity relationships can be determined and utilized in drug design studies.

## 5. Acknowledgement

The numerical calculations reported in this paper were fully performed at TUBITAK ULAKBIM, High Performance and Grid Computing Center (TRUBA resources).

## References

- Aadhityan A., Preferencial Kala C., John Thiruvadigal D (2021). Theoretical investigation of spin-dependent electron transport properties of dibromobenzene based positional isomers, *Computational Materials Science*, 187, 110109.
- Adamo C., Jacquemin D. (2013). The calculations of excited-state properties with time-dependent density functional theory, *Chemical Society Reviews*, 42, 845–856. <https://doi.org/10.1039/C2CS35394F>
- Ardakani A. A., Kargar H., Feizi N., Tahir M. N. (2018). Synthesis, characterization, crystal structures and antibacterial activities of some Schiff bases with N2O2 donor sets, *Journal of Iranian Chemical Society*, 15, 1495–1504. <http://dx.doi.org/10.1007/s13738-018-1347-6>
- Becke A.D. (1993). A new mixing of Hartree–Fock and local density-functional theories, *Journal of Chemical Physics*, 98, 1372–1377. <https://doi.org/10.1063/1.464304>.
- Becke A.D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange, *Journal of Chemical Physics*, 98, 5648–5652. <https://doi.org/10.1063/1.464913>
- Casida M.E., Jamorski C., Casida K.C., Salahub D.R. (1998). Molecular excitation energies to high-lying bound states from time-dependent density-functional response theory: characterization and correction of the time-dependent local density approximation ionization threshold, *Journal of Chemical Physics*, 108, 4439–4449. <https://doi.org/10.1063/1.475855>.
- Chen F., Wang Y., Song S., Wang K., Zhang, Q. (2023). Impact of Positional Isomerism on Melting Point and Stability in New Energetic Melt-Castable Materials, *Journal of Physical Chemistry*. 127, 8887–8893 <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c01554>
- Dennington R., Keith T.A., Millam J.M. (2016). GaussView, Version 6 Semichem Inc., Shawnee Mission, KS.
- Eliel E. L., Wilen, S. H. *Stereochemistry of Organic Compounds*, 1st ed.; Wiley-Interscience: New York, 1994.
- Frisch M. J., Trucks G.W., Schlegel H. B., Scuseria G.E. et.al. (2016). Gaussian 16 Rev. B.01, Wallingford, CT.
- Gazquez, J. L., Cedillo, A., Vela, A. (2007). Electrodonating and electroaccepting powers, *Journal of Physical Chemistry A*, 111(10), 1966–1970. <https://doi.org/10.1021/jp065459f>
- Gogoi H. P., Singh A., Barman P., Choudhury D. (2022). A new potential ONO Schiff-Base ligand and its Cu(II), Zn(II) and Cd(II) complexes: Synthesis, structural elucidation, theoretical and bioactivity studies, *Inorganic Chemistry Communications*, 146, 110153. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.110153>
- Gomez, B., Likhanova, N. V., Domínguez-Aguilar, M. A., Martínez-Palou, R., Vela, A., Gazquez, J. L. (2006). Quantum chemical study of the inhibitive properties of 2-pyridyl-azoles, *Journal of Physical Chemistry B*, 110(18), 8928–8934. <https://doi.org/10.1021/jp057143y>
- Halz J. H., Hentsch A., Wagner C., Merzweiler K. (2022). Synthesis and crystal structures of three Schiff bases derived from 3-formylacetylacetone and *o*-, *m*- and *p*-aminobenzoic acid *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications*, E78, 54–59. <https://doi.org/10.1107/S2056989021013050>
- Herzberg G. (1964). *Molecular Spectra and Molecular Structure III*, 1. Edition, D. Van Nostrand Company, Inc., New York.
- Hill T. L. (1962). *An Introduction to Statistical Thermodynamics*, Addison- Wesley Publishing, Inc, London.
- Koopmans T. (1934). Über die Zuordnung von Wellenfunktionen und Eigenwerten zu den einzelnen Elektronen eines Atoms, *Physica*, 1–6, 104–113. [https://doi.org/10.1016/S0031-8914\(34\)90011-2](https://doi.org/10.1016/S0031-8914(34)90011-2)
- Lee C., Yang W., Parr R.G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Physical Review B*, 37, 785–789. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.37.785>

- Marenich A.V., Cramer C.J., Truhlar D.G. (2009). Universal solvation model based on solute electron density and on a continuum model of the solvent defined by the bulk dielectric constant and atomic surface tensions, *Journal of Physical Chemistry B.*, 113 (18), 6378-6396. <https://doi.org/10.1021/jp810292n>
- McQuarrie D.A. (1973). *Statistical Thermodynamics*, Harper & Row Publishers, New York.
- Niu M., Cao Z., Xue R., Wang S., Dou J., Wang D. (2011). Structural diversity of Cu(II) compounds of Schiff bases derived from 2-hydroxy-1-naphthaldehyde and a series of aminobenzoic acid, *Journal of Molecular Structure*, 996, 101–109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molstruc.2011.04.025>
- O'Boyle N. M., Tenderholt A. L. Langer K. M. (2008). Cclib: a library for package-independent computational chemistry algorithms, *Journal of computational chemistry*, 29 (5), 839-45. <https://doi.org/10.1002/jcc.20823>
- Parr R.G. (1999). Electrophilicity index, *Journal of American Chemical Society*, 121,1922-1924. <https://doi.org/10.1021/ja983494x>
- Parr R.G., Pearson R.G. (1983). Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity, *Journal of American Chemical Society*, 105, 7512-7516. <https://doi.org/10.1021/ja00364a005>
- Pearson R.G. (1986). Absolute electronegativity and hardness correlated with molecular orbital theory, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 83, 8440-8441. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.22.8440>
- Perdew J.P., Levy M. (1983). Physical content of the exact kohn-sham orbital energies: band gaps and derivative discontinuities, *Physical Review Letters*, 51, 1884-1887. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.51.1884>
- Perdew J.P., Parr R.G., Levy M., Balduz J.L. (1982). Density-functional theory for fractional particle number: derivative discontinuities of the energy, *Physical Review Letters*, 49, 1691. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.49.1691>
- Reed A.E., Curtiss L.A., Weinhold F. (1988). Intermolecular interactions from a natural bond orbital, donor-acceptor viewpoint, *Chemical Reviews*. 88(6), 899-926, <https://doi.org/10.1021/cr00088a005>.
- Scalmani G., Frisch M.J., Mennucci B., Tomasi J., Cammi R., Barone V. (2006). Geometries and properties of excited states in the gas phase and in solution: theory and application of a time-dependent density functional theory polarizable continuum model, *Journal of Chemical Physics*, 124, 1–15. <https://doi.org/10.1063/1.2173258>.
- Serdaroğlu G., Durmaz S. (2010). DFT and statistical mechanics entropy calculations of diatomic and polyatomic molecules, *Indian Journal of Chemistry*, 49, 861–866.
- Singh A., Gogoi H. P., Barman P. (2022). Comparative study of palladium (II) complexes bearing tridentate ONS and NNS Schiff base ligands: Synthesis, characterization, DFT calculation, DNA binding, bioactivities, catalytic activity, and molecular docking, *Polyhedron*, 115895. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2022.115895>
- Sundaraganesan N., Ilakiamani S., Salem H., Wojciechowski P.M., Michalska D. (2005). FT-Raman and FT-IR spectra, vibrational assignments and density functional studies of 5-bromo-2-nitropyridine, *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 61, 2995–3001. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2004.11.016>.
- Tadele K.T., Tsega T.W. (2019). Schiff Bases and their metal complexes as potential anticancer candidates: a review of recent works, *Anti-Cancer Agents Med. Chem. (Formerly Curr. Med. Chem. Agents)*, 19 1786–1795. <http://dx.doi.org/10.2174/1871520619666190227171716>
- Van Caillie C., Amos R.D. (1999). Geometric derivatives of excitation energies using SCF and DFT, *Chemical Physics Letters*, 308, 249–255. [https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(99\)00646-6](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(99)00646-6).
- Vyas A., Koshti R.R., Patel H.N., Sangani C.B., Prajapati A.K., Yao Y., Duan, Y.T. (2022). Mesomorphic behaviour, optical and quantum computational study: Effect of electron density on newly synthesized liquid crystalline positional isomers, *Journal of Molecular Liquids*, 349, 118142. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118142>
- Weinhold F., Landis C.R., Glendening E.D. (2016). What is NBO analysis and how is it useful, *International Reviews in Physical Chemistry*, 35, 399-440. <https://doi.org/10.1080/0144235X.2016.1192262>.
- Yin H., Liu H., Hong M. (2012). Synthesis, structural characterization and DNA-binding properties of organotin(IV) complexes based on Schiff base ligands derived from 2-hydroxy-1-naphthaldehyde and 3- or 4-aminobenzoic acid, *Journal of Organometallic Chemistry*, 713, 11-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jorganchem.2012.03.027>



# Nikotinic Asit ve Türevleri İle Krom (III) İyonunun Oluşturduğu Komplekslerin Kararlılıkları

Mehmet Suat Aksoy<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID ID:<http://orcid.org/0000-0002-5428-7516>) msaksoy@uludag.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10259886)

**ATIF/REFERENCE:** Aksoy, M. S. (2023). Nikotinic Asit ve Türevleri İle Krom (III) İyonunun Oluşturduğu Komplekslerin Kararlılıkları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 136-143.

## Öz

Cr(III)'ün NA, 2-ANA ve 4-ANA ile farklı mol oranlarında (1:1 ve 1:2) potansiyometrik titrasyonları yapıldı. Gerçekleşen kompleks iyon ve bileşiklerinin stokiyometrilere ve kararlılık sabitleri bulundu. Cr(III)'ün NA, 2-ANA ve 4-ANA ile  $CrL^{2+}$ ,  $CrL_2^+$ ,  $CrL(OH)^+$  ve  $CrL_2(OH)$  türü kompleks iyon ve bileşiklerini oluşturduğu saptandı.

**Anahtar Kelimeler:** Nikotinic asit, Krom(III), Potansiyometri, Kararlılık sabiti.

## Stability of Complexes Formed by Chromium(III) Ion with Nicotinic Acid and Derivatives

### Abstract

Potentiometric titrations of Cr(III) with NA, 2-ANA and 4-ANA in different molar ratios (1:1 and 1:2) were performed. The stoichiometry and stability constants of the complex ions and compounds were found. It was determined that chromium(III) forms complex ions and compounds such as  $CrL^{2+}$ ,  $CrL_2^+$ ,  $CrL(OH)^+$  and  $CrL_2(OH)$ .

**Keywords:** Nicotinic acid, Chromium(III), Potentiometry, Formation constant.

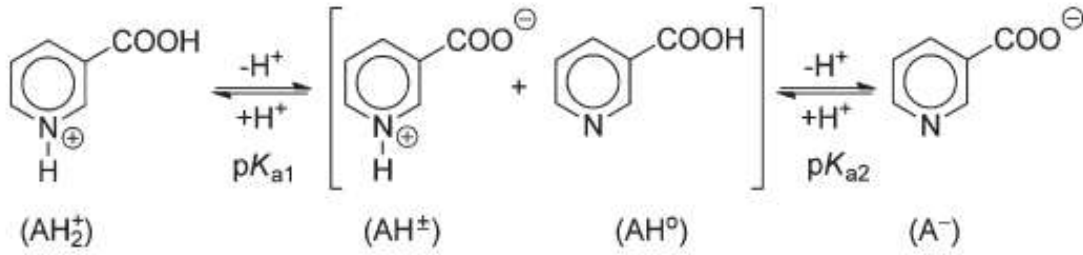
\* Sorumlu Yazar: msaksoy@uludag.edu.tr



## 1. Giriş

Krom(III) komplekslerinin sulu çözeltide en belirgin özelliği, kinetik olarak inert olmasıdır. Kinetik olarak inert özelliği nedeniyle krom(III), sulu çözeltide uzun bir süre kalabilmektedir (Cotton et al., 1999). Piridin-3-karboksilik asit (nikotinic asit), B<sub>3</sub> vitamini veya Niyasin suda çözünebilir bir vitamindir (Shimai, 2002; Fedorov et al., 2009; Chohan et al., 2002). Nikotinic asit ve türevleri farmasötik olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Nikotinic asit hücrelerde enerji metabolizması, nükleik asit, protein, yağ ve karbonhidrat metabolizması için gerekli olan zorunlu vitaminlerden biridir (Cox et al., 2000; Makhmudov, 2020; Mansoori, 2018). Niyasinin fazlasının yokluğunda; kişilerde sinir sisteminde işlev eksikliği, mide-bağırsak sistemi düzensizliği, diyare, bilinç kaybı, bunalım, egzama ve farklı doku bozuklukları ile ayırıcı özelliği ortaya konulmuş bir hastalık meydana gelir (Ali et al., 1988; Lin et al., 2012; Sinthupoom et al., 2015).

Nikotinic asit ve türevleri, koordinasyon kimyası alanında yerbulan önemli bileşiklerdendir (Marszalek et al., 2014; Bartzatt et al., 2007; Aman et al., 2018). Bu bileşikler ilaç maddesi olarak yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır. Morsy ve arkadaşları bu bileşiklerin gümüş(I) komplekslerini çalışmışlar ve antibiyotiklere dirençli patojenlerin antibakteriyel etkinliklerini araştırmışlardır (Morsy et al., 2007). Nikotinic asitin sulu çözeltideki iyon veya bileşikler şekil 1’de verilmektedir (Gonçalves et al., 2011).



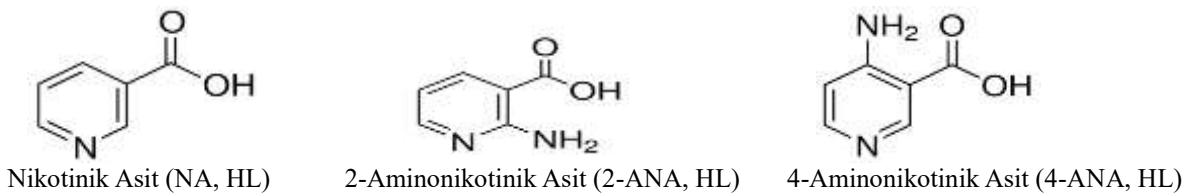
**Şekil 1.** Nikotinic asitin sulu çözeltide denge tepkimeleri (**Figure 1.** Equilibrium reactions of nicotinic acid in aqueous solution)

Literatürde sayıları çok az da olsa, krom(III) iyonunun fenolik ligantlarla oluşturduğu kompleks bileşikler ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Potansiyometrik ve spektroskopik yöntemlerle kararlılık sabitlerinin araştırıldığı bu çalışmalarda sadece 5-sülfosalisilik asit, pirokatekol viyole ve 1-(2-hidroksi-5-sülfofenolazo)-2-naftol gibi üç fenolik ligant ile oluşan krom(III) kompleks bileşikler incelenmiştir (Robert et al., 1989).

Önceki çalışmalarımızda krom(III)’ün salisilik asit ve türevleri, hidroksinaftoik asit ve türevleri, katekol ve türevleri, hidroksamik asit ve türevleri ve sülfonik asit ve türevlerinin oluşturduğu kompleks bileşiklerin kararlılık sabitleri literatüre kazandırıldı (Aksoy ve Özer, 2003; Aksoy ve Özer, 2004; Aksoy ve ark., 2005; Aksoy, 2008; Aksoy, 2009; Aksoy, 2010).

Bu çalışmanın amacı, sulu çözeltide hiç çalışılmamış krom(III)’ün nikotinic asit (NA, HL), 2-aminonikotinic asit (2-ANA, HL) ve 4-aminonikotinic asit (4-ANA, HL) ile 1:1 ve 1:2 mol oranında oluşturacağı komplekslerle ilgili denge tepkimelerini incelemek ve oluşan kompleks iyon ve bileşiklerin kararlılık sabitlerini potansiyometrik yöntem ile incelemek ve stokiyometrisini spektroskopik ve potansiyometrik yöntem ile araştırmaktır.

Spektroskopik ve potansiyometrik yöntemler ile yapıları aydınlatılmaya çalışılan kompleks bileşiklerde, ligantların ve metalin biyoyararlı olması nedeniyle, özellikle farmakoloji alanında uygulama alanı bulacaktır. Çalışılan ligantlar aşağıda verilmektedir.



## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Kimyasallar

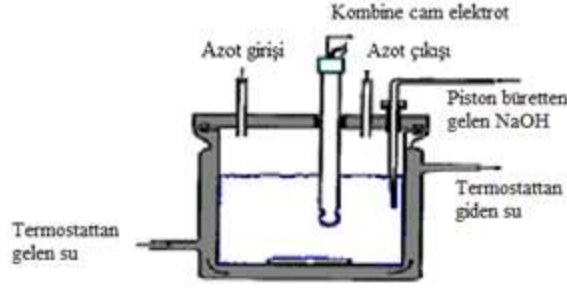
Nikotinic asit % 98 saflıkta (Aldrich), 2-aminonikotinic asit % 97 saflıkta (Merck) ve 4-aminonikotinic asit % 97 saflıkta (Aldrich), etüvde 60°C’de 2 saat bekletildi.

Potansiyometrik yöntemde 10<sup>-2</sup> M Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O’ın (Merck, analitik saflıkta) 10<sup>-2</sup> M HNO<sub>3</sub>’deki çözeltisi hazırlandı.

Spektroskopik yöntemde 10<sup>-2</sup> M CrCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O’ın (Merck) 10<sup>-2</sup> M HCl’deki çözeltisi hazırlandı. % 99 saflıkta (Merck) EDTA (etilendiamintetraasetik asit) etüvde 50°C’de 2 saat bekletildi.

#### 2.1.1. Yöntem

Potansiyometrik titrasyonlar, 7000-M2/20’lik otomatik titrasyon sistemi ile Schott pH kombine elektrodu kullanılarak 25,0 ± 0,10 °C sabit sıcaklıkta 100 mL’lik çift cidarlı titrasyon hücresinde yapıldı (şekil 2). Tüm titrasyonlar azot atmosferinde gerçekleştirildi.



Şekil 2. Titrasyon hücresi (Figure 2. Titration cell)

Spektrofotometrik ölçümler tek ışık yollu Varian Cary 50 UV-visible spektrofotometre ile yapıldı (200-800 nm dalga boyu aralığı). Spektroskopik ölçümler 25 °C de 1 cm'lik kuvars hücreler ile 0,1 M KCl ortamında yapıldı.

Çizelge 1. 1:1 mol oranında Cr(III):NA, Cr(III):2-ANA ve Cr(III):4-ANA'nın oluşum sabitleri.  
(Table 1. Formation constants of Cr(III):NA, Cr(III):2-ANA and Cr(III):4-ANA in a 1:1 molar ratio)

Denge	NA	2-ANA	4-ANA
Proton Kompleksleri	logK	logK	logK
$L^- + H^+ \rightleftharpoons HL$	4,86±0,04	7,07±0,06	8,69±0,06
Cr(III) Kompleksleri	logβ	logβ	logβ
$Cr^{3+} + L^- \rightleftharpoons CrL^{2+}$	4,42±0,04	7,21±0,06	7,78±0,04
$CrL^{2+} + OH^- \rightleftharpoons CrL(OH)^+$	3,55±0,06	3,37±0,09	4,48±0,07

Çizelge 2. 1:2 mol oranında Cr(III):NA, Cr(III):2-ANA ve Cr(III):4-ANA'nın oluşum sabitleri.  
(Table 2. Formation constants of Cr(III):NA, Cr(III):2-ANA and Cr(III):4-ANA in a 1:2 molar ratio)

Denge	NA	2-ANA	4-ANA
Proton Kompleksleri	logK	logK	logK
$L^- + H^+ \rightleftharpoons HL$	4,86±0,04	7,07±0,06	8,69±0,06
Cr(III) Kompleksleri	logβ	logβ	logβ
$Cr^{3+} + 2L^- \rightleftharpoons CrL_2^+$	6,77±0,03	8,96±0,05	13,18±0,04
$CrL_2^+ + OH^- \rightleftharpoons CrL_2(OH)$	3,51±0,05	4,79±0,02	4,73±0,03

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Nikotinat Anyonunun Protonlanma Sabitinin Bulunması

Nikotinic asit ilgili eşitlik ve denklemlerde NA, HL kısaltmasıyla gösterilmiştir.  $L^-$  türündeki ligantların protonlanma tepkimesi (1) ile verilir ve bu tepkimeye ilişkin denge sabiti (2) eşitlik ile verilmiştir.



[HL]

$$K_L = \frac{[L^-]}{[L][H^+]} \quad (2)$$

$$T_L = [L^-] + [HL] \quad (3)$$

$$m.T_L + [H^+] = [L^-] \quad (4)$$

$$K_I = \frac{(m.T_L + [H^+]).[H^+]}{(T_L(1-m) - [H^+])} \quad (5)$$

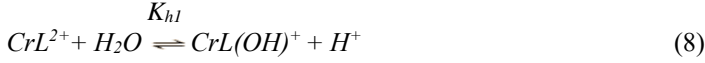
Nikotinic asitin protonlanma sabitini bulmak için 25 °C' de ve 0,1 M KNO<sub>3</sub> ortamında titrasyonu yapıldı. Şekil 3'ten de görüldüğü gibi a= 1'de (mmol baz/mmol ligant) dönüm noktası gözlemlendi ve 0-1 aralığında (6) tepkimesiyle ayrışan hidrojen iyonu titre edildi.



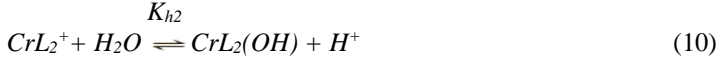
Protonlanma sabitleri Martell and Motekaitis tarafından geliştirilen BEST bilgisayar programı yazılımının kullanımı ile hesaplandı (Çizelge 2).

### 3.2. Nikotinic Asit ile Cr(III)' ün Oluşturduğu Komplekslerin Kararlılık Sabitlerinin Bulunması

1:1 ve 1:2 mol oranında krom(III):nikotinic asit çözeltilerinin potansiyometrik yöntemle titrasyonları gerçekleştirildi (Şekil 3). Krom(III):nikotinic asitin (1:1 mol oranında) titrasyon eğrisinde m=1,0 ve m=3,0'de (m= mmol baz / mmol metal) dönüm noktaları gözlemlendi (Şekil 3). 0-1,0 aralığında (7) tepkimesine göre CrL<sup>2+</sup> kompleks iyonunun oluştuğu ve m=1,0' den sonra da hidrolizin başladığı gözlemlendi. 1,0-2,0 aralığında oluşan CrL<sup>2+</sup> iyonunun (8) tepkimesine göre CrL(OH)<sup>+</sup> kompleks iyonunu oluşturduğu görüldü.



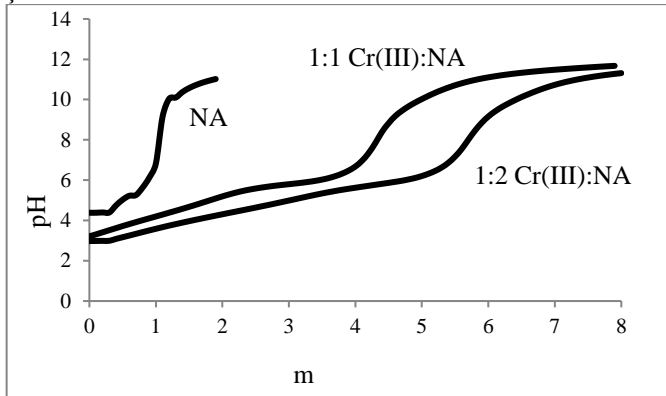
Krom(III):nikotinic asitin (1:2 mol oranında) titrasyon eğrisinde 2,0 ve 5,0'te dönüm noktaları görüldü. 0-2,0 aralığında (9) tepkimesine göre CrL<sub>2</sub><sup>+</sup> kompleks iyonunun oluştuğu ve 2,0'den sonra da hidrolizin başladığı görüldü. 2,0-3,0 aralığında oluşan CrL<sub>2</sub><sup>+</sup> kompleks iyonunun (10) tepkimesine göre [CrL<sub>2</sub>(OH)] kompleksinin oluştuğu görüldü.



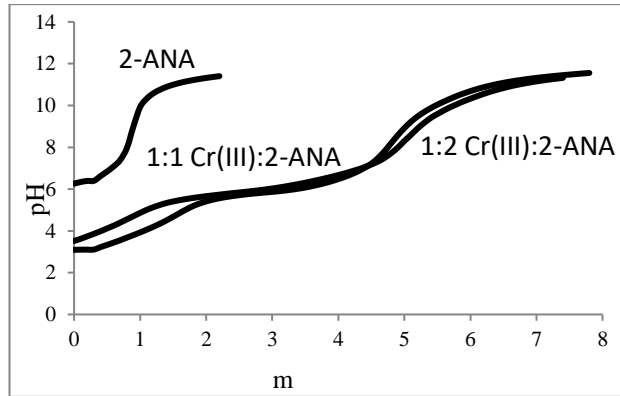
Benzer şekilde aynı yöntem Cr(III):2-ANA ve Cr(III):4-ANA kompleks bileşikleri için de uygulandı.

Cr(III)'ün NA, 2-ANA ve 4-ANA ile farklı mol oranlarında potansiyometrik titrasyonları yapıldı. Gerçekleşen kompleks iyon ve bileşiklerinin stokiyometrilere ve kararlılık sabitleri bulundu. Cr(III)'ün NA, 2-ANA ve 4-ANA ile CrL<sup>2+</sup>, CrL<sub>2</sub><sup>+</sup>, CrL(OH)<sup>+</sup> ve CrL<sub>2</sub>(OH) türü kompleksler oluşturduğu saptandı (çizelge 1-2).

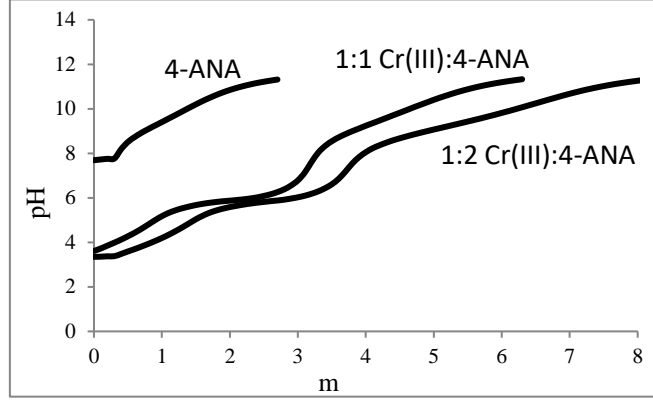
1:1 ve 1:2 mol oranında Cr(III):NA, Cr(III):2-ANA ve Cr(III):4-ANA içeren çözeltilerin potansiyometrik titrasyon eğrileri sırasıyla şekil 3-5'te verilmektedir.



Şekil 3. NA ile Cr(III):NA'nın titrasyon eğrileri.  
(Figure 3. Titration curves of NA and Cr(III):NA)

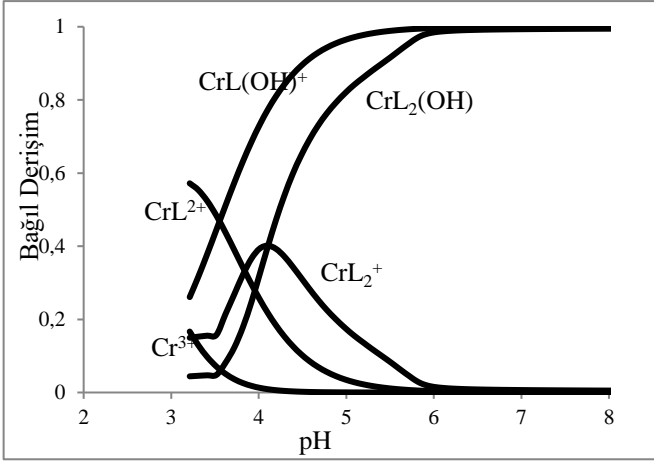


Şekil 4. 2-ANA ile Cr(III):2-ANA'nın titrasyon eğrileri.  
(Figure 4. Titration curves of 2-ANA and Cr(III):2-ANA)

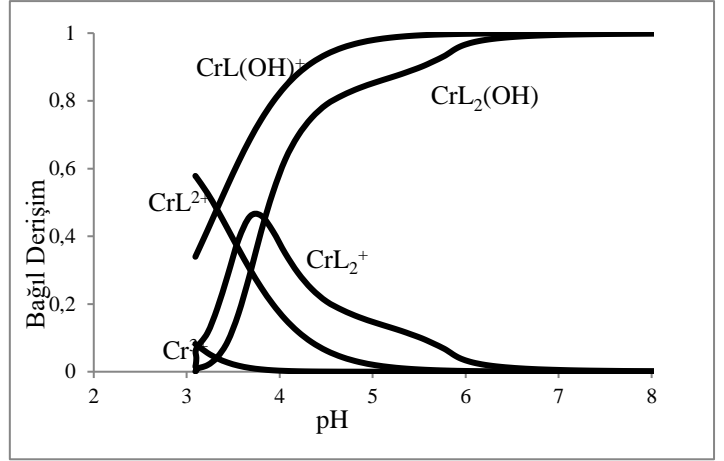


Şekil 5. 4-ANA ile Cr(III):4-ANA'nın titrasyon eğrileri.  
(Figure 5. Titration curves of 4-ANA and Cr(III):4-ANA)

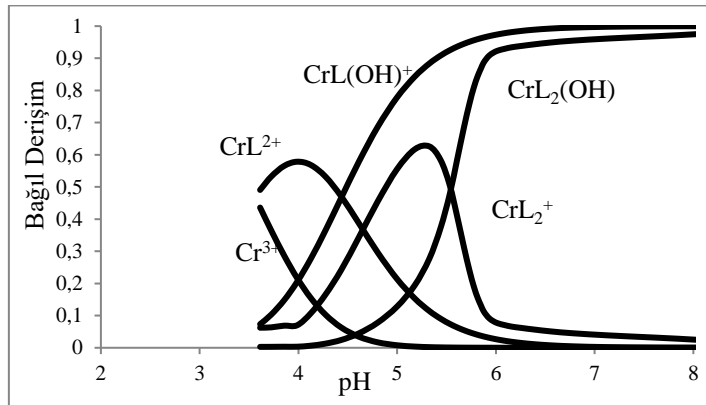
1:1 ve 1:2 mol oranında Cr(III):NA, Cr(III):2-ANA ve Cr(III):4-ANA sisteminin dağılım eğrileri şekil 6-8'de verilmektedir.



Şekil 6. Farklı mol oranlarında Cr(III):NA sisteminin dağılım eğrileri.  
(Figure 6. Distribution curves of the Cr(III):NA system at different mole ratios)



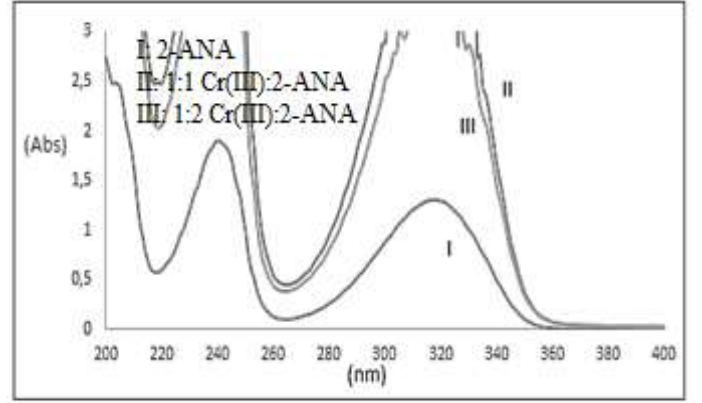
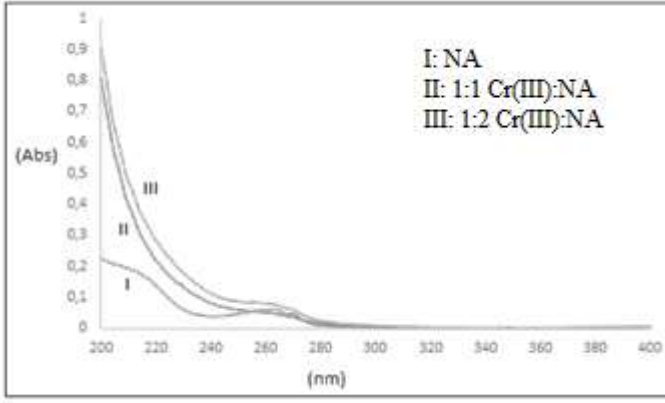
Şekil 7. Farklı mol oranlarında Cr(III):2-ANA sisteminin dağılım eğrileri.  
(Figure 7. Distribution curves of the Cr(III):2-ANA system at different mole ratios)



Şekil 8. Farklı mol oranlarında Cr(III):4-ANA sisteminin dağılım eğrileri.  
(Figure 8. Distribution curves of the Cr(III):4-ANA system at different mole ratios)

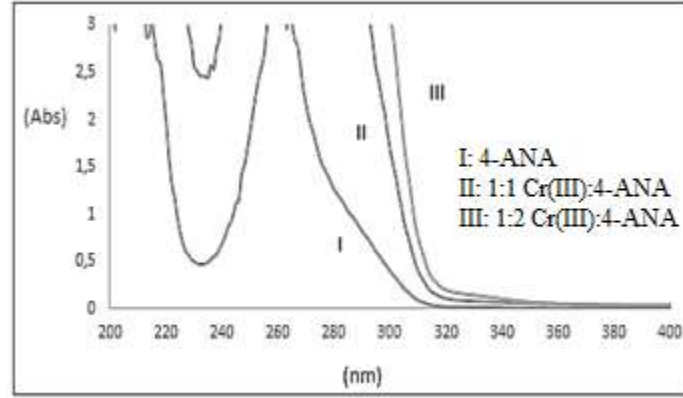
CrL<sup>2+</sup>'nin pH=4,5' te oluştuğu şekil 3'te görüldüğünden; nikotinic asitin krom(III)'e nasıl bağlanacağını spektroskopik yöntemle saptamak için nikotinic asit ve farklı mol oranlarında krom(III)-nikotinic asit içeren çözeltilerin UV-vis. spektrumları alındı

(şekil 9). Benzer şekilde aynı yöntem 2-ANA ve 4-ANA için de uygulandı. (şekil 10-11). Bu spektrumlardan hareketle her üç kompleks iyon için Job diyagramı çizildi (şekil 12-14).

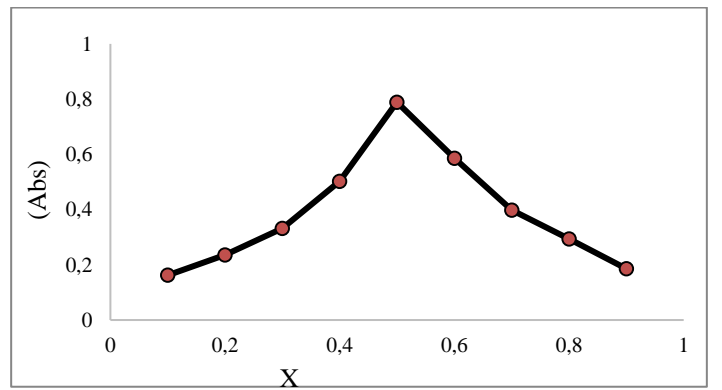
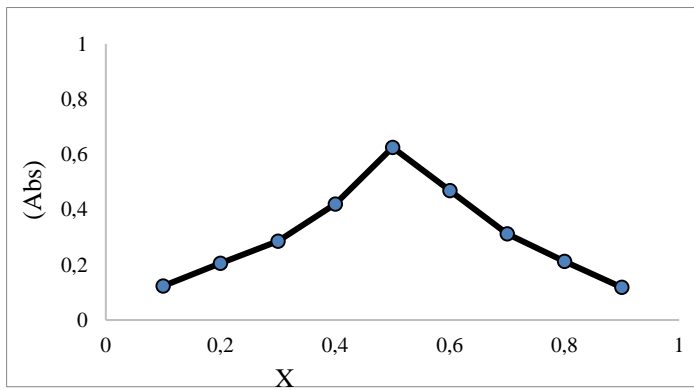


Şekil 9. NA ile Cr(III):NA'nın absorpsiyon spektrumu. (Figure 9. Absorption spectrum of NA and Cr(III):NA)

Şekil 10. 2-ANA ile Cr(III):2-ANA'nın absorpsiyon spektrumu. (Figure 10. Absorption spectrum of 2-ANA and Cr(III):2-ANA)

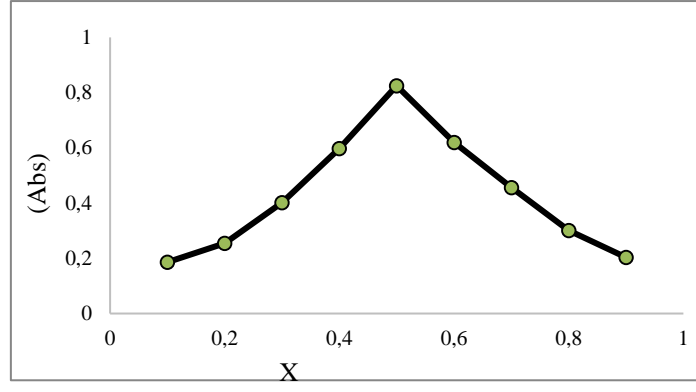


Şekil 11. 4-ANA ile Cr(III):4-ANA'nın absorpsiyon spektrumu. (Figure 11. Absorption spectrum of 4-ANA and Cr(III):4-ANA)



Şekil 12. Cr(III):NA'nın pH=4,5 ve  $\lambda=270$  nm'de Job diyagramı. Şekil 13. Cr(III):2-ANA'nın pH=4,5 ve  $\lambda=360$  nm'de Job diyagramı. (Figure 12. Job diagram of Cr(III):NA at pH=4,5 and  $\lambda=270$  nm) (Figure 13. Job diagram of Cr(III):2-ANA at pH=4,5 and  $\lambda=360$  nm)





Şekil 14. Cr(III):4-ANA'nın pH=4,5 ve  $\lambda=325$  nm' de Job diyagramı.  
(Figure 14. Job diagram of Cr(III):4-ANA at pH=4,5 and  $\lambda=325$  nm)

## 4. Sonuç

Bu çalışmada NA, 2-ANA ve 4-ANA içeren krom(III) kompleks iyon ve bileşiklerinin kararlılık sabitleri hesaplandı. Potansiyometrik ve spektroskopik yöntemlerle stokiometrilere araştırıldı.

NA, 2-ANA ve 4-ANA için bulunan protonlanma sabitlerinin, literatür değerleri ile karşılaştırıldığında uyum içinde olduğu görüldü.

Çalışılan her üç bileşik de karboksilik asit türevi bileşiklerdir.

2-ANA ve 4-ANA ligantları; piridin halkasına 2-ANA'da orto, 4-ANA'da ise para konumunda  $-NH_2$  grubu içermektedir. NA, 2-ANA ve 4-ANA'nın asit ayrışma sabitleri sırasıyla  $-\log K_{NA}= 4,99$ ,  $-\log K_{2-ANA}= 7,02$  ve  $-\log K_{4-ANA}= 8,42$  dir. Asit ayrışma sabitleri karşılaştırıldığında; 4-ANA'nın en asidik karboksil protonuna sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Asit ayrışma sabitlerinin 4-ANA > 2-ANA > NA sırasında azaldığı görüldü. Bunun nedeni de 2-ANA ve 4-ANA'daki  $-NH_2$  grubunun elektron verici özelliğe sahip olması ve piridin halkasının elektron yoğunluğunu artırmasıdır.

Krom(III) iyonunun NA, 2-ANA ve 4-ANA ile oluşturduğu  $CrL^{2+}$  kompleks iyonlarının kararlılık sabitleri sırasıyla  $\log K_{f(NA)}= 4,42$ ,  $\log K_{f(2-ANA)}= 7,21$  ve  $\log K_{f(4-ANA)}= 7,78$  olarak bulundu. Oluşan kompleks iyonların kararlılık sabitleri sırası hem 1:1 mol oranı hem de 1:2 mol oranı için 4-ANA > 2-ANA > NA olarak bulundu.

Spektroskopik veriler değerlendirildiğinde; ortamın pH'ına bağlı olarak NA, 2-ANA ve 4-ANA'nın ayrı ayrı krom(III) iyonuna nasıl bağlandığını belirlemek amacıyla farklı pH'lardaki krom(III) ve NA, 2-ANA, 4-ANA içeren çözeltilerin UV spektrumları alındı.

Şekil 9' daki bu spektrumlardan sadece 1:1 stokiometrisi için,  $\lambda=270$  nm' de absorbans ölçüldüğünden bu dalga boyunda ve pH=4,5'te Job diyagramı çizimi düşünüldü (Şekil 12).  $X_M=0,5'$  te maksimum absorbans gözlemlendi. Bu maksimuma karşılık gelen mol oranı ( $m/n = X_{max.}/(1-X_{max.})$ ) eşitliğinde yerine konulduğunda  $m/n=1$  bulundu. Cr(III)'ün NA' ya oranı 1 olduğundan pH=4,5'te oluşan kompleks iyonunun  $CrL^{2+}$  yapısında olduğu sonucuna varıldı.

Aynı yöntem Cr(III)-2-ANA ve Cr(III)-4-ANA kompleks iyonları için de uygulandı. Her iki kompleks iyon için aynı değer bulundu ( $m/n= 1$ ). Cr(III)'ün 2-ANA ve 4-ANA'ya oranı 1 olduğundan oluşan kompleks iyonların  $CrL^{2+}$  yapısında olduğu görüldü.

Bu UV spektrumlarından hareketle tek başına NA, 2-ANA ve 4-ANA'nın spektrumları ile Cr(III):NA, Cr(III):2-ANA ve Cr(III):4-ANA'nın spektrumlarının birbiriyle çakışmadığı dolayısıyla sağa doğru kaydığı (batokromik kayma) görüldü.

## 5. Teşekkür

UAP(F)-70 projesine maddi desteğinden dolayı Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Aksoy M S, Özer U, 2003. Potentiometric and spectroscopic studies with chromium(III) complexes of hydroxysalicylic acid derivatives in aqueous solution. Turk. J. Chem., 27 (6): 667–673.
- Aksoy M S, Özer U, 2004. Equilibrium studies on chromium(III) complexes of salicylic acid and salicylic acid derivatives in aqueous solution. Chem. Pharm. Bull., 52 (11): 1280–1284.
- Aksoy M S, Aydın R, Türkel N, Özer U, 2005. Formation constants of chromium(III), scandium(III) and yttrium (III) complexes of some hydroxynaphthoic acids. Chem. Pharm. Bull., 53 (5): 471–475.
- Aksoy M S, 2008. Complexes of chromium(III) with 2,3-dihydroxynaphthalene-6-sulfonic acid and 4,5-dihydroxynaphthalene-2,7-disulfonic acid in aqueous solution. Chem. Pharm. Bull., 56 (6): 771- 774.
- Aksoy M S, 2009. Formation constants of chromium(III) complexes with 8-hydroxyquinoline and 8-hydroxyquinoline-5-sulfonic acid. Asian J. Chem., 21 (7):5189–5198.
- Aksoy M S, 2010. Study of the Interaction Between Chromium(III) and Hydroxamic Acids, Journal of Chemical and Engineering Data, 55(6): 2252-2256.
- Ali M A, Kadir M H, Nazimuddin M, Majumder S M M, Tarafder M T H, Khair M A, 1988. Indian J. Chem. Sect., A 27:1064.
- Aman S, Chishti K A, Mahmood F, 2018. Potential Effect of Nicotinic Acid Derivatives on Brain Monoamines in Male Albino Mice. Latin American Journal of Pharmacy, 37(11): 2185-2190.
- Bartzatt R, Grillo S L G, Grillo J D, 2007. Antibacterial activity of dipeptide constructs of acetylsalicylic acid and nicotinic acid. Drug e-ISSN: 2148-2683

- Delivery, 14(2): 105-109.
- Chohan Z H, Rauf A, Supuran C T, 2002. Antibacterial cobalt(II), nickel(II) and zinc(II) complexes of nicotinic acid-derived Schiff-bases, *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 17(2): 101-106.
- Cotton F A, Wilkinson G, Murillo C A, and Bochmann M, 1999. *Advanced Inorganic Chemistry*, 6th ed. John Wiley, New York.
- Cox M, Lehninger A L, Nelson D R, 2000. *Lehninger Principles of Biochemistry*. 3rd Edition, New York Worth Publishers, USA, pp: 380-381.
- Fedorov B S, Fadeev M A, Blokhina S V, 2009. Synthesis and antimetastatic activity of metal complexes based on substituted pyridinecarboxylic acid amides and platinum tetrachloride. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 43(3): 134-138.
- Gonçalves M E, Abhinav J. et al., 2011. Potentiometric Titration Study of the Temperature and Ionic Strength Dependence of the Acidity Constants of Nicotinic Acid (Niacin). *J. Chem. Eng. Data*, 56: 2964-2970.
- Lin Y S, Chen S H, Hou W C, 2012. Effects of nicotinic acid derivatives on tyrosinase inhibitory and antioxidant activities, 132(4): 2074-2080.
- Makhmudov A A, 2020. Synthesis and Biological Activity of Sulfamido and Alkoxy-carbonyl-substituted Nicotinic Acid Esters, *Russian Journal of Organic Chemistry*, 56(2): 246-250.
- Mansoori M H, Khatik G L and Mishra V, 2018. Synthesis and pharmacological evaluation of pyridinyl-1,3,4-oxadiazolyl-ethanone derivatives as antimicrobial, antifungal and antitubercular agents, *Medicinal Chemistry Research*, 27(3): 744-755.
- Marszalek D, Goldnik A, Kumorowska S, 2014. Stability of new anticonvulsant derivatives of picolinic, nicotinic, cyclocarboxylic acids in body fluids and tissues. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 71(2): 261-264.
- Morsy Abu-Youssef A M, Dey R, Gohar Y, Massoud A A, Ohrstrom L, Langer V, 2007. *Inorg. Chem.*, 46: 5893-5903.
- Robert M S, and, Martel A E, 1989. *Critical Stability Constants*. Plenum Press, New York.
- Shimai T, Islam M T, Fukushi Y, Hashidoko Y, Yokosawa R, Tahara S Z, 2002. *Naturforsch*, 57: 323-331.
- Sinthupoom N, Prachayasittikul V, 2015. Nicotinic acid and derivatives as multifunctional pharmacophores for medical applications, 240(1): 1-17.



# Meyve Suyunda Yüksek Basınç Teknolojisinin Uygulanması

Serpil Aday<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Çanakkale Onsekiz Mart University, Vocational School of Biga, Food Technology Program, Çanakkale, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2896-1191), serpiladay@comu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 11 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10259912)

**ATIF/REFERENCE:** Aday, S., (2023). Meyve Suyunda Yüksek Basınç Teknolojisinin Uygulanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 144-152.

## Öz

Geleneksel olarak, meyve suları pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısı işlemlerle korunmakta olup, bu prosesler bozulmayı önleyebilse de; ısı işlem sonrasında ve müteakip depolama sırasında organoleptik ve besinsel özelliklerden sorumlu bileşiklerin kaybı gerçekleşmektedir. Termal olmayan işlemler bu nedenle geleneksel ısı işlemlere alternatif olarak geliştirilmektedir. Bu yöntemlerden bir tanesi olan yüksek basınçla işleme (YBİ) teknolojisi, gıda güvenliğini sağlamak ve çeşitli ısıya duyarlı besinleri ve biyoaktif bileşiklerini korumak için geliştirilen bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek basınç işlemi sonrasında ürünler sağlıklı, lezzetli, daha doğal ve uzun raf ömürlü olma gibi özellikleri içermektedir. Bu derleme; yüksek basınç teknolojisinin meyve sularındaki biyoaktif bileşenler, enzimler ve mikroorganizmalar üzerindeki etkilerini tartışmaya ek olarak, bu teknolojiye dikkat edilmesi gereken kritik faktörleri, tüketicinin bakış açısını, maliyet unsurlarını ve küresel mevzuata uygunluğunu kapsamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek basınç işleme, Meyve suyu, Raf ömrü, Isıl olmayan yöntem.

## Application of High-Pressure Technology in the Fruit Juice

### Abstract

Traditionally, fruit juices are preserved by heat treatments such as pasteurization and sterilization, although these processes can prevent spoilage, the loss of compounds responsible for organoleptic and nutritional properties occurs after heat treatment and during subsequent storage. Non-thermal processes are therefore being developed as an alternative to traditional thermal methods. One of these methods, high-pressure processing, has emerged as a technology developed to ensure food safety and protect various heat-sensitive nutrients and bioactive compounds. After the high pressure treatment, the products contain features such as being healthy, tasty, more natural and long shelf life. In addition to discussing the effects of high pressure on bioactive components, enzymes and microorganisms in fruit juices, this review covers the critical factors that need to be considered to apply this technology, consumer's perspective, cost elements and compliance with global legislation.

**Keywords:** High pressure processing, Fruit juice, Shelf life, Non-Thermal Method.

\* Sorumlu Yazar: [serpiladay@comu.edu.tr](mailto:serpiladay@comu.edu.tr)

## 1. Giriş

Sağlık bilincinin artmasıyla birlikte tüketiciler; gıda güvenliğine daha fazla önem vermekte olup, yüksek besin değerine sahip taze gıdaları talep etmektedir. Doğal ve taze olduğu kadar kimyasal katkı maddesi içermeyen gıdalar tüketiciler arasında giderek dikkat çekmektedir (Rastogi ve ark., 2007). Bu bilgiler ışığında gıda endüstrisindeki işletmeler, gıda kalitesini koruyup, enerji sarfiyatını azaltan işleme teknolojilerine yönelmekte olup (Aksoy, 2020), bu da ısılmayan işleme teknolojilerinin gelişimine yol açmaktadır. Ayrıca, geleneksel olarak kullanılan ısı işlem teknolojileri, gıdaların duyu özellikleriyle besin içeriğini olumsuz etkilediğinden ve istenmeyen bileşenlerin (hidroksimetilfurfural) oluşumuna yol açtığından (Sabancı, 2020), vurgulu elektrik alan, vurgulu ışık, ışılama, plazma ve yüksek basınç gibi ısılmayan işleme teknolojileri, gıda endüstrisinin yoğun ilgisini çekmektedir (Huang ve ark., 2017).

Ultra yüksek basınç veya yüksek hidrostatik basınç olarak da bilinen yüksek basınçla işleme (YBİ) teknolojisi, gıdanın genellikle 100 MPa-1000 MPa arasında yüksek hidrostatik basınca maruz bırakılmasını içeren bir gıda işleme teknolojisidir (Kamiloğlu ve ark., 2021). Bu teknoloji, geleneksel ısı işlem yöntemlerinin olumsuz etkilerini azaltmak, mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek ve çeşitli enzimleri denatüre etmek için geliştirilmiştir (Elamin ve ark., 2015). YBİ teknolojisi, hem sıvı hem de yüksek nem içerikli katı gıdaları işlemek için kullanılabilir. Basınçla işleme mikroorganizmalar için öldürücü olsa da, nispeten düşük sıcaklıklarda (0-40°C) kovalent bağlar neredeyse etkilenmemektedir ve bu durum YBT teknolojisinin benzersiz bir özelliğini temsil etmektedir (Yordanov ve Angelova, 2010). Gıdaların korunmasına ek olarak, yüksek basınç işlemi, gıda ürünlerinin yeni yapı ve doku kazanmasına olanak sağlamakta ve bu nedenle belirli bileşenlerin işlevselliğini artırmak veya yeni ürünler geliştirmek için de kullanılabilir (Rastogi ve ark., 2007).

Tarihte ilk kez bu teknik, bakterileri öldürmek için 1895'te Royer ve daha sonra 1899'da Hite tarafından araştırılmıştır (Naik ve ark., 2013). Hite, sütü muhafaza etmek için bir araç olarak 600 MPa'ya kadar YBİ teknolojisini kullanmış, 1914'te ise sebze ve meyvelerdeki etkinliğini belirlemiştir. Daha sonra bu çalışmalara yalnızca birkaç araştırma eklenmiş ve 1980'lere kadar YBİ hakkında çok fazla araştırma yayınlanmamıştır (Elamin ve ark., 2015). 1990'ların başında Japon endüstrisinde ilk kez ticari olarak yüksek basınçla işlenmiş meyve suları, reçeller ve yumuşatılmış etler tanıtılmıştır. YBİ ekipman teknolojisinin son yıllarda kademeli olarak olgunlaşmasıyla birlikte, ABD, İspanya, İngiltere, Japonya ve Çin'deki çeşitli üreticiler YBİ ekipmanı üretme kapasitesini geliştirmiştir. Başlıca küresel üreticiler arasında Avure (ABD), Hiperbarik (İspanya), Multivac (Almanya) ve Baotou Kefa (Çin) bulunmaktadır (Naik ve ark., 2013).

Geleneksel ısı işlem teknolojilerinin yarattığı sorunların görüldüğü önemli bir ürün grubu da meyve suları olup, genel olarak istenmeyen değişikliklere neden olabilecek hedef mikroorganizmaları veya enzimleri yok etmek için 60°C ile 100°C arasındaki ısı işlem parametreleri uygulanmaktadır (Auwah ve ark., 2007). Fakat bu sıcaklıklar, uçucu aroma bileşiklerinin kaybına yol açmakta ve kalitede azalmaya neden olmaktadır. Bu problemlerin önüne geçmek için uygulanan yüksek basınçlı işleme aynı zamanda enerji tüketimini de azaltan bir teknoloji olarak göze çarpmaktadır (Song ve ark., 2022).

Gıda işlemede yeni teknolojilerin sağladığı avantajlar, bu teknolojilerin pazarda kabul edilmesini sağlamak için tek başına yeterli olmayıp, bu konu hakkındaki tüketici görüşü de önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda YBİ teknolojisinin sağlıkla, gıdanın lezzetiyle ve çevreyle ilişkili faydalarının, tüketicilerde olumlu tepkilere yol açtığı gösterilmiştir. Tüketicilerde olumsuz algı yaratan husus ise fiyatla ilişkili olup, tüketiciler bu yöntemlerin ürün fiyatını artırmasından endişe duymaktadır (Olsen ve ark., 2010).

Bu derleme yüksek basınç teknolojisinin dayandığı prensipleri, uygulama yöntemini, meyve sularındaki biyoaktif bileşenlere, enzimlere ve mikroorganizmalara etkilerini, tüketicinin bu teknolojiye bakış açısını, maliyet unsurlarını ve yasal çerçeveyi tanıtmaktadır.

## 2. Yüksek Basınç Teknolojisinin Dayandığı Prensipler ve Uygulama Çeşitleri

Yüksek basınç işleminin gerçekleşmesinde üç ilke vardır. Birincisi; izostatik ilke olup, basınç uygulamasının her yöne eşit şekilde etki ettiğini varsaymaktadır. Gerçek bir hidrostatik durum; zaman ve mekandan bağımsız olmalıdır. Yüksek basınç uygulamalarında, basınç ve basıncın etkileri, gıda geometrisi ve boyutundan bağımsız olarak gıda maddesi içinde anında ve homojen bir şekilde dağılmaktadır (Balasubramaniam ve ark., 2008). İkinci ilke, mikroskopik sıralama prensibi olup; sabit sıcaklıkta gerçekleşen basınçtaki bir artışın, belirli bir maddenin moleküllerinin sıralama derecesini arttırmasını açıklamaktadır. Bu nedenle, basınç ve sıcaklık; moleküler yapı ve kimyasal reaksiyonlar üzerinde zıt kuvvetler uygulamaktadır (Balny ve Masson, 1993). Üçüncü ilke; Le Chatelier'in tüm süreçler için geçerli olan ve dengedeki bir sistem bozulduğunda, sistem bozulmayı en aza indirmeye çalışacak şekilde tepki vermesini içermektedir. Basınç değişirse, denge karşılık gelen yoğun değişkendeki (hacim) değişikliğini azaltma eğiliminde olan bir yöne kaymaktadır. Böylece, basınç sistemi en düşük hacme yönelmektedir (Chuang ve Sheen, 2022).

Proses olarak değerlendirildiğinde; bir üretim hattında yüksek basınçla işlemeyi döngüsel olarak gerçekleştirmek için, yeterli kapasite ve dayanıklılığa sahip ekipman tasarlamak gerekmektedir. İyi tasarlanmış yüksek basınç ekipmanları; bir basınç odasından, hazneyi kapatmak için kapaklardan, işlem sırasında kapakları tutacak bir cihazdan, basıncı yoğunlaştırıcı pompalardan (Farkas ve Hoover, 2000), basıncı ve sıcaklığı izlemek ve kontrol etmek için sistemlerden, bir sıcaklık kontrol cihazından ve ürünü, basınç odasına aktarmak ve odadan çıkarmak için gereken taşıma sisteminden oluşmaktadır (Abera, 2019).

Gıdalara yüksek basıncın uygulanması amacıyla kullanılan iki ana tip basınçlandırma sistemi bulunmakta olup, bunlar kesikli ve yarı sürekli sistemlerdir. Gıda işleme için endüstriyel kullanımdaki çoğu yüksek basınç makinesi, hem katı hem de sıvı gıdalar için kullanılabilen kesikli sistemlerden oluşmaktadır. Spesifik olarak, ürünler bir yüksek basınç haznesine yerleştirilmekte ve kap kapatılmakta, basınç ileten sıvıyla doldurulmakta ve kabın içine sıvı pompalanarak ya da örneğin bir piston kullanılarak basınç odasının

hacmi azaltılmaktadır (Balasubramaniam ve ark., 2015). Basınç ileten sıvı olarak silikon yağı, sodyum benzoat, etanol ve glikol kullanılabilir (Yordanov ve Angelova, 2010). Bu arada, basınç ileten sıvının seçiminde; iç kap yüzeyini korozyondan koruma kabiliyeti, kullanılan spesifik yüksek basınç sistemi, işlem sıcaklığı aralığı ve basınç altındaki sıvının viskozitesi dikkate alınmaktadır. Kesikli sistemde gıdalar basınç işlemi öncesinde, esnek bir ambalajla kapatılmaktadır. Gıdaların işlem sırasında hacimde % 10-20'lik bir düşüğe uğrayacağı ve basınç bırakıldıktan sonra orijinal hacme geri döneceği hesaplanarak paketlenmelidir. Basınç işlemi gerekliliği bekletme süresi geçtikten sonra sistem basınçsız hale getirilmekte, kap açılmakta ve ürünler boşaltılmaktadır. Sistem daha sonra mümkün olan otomasyon derecesine bağlı olarak operatörler veya makineler tarafından ürünlerle yeniden yüklenmektedir (Tao ve ark., 2014).

Pompanabilir gıdaların işlenmesi için kullanılan yarı sürekli sistemlerde; sıkıştırma için serbest yüzer piston içeren iki veya daha fazla basınçlı kap kullanılmaktadır. Bu yöntemde, bir kap ürünü boşaltıldığında, ikinci sistem basınç uygularken, üçüncü kap gıda numunesi ile yüklenecek şekilde bağlanmakta ve böylece sürekli bir çıktı sağlanmaktadır (Balasubramaniam ve ark., 2015). İşlem, hazneyi sıvı ürünle doldurmak için düşük basınçlı bir pompa kullanılarak başlamakta ve hazne dolarken, serbest piston yeniden konumlandırılmaktadır. Gıda bölümü doldurulur doldurulmaz giriş valfi kilitlenmekte ve basınçlandırma sıvısı kaba gönderilerek, bu sıvı, gıdayı sıkıştırmak için serbest pistonu hareket ettirmektedir. Gerekli bir tutma süresinden sonra kap basınçsız hale getirilmektedir. Yüksek basınç tarafındaki basıncın serbest bırakılması, gıda ürünlerinin basıncını düşürmekte ve pistonu başlangıç konumuna geri döndürmektedir. İşlenmiş sıvı ürün, sterilize edilmiş bir boşaltma ucu vasıtasıyla steril bir yedek tanka boşaltılmakta ve paketlenmektedir (Elamin ve ark., 2015; Farkas ve Hoover, 2000).

### **3. Yüksek Basınç Teknolojisinde Kritik Faktörler**

YBİ teknolojisinde uygulanan basınç, sıcaklık ve zaman özellikle gıda matrisindeki mikroorganizmaların ölümcüllüğünü belirleyen kritik faktörlerdir. Ürüne uygulanan basınç seviyesi, ürün kalitesini etkileyen birincil faktördür. Basınç seviyesi, mikroorganizmaların ve enzimlerin yok edilmesi üzerindeki etkilerle doğru orantılıdır. Biyokimyasal reaksiyonların 100 MPa'da başlayabileceği, 300 MPa'da ise geri dönüşümsüz reaksiyonların meydana gelmeye başladığı bildirilmiştir. Gıda uygulamalarında yüksek basınç yani 1000 MPa'da çalışılmış olsa da ticari uygulamalar için üst sınır 600 MPa'dır (Sehrawat ve ark., 2021). YBİ toplu olarak yapıldığından, işlem süresi çıktıyı etkileyen diğer önemli bir faktör olarak göze çarpmaktadır. Her bir ürün grubunun işlem süresi azaltılarak verimlilik artırılabilir de bu, yetersiz pastörizasyon riskini artırmaktadır. Bu nedenle, yüksek basınçlı koşulları belirlerken gıda ürünlerinin pH'ı, su aktivitesi ve bileşenleri dikkate alınmalıdır (Huang ve ark., 2020). YBİ ile ilgili diğer parametre kompresyon ve dekompresyon oranlarını içerir. Genel olarak, mikroorganizmaların yok olma derecesi, basıncın yükseltilmesi ile artar. Kompresyon ve dekompresyon oranlarının etkileri konusunda çelişkili sonuçlar elde edilmiştir. Yavaş kompresyon ve dekompresyon oranlarının, YBİ'nin bakteri sporlarını etkisiz hale getirme etkinliğini artırdığı bulunmuş, hızlı kompresyon ve dekompresyon sürelerinin ise, vejetatif bakteri hücrelerinin inaktivasyonuna fayda sağladığı gösterilmiştir (Tao ve ark., 2014).

Ambalaj boyutu ve tasarımı da odaya yerleştirilebilecek birim sayısının en üst düzeye çıkarılması açısından kritik faktörlerdendir ve bu da ekonomik işlemeye katkıda bulunabilmektedir. Endüstrilerdeki yüksek basınçlı işlenmiş gıdaların çoğu, daha önce farklı polimer kombinasyonlarından lamine esnek ambalaj malzemeleri kullanılarak paketlenmiştir. Metal, cam veya kağıt kullanılarak yapılan ambalajlar, basınçlı işlem sırasında kullanılmaya uygun değildir (Ayvaz ve ark., 2012). Yüksek basınç altında işlenecek gıdaları paketlemek için kullanılan esnek ambalaj, hızlı kompresyon ve dekompresyon işlemlerini desteklemek için yeterli olmalı ve tepe boşluğundan çökmeyi ve ambalaj içindeki gıda hacminin olası azalmasını telafi etmek için esneklik sağlamalıdır. Ek olarak, esnek ambalaj malzemelerinin seçiminde, yüksek basınçlı işleminin ısı yapışkanlık ve bariyer özelliklerini etkilememesine de dikkat edilmesi gerekir. Ayrıca, ürün genellikle pazarlanacağı aynı ambalajda işlendiğinden parlaklık ve şeffaflık özelliklerini korumalıdır (Marangoni Junior ve ark., 2019).

Gıda, farklı oranlarda birkaç bileşenden oluşan karmaşık bir matristir ve mikroorganizmaların basınca karşı korunmasında önemli bir etkiye sahip olabilir. Basınçlama işlemi sonrasında hücreler, gıda matrisinin varlığında yeniden canlanabilir. Proteinler, karbonhidratlar, lipitler ve metal iyonları koruyucu bir etki sağlayabilir. Ayrıca ortamın pH'sı, mikroorganizmaların inaktivasyonunu etkileyebilir. Basıncın ve pH'ın sinerjik etkisi sonucu, mikroorganizmanın azalması sağlanmakta ve hücre zarlarına zarar vermesini artırarak, yaralanan hücrelerin iyileşmesini engellemektedir. Sıkıştırma, su moleküllerinin iyonlaşmasında hidrojen iyonları artırtıkça pH'ın düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle nötr pH'tan düşük pH'a sapma, mikrobiyal inaktivasyona duyarlılığı artırmaktadır (Sehrawat ve ark., 2021). Mayalar ve küfler, pH değeri 4,0'ın altındaki asitlik değerlerinde basınca daha duyarlıdır. Bakterilerin vejetatif hücreleri ise daha düşük pH değerlerinde basınca hassastır. Bakteri sporları nötr pH'ta basınca en dirençli formda olup, ancak 1.000 MPa'nın üzerindeki basınçlarda düşük pH'ta daha hızlı inaktif olmaktadır. 50 ila 300 MPa arasındaki basınç muamelesi, çimlenme yollarını aktive etmekte ve nötr pH'ta daha hızlı ilerleyecek olan spor çimlenmesini başlatmaktadır. Çimlenen sporlar daha sonra YBİ teknolojisine daha duyarlı hale gelmektedir (Podolak ve ark., 2020).

Düşük su aktivitesi, yüksek yağ, yüksek protein ve yüksek çözünen konsantrasyonu gibi gıda ürününün içeriği, mikroorganizmanın barotoleransını artırabilen ve bakteriyel inaktivasyon derecesini azaltabilen ve ayrıca depolama sırasında ölümcül hasar görmüş hücrelerin iyileşmesine yol açabilen önemli faktörler olarak tanımlanmıştır (Hygreeva ve Pandey, 2016). Düşük su aktivitesi, gıdada asılı kalan mikroorganizmalara koruyucu bir etki sağlamaktadır. Vejetatif hücrelerin yüksek su aktivitesinde basınca duyarlı olduğu gözlenmiştir. Şeker ve tuzun varlığı veya eklenmesi, su aktivitesini azaltır, böylece hücrenin büzülmesi ve hücre zarının kalınlaşması meydana gelir. Bu da membran geçirgenliğini azaltır ve mikroorganizmaların daha Fazla hayatta kalmasına neden olur (Sehrawat ve ark., 2021).

Sıcaklık, vejetatif bakterilerin inaktivasyon seviyesini etkileyen bir diğer önemli faktördür. Yüksek sıcaklık (30-50°C) mikroorganizmaların basınçla inaktivasyonunu desteklerken, düşük sıcaklığın (<20°C) inaktivasyon üzerindeki etkisi netleşmemiştir.



Bakteri hücreleri, 20-35°C'de hidrostatik basınca nispeten daha az duyarlıdır, ancak membran lipitlerinin faz geçişi nedeniyle 35°C'nin üzerinde basınca daha duyarlı hale gelir (Syed ve ark., 2016).

Mikroorganizmaların basınca duyarlılığı türler arasında ve aynı türün suşları arasında farklılık gösterebilir. Mikroorganizmalar nispeten basınca duyarlı olanlar ve basınca dayanıklı olanlar olarak ayrılabilir. Genellikle Gram pozitif bakteriler, Gram negatif bakterilere, küflere ve mayalara göre basınca karşı daha dirençlidir. Yüksek hidrostatik basınca en dirençli bakteri sporlarıdır. Mikrobiyal hücrelerin duyarlılığı, organizmaların yüksek hidrostatik basınç işlemine tabi tutulduğu büyüme döngüsünün aşamasına da bağlıdır. Genel olarak, üstel fazdaki hücreler, büyümenin durağan fazlarındaki hücrelere göre basınç işlemlerine daha duyarlıdır (Yordanov ve Angelova, 2010).

## 4. Meyve Sularında Yüksek Basınç Teknolojisinin Etkileri

Mikrobiyal bozulma ve enzimatik reaksiyonlar, meyve ve sebze ürünlerinin işlenmesinde ve korunmasında iki ana sınırlayıcı faktördür. Sebze sularının çoğu düşük asitli gıda kategorisine girerken ( $pH > 4,6$ ), meyve sularının çoğu yüksek asitli yiyecekler olarak sınıflandırılmaktadır ( $pH < 4,6$ ). Çoğunlukla meyve suları, aerobik mezofiller, maya ve küfler ve koliformlar nedeniyle bozulmaktadır. Meyve sularındaki çeşitli enzimler tüketiciler için sağlık yararları sağlarken, bazı enzimler ise renk değişikliği, bulanıklık, faz ayrımı ve lezzet dışı gelişme ile ürün raf ömrünü sınırlayabilmektedir (Ravichandran ve ark., 2023). Geleneksel olarak meyve sularında koruma amacıyla kullanılan ısıl işlemin biyoaktif bileşenler üzerindeki olumsuz etkilerinin tersine, YBİ teknolojisi gıda güvenliğinden ödün vermeden meyve sularının besin değerini korumanın faydasını sunmaktadır (Tadapaneni ve ark., 2014). Meyve sularında da kullanılan YBİ teknolojisinin enzim, mikroorganizmalar ve biyoaktif bileşenler üzerindeki etkilerini sayılan nedenlerden dolayı bilmek gerekmektedir.

### 4.1. Yüksek Basıncın Enzimler Üzerindeki Etkileri

Basıncın, proteinler/enzimler gibi yüksek moleküler ağırlıklı bileşenlerin aksine, vitaminler, pigmentler ve uçucu bileşikler gibi düşük moleküler ağırlıklı moleküllerin kovalent bağları üzerinde sınırlı bir etkisi vardır. Çünkü enzimlerin karmaşık üç boyutlu yapısı, çeşitli kovalent ve kovalent olmayan etkileşimlerle stabilize edilmektedir. Bu inaktivasyon, katlanma veya açılma yoluyla enzimlerin doğal yapısındaki sayısız etkileşimin ve değişikliğin oluşumunu veya bozulmasını içeren bir dizi olay olarak tekrar etmektedir (Roobab ve ark., 2022). Yüksek basınç ortamında, enzim inaktivasyon mekanizması, protein denatürasyonuna benzer şekilde gelişebilmektedir. Basınç uygulaması, tersine çevrilebilir veya geri döndürülemez veya enzimin doğal yapısının kısmen veya tamamen açılmasına neden olabilmektedir. Bu, işlemler enzimin aktif bölgesinin yapısıyla ilgili olduğu için sonunda enzim aktivitesinde bir değişikliğe yol açmaktadır (Chakraborty ve ark., 2014). 300 MPa'nın üzerindeki basınç uygulanması; oda sıcaklığında geri dönüşümsüz protein denatürasyonuna neden olabilmekte, daha düşük basınç, protein yapısında büyük ölçüde geri dönüşümlü değişikliklere neden olmaktadır. Bir enzimin basınç stabilitesi; su moleküllerinin yer değiştirmesine bağlı olup, kovalent olmayan bağların kayıplarını telafi etme kabiliyetinden büyük ölçüde etkilenmektedir (Terefe ve ark., 2014).

Yüksek basınçlı işleme teknolojisinin (YBİ), (200-600 MPa/1-15 dk) elma suyundaki enzim aktivitesi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada; 600 MPa/5dk'lık en yüksek basınç seviyesi, polifenol oksidaz (PPO)'da neredeyse tamamen inaktivasyona neden olmuştur. Genel olarak peroksidaz enzimi (POD), uygulanan YBİ işleminde PPO'ya kıyasla daha dirençli bulunmuştur (Marszałek ve ark., 2019). Havuç suyunda YBİ teknolojisinin incelendiği diğer bir çalışmada ise 600 MPa/5dk'lık en yüksek basınç, POD inaktivasyonunun yalnızca % 31'ini sağlamıştır. PPO basınca daha az dirençli bulunmuş olup, ancak bu enzim inaktivasyonu için en etkili parametreler 450 MPa/5dk uygulaması için (inaktivasyonun % 44'ü) gerçekleşmiştir (Stinco ve ark., 2019). Mango suyunda 400 MPa/10dk olarak uygulanan YBİ teknolojisinde, POD, PPO ve pektin metil esteraz (PME) için kalan aktivite değerleri sırasıyla % 98, % 93 ve % 96 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle üç enzimin basınca dirençli olduğu belirlenmiştir (Dars ve ark., 2019). Elma suyu üzerine 400-600 MPa/3dk olarak uygulanan YBİ teknolojisinin PPO ve POD üzerine etkisinin incelendiği çalışmada, işlemin hemen sonrasında örnekler yüksek artan enzim aktiviteleri göstermiş olup, bu değerler PPO için  $RA \geq 100$  ve POD için  $RA \geq 98$  olarak tespit edilmiştir. Depolama süresi sonrasında (3 hafta) ise PPO aktivitesi oldukça düşmüş, POD aktivitesi ise % 80 civarında kalmıştır (Wibowo ve ark., 2019).

### 4.2. Yüksek Basıncın Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkileri

Gıdalarda mikrobiyal büyümeyi engellemek için de yüksek basınç teknolojisinden yararlanılmaktadır. Genel olarak, işleme basıncındaki artışlar mikroorganizmalar üzerinde değişen seviyelerde etki göstermektedir. Bu kapsamda; 50 MPa basınç; mikroorganizmalarda protein sentezini inhibe edebilmekte ve ribozom sayısını azaltabilmektedir. 100 MPa'lık bir basınç kısmi protein denatürasyonuna neden olabilmekte ve 200 MPa hücre zarına ve iç hücre yapısına zarar vermektedir (Huang ve ark., 2014). Oda sıcaklıklarında 300 ile 800 MPa arasındaki yüksek basınç, vejetatif mikroorganizmalarda önemli hücre enzimlerinin ve proteinlerinin açılmasına ve denatürasyonuna yol açabilmektedir. Ayrıca, yeterince yüksek seviyedeki basınç, zarın faz geçişinden ve akışkanlığındaki değişiklikten kaynaklanan enzim inaktivasyonunu, zar proteini denatürasyonunu ve hücre zarı yırtılmasını indükleyebilmektedir (Georget ve ark., 2015). Mikrobiyal hücrelerin YBİ'ye duyarlılığı; basıncın büyüklüğü, basınçlama süresi, sıcaklık, kompresyon ve dekompresyon oranları, mikrobiyotaya ve gıdaların içsel özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Sehrawat ve ark., 2021). Ayrıca YBİ teknolojisinin elma sularında bir mikotoksin olan patulini azalttığı da bildirilmiştir (Erdoğan ve ark., 2018).

YBİ koşullarının (200-400 MPa, 5 m'ye kadar) farklı pH seviyelerindeki havuç-portakal su karışımlarında *L. innocua*'nın (ATCC 51742) en az 5 log inaktivasyonuna ulaşması için değerlendirildiği çalışmada, 300 MPa/2dk, 400 MPa/1dk ve 400 MPa/3dk'daki YBİ, sırasıyla pH 4, pH 5 ve pH 6 karışımlarında *L. innocua*'da 6 log'dan fazla azalma sağlamıştır (Pokhrel ve ark., 2022). Değişen pH ve suda çözünür katı madde içeriği ile formüle edilmiş akai sularına uygulanan YBİ teknolojisinin mikrobiyal kaliteye etkisinin incelendiği

çalışmada; *E. coli O157:H7*, *L. monocytogenes* ve *Salmonella spp.* sayılarında 6 log'dan fazla bir azalma gözlenmesi için Akai suyunun pH 4,3 ve 2,9 Briks içeriğinde olması ve 400 MPa/3dk basınç gerektiği vurgulanmıştır (Gouvea ve ark., 2020). Ananas suyuna yüksek basınç işleminin (500 MPa/10dk) uygulandığı çalışmada; ananas suyunda bulunan hem maya/küf hem de koliform bakteriler tamamen etkisiz hale getirilmiş ve toplam aerobik bakteri sayısı da azalmıştır (Wu ve ark., 2021). *L. innocua* ve *E. coli* aşılansız havuç suyunda YBİ'nin (200-500 MPa/2dk.) mikrobiyal dekontaminasyon üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, basıncın artırılmasıyla her iki mikroorganizmanın da inaktivasyonunda artış olmuştur. Basınç seviyesi 400 MPa'ya çıkarıldığında her iki mikroorganizma için de 3 log'luk bir azalış sağlanırken, basınçta 500 MPa'dan daha fazla bir artış, sırasıyla *L. innocua* ve *E. coli*'de yaklaşık 4 ve 5 log'luk azalma sağlamıştır (Pokhrel ve ark., 2022). Çilek suyunda 120 saniye boyunca 200 ve 250 MPa'da uygulanan YBİ, *E. coli*'yi sırasıyla 3.52 ve 4.02 log azaltmıştır. Öte yandan, daha yüksek basınçlardaki YBİ uygulamaları ise; 300 MPa/60s, 350 MPa/30s ve 400 MPa/15s için sırasıyla 5.75, 5.85 ve 6.01 log azalması sağlamıştır (Yildiz ve ark., 2019).

### 4.3. Yüksek Basıncın Biyoaktif Bileşenler Üzerindeki Etkileri

Biyoaktif bileşikler, “gıdalarda tipik olarak küçük miktarlarda bulunan besin dışı bileşenler” olarak tanımlanmıştır. Isıl işleme bağlı olarak meyve sularındaki biyoaktif bileşiklerin kaybının aksine, YBİ gıda güvenliğinden ödün vermeden meyve sularının besin değerini korumanın faydasını sunmaktadır (Tadapaneni ve ark., 2014). Gıdada bulunan biyoaktif bileşiklerin düzenli tüketiminin, kanser, kardiyovasküler hastalık, diyabet, ve çeşitli kronik hastalıkları engellediği bildirilmiştir (Şen, 2021). Polifenoller, C vitamini, karotenoidler, tokoferoller, kazein, fosfopeptitler ve bazı minerallerin çeşitli tamamlayıcı ve sinerjik mekanizmalar yoluyla insan hücre sistemlerini oksidatif hasardan koruyabildiği belirtilmiştir (Andrés ve ark., 2016; Tüysüz ve ark., 2020).

Yüksek basınç işleminin (YBİ) (400, 450, 500 ve 600 MPa/5dk) açai suyunda biyoaktif bileşenler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, antosiyanin olmayan bileşiklerin içeriğinde 500 MPa'da önemli bir artış gözlenmiş olup, 500 ve 600 MPa'da işlenen numunelerin daha yüksek antioksidan değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir (Da Silveira ve ark., 2019). Yapılan diğer çalışmada; YBİ (600 MPa/1dk) teknolojisi portakal suyunun toplam fenol içeriğini artırmış, ancak C vitamini içeriği, DPPH tutma kapasitesi, FRAP demir iyonu azaltma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi göstermemiştir (Huang ve ark., 2021). Ananas suyunda YBİ (500 MPa/10dk)'nin biyoaktif bileşenler ve antioksidan kapasite üzerine etkisinin incelendiği çalışmada YBİ teknolojisi renk, biyoaktif bileşenler ve antioksidan aktiviteyi daha iyi korumuştur (Wu ve ark., 2021). Portakal suyuna 520 MPa/6dk YBİ uygulanması sonucunda antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarı sabit kalmış, fakat askorbik asit miktarı ise azalmıştır (Spira ve ark., 2018). Kırmızı greylift suyu uygulanan 550 MPa/10dk YBİ sonucunda kontrolle karşılaştırıldığında toplam fenol bileşiklerin miktarı değişmemiş, askorbik asit miktarı ise düşmüştür (Gao ve ark., 2015).

## 5. Tüketici Algısında Yüksek Basınç Teknolojisi

Tüketicilerin gıda ürünlerini kabul etmesi, tercihi ve seçimi, sosyal, psikolojik ve ekonomik birçok faktör tarafından etkilenmekte olup (Yeşilçubuk ve ark., 2021), endüstriler piyasaya sunduğu ürünler hakkında tüketici algısına göre karar vermektedir. Gelişmekte olan teknolojiler tarafından işlenen ürünlerin tüketici tarafından reddedilmesi; duyu özelliklerindeki değişiklikler, aşına olmama, artan ürün fiyatı, sağlık, güvenlik, etik ve çevresel yönlerle ilgili endişeler gibi farklı nedenlerle ortaya çıkabilmektedir (Dos Santos Rocha ve ark., 2022). Bununla birlikte, tüketici açısından, yeni teknolojilerle işlenen ürünlerde sosyal farkındalığı ve güveni artırmak için tüketici odaklı iletişim önem kazanmaktadır. Bu yöntemler hakkında; özellikle bağımsız bilim adamları, tüketici kuruluşları veya gıda güvenliği yetkilileri tarafından bilgi verildiğinde, tüketicilerin yeni işleme yöntemleri algısını olumlu yönde etkilediği bulunmuştur (Song ve ark., 2020). Özellikle tüketicilerin yeni ürünlere ne kadar olumlu baktıklarını gösteren “tüketici yenilikçiliği” ve bir ürünün kullanılmasının ne ölçüde algılandığını gösteren “algılanan zevk” kavramları tüketici motivasyonunu artırmaktadır (Sargun ve ark., 2020).

Fransa, Almanya ve İngiltere'de gerçekleştirilen ve YBİ teknolojisinin tüketici tarafından algısını yansıtan çalışmada, Fransa ve Almanya'daki tüketicilerin çoğunluğu için YBİ kabul edilebilir değerler alırken, İngiltere pazar araştırmasında eşğin altında kabul edilebilirlik değerleri ortaya çıkmıştır. Çalışmada % 67'lik bir kesim, kişisel deneyim olmadan ve büyük ölçüde yüksek basıncı anlatmak amacıyla kendilerine verilen karttaki bilgilere dayanarak, bu teknolojinin kabul edilebilir olduğunu söylemiştir. Fransızlar bu ürünler için biraz daha fazla ücret ödemeye hazırlanırken, hem Almanlar hem de İngilizler daha fazla ödeme yapmakta isteksiz bulunmuştur (Butz ve ark., 2003).

Avustralyalı tüketiciler üzerinde yapılan diğer bir çalışmada, portakal suyuna uygulanan YBİ'nin tüketiciler tarafından iyi kabul edildiğini ve satın alma olasılığının piyasada ısıl işlem gören mevcut portakal sularına benzer şekilde değerlendirildiğini göstermektedir. Toplanan ek nitel verilere göre, satın alınan meyve suyunun türü, tüketim vesilesiyle (örneğin atıştırmalık olarak veya seyahat ederken) güçlü bir şekilde bağlı bulunmuştur. Tüm katılımcılar (metin açıklamalarında) YBİ teknolojisinin portakal suyunun besin değerini ve duyu özelliklerini koruduğuna dair iddialar konusunda ikna olmadıklarını ifade etmiştir (Mireaux ve ark., 2007).

Çin'de yapılan çalışmada ise tüketiciler YBİ teknolojisini, karmaşık ve sofistike bir teknoloji olarak kabul etmiştir. Katılımcıların yaklaşık % 10'u YBİ konusunda kararsız kalmış ve yüksek basınç nedeniyle ürünün şeklinin, aromasının ve besin içeriğinin değişebileceğinden endişe duyduğunu ifade etmiştir. YBİ konusunda detaylı bilgi verildikten sonra ise, katılımcıların kaygısı azalsa da, YBİ'in yiyecek ve içecekler katma değer kattığı için fiyatı artırılabilirliği bir endişe kaynağı olarak nitelendirilmiştir. YBİ ile işlenmiş sağlıklı içeceklerin mevcut piyasa fiyatının % 10 altında satılması durumunda, katılımcıların çoğunluğu (% 96) bu ürünleri satın almaya istekli olduğunu belirtmiştir (Lee ve ark., 2015).

Norveç, Danimarka, Macaristan ve Slovakya'da yapılan çalışmada tüketiciler, YBİ teknolojisi kullanılan elma suyunun pastörizasyonla üretilen bir meyve suyuna kıyasla sunduğu faydaları fark etmiş ve takdir etmişlerdir. Dört ülkedeki katılımcılar, bu yeni

teknolojiler aracılığıyla üretilen ürünlerin besin değeri ve tadı ile ilgili ürün özelliklerine olumlu puanlar vermiştir. Ayrıca bu teknolojilerin çevresel fayda yaratması da, olumlu özellikler olarak nitelendirilmiştir (Sonne ve ark., 2012). Brezilya'da YBİ'yi de kapsayan yeni muhafaza metodlarıyla muamele edilmiş meyve sularının; tüketiciler tarafından yapay, katkı maddeleri ve koruyucular eklenmiş ve kötü gibi olumsuz özelliklerle algılandığını ve bunun sebebinin de, esas olarak teknoloji hakkında bilgi eksikliği olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir (Martins ve ark., 2019).

## 6. Yüksek Basınç Teknolojisinin Maliyeti

2020'nin sonunda, dünyada 5 yıl öncesine göre yaklaşık iki kat daha fazla sayıda, yaklaşık 590 endüstriyel yüksek basınçlı işleme ünitesi bulunmaktadır. Bu endüstriyel büyüklükteki sistemlerin yaklaşık 20'si (35 L'den 135 L'ye kadar hacim) akademik laboratuvarlarda ve pilot tesislerde araştırma ve geliştirme amacıyla kullanılmıştır. Bu nedenle, ticari amaçlı ünite sayısının 570 olduğu ifade edilmiştir. Kuzey Amerika, tarihsel olarak, yiyecek ve içecekler için endüstriyel YBİ tekniklerinin ana benimseyicisi ve en büyük itici gücü olmuştur ve olmaya devam etmektedir (toplamda yaklaşık 235 sistem kurulmuş, ABD'de yaklaşık 155, Meksika'da 50 ve Kanada'da 30 ünite), ardından Avrupa Birliği ülkelerinde yaklaşık 130 sistem kurulmuş (Avrupa'nın önde gelen ülkesi 30 adet ile İspanya); ve başta Çin, Güney Kore, Japonya ve Tayland olmak üzere yaklaşık 100 ünitenin üretimde olduğu Asya (yaklaşık yarısı Çin'de olmak üzere toplam 70 ünite); Okyanusya (Avustralya ve Yeni Zelanda'da yaklaşık 25 ünite) ve Güney Amerika (yaklaşık 25 sistem). Afrika'da endüstriyel YBİ teknolojisi kullanan tek ülke, sekiz üniteye sahip Güney Afrika'dır (Houška ve ark., 2022).

YBİ ekipmanları yatay ve dikey tip olmak üzere iki türe ayrılrsa da ticari uygulamalarda kullanılan cihazların çoğu, üretim hattındaki konteynerlerin yüklenmesini ve boşaltılmasını kolaylaştırmak için yatay tiptedir. Ayrıca yatay yönlendirme; alt düzey inşaat gereksinimlerini önlemekte, yükseklik ve zemin yükü kısıtlamalarını ortadan kaldırmakta, sistem kurulumunu ve yer değiştirmeyi daha uygun hale getirmekte, tesiste ürün akışını kolaylaştırmakta ve işlenmiş ve işlenmemiş ürünün karıştırılma riskini azaltmaktadır (Mújica-Paz ve ark., 2011).

Genel olarak YBİ ekipmanları, kapasite ve çalışma parametre aralığına bağlı olarak yaklaşık 0,5–2,5 milyon dolara mal olmaktadır (Huang ve ark., 2017). Toplam maliyet; değişken maliyetleri (işgücü, alan, enerji, kamu hizmetleri, bakım ve diğerleri) ve sermaye maliyetini içermektedir. Yatırımın yaklaşık % 80'i YBİ sisteminin ve kurulumunun sermaye maliyetine gitmektedir. Bu sermaye maliyeti; kabaca basınçlı kap ve bileşenlerine % 50~60, pompalama sistemine % 30~35 ve % 10~15 ile kontrol sistemine bölünmüştür. İşlem maliyeti ise, amortisman için % 65~75, enerji için % 2~3, bakım için % 22~33 ve işçilik için % 10~40 arasındadır (Elamin ve ark., 2015).

ABD'de portakal suyu işleme için YBİ'nin maliyetinin tahmin edildiği çalışmada, ısıtma işlemi ile 1 litre portakal suyu üretmenin toplam maliyetinin 1,5¢/L, YBİ ile ise 10,7¢/L olduğunu hesaplanmıştır. Aynı çalışmada araştırmacılar CO<sub>2</sub> emisyonu da ölçmüş olup, ısıtma işlemi için 90.000 kg ve YBİ için 773.000 kg olarak tespit edilmiştir (Sampedro ve ark., 2014).

Diğer bir çalışmada portakal suyu işlenmesinde YBİ için ilk yatırım, dikkate alınan ömür boyunca ekipmanın yaşam döngüsü maliyetinin % 17,99'unu temsil etmektedir. Yaşam Döngüsü Maliyetinin en yüksek kotası, % 71,21'i oluşturan işletme maliyetidir. Buna karşılık, bu maliyet, esas olarak, işletme maliyetlerinin % 48,96'sını oluşturan portakal suyunun işlenmesi için gereken birincil ambalaj malzemesinden kaynaklanmaktadır. Enerji tüketimi (% 20,78) ve çalışanların maaşları (% 17,87) toplam işletme maliyetine etki etmektedir. Bakım söz konusu olduğunda; en yüksek kota planlı bakım (% 47,22) olup, önleyici bakım da önemli (% 44,45) bir maliyet oluşturmaktadır (Cacace ve ark., 2020).

## 7. Yüksek Basınç Teknolojisinin Küresel Mevzuata Uygunluğu

YBİ ile muamele edilmiş gıda maddeleri, Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde tanımlanan "Yenilikçi Gıda" konseptine göre değerlendirilmektedir (258/97 sayılı Yönetmelik (AB)). AB ülkelerinde, yenilikçi gıdaları pazara sunmadan önce, gıda şirketlerinin bu ürünlerin gıda yasalarına uygun olduğuna dair bir onay almaları gerekmektedir. "Yenilikçi Gıdalar Yönetmeliği (NFR)", bu gıdaları, 15 Mayıs 1997'den önce AB içinde önemli bir tüketim geçmişine sahip olmayan bir gıda olarak tanımlamaktadır (Naik ve ark., 2013). 2000 yılında, yüksek basınçla işlenmiş ürünler Avrupa Komisyonu tarafından NFR kapsamında onaylanmıştır. NFR kapsamında onaylanmamış olmalarına rağmen, AB pazarında birçok farklı yüksek basınçlı gıda ürününün mevcut olduğu da saptanmıştır. Üye devletlerin yetkili makamları, Temmuz 2001'de ulusal makamların yüksek basınçlı gıda ürünlerinin yasal statüsüne karar vermesi gerektiği konusunda anlaşmış olup, Avrupa Komisyonu, YBİ'nin artık yeni bir süreç olarak görülmediği sonucuna varmıştır (Cholewinska, 2010).

Gıda Standartları Kanunu, Avustralya ve Yeni Zelanda'da gıda üretimi için gereklilikleri özetlemektedir. YBİ teknolojisi, 2013'ten beri yeni bir süreç olarak görülmemektedir ve bir ürünü YBİ işlenmiş olarak etiketlemeye gerek yoktur. 2018'den bu yana ise, AB ülkeleri düzeyinde, YBİ artık yeni bir süreç olarak görülmemektedir. Sadece YBİ kullanımı nedeniyle AB ülkelerinde Yenilikçi Gıda İznine ihtiyaç yoktur. Amerika Birleşik Devletlerinde ise YBİ teknolojisi, FDA, USDA ve FSIS gibi tanınmış kuruluşlar tarafından patojen inaktivasyonu ve raf ömrünün uzatılması için ölümcül bir süreç olarak onaylanmıştır (Hiperbaric, 2023). On yıldan fazla bir süredir, Kanada'da satılan YBİ ile işlenmiş gıdalar, Gıda ve İlaç Düzenlemelerinin 28. Bölümü uyarınca Yeni Gıdalar olarak düzenlenmiştir. Bununla birlikte, Aralık 2016'da Health Canada, YBİ'nin gıdaya güvenli bir şekilde uygulanabileceğini destekleyen yeterli bilgi ve verinin mevcut olması nedeniyle YBİ'nin artık yeni bir süreç olmadığını gösteren bir pozisyon yayınlamıştır (Kanada, 2023).

## 8. Sonuç

Meyve ve meyve ürünleri sağlıklı beslenmenin önemli bir parçası olup; içerdiği, polifenoller, antosiyaninler veya vitaminler gibi değerli biyoaktif bileşikler sağlığa fayda sağlamaktadır. Fakat meyve suları sahip olduğu bileşimsel özellikler nedeniyle bozulmaya oldukça yatkın olup, mikroorganizmaların ve enzimlerin etkisiyle kolaylıkla kalitelerini yitirebilmektedir. Bu amaçla meyve sularında geleneksel olarak kullanılan ısı işlemler; bu problemlerin önüne geçilmesinde katkı sağlasa da uygulanan yüksek sıcaklık, ürünün genel kalitesini etkileyerek doğal ve karakteristik lezzeti azaltmakta ve biyoaktif bileşenlere zarar verebilmektedir. Meyve sularında görülen bu istenmeyen değişimleri engellemek için kullanılan ve ısı olmayan muhafaza tekniklerinden bir tanesi olan YBİ; besinsel ve organoleptik özellikler üzerinde minimum etkiye sahipken; mikrobiyal yükü ise etkisiz hale getirme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojinin başarısına ilişkin en önemli kanıt ise gelişmiş ülkelerde gıda çeşitlerinin ticari olarak işlenmesi için yaygın kabul görmüş olması ve benimsenmesidir. Buna rağmen, sistem kurulurken gereken yüksek başlangıç maliyeti, süreçler hakkındaki derin bilgi eksikliği ve üreticilere sunulan teknik rehberlikte yaşanan sorunlar hala devam etmektedir.

## Kaynakça

- Abera, G. (2019). Review on high-pressure processing of foods. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1-23.
- Aksoy, A. (2020). Gıda endüstrisinde elektrolize su kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(19), 254-262.
- Andrés, V., Villanueva, M.J., & Tenorio, M.D. (2016). The effect of high-pressure processing on colour, bioactive compounds, and antioxidant activity in smoothies during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 192, 328-335.
- Auwah, G., Ramaswamy, H.S., & Economides, A. (2007). Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(6), 584-602.
- Ayvaz, H., Schirmer, S., Parulekar, Y., Balasubramaniam, V.M., Somerville, J.A., & Daryaei, H. (2012). Influence of selected packaging materials on some quality aspects of pressure-assisted thermally processed carrots during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 46(2), 437-447.
- Balasubramaniam, V., Farkas, D., & Turek, E.J. (2008). Preserving foods through high-pressure processing. *Food Technology*, 62(11), 32-38.
- Balasubramaniam, V., Martinez-Monteagudo, S.I., & Gupta, R. (2015). Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual review of food science and technology*, 6, 435-462.
- Balny, C., & Masson, P. (1993). Effects of high pressure on proteins. *Food Reviews International*, 9(4), 611-628.
- Butz, P., Needs, E.C., Baron, A., Bayer, O., Geisel, B., Gupta, B., Oltersdorf, U., & Tauscher, B. (2003). Consumer attitudes to high pressure food processing. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1, 30-34.
- Cacace, F., Bottani, E., Rizzi, A., & Vignali, G. (2020). Evaluation of the economic and environmental sustainability of high pressure processing of foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102281.
- Chakraborty, S., Kaushik, N., Rao, P.S., & Mishra, H. (2014). High-pressure inactivation of enzymes: a review on its recent applications on fruit purees and juices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 578-596.
- Cholewinska, A.E. (2010). *High Pressure Law*. Wageningen University.
- Chuang, S., & Sheen, S. (2022). High pressure processing of raw meat with essential oils-microbial survival, meat quality, and models: A review. *Food Control*, 132, 108529.
- Da Silveira, T.F.F., Cristianini, M., Kuhnle, G.G., Ribeiro, A.B., Filho, J.T., & Godoy, H.T. (2019). Anthocyanins, non-anthocyanin phenolics, tocopherols and antioxidant capacity of açai juice (*Euterpe oleracea*) as affected by high pressure processing and thermal pasteurization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 55, 88-96.
- Dars, A.G., Hu, K., Liu, Q., Abbas, A., Xie, B., & Sun, Z. (2019). Effect of thermo-sonication and ultra-high pressure on the quality and phenolic profile of mango juice. *Foods*, 8(8), 298.
- Dos Santos Rocha, C., Magnani, M., Ramos, G.L.d.P.A., Bezerril, F.F., Freitas, M.Q., Cruz, A.G., & Pimentel, T.C. (2022). Emerging technologies in food processing: impacts on sensory characteristics and consumer perception. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100892.
- Elamin, W.M., Endan, J.B., Yosuf, Y.A., Shamsudin, R., & Ahmedov, A. (2015). High pressure processing technology and equipment evolution: A review. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 8(5), 74-83.
- Erdoğan, A., Ghimire, D., Gürses, M., Çetin, B., & Baran, A. (2018). Patulin contamination in fruit juices and its control measures. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(14), 39-48.
- Farkas, D.F., & Hoover, D.G. (2000). High pressure processing. *Journal of Food Science*, 65, 47-64.
- Gao, G., Zhao, L., Ma, Y., Wang, Y., Sun, Z., & Liao, X. (2015). Microorganisms and some quality of red grapefruit juice affected by high pressure processing and high temperature short time. *Food and Bioprocess Technology*, 8(10), 2096-2108.
- Georget, E., Sevenich, R., Reineke, K., Mathys, A., Heinz, V., Callanan, M., Rauh, C., & Knorr, D. (2015). Inactivation of microorganisms by high isostatic pressure processing in complex matrices: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, 1-14.
- Gouvea, F.S., Padilla-Zakour, O.I., Worobo, R.W., Xavier, B.M., Walter, E.H., & Rosenthal, A. (2020). Effect of high-pressure processing on bacterial inactivation in açai juices with varying pH and soluble solids content. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102490.
- Hiperbaric. (2023). HPP Technology: Global Regulatory Compliance. from <https://www.hiperbaric.com/en/hpp-technology-global-regulatory-compliance/>
- Houška, M., Silva, F.V.M., Evelyn, Buckow, R., Terefe, N.S., & Tonello, C. (2022). High pressure processing applications in plant foods. *Foods*, 11(2), 223.



- Huang, H.W., Hsu, C.P., & Wang, C.Y. (2020). Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry. *Journal of Food and Drug Analysis*, 28(1), 1-13.
- Huang, H.W., Lung, H.M., Yang, B.B., & Wang, C.Y. (2014). Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. *Food Control*, 40, 250-259.
- Huang, H.W., Wu, S.J., Lu, J.K., Shyu, Y.T., & Wang, C.Y. (2017). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control*, 72, 1-8.
- Huang, X., Wang, Y., Liao, X., & Zhao, L. (2021). Effects of ultra-high pressure and high temperature short-time sterilization on the quality of NFC orange juice. *Science and Technology of Food Industry*, 42(6), 1.
- Hygrieva, D., & Pandey, M.C. (2016). Novel approaches in improving the quality and safety aspects of processed meat products through high pressure processing technology - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 175-185.
- Kamiloğlu, A., Kantar, N.K., & Elbir, T. (2021). Etlerde ozmotik dehidrasyon uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(21), 534-542.
- Kanada. (2023). Foods treated with high pressure processing (HPP). from <https://inspection.canada.ca/preventive-controls/high-pressure-processing/eng/1498504011314/1498504256677>
- Lee, P.Y., Lusk, K., Miroso, M., & Oey, I. (2015). Effect of information on Chinese consumers' perceptions and purchase intention for beverages processed by high pressure processing, pulsed-electric field and heat treatment. *Food Quality and Preference*, 40, 16-23.
- Marangoni Júnior, L., Cristianini, M., Padula, M., & Anjos, C.A.R. (2019). Effect of high-pressure processing on characteristics of flexible packaging for foods and beverages. *Food Research International*, 119, 920-930.
- Marszałek, K., Szczepańska, J., Starzonek, S., Woźniak, L., Trych, U., Skapska, S., Rzoska, S., Saraiva, J.A., Lorenzo, J.M., & Barba, F.J. (2019). Enzyme inactivation and evaluation of physicochemical properties, sugar and phenolic profile changes in cloudy apple juices after high pressure processing, and subsequent refrigerated storage. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4), e13034.
- Martins, I.B.A., Oliveira, D., Rosenthal, A., Ares, G., & Deliza, R. (2019). Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International*, 125, 108555.
- Mireaux, M., Cox, D.N., Cotton, A., & Evans, G. (2007). An adaptation of repertory grid methodology to evaluate Australian consumers' perceptions of food products produced by novel technologies. *Food Quality and Preference*, 18(6), 834-848.
- Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., Samson, C.T., Welti-Chanes, J., & Torres, J.A. (2011). High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 969-985.
- Naik, L., Sharma, R., Rajput, Y., & Manju, G. (2013). Application of high pressure processing technology for dairy food preservation- future perspective. *Journal of Animal Production Advances*, 3(8), 232-241.
- Olsen, N.V., Grunert, K.G., & Sonne, A.-M. (2010). Consumer acceptance of high-pressure processing and pulsed-electric field: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(9), 464-472.
- Podolak, R., Whitman, D., & Black, D.G. (2020). Factors affecting microbial inactivation during high pressure processing in juices and beverages: A review. *Journal of Food Protection*, 83(9), 1561-1575.
- Pokhrel, P.R., Boulet, C., Yildiz, S., Sablani, S., Tang, J., & Barbosa-Canovas, G.V. (2022). Effect of high hydrostatic pressure on microbial inactivation and quality changes in carrot-orange juice blends at varying pH. *LWT*, 159, 113219.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., Balasubramaniam, V., Niranjana, K., & Knorr, D. (2007). Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 69-112.
- Ravichandran, C., Jayachandran, L.E., Kothakota, A., Pandiselvam, R., & Balasubramaniam, V.M. (2023). Influence of high pressure pasteurization on nutritional, functional and rheological characteristics of fruit and vegetable juices and purees-an updated review. *Food Control*, 146, 109516.
- Roobab, U., Abida, A., Afzal, R., Madni, G.M., Zeng, X.A., Rahaman, A., & Aadil, R.M. (2022). Impact of high-pressure treatments on enzyme activity of fruit-based beverages: An overview. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 801-815.
- Sabancı, S. (2020). Üzüm suyunun ısıtılmasında güncel elektriksel ısıtma uygulaması: Ohmik ısıtma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(20), 466-471.
- Sampedro, F., McAloon, A., Yee, W., Fan, X., & Geveke, D. (2014). Cost analysis and environmental impact of pulsed electric fields and high pressure processing in comparison with thermal pasteurization. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 1928-1937.
- Sargun, S., Oralhan, B., & Üvenç, A.S. (2020). Sosyal medya reklamcılığının tüketici satın alma davranışı üzerine etkisinin yapısal eşitlik modellemesi ile incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(20), 632-639.
- Sehrawat, R., Kaur, B.P., Nema, P.K., Tewari, S., & Kumar, L. (2021). Microbial inactivation by high pressure processing: Principle, mechanism and factors responsible. *Food Science and Biotechnology*, 30(1), 19-35.
- Song, Q., Li, R., Song, X., Clausen, M.P., Orlien, V., & Giacalone, D. (2022). The effect of high-pressure processing on sensory quality and consumer acceptability of fruit juices and smoothies: A review. *Food Research International*, 157, 111250.
- Song, X., Pendenza, P., Díaz Navarro, M., Valderrama García, E., Di Monaco, R., & Giacalone, D. (2020). European consumers' perceptions and attitudes towards non-thermally processed fruit and vegetable products. *Foods*, 9(12), 1732.
- Sonne, A.M., Grunert, K.G., Olsen, N.V., Granli, B.S., Szabó, E., & Banati, D. (2012). Consumers' perceptions of HPP and PEF food products. *British Food Journal*, 114(1), 85-107.
- Spira, P., Bisconsin-Junior, A., Rosenthal, A., & Monteiro, M. (2018). Effects of high hydrostatic pressure on the overall quality of Pêra-Rio orange juice during shelf life. *Food Science and Technology International*, 24(6), 507-518.
- Stinco, C.M., Szczepańska, J., Marszałek, K., Pinto, C.A., Inacio, R.S., Mapelli-Brahm, P., Barba, F.J., Lorenzo, J.M., Saraiva, J.A., & Melendez-Martinez, A.J. (2019). Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice. *Food Chemistry*, 299, 125112.
- Syed, Q.-A., Buffa, M., Guamis, B., & Saldo, J. (2016). Factors Affecting Bacterial Inactivation during High Hydrostatic Pressure Processing of Foods: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 474-483.



- Şen, G.T. (2021). Bazı siyah üzüm ve nar ürünlerinin antioksidan özelliklerinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(23), 800-809.
- Tadapaneni, R.K., Daryaei, H., Krishnamurthy, K., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B.M. (2014). High-Pressure processing of berry and other fruit products: Implications for bioactive compounds and food safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(18), 3877-3885.
- Tao, Y., Sun, D.-W., Hogan, E., & Kelly, A.L. (2014). Chapter 1 - High-Pressure Processing of Foods: An Overview. In: *Emerging Technologies for Food Processing (Second Edition)*, D.-W. Sun (Eds.), Academic Press, San Diego, 3-24.
- Terefe, N.S., Buckow, R., & Versteeg, C. (2014). Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(1), 24-63.
- Tüysüz, B., ÇAKIR, Ö., & Dertli, E. (2020). Bazı yabani meyve türlerinin antioksidan kapasitesi, toplam fenolik madde içeriği ve fenolik asit profilinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(21), 191-197.
- Wibowo, S., Essel, E.A., De Man, S., Bernaert, N., Van Droogenbroeck, B., Grauwet, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2019). Comparing the impact of high pressure, pulsed electric field and thermal pasteurization on quality attributes of cloudy apple juice using targeted and untargeted analyses. *Innovative food science & emerging technologies*, 54, 64-77.
- Wu, W., Xiao, G., Yu, Y., Xu, Y., Wu, J., Peng, J., & Li, L. (2021). Effects of high pressure and thermal processing on quality properties and volatile compounds of pineapple fruit juice. *Food Control*, 130, 108293.
- Yeşilçubuk, N.Ş., Demirel, B., & Bilsel, A.Y. (2021). Attitudes and preferences of consumers towards functional foods enriched with Omega-3 fatty acids. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(25), 485-492.
- Yildiz, S., Pokhrel, P.R., Unluturk, S., & Barbosa-Cánovas, G.V. (2019). Identification of equivalent processing conditions for pasteurization of strawberry juice by high pressure, ultrasound, and pulsed electric fields processing. *Innovative food science & emerging technologies*, 57, 102195.
- Yordanov, D., & Angelova, G. (2010). High pressure processing for foods preserving. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(3), 1940-1945.



# Modeling of Photovoltaic/Thermal System by Artificial Neural Network Based on The Experimental Study

Muhammed Musab Bayat<sup>1\*</sup>, Ertan Buyruk<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4631-6516), [muhammed@cumhuriyet.edu.tr](mailto:muhammed@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6539-7614), [buyruk@cumhuriyet.edu.tr](mailto:buyruk@cumhuriyet.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 11 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 17 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10259964)

**ATIF/REFERENCE:** Bayat, M.M., Buyruk, E. (2023). Modeling of Photovoltaic/Thermal System by Artificial Neural Network Based on The Experimental Study. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 153-160.

## Abstract

In this study, Artificial Neural Network model (ANN) has been used to model the temperature dependent current, voltage and output power characteristics of uncooled and cooled photovoltaic panels with phase change material (PCM). In the previous laboratory experiment, the current and voltage values produced by the photovoltaic panels in the temperature range of 20 °C - 65 °C for one hour were measured. Models have been created using the Artificial Neural Network technique with experimental data containing 60 samples for each of these three photovoltaic/thermal (PV/T), including uncooled and two different cooled models. The combinations and features of the Artificial Neural Network model that provide the lowest model error have been achieved. The performance of the Neural Network model performed well in both the uncooled photovoltaic, cooled with flat fins/PCM and cooled with perforated fins/PCM, with RMSE model errors of 1.15e-02, 6.76e-03 and 6.10e-03, respectively. Therefore, it was suggested as a potent tool for modeling current, voltage, and generated power at all temperatures reached during the hour-long experiment.

**Keywords:** Artificial neural network, Photovoltaic/Thermal System, PV-PCM.

## Deneysel Çalışmaya Dayalı Fotovoltaik/Termal Sistemin Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi

### Öz

Bu çalışmada soğutmasız ve faz değişim malzemesi (FDM) ile soğutmalı fotovoltaik panellerin sıcaklığa bağlı akım, gerilim ve çıkış gücü karakteristiklerini modellemek için Yapay Sinir Ağı modeli (YSA) kullanılmıştır. Bir önceki laboratuvar deneyinde fotovoltaik panellerin 20 °C- 65 °C sıcaklık aralığında bir saat boyunca ürettikleri akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Soğutmasız ve iki farklı soğutmalı model olmak üzere bu üç fotovoltaik/termal (PV/T)'nin her biri için 60 örnek içeren deneysel verilerle Yapay Sinir Ağı tekniği kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Yapay Sinir Ağı modelinin en düşük model hatasını sağlayan kombinasyonları ve özellikleri belirlenmiştir. Sinir Ağı modelinin performansı sırasıyla 1.15e-02, 6.76e-03 ve 6.10e-03 RMSE model hatalarıyla hem soğutmasız fotovoltaik, düz kanatçıklar/FDM ile soğutulan hem de delikli kanatçıklar/FDM ile soğutulan fotovoltaikte iyi performans gösterdi. Bu nedenle, bir saatlik deney sırasında ulaşılan tüm sıcaklıklarda akım, gerilim ve üretilen gücü modellemek için güçlü bir araç olarak önerildi.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay sinir ağı, Fotovoltaik/Termal Sistem, PV-FDM.

\* Corresponding Author: [muhammed@cumhuriyet.edu.tr](mailto:muhammed@cumhuriyet.edu.tr)

## 1. Introduction

Clean and renewable energy sources are increasingly sought after as environmental degradation and energy scarcity become more prevalent (Alzaabi et al.). Solar energy is gaining popularity due to its clean and environmentally friendly properties. A major solar energy technology that represents a promising prospect is photovoltaic (PV) power generation. The efficiency of most PV panels under ideal conditions is only 15-20%, despite the fact that PV systems have been commercialized and widely used (Ma T et al.). Solar cells are highly sensitive to external climate conditions (solar irradiance, wind, temperature, etc.) since they are usually located outdoors (Kazem HA et al.). Some of the temperature is absorbed by the PV panels, while some is influenced by the environment around it. This results in a reduction in open circuit voltage of the PV panel. The efficiency of PV panels decreased by 5 % with every increase of 10 °C, according to a study by Dos Santos et al. Photovoltaic/thermal (PV/T) systems have become popular in recent years as a new photoelectric system. In a photovoltaic thermal system (PVT), heat is recovered from a conventional photovoltaic module through an integrated heat recovery mechanism. In addition to increasing the electrical efficiency of the system, these systems absorb the extra heat produced by the photovoltaic cells, thereby enhancing the efficiency of the system (M. Sardarabadi et al.). Studies evaluating PCM passively integrated with photovoltaic systems generally focus on both thermal and photovoltaic measurements. Based on the weather conditions, Park et al. investigated BIPVs incorporated with PCM for their annual electrical performance. They found that incorporating a PCM with a melting point of 25 °C increased electrical efficiency by 1.0–1.5 % over an uncooled PV module. An experimental study was conducted by Hasan et al. to determine the impact of PCM on PV efficiency. In their study, it was found that the generation of PV electricity increased by 7.2 % when the PCM was integrated to the system. An integrated photovoltaic/thermal system's electrical and thermal performances containing ZnO/water nanofluid doped PCM were examined experimentally by Sardarabadi et al. An average electricity generation increase of over 13% and an almost 9% rise in thermal efficiency can be attributed to the PCM and the nanofluid. Several arrangements of internal fins were used in Huang et al's experiment to enhance energy efficiency. The authors found that by increasing the area of heat transfer and improving natural convection through internal fins, temperatures of the PV-PCM system can be effectively reduced, resulting in an increased generation of PV power. In order to achieve effective temperature control, a PV-PCM (photovoltaic phase change materials) system with different PCM containment options as well as a combination of PCMs with different melting points was tested under different solar radiation intensities, both indoors and outdoors. Over the past few years, PV systems have increasingly implemented PCM. An investigation was conducted to determine whether PCMs can maintain PV panel temperatures close to ambient temperatures. Various types of PCMs were examined, ranging from non-organic to organic. There is an organic paraffin wax that is commonly used for this application as it has a number of melting points, is relatively inexpensive, and is readily available. A PCM-based PV panel operates better under hot climate conditions than a conventional PV panel. It is because they can store a great deal of energy. PCM have low thermal conductivity, which is their primary disadvantage. Using fins in the PCM is an alternative to the traditional methods of cooling and storing them. By using this method, these materials can be made more thermally conductive. The PV-PCM technology was proven to limit temperature rise and improve PV performance, concluding that it is an effective way to limit temperature rise and increase PV performance.

A significant amount of research has been conducted on artificial neural networks (ANNs) in a wide range of fields, especially in the field of energy (M. Mohanraj et al.). A PV-PCM system's electrical performance can be predicted using the ANN model. There has been much research on using artificial neural networks (ANN) to predict PV and PV/T system performance. PV panel temperature and solar radiation were used as input variables, while energy generation was used as an output variable. As inputs to a concentrating PVT system, Renno et al. used ANN models to predict solar radiation. In their study, they demonstrated that the ANN models can estimate both direct normal solar irradiance and daily radiation reasonably accurately. A comparison was made between the estimated and analytical results by Celik. Based on his results, ANNs provide better predictions of current than analytical models. A photovoltaic power supply system was modeled using an Adaptive Neuro-fuzzy Inference Scheme (ANFIS) by Mellit and Kalogirou. A number of climatic conditions were encountered in the development of the model, and performance and reliability were found to be satisfactory. Their performance was superior to that of Artificial Neural Networks, under all of these conditions. Grid-connected PV power output was estimated using artificial neural networks by Huang et al. In this study, they proposed an algorithm for improving the accuracy of photovoltaic power estimations based on artificial neural networks. As a result of combining environmental information like ambient temperature, irradiance, and wind speed, Hiyama and Kitabayashi evaluated the estimation of PV maximal power using artificial neural networks (ANNs). An innovative methodology was presented by Ceylan et al. for estimating the profile of PV panel power production. This study proposes two artificial neural networks (ANNs) that can be applied to sunny and cloudy days. By using ANN-models, they were able to produce reasonable estimates of the power. Recently, Voyant et al. presented a review study explaining various types of machine learning approaches that can be used to forecast solar irradiation. In numerous studies, ANNs were found to be capable of predicting the effects of PCM and simulating their behavior. The study presents the proposed ANN model and correlations between data from laboratory experiments. Thus, this article contributes by providing a model that incorporates an artificial neural network to compare the productivity and performance of PV/T systems exposed to different cooling systems. The use of artificial neural networks and fuzzy inference systems has been used in recent years to develop predictive models for estimating parameters (Torun, Y., & Doğan, H.). Researchers found that ANNs can yield reasonably accurate estimates of output parameters, while input parameters play an important role in modeling.

PV/T analysis and evaluation of different cooling systems models is the objective of this paper. It is compared between the output of the models based on PCM and fin and the output of the model based on ANN. It can be seen from the experimental results that they are very close to the ANN results in terms of electrical efficiency, comparing the experimental and ANN results.

$$P=V \times I$$

(1)

## 2. Method and Material

### 2.1. Experimental Work

Experimental data were obtained from monocrystalline solar panels, the properties of which are given in Table 1, under  $600 \text{ W/m}^2$  constant radiation under laboratory conditions (M.M. Bayat et al.). For this study, an organic PCM named RT28HC was used. In the experimental setup, there are two types of containers with aluminum-fins: with flat fins and with perforated fins. Furthermore, a photovoltaic cell was used as a reference throughout the experiment but was not cooled. For cooling, containers were placed at the backs of other solar panels. For measuring light intensity, Mastech SM206 sensors were used. Measurements of PV module surface temperatures were performed with K-type thermocouples. Measuring voltage and current values, a load resistor used that has 22-ohm values. An hour-long test was conducted with minute-by-minute data collection. The temperature and electrical data were stored on a computer using an Agilent 349070A data logger. Finally, Eq. (1). allows determining output power. The experimental setup and type of containers are shown in Figure 1.

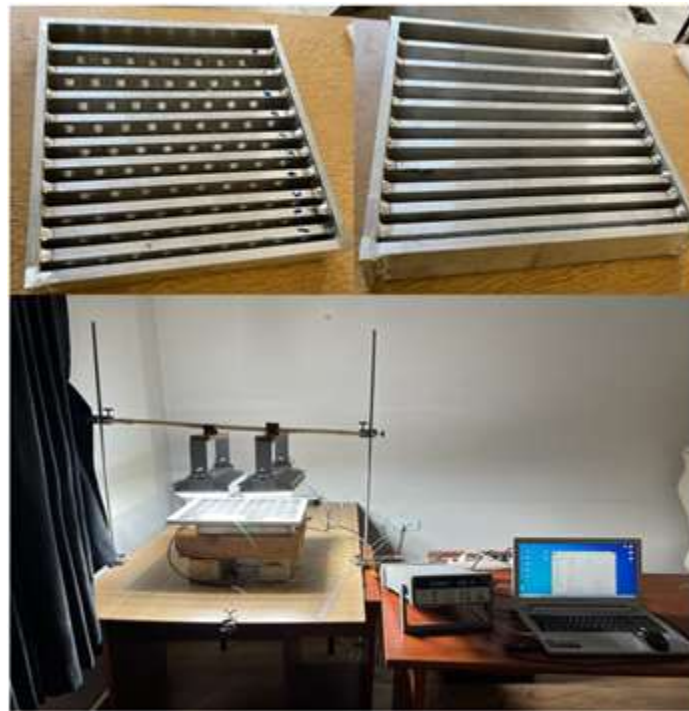


Figure 1. Containers and experimental setup (M.M. Bayat et al.)

Table 1. PV panel specification

Property	Value
Peak Power	25 W
Open circuit voltage ( $V_{oc}$ )	24,62 V
Short circuit current ( $I_{sc}$ )	1,28 A
Max. power voltage ( $V_{mp}$ )	20,84 V
Max. power current ( $I_{mp}$ )	1,23 A
Dimensions	360x420x20 mm
Weight	2 kg
Operating temperature	-40 °C - +85 °C

PV panel surface temperatures obtained over time are shown in Figure 2. At the end of the test, the uncooled PV panel, PV panel with flat aluminum -fins and PV panel with perforated aluminum -fins reached  $59.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $47.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , and  $46 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectively. A one-hour experiment was conducted to compare the electrical performance of PV panels with and without cooling. A comparison of the output powers for uncooled PV panel and each cooled PV panels can be found in Figure 3.

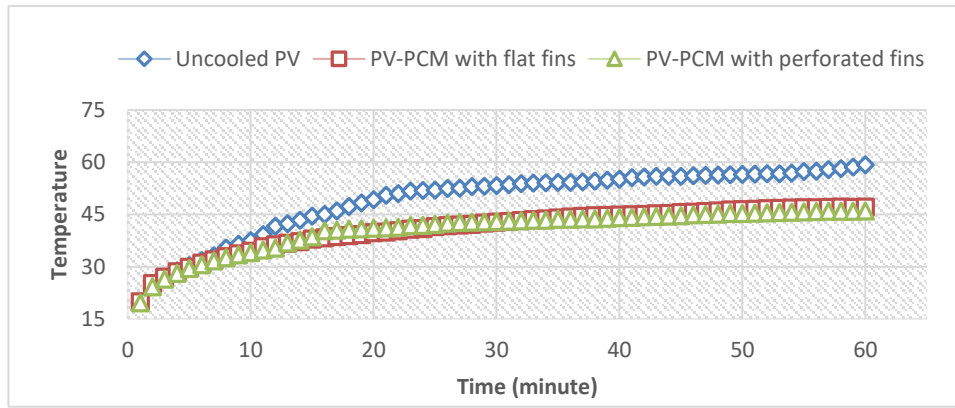


Figure 2. Surface temperatures of uncooled and cooled PV panels

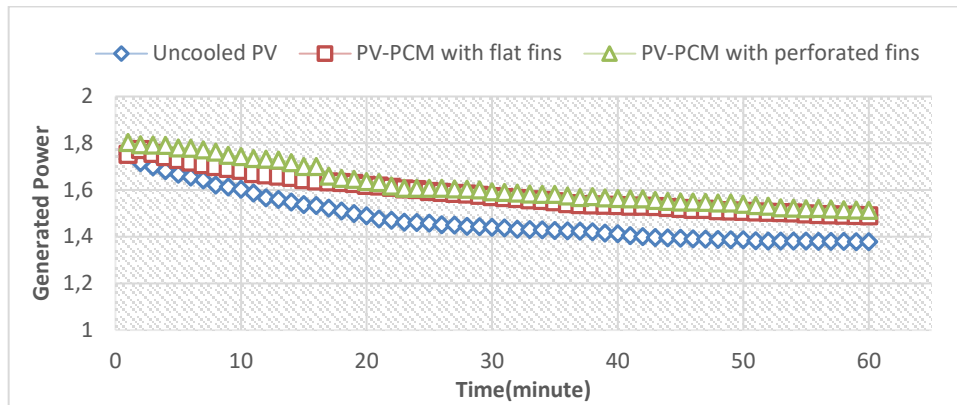


Figure 3.  $P_{max}$  of uncooled and cooled PV panels

## 2.2. Neural Network-based approximation of temperature and output power characteristic of PV panels

In terms of temperature changes, generated power from PV panels has a wide range of nonlinearity. By discrete sampling, current and voltage are measured to determine output power characteristics. Neural Network models aid in obtaining current and voltage values at specific temperatures within a known radiation value. Models mimic real systems, predicting output power without extra experimental measurement, based on temperature. The next subsection describes the artificial neural network tool that was used to model the output power characterization of the PV panels in the current study.

### 2.2.1. Artificial neural network (ANN)

An ANN is an artificial neural network, which is a powerful nonlinear approximation tool that resembles the human mind (K. Hornik et al.). Three layers are involved in the construction of ANNs: input, hidden, and output. For function approximation tasks, input data instants flow from input to output neurons in a single direction, whereas in the training phase, approximation error is backpropagated in the opposite direction as output to the input layer in order to reduce approximation error. In Fig. 4, an ANN architecture is suggested for modeling the PV panel's temperature-dependent output power characteristic. For each connection, finding the optimal weights between neurons is the goal of training an artificial neural network (ANN). The ANN model in the current study was trained using Levenberg-Marquardt. Utilizing the "Mean Square Error" function, training is carried out in accordance with the network performance measurement.

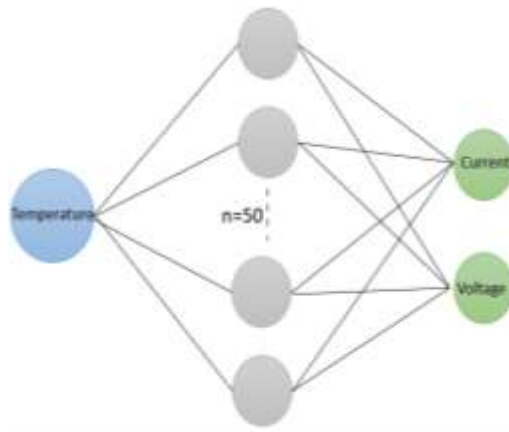


Figure 4. Modeling PV panel characteristics with an ANN architecture



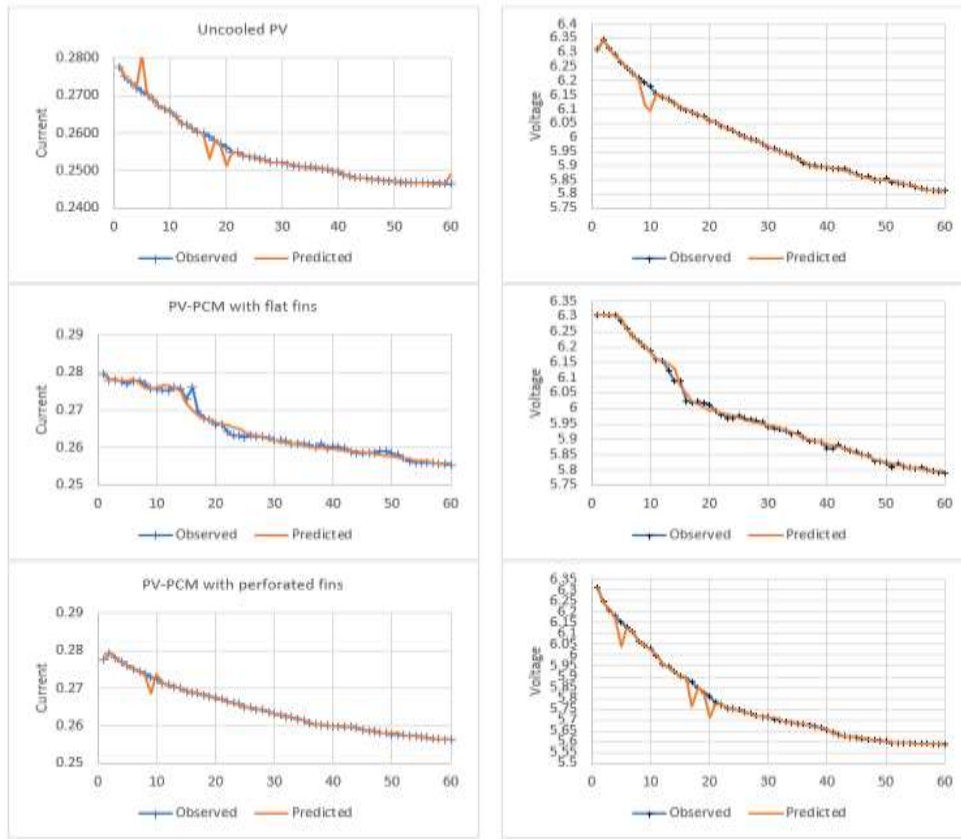


Figure. 5. Comparing PV current and voltage measurements with predicted values through ANN

### 2.3. Modeling Environment

The Matlab Toolbox (Matlab R2019a) was used to create the Neural Network model. A desktop computer with an i7 processor from the fourth generation and 16 GB of RAM has been used to run the model codes. The experimental data have divided up randomly for training and testing. As a result, training covers 70 % of the data, and testing covers the remaining 30 %. Three performance indices have been determined. The Root Mean Square Error (RMSE) was calculated as follows:

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |I_i - \hat{I}_i|^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Mean absolute error (MAE) was calculated as follows:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |I_i - \hat{I}_i| \quad (3)$$

Mean square error (MSE) was calculated as follows:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_i - \hat{I}_i)^2 \quad (4)$$

where  $I_i$  is current (I)'s experiment value that was acquired;  $\hat{I}_i$  is the anticipated value of the current state for the  $i$ th instant out of all the instants.

### 3. Results and Discussion

For computing and analyzing, this work uses an artificial neural network (ANN) based on the backpropagation algorithm. The input for ANN is surface temperature while the output is voltage and current. In ANN, network performance is affected by the number of neurons in the hidden layer. Both the training and testing phases, a high number of neurons is responsible for overfitting and long consumption times, whereas a low number of neurons increases RMSE. The assessment of number of neurons on performance, the size of neurons was varied from 10 to 100 neurons in steps of 10. A Levenberg-Marquardt learning algorithm in ANN has been used to achieve the best MSE with 50 neurons in the hidden layer. In the beginning of the training stage, the system's behavior under testing conditions is determined without any prior knowledge of the input matrix' covariance. Due to this, ANNs are trained using random values of weights, which results in some oscillations in the network output from the first few iterations.

Table 2. Performance indices for predicted current

	Uncooled PV	PV-PCM with flat fins	PV-PCM with perforated fins
$(R^2)$	0.9834	0.9910	0.9820
RMSE	1.649e-03	6.189e-04	1.034e-03
MAE	4.536e-04	1.442e-04	5.962e-04
MSE	1.844e-05	4.924e-05	7.590e-05

Table 3. Performance indices for predicted voltage

	Uncooled PV	PV-PCM with flat fins	PV-PCM with perforated fins
$(R^2)$	0.9933	0.9898	0.9968
RMSE	2.400e-02	1.521e-02	8.870e-03
MAE	6.507e-03	3.787e-03	5.461e-03
MSE	5.468e-03	3.012e-03	1.298e-03

The purpose of this paper is to compare the performance of different cooling systems models for analyzing and evaluating PV/T. The output from the actual models based on PCM and fin is compared to the outcome of the ANN model. When the experimental results are compared to the ANN results, the curves are very close, especially in terms of electrical efficiency.

For uncooled and cooled models, the predicted and actual value of PV panel current and voltage have been shown in Fig. 5. Similarly, the estimated and actual value of the generated power calculated from the PV panel current and voltage values are shown in Fig. 6. Data in the training dataset makes up 70% of the total data, while data in the test dataset makes up 30% of the total data. The training dataset consists of 42 samples, and the test dataset contains 18 samples.

For all three models, Fig. 5 shows the results of the experiment and the ANN output. In comparison with the other models, the PV-PCM with perforated fins model achieved the highest electric current production and all three models predict the output with a high level of accuracy as shown in Fig. 5. A table with the RMSE, MSE, MAE, and  $R^2$  values is also provided in Table 2 for an improved understanding of the models. Moreover, both observed and ANN results indicate that the voltage rate of the perforated model obtained the highest results in comparison with the other models. A low MSE and MAE are also shown in Table 3. An analysis of the generated electrical power between PV/T and PV systems is presented in Fig. 3. A greater degree of cooling resulted in a higher electrical efficiency, which is claimed to have been achieved by the PV-PCM with the perforated system. ANN models are also more similar to experimental results. Based on Table 4, the MSE and MAE of the ANN model are low, which indicates better accuracy of the model.

Table 4. Performance indices for predicted generated power

	Uncooled PV	PV-PCM with flat fins	PV-PCM with perforated fins
$(R^2)$	0.9942	0.9928	0.9952
RMSE	1.153e-02	6.764e-03	6.100e-03
MAE	3.309e-03	1.552e-03	3.779e-03
MSE	1.286e-03	1.124e-03	9.261e-05

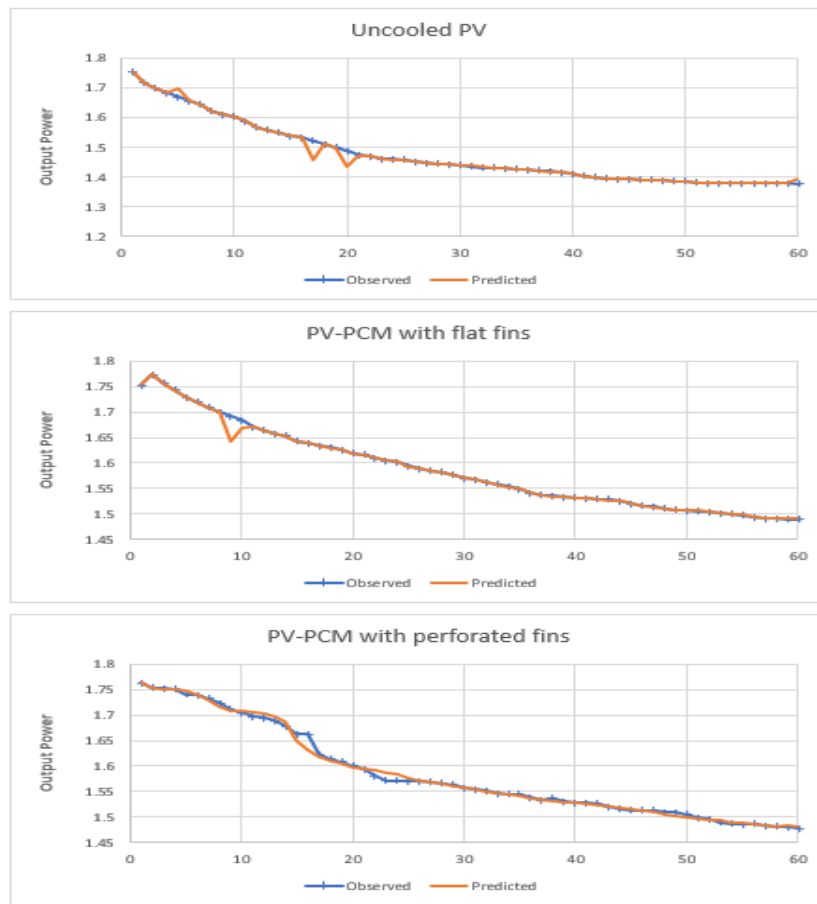


Figure 6. Comparing PV generated power measurements with predicted values through ANN

## 4. Conclusions and Recommendations

In order to mimic the behavior of the PV/T model, the ANN models aim to reproduce and predict it as accurately as possible. ANN models also provide accurate predictions of future outcomes wherever solar power is available. An ANN is used in this paper to compare conventional PV and PCM-based PV/T systems under the same conditions. The results of practical experiments and ANN models almost matched. Through the development of a simulation model, researchers are able to optimize design for PVT systems.

For the purpose of determining the effect of refrigerant on PV/T output power, two PV/T systems were designed and implemented. Testing was conducted in a laboratory environment to determine the electrical behavior of PV/T cooling strategies. Artificial Neural Networks (ANNs) were used to confirm the exploratory results. Among the two tested systems, PCM with perforated fins provided the greatest cooling effect, achieving a 9.46 % electrical efficiency as opposed to 7.43 % for PCM with flat fins.

## 5. Acknowledge

This study was supported by Sivas Cumhuriyet University Scientific Research Projects (CUBAP) with project number M-2022-829.

## References

- Alzaabi Aa, Badawiyeh Nk, Hantoush Ho, Hamid Ak. Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, UAE. *Int J Smart Grid Clean Energy* 2014.
- A.N. Celik, Artificial neural network modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules, *Sol. Energy* 85 (2011) 2507–2517.
- C. Renno, F. Petito, A. Gatto, Artificial neural network models for predicting the solar radiation as input of a concentrating photovoltaic system, *Energy Convers. Manage.* 106 (2015) 999–1012.
- Ceylan, İlhan, et al. "The prediction of photovoltaic module temperature with artificial neural networks." *Case Studies in Thermal Engineering* 3 (2014): 11-20.
- dos Santos Carstens DD, da Cunha SK. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. *Energy Policy* 2019;125:396–404.

- Hasan, Ahmad, Hamza Alnoman, and Yasir Rashid. "Impact of integrated photovoltaic-phase change material system on building energy efficiency in hot climate." *Energy and Buildings* 130 (2016): 495-505.
- Hiyama, Takashi, and Ken Kitabayashi. "Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environmental information." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 12.3 (1997): 241-247.
- Huang, Chao, et al. "Improvement in artificial neural network-based estimation of grid connected photovoltaic power output." *Renewable Energy* 97 (2016): 838-848.
- Huang, M. J., et al. "Natural convection in an internally finned phase change material heat sink for the thermal management of photovoltaics." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 95.7 (2011): 1598-1603.
- K. Hornik, M. Stinchcombe, H. White, Multilayer feedforward networks are universal approximators, *Neural Network*. 2 (1989) 359–366, [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(89\)90020-8](https://doi.org/10.1016/0893-6080(89)90020-8).
- Kazem HA, Chaichan MT. Effect of humidity on photovoltaic performance based on experimental study. *Int J Appl Eng Res (IJAER)* 2015;10(23):43572–7.
- M.M. Bayat, E. Buyruk, A. Can, "Use of PCM with aluminum fins to improve solar panel performance" 26th International Conference on Heating, Cooling and Air-conditioning (2023).
- M. Mohanraj, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, Applications of artificial neural networks for refrigeration, air-conditioning and heat pump systems, a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (2012) 1340–1358.
- M. Sardarabadi, M. Passandideh-Fard, S. Zeinali Heris, Experimental investigation of the effects of silica/water nanofluid on PV/T (photovoltaic thermal units), *Energy* 66 (2014) 264–272.
- Ma T, Yang H, Zhang Y, Lu L, Wang X. Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and outlook. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 43:1273–84DIN 1946-4, "VAC Systems in Buildings and Rooms Used in The Health Care Sector", 2008
- Mellit, Adel, and Soteris A. Kalogirou. "ANFIS-based modelling for photovoltaic power supply system: A case study." *Renewable energy* 36.1 (2011): 250-258.
- Park, Jungwoo, Taeyeon Kim, and Seung-Bok Leigh. "Application of a phase-change material to improve the electrical performance of vertical-building-added photovoltaics considering the annual weather conditions." *Solar Energy* 105 (2014): 561-574.
- Sardarabadi, Mohammad, et al. "Experimental study of using both ZnO/water nanofluid and phase change material (PCM) in photovoltaic thermal systems." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 161 (2017): 62-69.
- Torun, Y., & Doğan, H. (2021). Modeling of Schottky diode characteristic by machine learning techniques based on experimental data with wide temperature range. *Superlattices and Microstructures*, 160, 107062.
- Voyant, Cyril, et al. "Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review." *Renewable energy* 105 (2017): 569-582.



# Fusion of High-Level Visual Attributes for Image Captioning

Murat Kılıcı<sup>1</sup>, Özkan Çaylı<sup>1</sup>, Volkan Kılıç<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0009-0000-3192-1601, 0000-0002-3389-3867, 0000-0002-3164-1981), [190403023@ogr.ikc.edu.tr](mailto:190403023@ogr.ikc.edu.tr), [ozkan.cayli@ikcu.edu.tr](mailto:ozkan.cayli@ikcu.edu.tr), [volkan.kilic@ikcu.edu.tr](mailto:volkan.kilic@ikcu.edu.tr)

(First received 18 August 2023 and in final form 10 September 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10260172)

**ATIF/REFERENCE:** Kılıcı, M., Çaylı, Ö., & Kılıç, V., (2023). Fusion of High-Level Visual Attributes for Image Captioning. *European Journal of Science and Technology*, (52), 161-168.

## Abstract

Image captioning aims to generate a natural language description that accurately conveys the content of an image. Recently, deep learning models have been used to extract visual attributes from images, enhancing the accuracy of captions. However, it is essential to assess these visual attributes to ensure optimal performance and avoid incorporating redundant or misleading information. In this study, we employ the visual attributes of semantic segmentation, object detection, instance segmentation, keypoint detection, and their fusion. Experimental evaluations on the commonly used datasets VizWiz and MSCOCO Captions demonstrate that the fusion of visual attributes improves the accuracy of caption generation. Furthermore, the image captioning model, which utilizes the fusion of visual attributes, has been embedded into our custom-designed Android application, named *NObstacle*, enabling captioning without the need for an internet connection.

**Keywords:** Visual Attributes, Image Captioning, Android Application.

## Görüntü Altyazılama için Üst Düzey Görsel Özniteliklerin Birleştirilmesi

### Öz

Görüntü altyazılama, bir görüntünün içeriğini doğru olarak ileten bir doğal dil açıklaması üretmeyi amaçlar. Son zamanlarda, altyazıların doğruluğunu arttırmak için görsel öznitelikleri çıkaran derin öğrenme modelleri kullanılmaktadır. Ancak, optimal performansın sağlanması, gereksiz ve yanıltıcı bilgilerin işlenmesinin önlenmesi açısından bu görsel özniteliklerin değerlendirilmesi önemlidir. Bu çalışmada, anlamsal bölümlenme, nesne algılama, örnek bölümlenme, anahtar nokta algılamanın ve bunların birleşiminin görsel öznitelikleri kullanıyoruz. VizWiz ve MSCOCO Captions gibi yaygın olarak kullanılan veri kümelerinde yapılan deneysel değerlendirmeler, görsel özniteliklerin birleşiminin altyazı üretiminin doğruluğunu artırdığını göstermektedir. Ayrıca, görsel özniteliklerin birleşimini kullanan görüntü altyazılama modeli, *NObstacle* adını verdiğimiz özel tasarlanmış Android uygulamamıza entegre edilerek internet bağlantısı gerektirmeden altyazı üretimini sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Görsel Öznitelikler, Görüntü Altyazılama, Android Uygulama.

\* Corresponding Author: [190403023@ogr.ikc.edu.tr](mailto:190403023@ogr.ikc.edu.tr)



# 1. Introduction

The task of image captioning aims to generate a meaningful and grammatically correct sentence to describe an image, which is achieved through the utilization of techniques from computer vision and natural language processing fields (Akosman et al., 2021; Fetiler et al., 2021; Sayraci et al., 2023). This task has found industrial and practical applications, such as visual question answering (Anderson et al., 2018; Keskin et al., 2021), image indexing (Baran et al., 2021; Chang, 1995), and virtual assistants (Doğan et al., 2022; Makav & Kılıç, 2019).

Recent studies mostly employ retrieval-based, template-based, and neural encoder-decoder-based frameworks in image captioning (Farhadi et al., 2010; Moral et al., 2022). The retrieval-based framework generates a candidate caption by presenting a similar image of a given dataset to the models. In the retrieval-based framework, a set of candidate captions is generated from the reference captions in the dataset, which are similar to the input image. From this candidate set, the caption that captures the most semantic information of the input image is chosen (Betül et al., 2022; Kılıç et al., 2014; Yang et al., 2020). In template-based methods, a caption is generated by matching the visual information of detected objects and actions with fixed templates (Kılıç, 2021; Yu et al., 2019).

The encoder-decoder framework was proposed to describe the contents of images because it captures representations of visual data as a latent vector (Farhadi et al., 2010; Mercan & Kılıç, 2020; Çaylı et al., 2021). Typically, the encoder utilizes a convolutional neural network (CNN), whereas the decoder employs a recurrent neural network (RNN) (Pu et al., 2020). The encoder represents the image as a latent vector that captures objects and semantic information. On the other hand, the decoder utilizes the image representation to generate a natural sentence (Çaylı et al., 2023; Jiang et al., 2018; Aydın et al., 2022).

Training deep learning models from scratch is a time-consuming and computationally costly process. Therefore, most studies generally prefer to utilize pre-trained deep-learning models in the encoder. This utilization offers significant contributions in terms of time and computational cost (Çaylı et al., 2022; Keskin et al., 2021; Makav & Kılıç, 2019). Visual attributes represent fundamental elements to describe different characteristics of an object, a scene, or visual content (Deselaers et al., 2004; Mercan et al., 2020). These attributes include features such as color, shape, size, location, or intensity of an object within a scene. In the field of computer vision, visual attributes play a significant role, serving as essential components for various tasks such as object detection (Amit et al., 2020), and instance segmentation (Ibarra et al., 2017; Kılıç et al., 2022; Liu et al., 2018). In semantic segmentation, each pixel in an image is classified based on its respective category, providing a comprehensive understanding of the image content (Wang et al., 2018). Instance segmentation is a computer vision task that goes beyond conventional semantic segmentation. While semantic segmentation assigns each pixel in an image to a specific category, instance segmentation advances this by identifying and outlining distinct instances of objects within each category (Liu et al., 2018). Object detection aims to identify and localize the objects within an image, based on their visual characteristics (Amit et al., 2020). Likewise, keypoint detection involves identifying essential points of interest in objects (e.g., facial features such as eyes, nose, and mouth) and determining their respective positions (Barroso-Laguna et al., 2019).

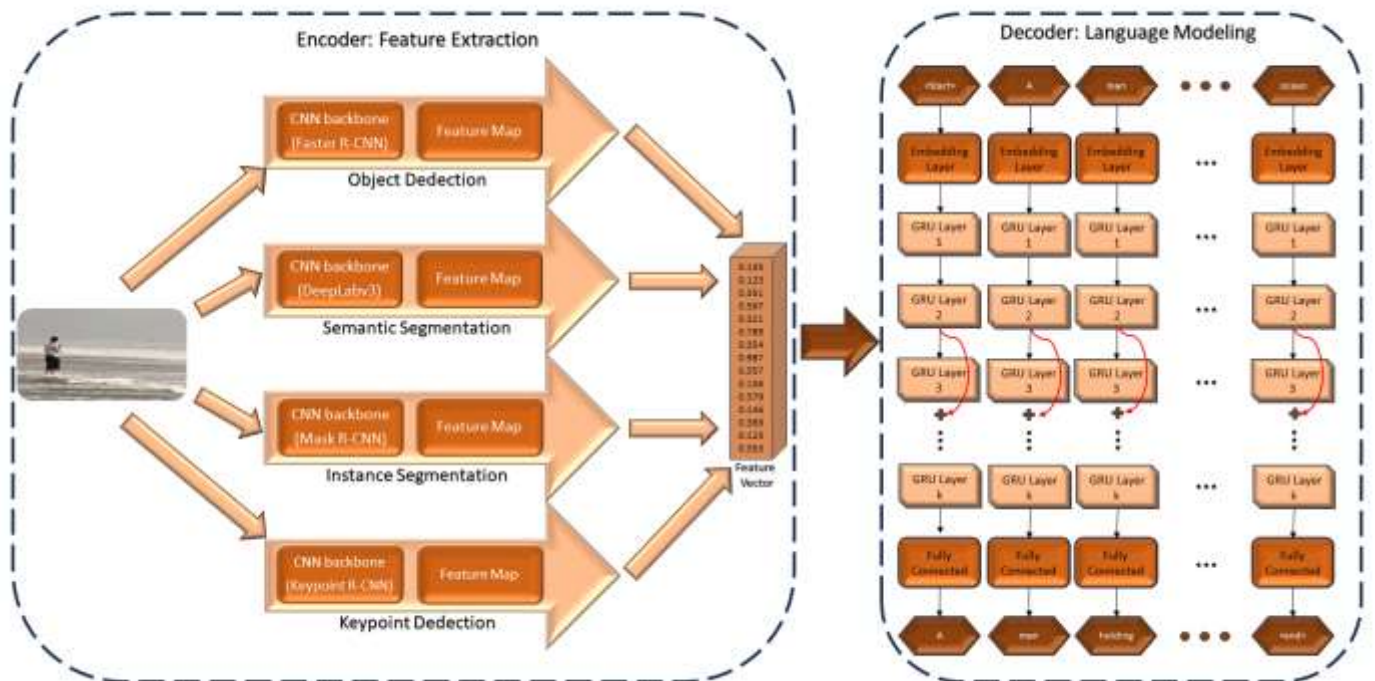


Figure 1 The Proposed Image Captioning Approach.

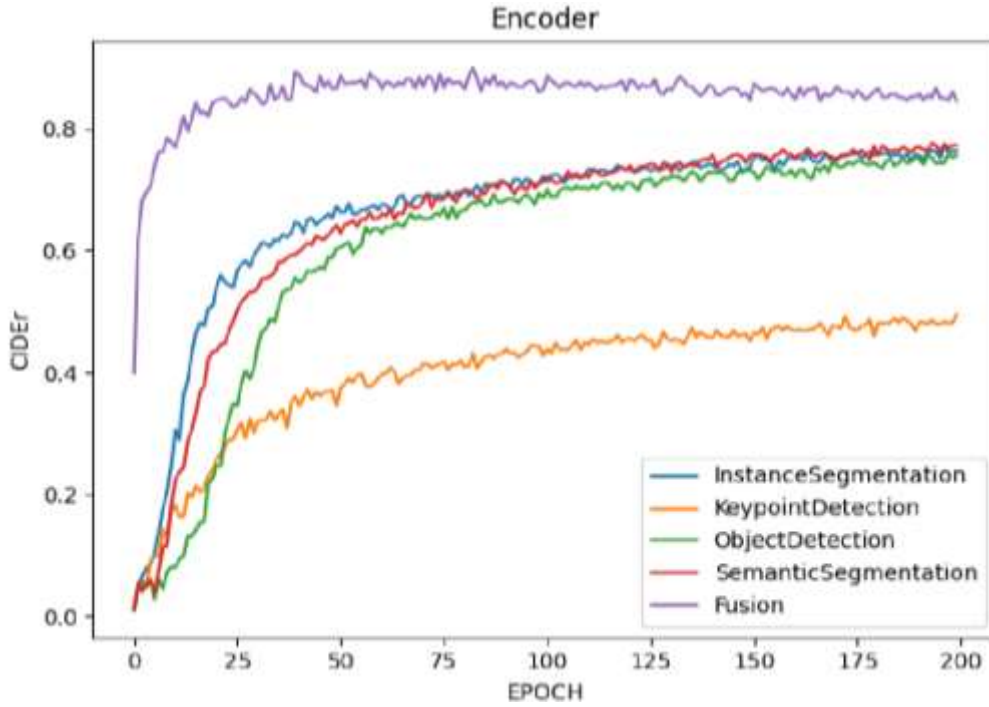


Figure 2 Evaluations of visual attributes with their fusion in terms of CIDEr on MSCOCO dataset.

In this study, we present a fusion of high-level visual attributes for more accurate and contextually relevant captioning by capturing more semantic information in an image. The approach utilizes pre-trained models based on ResNet in the encoder, incorporating Instance Segmentation, Semantic Segmentation, Object Detection, and Keypoint Detection techniques. The process of extracting attributes is performed using models such as DeepLabv3, Mask R-CNN, and a Feature Pyramid Network (FPN). The decoder utilizes the residual connected GRU model, providing gradient flow through residual connections between subsequent layers. We used the MSCOCO (Lin et al., 2014) and VizWiz (Gurari et al., 2020) datasets for experiments and evaluated the efficiency of the proposed approach with performance metrics CIDEr, SPICE, METEOR, ROUGE-L, and BLEU-n (n=1, 2, 3, 4).

The rest of the paper is organized as follows: Section 2 describes the proposed image captioning approach as shown in Figure 1, visual attributes extraction methods, and our custom-designed Android application *NObstacle*. Section 3 covers the dataset, evaluation metrics, and results. Finally, Section 4 concludes the study with closing remarks.

## 2. Methods

In this section, we first introduce the image captioning approach along with utilized visual attributes. Then, we present an Android application named *NObstacle* that is capable of generating captions offline.

### 2.1. The Proposed Approach

In the proposed approach, we extract semantic, object, instance, and keypoint attributes from a given image to generate a caption using an RNN-based decoder. These extracted attributes are utilized in single, pairwise, triplet, and quadruplet combinations to feed into the RNN-based decoder. The purpose of the decoder is to predict a caption word-by-word sequentially until an end-of-caption word is generated. Gated Recurrent Unit (GRU) (Chung et al., 2014) model is the type of RNN that employ a hidden state to retain and propagate information across sequential data points. GRU computes the hidden state  $h_s$  as shown in (1).

$$\begin{aligned}
 r_g &= \sigma(W_{ir}x_t + b_{ir} + W_{hr}h_{t-1} + b_{hr}) \\
 u_g &= \sigma(W_{iu}x_t + b_{iu} + W_{hu}h_{t-1} + b_{hu}) \\
 n_g &= \tanh \tanh(W_{in}x_t + b_{in} + r_t \odot (W_{hn}h_{t-1} + b_{hn})) \\
 h_s &= (1 - z_t) \odot n_t + z_t \odot (h_{s-1})
 \end{aligned} \tag{1}$$

Table 1 PERFORMANCE METRIC RESULTS IS: Instance Segmentation, KD: Keypoint Detection, OD: Object Detection, SS: Semantic Segmentation (\*: MSCOCO Captions Datasets, \*\*: VizWiz Captions Datasets)

	CIDEr	BLEU-4	BLEU-3	BLEU-2	BLEU-1	ROUGE-L	METEOR	SPICE	SCORE
Instance Segmentation (IS) *	0.769	0.243	0.344	0.486	0.668	0.491	0.222	0.149	0.413
Keypoint Detection (KD) *	0.495	0.188	0.272	0.403	0.595	0.438	0.181	0.104	0.317
Object Detection (OD) *	0.757	0.242	0.342	0.484	0.666	0.489	0.221	0.148	0.410
Semantic Segmentation (SS) *	0.775	0.252	0.352	0.494	0.676	0.495	0.223	0.150	0.417
IS+OD *	0.847	0.265	0.365	0.504	0.680	0.506	0.236	0.162	0.441
IS+KD *	0.811	0.254	0.355	0.497	0.676	0.500	0.229	0.158	0.429
IS+SS *	0.868	0.268	0.369	0.511	0.686	0.512	0.240	0.170	0.450
KD+OD *	0.839	0.266	0.367	0.508	0.684	0.506	0.234	0.161	0.439
KD+SS *	0.839	0.268	0.368	0.508	0.683	0.507	0.234	0.163	0.440
OD+SS *	0.888	0.279	<b>0.383</b>	<b>0.524</b>	<b>0.700</b>	<b>0.518</b>	0.242	0.169	0.458
IS+KD+OD *	0.849	0.266	0.368	0.509	0.685	0.508	0.237	0.163	0.443
IS+KD+SS *	0.869	0.271	0.371	0.512	0.685	0.512	0.241	0.170	0.450
IS+OD+SS *	0.890	0.278	0.379	0.519	0.693	0.516	0.242	0.171	0.457
KD+OD+SS *	0.889	0.275	0.379	0.520	0.695	0.516	<b>0.243</b>	0.170	0.457
Fusion *	<b>0.898</b>	<b>0.280</b>	0.382	0.523	0.695	0.515	0.241	<b>0.172</b>	<b>0.459</b>
Fusion **	0.298	0.157	0.245	0.379	0.577	0.394	0.159	0.089	0.256
(Chen et al., 2018)	0.600	0.121	0.191	0.308	0.505	-	-	-	-
(You et al., 2018)	0.665	0.136	0.207	0.322	0.511	0.390	0.170	-	-

The gates of a GRU, namely the reset, update, and new gate, can be denoted as follows:  $r_g$ ,  $u_g$ , and  $n_g$ , respectively. In (1) subscript  $g$  means gate and  $i$  refers to the input. The Hadamard product is called  $\odot$ , while the sigmoid activation function is denoted as  $\sigma$ .

In the study, a multi-layered GRU-based model, which is specifically developed to work with sequential data, is utilized for caption generation. Utilizing the GRU-based model, the process of generating captions involves denoting the target sentence as  $Y = y_1, y_2, \dots, y_N$ , represents the sequence of words. Similarly,  $\hat{Y}$  represents sequential predictions of the network, respectively. To train the model, the cross-entropy (CE) loss is employed as the criterion, and the loss is computed as follows:  $\text{loss} = \text{CE}(Y, \hat{Y})$ .

## 2.2. Visual Attributes Extraction Methods

In this study, the DeepLabv3 architecture, which is trained for semantic segmentation tasks, has been employed to extract visual attributes. The objective of this task is to identify all corresponding pixels of objects within an image and allocate these pixels into discrete object categories (Guo et al., 2018). This task, commonly referred to as pixel-wise classification, serves the purpose of precisely segregating diverse objects presented within an image. The extraction of semantic segmentation attributes was accomplished by leveraging pre-trained weights from the MSCOCO dataset. Object detection is a computer vision task that aims to identify the positions and classes of objects within images (Amit et al., 2020). This involves segmenting the images into distinct areas, followed by examining each area to specify the location and type of the object (Tahir et al., 2021). Visual attributes from an object detection task are employed, which uses the Faster R-CNN architecture to extract attributes from images. Instance segmentation is a task to predict class labels and pixel-wise instance masks to accurately localize multiple instances within an image and leverages a Mask R-CNN (He et al., 2017; Liu et al., 2018). In this study, we employ ResNet50 CNN as the backbone layer to extract visual attributes (Xi et al., 2021). Keypoint detection task is typically used for tasks such as pose estimation in natural images, object pose estimation, and facial landmark localization. Human pose estimation involves predicting specific locations on the human body, like the elbow and wrist. There are primarily two approaches: directly determining the coordinates of these keypoints (Sun et al., 2018; Toshev & Szegedy, 2014) and producing heatmaps for keypoint detection. We utilized a visual attribute extraction process using pre-trained weights on the MSCOCO dataset (Lin et al., 2014).

## 2.3. Android Application: *NObstacle*

The proposed approach is integrated into the custom-designed Android application called *NObstacle*, which generates captions offline. Users can capture an image within the application using the camera or select from the gallery. Then, the proposed approach generates a corresponding caption and presents it to the user. Initially, the image captioning approach was fine-tuned using PyTorch (Paszke et al., 2019), an open-source framework developed for machine learning tasks on mobile devices. To minimize the weight of the model and thereby speed up the captioning process, we employed the dynamic quantization technique. In addition, the application supports various languages with speech command recognition. Screenshots of the *NObstacle* are given in Figure 3.

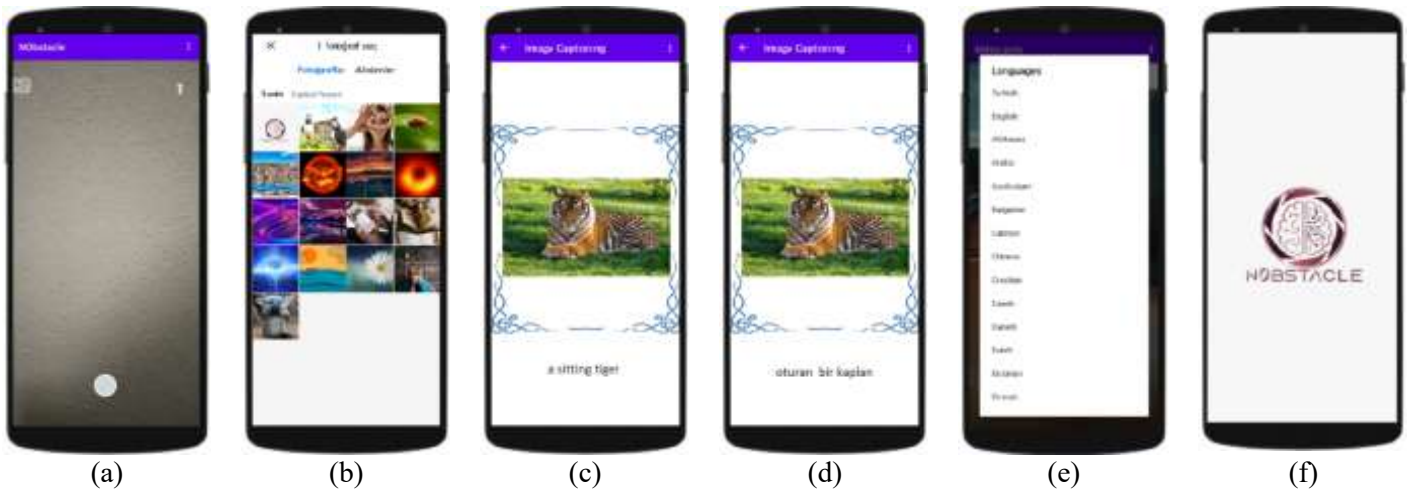


Figure 3 (a) shows the startup screen displays the application logo. (b) presents the home screen. (c) shows captions in English are visible on the main screen. (d) presents provided various language options. (e) shows an overview of the gallery. (f) shows splash screen.

### 3. Experimental Evaluations

In this section, we evaluate the performance of our proposed approach using the MSCOCO and VizWiz Captions datasets for our experimental assessments.

#### 3.1. Dataset and Performance Metrics

The proposed approach was tested with a dataset consisting of images, each accompanied by five corresponding reference captions. In this study, the approach is trained with two commonly used datasets, namely MSCOCO and VizWiz Captions. The VizWiz Captions dataset (Gurari et al., 2020) consists of 23,431 training, 7,750 validation, and 8,000 test images taken by visually impaired individuals, each paired with five reference captions. Similarly, the MSCOCO Captions dataset (Lin et al., 2014) contains 118,287 training and 5,000 validation images, each annotated with a minimum of five reference captions. Experimental evaluations are conducted using the performance metrics BLEU-n ( $n = 1, 2, 3, 4$ ) (Papineni et al., 2002), ROUGE-L (Ganesan, 2018), SPICE (Anderson et al., 2016), METEOR (Banerjee & Lavie, 2005), and CIDEr (Vedantam et al., 2015).

BLEU-n is an evaluation metric often employed to assess the performance of machine translation systems. It measures the similarity between two sentences by assigning a score of 0 or 1, which is determined by the extent of word overlap between the generated translation and the reference sentences. In BLEU-n, the parameter "n" denotes the number of words taken into account when calculating the similarity. Likewise, METEOR was developed for machine translation and utilizes the harmonic mean of precision and recall of unigram matches. SPICE parses each reference sentence and evaluates the objects, attributes, and relationships in the generated captions, assessing semantic performance, rather than directly comparing a generated caption to a set of reference sentences for syntactic compatibility. ROUGE-L is a performance metric for text summarization that measures the longest common subsequence between the generated summaries and their references. CIDEr assesses the consensus between a caption and references by leveraging sentence similarity, capturing both grammatical correctness and salient concepts. CIDEr metric exhibits varying degrees of similarity to human judgment and evaluates prominent attributes and relationships in both linguistic and semantic aspects. Therefore, priority is given to CIDEr results when comparing the outcomes. The ranking of the results is determined by a final SCORE, which is calculated as the average of all performance metrics. The calculation of the final SCORE takes place using the average of BLEU scores and other performance metrics.

#### 3.2. Results and Discussion

The effectiveness of the fusion of high-level visual attributes is measured on the MSCOCO and VizWiz Captions validation sets. In the experiments, we employed semantic segmentation, object detection, instance segmentation, and keypoint detection features for image captioning.

Table 1 presents how various visual attributes, such as Instance Segmentation (IS), Keypoint Detection (KD), Object Detection (OD), and Semantic Segmentation (SS), affect the performance of image captioning on the MSCOCO Captions dataset. Furthermore, when pairing IS with KD or KD with OD, the results tend to improve in terms of performance metrics. This indicates that combining different visual attributes enhance the performance of image captioning. When we use all the visual attributes on the MSCOCO dataset, we see the best performance metric scores in CIDEr, BLEU-4, SPICE, and the overall SCORE. This indicates that using the fusion of high-level visual attributes can be quite effective.



Table 2 Sample images from VizWiz (first two columns) and MSCOCO (last two columns) with ground-truth and generated captions





			
Reference Captions			
A can of crushed tomatoes are on a brown surface, the tomatoes read crushed tomatoes on the brand.	Its is a basil leaves container its contains the net weight too.	A man riding a skateboard down the side of a ramp.	A girl in a bathing suit with a pink umbrella.
A can of crushed tomatoes sitting on a beige colored counter.	A green and white plastic condiment bottle containing Basil leaves.	Tree is a male skateboarder that is riding a ramp.	A woman in a floral swim- suit holds a pink umbrella.
A can of crushed tomatoes in puree from price chopper.	Quality issues are too severe to recognize visual content.	A boy is skateboarding down a ramp and catches some air.	A woman posing for the camera, holding a pink, open umbrella and wearing a bright, floral, ruched bathing suit, by a lifeguard stands with lake, green trees, and a blue sky with a few clouds behind.
A Price Chopper branded can of crushed tomatoes.	A bottle of spices in a plastic container laying on a surface.	A young boy skateboarding down a ramp at a skate park.	A woman with an umbrella near the sea.
Image is a can of crushed tomatoes in view.	Some basil leaves in a con- tainer on a counter.	A person on a skateboard jumping on a ramp.	Woman in swimsuit holding parasol on a sunny day.
Generated caption			
A can of diced tomatoes that is unopened	A bowl of green leaves sitting on a table	A man riding a skateboard up the iside of a ramp	A woman standing by a river with a red umbrella

Figure 2 illustrates that IS, OD, and SS visual attributes correlate with one another, while KD differs due to its focus on human body parts, unlike the scenes and events in the MSCOCO Captions dataset. Table 2 shows generated and reference captions for two sample images from the VizWiz Captions dataset. For the first image, the generated caption identifies the object as "a can of diced tomatoes that is unopened.". While this caption captures the primary object, it differs slightly in the description. The reference captions, in contrast, describe the can as containing "crushed" rather than "diced" tomatoes. The generated caption for the second image describes "a bowl of green leaves sitting on a table." This is aligned with a few of the reference captions which mention "basil leaves in a container." However, there are nuances missed by the generated caption, such as the specific container type and its positioning. Notably, one of the reference captions states "Quality issues are too severe to recognize visual content", hinting at potential challenges in image clarity that could influence caption generation. Overall, while the generated captions provide a general understanding of the depicted scenes, they occasionally lack the specificity and accuracy seen in the reference captions.

Table 2 presents sample images from the MSCOCO Captions dataset alongside both reference and generated captions. For the first image, featuring a skateboarder, the generated caption identifies the main action, which is a man riding a skateboard. However, it inaccurately describes the direction, interpreting the skateboarder as going "up" the ramp. However, reference captions state that the man going "down" the ramp. The second image presents a woman with an umbrella near a body of water. The generated caption perceives her standing by a "river" with a "red" umbrella. However, the reference captions describe the umbrella as "pink" and the body of water as either the sea or a lake. In both cases, the generated captions grasp the primary elements of the images, but there are discrepancies in specific details when compared to the reference captions. This indicates that while the image captioning system recognizes the main elements, it could be improved with more attention to detail.

The interface of the application is illustrated across various screenshots in Figure 3. Figure 3 (a) shows the initial startup screen of the application. Once a user logs in, they get to the home screen, as presented in Figure 3 (b). This home screen is equipped with several functional buttons: one for capturing an image, another to toggle the flashlight, and the last to access the personal gallery of the user. Figure 3 (c) shows the caption automatically generated from a captured image. To change the language of the caption, Figure 3 (d) provides a language selection feature. If a user wants to choose an image from the gallery, they would use the gallery icon, with the resulting interface depicted in Figure 3 (e). Once a language is chosen, the translation of the caption appears as demonstrated in Figure 3 (f), corresponding to the language selection from Figure 3 (d).



## 4. Conclusion

In this paper, we present the fusion of high-level visual attributes under the encoder-decoder framework for accurate image captioning. This fusion aims to capture a richer representation of the image, ensuring more detailed and accurate caption generation. The proposed approach integrates models including Instance Segmentation, Semantic Segmentation, Object Detection, and Keypoint Detection into the encoder, leveraging their pre-trained weights for enhanced performance. On the decoder side, a residual-connected GRU-based model is utilized to generate the corresponding captions. The evaluation of this approach was conducted on the VizWiz and MSCOCO Captions datasets, and when visual attributes were fused it achieved the highest score. Furthermore, a user-friendly Android application called *NObstacle* was developed, which exhibits significant potential in assisting visually impaired individuals with their daily activities. Future research involves the utilization of transformers to enhance the accuracy of captions in terms of performance metrics.

## Acknowledgment

This research was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) British Council (The Newton Katip Celebi Fund Institutional Links, Turkey UK project: 120N995) and by the scientific research projects coordination unit of Izmir Katip Celebi University (project no: 2021-ÖDL-MÜMF-0006, & 2022-TYL-FEBE-0012).

## References

- Akosman, Ş. A., Öktem, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). Deep Learning-based Semantic Segmentation for Crack Detection on Marbles. 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU),
- Amit, Y., Felzenszwalb, P., & Girshick, R. (2020). Object detection. *Computer Vision: A Reference Guide*, 1-9.
- Anderson, P., Fernando, B., Johnson, M., & Gould, S. (2016). Spice: Semantic propositional image caption evaluation. Computer Vision–ECCV: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11-14, Proceedings, Part V 14,
- Anderson, P., He, X., Buehler, C., Teney, D., Johnson, M., Gould, S., & Zhang, L. (2018). Bottom-up and top-down attention for image captioning and visual question answering. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Banerjee, S., & Lavie, A. (2005). METEOR: An automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments. Proceedings of the acl workshop on intrinsic and extrinsic evaluation measures for machine translation and/or summarization,
- Baran, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). Akıllı telefonlar için birleştirme modeli tabanlı görüntü altyazılama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(26), 191-196.
- Barroso-Laguna, A., Riba, E., Ponsa, D., & Mikolajczyk, K. (2019). Key. net: Keypoint detection by handcrafted and learned cnn filters. Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision,
- Betül, U., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Resnet based deep gated recurrent unit for image captioning on smartphone. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 610-615.
- Aydın, S., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Sequence-to-sequence video captioning with residual connected gated recurrent units. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 380-386.
- Çaylı, Ö., Makav, B., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Mobile application based automatic caption generation for visually impaired. Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions: Proceedings of the INFUS Conference, Istanbul, Turkey, July 21-23,
- Chang, S.-F. (1995). Compressed-domain techniques for image/video indexing and manipulation. Proceedings., International Conference on Image Processing,
- Chen, T., Zhang, Z., You, Q., Fang, C., Wang, Z., Jin, H., & Luo, J. (2018). "Factual" or "Emotional": Stylized Image Captioning with Adaptive Learning and Attention. Proceedings of the european conference on computer vision (ECCV),
- Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., & Bengio, Y. (2014). Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. *arXiv preprint arXiv:1412.3555*.
- Çaylı, Ö., Kılıç, V., Onan, A., & Wang, W. (2022). Auxiliary classifier based residual rnn for image captioning. 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO),
- Çaylı, Ö., Liu, X., Kılıç, V., & Wang, W. (2023). Knowledge Distillation for Efficient Audio-Visual Video Captioning. *arXiv preprint arXiv:2306.09947*.
- Deselaers, T., Keysers, D., & Ney, H. (2004). Features for image retrieval: A quantitative comparison. Pattern Recognition: 26th DAGM Symposium, Tübingen, Germany, August 30-September 1. Proceedings 26,
- Doğan, V., Isık, T., Kılıç, V., & Horzum, N. (2022). A field-deployable water quality monitoring with machine learning-based smartphone colorimetry. *Analytical Methods*, 14(35), 3458-3466.
- Farhadi, A., Hejrati, M., Sadeghi, M. A., Young, P., Rashtchian, C., Hockenmaier, J., & Forsyth, D. (2010). Every picture tells a story: Generating sentences from images. Computer Vision–ECCV: 11th European Conference on Computer Vision, Heraklion, Crete, Greece, September 5-11, Proceedings, Part IV 11,
- Fetiler, B., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Video captioning based on multi-layer gated recurrent unit for smartphones. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 221-226.
- Ganesan, K. (2018). Rouge 2.0: Updated and improved measures for evaluation of summarization tasks. *arXiv preprint arXiv:1803.01937*.

- Guo, Y., Liu, Y., Georgiou, T., & Lew, M. S. (2018). A review of semantic segmentation using deep neural networks. *International journal of multimedia information retrieval*, 7, 87-93.
- Gurari, D., Zhao, Y., Zhang, M., & Bhattacharya, N. (2020). Captioning images taken by people who are blind. Computer Vision–ECCV: 16th European Conference, Glasgow, UK, August 23–28, Proceedings, Part XVII 16,
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask r-cnn. Proceedings of the IEEE international conference on computer vision,
- Ibarra, F. F., Kardan, O., Hunter, M. R., Kotabe, H. P., Meyer, F. A., & Berman, M. G. (2017). Image feature types and their predictions of aesthetic preference and naturalness. *Frontiers in Psychology*, 8, 632.
- Jiang, W., Ma, L., Chen, X., Zhang, H., & Liu, W. (2018). Learning to guide decoding for image captioning. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence,
- Keskin, R., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). A benchmark for feature-injection architectures in image captioning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 461-468.
- Kılıç, V. (2021). Deep gated recurrent unit for smartphone-based image captioning. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 4(2), 181-191.
- Kılıç, V., Mercan, Ö. B., Tetik, M., Kap, Ö., & Horzum, N. (2022). Non-enzymatic colorimetric glucose detection based on Au/Ag nanoparticles using smartphone and machine learning. *Analytical Sciences*, 38(2), 347-358.
- Kılıç, V., Zhong, X., Barnard, M., Wang, W., & Kittler, J. (2014). Audio-visual tracking of a variable number of speakers with a random finite set approach. 17th International Conference on Information Fusion (FUSION),
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollár, P., & Zitnick, C. L. (2014). Microsoft coco: Common objects in context. Computer Vision–ECCV: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6-12, Proceedings, Part V 13,
- Liu, S., Qi, L., Qin, H., Shi, J., & Jia, J. (2018). Path aggregation network for instance segmentation. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Makav, B., & Kılıç, V. (2019). Smartphone-based image captioning for visually and hearing impaired. 11th international conference on electrical and electronics engineering (ELECO),
- Mercan, Ö. B., Doğan, V., & Kılıç, V. (2020). Time Series Analysis based Machine Learning Classification for Blood Sugar Levels. Medical Technologies Congress (TIPTEKNO),
- Mercan, Ö. B., & Kılıç, V. (2020). Deep learning based colorimetric classification of glucose with au-ag nanoparticles using smartphone. Medical Technologies Congress (TIPTEKNO),
- Moral, Ö. T., Kılıç, V., Onan, A., & Wang, W. (2022). Automated Image Captioning with Multi-layer Gated Recurrent Unit. 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO),
- Papineni, K., Roukos, S., Ward, T., & Zhu, W.-J. (2002). Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation. Proceedings of the 40th annual meeting of the Association for Computational Linguistics,
- Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., Killeen, T., Lin, Z., Gimelshein, N., & Antiga, L. (2019). Pytorch: An imperative style, high-performance deep learning library. *Advances in neural information processing systems*, 32.
- Pu, B., Liu, Y., Zhu, N., Li, K., & Li, K. (2020). ED-ACNN: Novel attention convolutional neural network based on encoder–decoder framework for human traffic prediction. *Applied Soft Computing*, 97, 106688.
- Sayraci, B., Ağralı, M., & Kılıç, V. (2023). Artificial Intelligence Based Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation on Chest Computed Tomography Images. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(46), 109-115.
- Sun, X., Xiao, B., Wei, F., Liang, S., & Wei, Y. (2018). Integral human pose regression. Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV),
- Tahir, H., Iftikhar, A., & Mumraiz, M. (2021). Forecasting COVID-19 via registration slips of patients using resnet-101 and performance analysis and comparison of prediction for COVID-19 using faster r-cnn, mask r-cnn, and resnet-50. International conference on advances in electrical, computing, communication and sustainable technologies (ICAECT),
- Toshev, A., & Szegedy, C. (2014). Deeppose: Human pose estimation via deep neural networks. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Vedantam, R., Lawrence Zitnick, C., & Parikh, D. (2015). Cider: Consensus-based image description evaluation. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Wang, P., Chen, P., Yuan, Y., Liu, D., Huang, Z., Hou, X., & Cottrell, G. (2018). Understanding convolution for semantic segmentation. IEEE winter conference on applications of computer vision (WACV),
- Xi, D., Qin, Y., Luo, J., Pu, H., & Wang, Z. (2021). Multipath fusion mask R-CNN with double attention and its application into gear pitting detection. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-11.
- Yang, M., Liu, J., Shen, Y., Zhao, Z., Chen, X., Wu, Q., & Li, C. (2020). An ensemble of generation-and retrieval-based image captioning with dual generator generative adversarial network. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 9627-9640.
- You, Q., Jin, H., & Luo, J. (2018). Image captioning at will: A versatile scheme for effectively injecting sentiments into image descriptions. *arXiv preprint arXiv:1801.10121*.
- Yu, J., Li, J., Yu, Z., & Huang, Q. (2019). Multimodal transformer with multi-view visual representation for image captioning. *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, 30(12), 4467-4480.



# Multi-Parametric Glucose Prediction Using Multi-Layer LSTM

Ömer Atılım Koca<sup>1\*</sup>, Volkan Kılıç<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Katip Çelebi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Software Engineering Graduate Program, İzmir, Turkey, (ORCID: 0009-0007-7286-6785), [atilim.koca@bakircay.edu.tr](mailto:atilim.koca@bakircay.edu.tr)

<sup>2</sup> İzmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3164-1981), [volkan.kilic@ikcu.edu.tr](mailto:volkan.kilic@ikcu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 3 Eylül 2023 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10260207)

**ATIF/REFERENCE:** Koca, Ö. A. & Kılıç, V., (2023). Multi-Parametric Glucose Prediction Using Multi-Layer LSTM. *European Journal of Science and Technology*, (52), 169-175.

## Abstract

Diabetes causes irregular glucose levels, such as hyperglycemia (high glucose) and hypoglycemia (low glucose), which affect the quality of life of diabetes patients. Early detection of hyperglycemia and hypoglycemia is important for effective management of the disease. In recent years, progress has been made in the development of artificial intelligence-based tools for effective diabetes management. These tools aim to predict glucose levels before they reach critical levels, enabling people with diabetes to take proactive measures to keep their glucose levels within a healthy range. However, most of these tools use single-layer architectures and rely only on glucose measurement as a predictive parameter, thus resulting in low predictive accuracy. Here, this paper proposes a multi-layer Long-Short Term Memory (LSTM)-based model for glucose prediction. The proposed model was tested on the OhioT1DM dataset and the lowest Root Mean Square Error value was obtained as 14.364 mg/dL for glucose prediction over a 30-min prediction horizon. The results demonstrate the performance of the proposed system, which uses a multi-layer LSTM algorithm to overcome the complex memory operations associated with multi-parameter prediction.

**Keywords:** Artificial Intelligence, LSTM, Diabetes, Glucose Prediction.

## Çok Katmanlı LSTM Kullanarak Çok Parametrelilikli Glikoz Tahmini

### Öz

Diyabet, hastaların yaşam kalitesini etkileyen hiperglisemi (yüksek glikoz) ve hipoglisemi (düşük glikoz) gibi düzensiz glikoz seviyelerine neden olmaktadır. Hiperglisemi ve hipogliseminin erken teşhisi bu hastalığın etkin yönetimi için önemlidir. Son yıllarda, etkili diyabet yönetimi için yapay zeka tabanlı araçların geliştirilmesinde ilerleme kaydedilmiştir. Bu araçlar, glikoz seviyelerini kritik seviyelere ulaşmadan önce tahmin etmeyi ve diyabetli kişilerin glikoz seviyelerini sağlıklı bir aralıkta tutmak için proaktif önlemler almalarını sağlamayı amaçlamaktadır. Ancak, bu araçların çoğu tek katmanlı mimariler kullanmakta ve tahmin parametresi olarak yalnızca glikoz ölçümüne dayanmakta, dolayısıyla düşük tahmin doğruluğu ile sonuçlanmaktadır. Bu makalede, glikoz tahmini için çok katmanlı Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) tabanlı bir model önerilmektedir. Önerilen model OhioT1DM veri kümesi üzerinde test edilmiş ve 30 dakikalık bir tahmin ufku boyunca glikoz tahmini için en düşük Kök Ortalama Kare Hata değeri 14.364 mg/dL olarak elde edilmiştir. Sonuçlar, çok parametrelilikli tahminle ilişkili karmaşık bellek işlemlerinin üstesinden gelmek için çok katmanlı bir LSTM algoritması kullanan önerilen sistemin performansını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zeka, LSTM, Diyabet, Glikoz Tahmini.

\* Corresponding Author: [atilim.koca@bakircay.edu.tr](mailto:atilim.koca@bakircay.edu.tr)

## 1. Introduction

Diabetes is a persistent metabolic condition characterized by reduced insulin production, leading to fluctuations in blood glucose levels that deviate from the norm (Palaz et al., 2021). These fluctuations in blood glucose levels, which affect human well-being, are divided into hyperglycemia, characterized by high blood glucose levels, and hypoglycemia, characterized by low blood glucose levels (Kılıç, 2021). In this context, continuous glucose monitoring (CGM) devices have been developed to improve diabetes management through monitoring the regularity of glucose level (Mercan et al., 2020; Mercan & Kılıç, 2020). However, these devices provide instantaneous warnings and metabolism is affected until patients take the necessary precautions. Therefore, there has been increasing interest in recent years for the development of sophisticated artificial intelligence (AI)-based systems to predict glucose levels in diabetes patients. These systems aim to take the necessary precautions and improve diabetes management through predicting future glucose levels (Kılıç et al., 2022; Strollo et al., 2021). Machine learning and deep learning algorithms, which are subfields of artificial intelligence, are used in AI-based systems for glucose prediction (Akosman et al., 2021; Sayraci et al., 2023; Şen et al., 2022). Machine learning algorithms are designed to learn from historical and current glucose data, making predictions about future glucose levels (Çaylı et al., 2021; Doğan et al., 2022). These algorithms analyze patterns in the data to identify correlations and make accurate predictions. However, with machine learning algorithms, feature extraction is performed manually, which introduces the risk of missing important patterns or relationships that the algorithm could have captured. On the other hand, deep learning algorithms extract features autonomously, resulting in more robust predictions (Çaylı et al., 2023).

Alberti et al. (2019) presented an approach to glucose prediction using a nonlinear autoregressive neural network and Long-Short-Term Memory (LSTM) models (Aliberti et al., 2019). The results clearly show that the nonlinear autoregressive neural network gives promising results for prediction. Wang et al. proposed a new approach, VMD-IPSO-LSTM, which combines Variable Modal Decomposition (VMD) and advanced particle swarm optimization (IPSO) algorithm to optimize the LSTM model. The results of the study indicate that the VMD-IPSO-LSTM method outperformed the other methods in terms of achieving lower Root Mean Squared (RMSE) values (Wang et al., 2020). Li et al. introduced the Convolutional Recurrent Neural Network (CRNN) model, which is a combination of LSTM and Convolutional Neural Network (CNN) layers. They showed that the CRNN model outperformed the traditional Recurrent Neural Network (RNN) and CNN models for predicting glucose levels (Li, Daniels, et al., 2019). Song et al. presented an approach combining Empirical Mode Decomposition (EMD) and LSTM for glucose prediction (Song et al., 2019). Their study showed that the combination of EMD and LSTM outperformed other approaches for short-term predictions. Zhu et al. introduced a deep learning model based on the Extended Recurrent Neural Network architecture, called DRNN (Deep Recurrent Neural Network) (Zhu et al., 2020). The DRNN model uses expansion to capture long-term dependencies and has a larger receptive field in terms of neurons. The study presented the success of the DRNN model in capturing long-term dependencies. Li et al. presented GluNet, which uses a personalized neural network to predict the probabilistic distribution of CGM measurements (Li, Liu, et al., 2019). Results showed improvements over existing methods in terms of RMSE for different prediction horizons (PH). Bhimireddy et al. developed a prediction model using methods such as Bidirectional LSTM, BiLSTM, CNN, and Convolutional LSTM (Bhimireddy et al., 2020). The results showed that BiLSTM outperformed the compared models. Zhang et al. used methods such as array-to-array LSTM, multiple linear regression, bidirectional reservoir calculation, and Dilated CNN for blood glucose prediction. The results showed that the model they proposed provided a practical solution while minimizing computational effort (Zhang et al., 2021).

The aforementioned studies use algorithms in the traditional single-layer framework, which limits the prediction accuracy. To overcome this limitation and further improve the accuracy of glucose prediction, more sophisticated approaches are required. In this paper, we introduce a novel prediction model for glucose prediction that leverages a multi-layer LSTM algorithm. The ability to learn and extract detailed contextual information from sequential data is improved through increasing the number of layers in a neural network structure (Fetiler et al., 2021). In addition, the accuracy of glucose prediction is related to the number of parameters used in the prediction process. The proposed model includes additional parameters such as glucose level, bolus insulin, basal insulin and carbohydrate amount, allowing it to include a wider range of factors affecting glucose levels and provide more robust predictions.

The rest of this paper is structured as follows: Section 2 provides a detailed description of the proposed model. Section 3 presents the dataset and the experimental results. Finally, Section 4 concludes the paper with a brief summary.

## 2. Methods

This section presents a comprehensive analysis of the RNN-based algorithms and data preprocessing steps that are the key components of the proposed model.

### 2.1. Recurrent Neural Network

An RNN is built with recurrent connections that facilitate the flow of information from one time step to another, allowing the network to capture temporal dependencies and process sequences of different lengths. The basic framework of an RNN encapsulates a hidden state that is constantly changing and self-improving with each temporal increment that combines the current input with the previous input. This hidden state acts as a memory that holds information about past inputs, allowing the network to make predictions or generate outputs from the context of the sequence (Graves et al., 2013). RNNs are flexible and can handle sequences of different lengths. However, they suffer from some limitations, such as difficulties in capturing long-range dependencies (vanishing and exploding gradients) and computational inefficiency. As a result, more advanced RNN variants, such as LSTM and Gated Recurrent Unit (GRU), have been developed to address these issues and improve the modeling of sequential data (Chen, 2016; Çaylı et al., 2022).



## 2.2. Long-Short Term Memory

LSTM is a specialized RNN model designed to overcome the vanishing gradient problem and provide superior learning of long-term dependencies. The LSTM architecture consists of memory cells connected by a series of gates, including an input gate, a forget gate, and an output gate, which control the flow of information within the network, allowing it to selectively remember or forget information at each time step. This gating mechanism enables LSTMs to capture and retain relevant information over long sequences, making them suitable for tasks that require modeling long-range dependencies. The input gate helps to regulate the flow of new information to be stored in the memory cell, while the forget gate determines how much of the past memory is retained. The output gate is designed to modulate the amount of information transferred from the memory cell to the next time step.

## 2.3. Gated Recurrent Unit

GRU is a specialized RNN architecture designed for the purpose of handling and representing sequential data. The GRU architecture consists of a gating mechanism that allows the network to selectively update and reset its hidden state at each time step (Keskin et al., 2021). This gating mechanism helps the network retain relevant information and discard irrelevant information, allowing it to capture long-term dependencies. GRU combines the forget and input gates into a single update gate, simplifying the architecture and reducing the number of gates (Aydın et al., 2022; Betül et al., 2022). An advantage of GRU networks is their computational efficiency compared to LSTM networks, as they have a simpler architecture with fewer parameters. This makes GRU networks faster to train and more suitable for applications with limited computational resources.

## 2.4. Data Preprocessing

Data preprocessing is the steps taken to prepare and cleanse raw data before it can be used for analysis or modeling purposes. It involves transforming the data into a format suitable for the task, such as filling in missing values, normalizing or scaling variables, and selecting features.

Missing values, a common problem in data analysis, often result from incomplete or unrecorded parameters. Missing values in time series data are a challenge because they can affect the accuracy of learning and prediction processes. Linear interpolation is a widely used method that estimates missing values by filling them with values that lie on a straight line between two neighboring observed values. This method assumes a linear relationship between the observed values to predict the missing values.

On the other hand, data normalization is a preprocessing technique used to transform data into a standard format that allows fair comparisons and analyses between different variables or datasets. It involves adjusting the values of variables to a common scale while preserving the original distribution or without losing important information. Standard scaling, one of the most common data normalization techniques, is used to transform numerical data into a standard distribution characterized by zero mean and one standard deviation. The purpose of standard scaling is to put all variables on a common scale, which is particularly useful when variables have different units or scales.

Feature Selection is used to select a subset of features that can represent the data and improve the performance of predictive models. In feature selection, correlation heatmaps are commonly used to visually explore the relationships between features in a dataset. Correlation heatmaps are a type of graph used to visualize relationships between numerical variables. A correlation heatmap is a graphical representation used to illustrate relationships between numerical variables. In this visual representation, numerical variables are organized as columns and the rows represent the associations between each possible pair of variables. The values within the heatmap cells convey the degree of association, with positive values indicating positive correlations and negative values indicating negative correlations, as shown in Figure 1.



Figure 1. Correlation heatmap: 1-Glucose, 2-Basal insulin, 3-Bolus insulin, 4-meal, 5- Basis GSR, 6- Basis skin temperature, 7- Acceleration



### 3. Experimental Evaluations

#### 3.1. Dataset

The OhioT1DM dataset includes an eight-week data collection period for each of the twelve individuals diagnosed with type 1 diabetes, uniquely identified by randomly assigned ID numbers: 540, 544, 552, 559, 563, 567, 570, 575, 584, 588, 591 and 596. Insulin pump therapy with CGM was employed by all patients, and their life event data were reported through a custom smartphone app. Additionally, physiological data from a fitness band was provided by them. The first cohort of six patients wore the Basis Peak, while the second cohort of six patients wore the Empatica Embrace fitness bands. In 2018, data from the first cohort of the Blood Glucose Level Prediction Trial (BGLP) were published. Two years later, in 2020, the second cohort of the BGLP follow-up will publish its data set. This comprehensive dataset includes a range of information, including CGM readings taken at five-minute intervals, finger-stick glucose readings, detailed records of both bolus and basal insulin doses, and self-reported meal entries with associated carbohydrate estimates. It also includes time stamps for exercise sessions, sleep periods, work-related activities, stress states, and periods of illness. Adding to the richness of the dataset, data collected from fitness bands, particularly the Basis Peak band, provides additional information. This additional information consists of statistics collected at five-min intervals for heart rate, galvanic skin response, skin temperature, air temperature, and step count (Marling & Bunescu, 2020).

#### 3.2. Evaluation Metrics

In this paper, we evaluate the performance of the model using 4 widely known statistical measures: RMSE, Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and  $R^2$ . These metrics are widely used in various systems to measure the accuracy of predictions compared to the actual values of users. In addition, the study included an assessment of the robustness and accuracy of the model through the incorporation of a clinical metric, the Surveillance Error Grid (SEG). RMSE measures the square root of the mean squared difference between predicted and actual values, providing an overall measure of the magnitude of errors. On the other hand, MAE is a metric used to quantify the average size of errors or deviations between predicted and actual values. MAPE is a metric used to measure the percentage difference between predicted and actual values. The  $R^2$  metric is a statistical measure used to assess the quality of fit of a regression model. The formulas for RMSE, MAE, MAPE, and  $R^2$  can be expressed as follows:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

where  $i$  represents the index of each observation,  $m$  represents the total number of observations,  $y_i$  denotes the actual values,  $\hat{y}_i$  represents the predicted values, and  $\bar{y}$  represents the mean of the actual values.

SEG metric is a tool used to assess the accuracy and robustness of glucose monitoring systems. The SEG metric assesses the clinical impact of glucose measurement errors and categorizes them into different zones based on their potential to affect patients.

Table 1. Performance comparison of RNN-based architectures according to the number of layers

Model	2-layer	4-layer	6-layer	8-layer	10-layer
ML RNN	15.112	15.398	15.087	15.013	14.789
ML LSTM	14.787	<b>14.364</b>	14.734	14.930	15.747
ML GRU	14.867	14.435	14.547	14.725	14.788

### 3.2. Results and Discussion

In this study, the OhioT1DM dataset was used to train the RNN, LSTM, and GRU algorithms. Prior to training, a careful selection of hyperparameters was made to optimize the performance of the models. The hyperparameter values that gave the least error during testing were selected for training. The models were trained for 200 epochs with a learning rate of 0.0001, a batch size of 32, and the RMSprop optimizer. In order to study the performance of the multi-layer versions of the algorithms on a 30-min PH, experiments were performed with 2, 4, 6, 8, and 10 layers, as shown in Table 1. A comprehensive evaluation was carried out to assess the performance of these architectures using data from a sample of twelve patients. Based on the analysis of the results, increasing the number of layers has a positive effect on the models. The results also show that the 4-layer LSTM model outperforms the other models in terms of predictive ability.

Detailed results of the proposed multi-layer LSTM prediction model by patients are shown in Table 2. Patient 544 had the lowest RMSE value of 11.382 mg/dL among the twelve patients. To demonstrate the reliability and robustness of the proposed model, an SEG analysis was performed on patient 544, as shown in Figure 2. This analysis aimed to evaluate the performance and accuracy of the model by comparing its predictions with the actual values. The results of the SEG analysis showed a high level of agreement between the predicted results produced by the proposed method and the actual values. Table 3 provides a comprehensive comparison of the proposed prediction model with existing studies using the OhioT1DM dataset. The results clearly show that the proposed model outperforms the state-of-the-art studies in terms of prediction accuracy. Among the existing studies, the closest to the proposed model is the study by (Zhu et al., 2020) which achieved a prediction error of 18.90 mg/dL. In contrast, the proposed model achieves a lower prediction error of 14.364 mg/dL. The relatively poor performance of existing studies can be attributed to the use of simple architectures such as single-layer neural networks. In addition, existing studies depend on only glucose as a parameter for prediction. This limited feature set may not fully capture the multifaceted nature of glucose dynamics.

Table 2. Statistical evaluation of the proposed prediction model for each patient

Patients	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
540	16.328	10.840	7.860	0.940
544	11.382	7.574	5.070	0.956
552	12.810	8.193	6.270	0.942
559	14.241	8.645	5.490	0.956
563	14.944	9.012	5.650	0.894
567	15.230	9.754	6.960	0.920
570	12.096	7.840	4.070	0.967
575	17.943	9.925	6.970	0.910
584	16.307	10.540	6.990	0.928
588	13.072	8.700	5.320	0.928
591	15.683	10.069	7.660	0.903
596	12.326	7.939	5.920	0.941
<b>Average</b>	<b>14.364</b>	<b>9.086</b>	<b>6.186</b>	<b>0.9321</b>

Table 3. Comparison of state-of-the-art studies and proposed model

	Method	RMSE (mg/dl)
(Zhu et al., 2020)	DRNN	18.90
(Bhimireddy et al., 2020)	BiLSTM	20.60
(Zhang et al., 2021)	Seq-to-Seq LSTM	20.17
(Aliberti et al., 2019)	LSTM	19.47
(Li, Liu, et al., 2019)	GluNet	19.28
<b>Proposed System</b>	<b>Multi-layer LSTM</b>	<b>14.364</b>

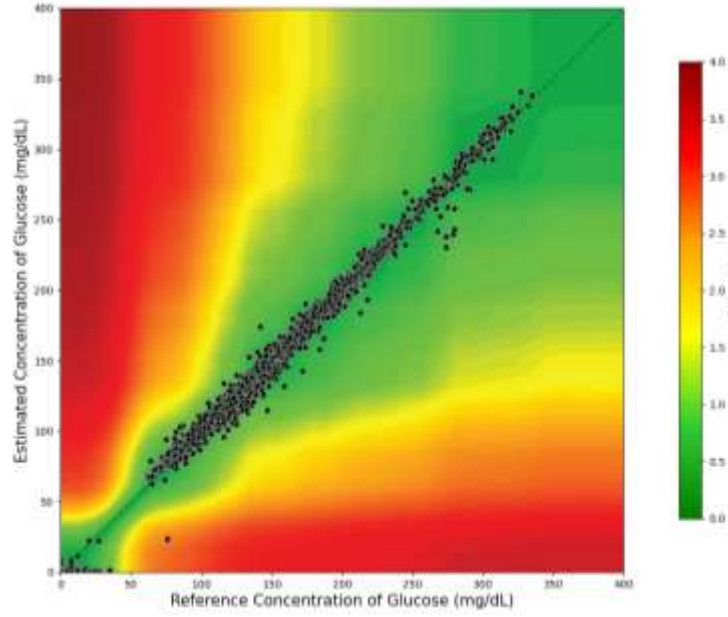


Figure 2. SEG of patient 544

## 4. Conclusion

This paper introduces an innovative glucose prediction model based on multi-layer LSTM networks, which aims to mitigate the risk of complications arising from fluctuations in glucose levels. In the proposed model, the use of multi-layer structures addresses the complex memory challenges associated with predicting glucose levels involving multiple parameters. As a result of evaluations using the OhioT1DM dataset, the proposed model shows promising results with an RMSE of 14.364 mg/dL, MAE of 9.086 mg/dL, and MAPE of %6.186 with a value of 0.9321  $R^2$  for 30-min PH. The results clearly show that the proposed model has superior performance compared to other studies. In addition, the SEG of patient 544 shows that the glucose predictions obtained are within acceptable limits, demonstrating the robustness and reliability of the proposed method. Our future work will focus on integrating the developed predictive model into an Android application. This integration aims to provide users with a user-friendly platform to access and use the predictive capabilities of our model. Through this integration, individuals will be empowered to make informed decisions regarding their dietary choices, physical activity regimes, and overall health management.

## 5. Acknowledgment

This research was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) (No. 222S488) and by the scientific research projects coordination unit of Izmir Katip Celebi University (No: 2023-TYL-FEBE-0025).

## References

- Akosman, Ş. A., Öktem, M., Moral, Ö. T., & Kılıç, V. (2021). Deep Learning-based Semantic Segmentation for Crack Detection on Marbles. 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU),
- Aliberti, A., Pupillo, I., Terna, S., Macii, E., Di Cataldo, S., Patti, E., & Acquaviva, A. (2019). A multi-patient data-driven approach to blood glucose prediction. *IEEE Access*, 7, 69311-69325.
- Aydın, S., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Sequence-to-sequence video captioning with residual connected gated recurrent units. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 380-386.
- Betül, U., Çaylı, Ö., Kılıç, V., & Onan, A. (2022). Resnet based deep gated recurrent unit for image captioning on smartphone. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(35), 610-615.
- Bhimireddy, A., Sinha, P., Oluwalade, B., Gichoya, J. W., & Purkayastha, S. (2020). Blood glucose level prediction as time-series modeling using sequence-to-sequence neural networks.
- Chen, G. (2016). A gentle tutorial of recurrent neural network with error backpropagation. *arXiv preprint arXiv:1610.02583*.
- Çaylı, Ö., Kılıç, V., Onan, A., & Wang, W. (2022). Auxiliary classifier based residual rnn for image captioning. 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO),
- Çaylı, Ö., Liu, X., Kılıç, V., & Wang, W. (2023). Knowledge Distillation for Efficient Audio-Visual Video Captioning. *arXiv preprint arXiv:2306.09947*.
- Çaylı, Ö., Makav, B., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Mobile application based automatic caption generation for visually impaired. Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions: Proceedings of the INFUS 2020 Conference, Istanbul, Turkey,
- Doğan, V., Isık, T., Kılıç, V., & Horzum, N. (2022). A field-deployable water quality monitoring with machine learning-based smartphone colorimetry. *Analytical Methods* 14(35), 3458-3466.

- Fetiler, B., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). Video captioning based on multi-layer gated recurrent unit for smartphones. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 221-226.
- Graves, A., Mohamed, A.-r., & Hinton, G. (2013). Speech recognition with deep recurrent neural networks. IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing,
- Keskin, R., Çaylı, Ö., Moral, Ö. T., Kılıç, V., & Onan, A. (2021). A benchmark for feature-injection architectures in image captioning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 461-468.
- Kılıç, V. (2021). Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Telefon Uygulaması ile Kan Şekeri Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(26), 289-294.
- Kılıç, V., Mercan, Ö. B., Tetik, M., Kap, Ö., & Horzum, N. (2022). Non-enzymatic colorimetric glucose detection based on Au/Ag nanoparticles using smartphone and machine learning. *Analytical Sciences*, 38(2), 347-358.
- Li, K., Daniels, J., Liu, C., Herrero, P., & Georgiou, P. (2019). Convolutional recurrent neural networks for glucose prediction. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 24(2), 603-613.
- Li, K., Liu, C., Zhu, T., Herrero, P., & Georgiou, P. (2019). GluNet: A deep learning framework for accurate glucose forecasting. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 24(2), 414-423.
- Marling, C., & Bunescu, R. (2020). The OhioT1DM dataset for blood glucose level prediction. CEUR workshop proceedings,
- Mercan, Ö. B., Doğan, V., & Kılıç, V. (2020). Time Series Analysis based Machine Learning Classification for Blood Sugar Levels. 2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO),
- Mercan, Ö. B., & Kılıç, V. (2020). Deep learning based colorimetric classification of glucose with au-ag nanoparticles using smartphone. 2020 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO),
- Palaz, Z., Doğan, V., & Kılıç, V. (2021). Smartphone-based Multi-parametric Glucose Prediction using Recurrent Neural Networks. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(32), 1168-1174.
- Sayraci, B., Ağralı, M., & Kılıç, V. (2023). Artificial Intelligence Based Instance-Aware Semantic Lobe Segmentation on Chest Computed Tomography Images. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(46), 109-115.
- Song, W., Cai, W., Li, J., Jiang, F., & He, S. (2019). Predicting blood glucose levels with EMD and LSTM based CGM data. 6th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI),
- Strollo, F., Furia, A., Verde, P., Bellia, A., Grussu, M., Mambro, A., Petrelli, M., & Gentile, S. (2021). Technological innovation of Continuous Glucose Monitoring (CGM) as a tool for commercial aviation pilots with insulin-treated diabetes and stakeholders/regulators: A new chance to improve the directives? *diabetes research and clinical practice*, 172, 108638.
- Şen, M., Yüzer, E., Doğan, V., Avcı, İ., Ensarioğlu, K., Aykaç, A., Kaya, N., Can, M., & Kılıç, V. (2022). Colorimetric detection of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ Chi nanozyme modified µPADs using artificial intelligence. *Microchimica Acta*, 189(10), 373.
- Wang, W., Tong, M., & Yu, M. (2020). Blood glucose prediction with VMD and LSTM optimized by improved particle swarm optimization. *IEEE Access*, 8, 217908-217916.
- Zhang, M., Flores, K. B., & Tran, H. T. (2021). Deep learning and regression approaches to forecasting blood glucose levels for type 1 diabetes. *Biomedical Signal Processing and Control*, 69, 102923.
- Zhu, T., Li, K., Chen, J., Herrero, P., & Georgiou, P. (2020). Dilated recurrent neural networks for glucose forecasting in type 1 diabetes. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 4, 308-324.



# Yağmur Suyu Hasadının Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kütüphane Binasında Uygulanabilirliğinin Araştırılması

Arife Şimşek<sup>1\*</sup>, Gökhan Demir<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Almus Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 60250, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7177-1764), arife.simsek@gop.edu.tr

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3734-1496), gokhandemir61@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 13 Şubat 2023 ve Kabul Tarihi 25 Ağustos 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10396768)

**ATIF/REFERENCE:** Şimşek, A. & Demir, G. (2023). Yağmur Suyu Hasadının Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kütüphane Binasında Uygulanabilirliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 176-182.

## Öz

Sınırlı su temini ve iklim değişikliği ile birlikte artan su ihtiyacı, küresel olarak suya erişim zorluklarını beraberinde getirmektedir. Artan su talebi ile sınırlı su kaynakları arasındaki dengesizliği gidermek için sürdürülebilir su yönetim sistemlerine ihtiyaç vardır. Yenilenebilir bir kaynak olarak yağmur suyu, bu amaca ulaşılması için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu çalışma, önemli bir sürdürülebilir su yönetimi stratejisi olan yağmur suyu hasadı (YSH) na odaklanmaktadır ve YSH'nın üniversite ölçeğinde dış mekan sulama talebini karşılama kapasitesini değerlendirmeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda 3017 m<sup>2</sup> çatı alanı olan Ondokuz Mayıs Üniversitesi Merkez Kütüphanesi binasına uygulanacak YSH sisteminin sulama amaçlı kullanım kapasitesi hesaplanmıştır. Yıllık 1754 m<sup>3</sup> yağmur suyunun kütüphane çatısından sağlanabileceği, yıllık 5186 m<sup>3</sup> yıllık su ihtiyacının bu yağmur suyundan karşılanabileceği, bu hesaba göre Kütüphane binasının çevresinde bulunan ekilebilir alanlar ve seralar için gerekli olan yıllık su ihtiyacının %33,8 inin yağmur suyu hasadı ile sağlanabileceği bulunmuştur. Yapılan maliyet analizine göre toplam 362875 TL ekipman maliyeti sistemin çalışması durumunda 8,7 yıl içerisinde geri ödeme sağlamış olacaktır. Çalışma sonuçlarına paralel olarak Yağmur suyu hasadı kentsel su yönetimi, güvenli su arzı ve sürdürülebilir su planlaması için önemli derecede katkı sağlamaktadır; bu nedenle devlet kurumları ve yerel yönetimler tarafından gerekli desteğin sağlanması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Su yönetimi, Sürdürülebilirlik, Yağmur suyu hasadı.

## Investigation of the Applicability of Rainwater Harvesting in Ondokuz Mayıs University Library Building

### Abstract

Limited water supply and increasing water demand with climate change bring along the challenges of accessing water globally. Sustainable water direction systems are required to address the imbalance between increasing water demand and restricted water resources. As a renewable resource, rainwater offers great potential to achieve this goal. This study focus on rainwater harvesting (RWH), an important sustainable water direction strategy, and aims to evaluate the capacity of RWH to meet outdoor irrigation demand at university scale. In this context, the irrigation capacity of the RWH system to be applied to the Ondokuz Mayıs University Central Library building, which has a roof area of 3017 m<sup>2</sup>, has been calculated. It has been found that 1754 m<sup>3</sup> of rain water per year can be obtained from the roof of the library, that the annual water need of 5186 m<sup>3</sup> can be met from this rainwater, and according to this calculation, 33.8% of the annual water need for the arable fields and greenhouses around the Library building can be met by rainwater harvesting. According to the cost analysis, a total equipment cost of 362875 TL will be paid back in 8.7 years if the system works. In parallel with the results of the study, rainwater harvesting makes a significant contribution to urban water management, safe water supply and sustainable water planning; for this reason, it is recommended to provide the necessary support by state institutions and local administrations.

**Keywords:** Water management, Sustainability, Rainwater harvesting.

\* Corresponding Author: bastemirster@gmail.com



## 1. Giriş

Çevresel, sosyoekonomik sorunlar ve küresel ısınma yanı sıra, hızlı kentsel büyüme ve su teminindeki zorluklar dünyanın birçok şehrinde su mevcudiyetini sınırlandırmaktadır (Chiu vd, 2009; Imteaz vd, 2011; Moazeni ve Khazaei, 2020 ; Shahbaz ve Sang, 2023; Zhang vd, 2020 ). Küresel ısınma aynı zamanda dünyanın çeşitli bölgelerinde aşırı yağış olaylarının artmasından ve buna bağlı olarak kentsel sellerdeki artıştan da sorumludur ( IPCC, 2019 ). Taşkınlara rağmen, kentsel alanlardaki nüfus artışı, insan faaliyetleri ile içme suyu tüketimini doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmalar su kıtlığına yanıt olarak yağmur suyu hasadı yaparak içme suyu tasarrufu sağlanabildiğini belirtmektedir (Bashar vd. 2018; Custódio ve Ghisi 2019; Leong vd,2019)

Birleşmiş Milletler Su (BM-Su)'ya göre, dünya nüfusunun üçte birini temsil eden yaklaşık iki milyar insan ciddi su sıkıntısı yaşayan ülkelerde yaşıyor (UN-Water,2019). Gelişmekte olan ve az gelişmiş bölgelerin çoğunda güvenli içme suyuna erişimi hala bir lüks. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, çoğunluğu yoksul olan yaklaşık 844 milyon insan, temel bir içme suyu kaynağına sahip değil ve 663 milyon insan, insani tüketim standartlarını karşılamayan su kullanıyor (WHO,2017). Yukarıda belirtilen gerçekler ve istatistikler, araştırmacıları doğada sürdürülebilir olan alternatif su kaynaklarını belirlemeye ve kullanmaya motive etmektedir (Alim vd,2021)

Dünyadaki yaşamın devamı için su en önemli maddedir ve dünya yüzeyinin %75'i su ile kaplıdır, ancak ne yazık ki bu suyun çoğunluğu tuzludur (tuzluluk: 35 ppt) (Millero vd, 2008). Bu suda bulunan yüksek miktardaki tuz ve inorganik madde (TDS>35.000 mg/L) insan tüketimi için uygun değildir (Ghenai vd, 2021). Bu su kütesinin sadece %3'ü içme, endüstriyel uygulamalar ve sulama gibi diğer amaçlar için uygundur. Bununla birlikte, tatlı suyun çoğunluğu (%68,9) buzullarla kaplıdır. Kalan %29,9 ve %1,2 sırasıyla yer altı ve yüzey sularından (atmosfer, göller ve nehirler) oluşmaktadır (Okafor,2011; Jamal vd, 2023).

Bu sorunların çözümü söz konusu olduğunda, doğal olarak toplanan yağmur suyu, yüzey ve yer altı sularına en umut verici alternatif olabilir (Ahammed vd, 2014; Islam vd, 2019; Schuetze, 2013) Özellikle, yeraltı suyu ve tatlı su üretim maliyetlerine bağımlılığı azaltmak için, Avustralya, Almanya, Hindistan vb. ülkeler dahil olmak üzere birçok ülke artık Yağmur Suyu Hasadı (YSH) konusunda katı düzenlemeler getirmektedir ve bunlardan birkaçı halihazırda YSH sistemlerini şehrin tatlı su kaynağı için işletmeye başlatmıştır (Malassa vd, 2014; Jamal vd,2023).

Çatılardan, depolamadan ve yeniden kullanımdan elde edilen YSH, talebi karşılamak için (Fewkes,1999) kamu tedarikçilerinden gelen su kullanımını azaltırken, yağmur şebekelerine ve sokaklara yönlendirilen su akışlarını, kentsel sel sorunlarını azaltan basit ve pratik bir yöntemdir (Ortiz vd, 2022). YSH, Roma dönemine kadar uzanmaktadır. İlk yağmur suyu hasadı örneği, Mısır'da bulunan 200 tondan 2000 tona kadar farklı ebatlardaki depolama tanklarıdır (Yalılı Kılıç ve Abuş,2018). Mevcutta YSH sistemi genellikle geçirimsiz bir çatı yüzeyi (çatı olukları), taşıma boruları, bir depolama tankı, filtre sistemi ve çatı ile tank arasında bulunan dağıtım sisteminden oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Yağmur Suyu Hasadı (YSH) Sistemi (URL-1,2023)

Figure 1. Rainwater Harvesting (YSH) System (URL-1,2023)

Son zamanlarda YSH sistemi uygulamalarının yaygınlaştırılması ve araştırılması artmıştır. Birçok ülke, YSH 'nin su tasarrufu ve akış verimliliğini araştırmıştır. Brezilya'nın farklı şehirlerinde yürütülen bir araştırma, YSH 'nin yıllık su tasarrufu potansiyel verimliliğini %12'den %79'a değiştirdiğini bildirdi (Ghisi vd, 2007). Abu-Zreig vd (2013) , YSH 'nin Ürdün'de evsel amaçlar için yılda yaklaşık 14,5 milyon m<sup>3</sup> su tasarrufu sağlayabileceğini bildirmiştir. Guizani (2016) , YSH 'nin Suudi Arabistan'ın birçok şehrinde yılda 7,5 m<sup>3</sup> /100 m<sup>2</sup>'den fazla su tasarrufu sağlayabileceğini belirtmiştir. Karim vd (2015) , YSH 'nin yıllık su tasarrufunun 250 m<sup>3</sup> ile 550 m<sup>3</sup> arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Bangladeş, Dhaka'daki toplama alanlarına güvenerek. Jamal vd (2023) yine Bangladeş Dhaka da YSH sistemi geliştirmiş ve tüm konut binalarının benzer sistemi kurması halinde 22,76 milyon dolar tasarruf edileceğini belirtmiştir. Jing vd (2017) , belirli bir konuma ve su taleplerine bağlı olarak, bir YSH 'nin su tasarrufu verimliliğinin Çin'in kurak bölgelerinde %2 ila %20 arasında değiştiğini göstermiştir. Ali vd (2020) , daha büyük tank boyutları ve daha düşük su talepleri ile YSH 'nin daha yüksek su tasarrufu verimliliğine ulaşılabileceğini buldular. Custodio ve Ghisi (2023) Rio Cachoeira Havzası'nda yapmış oldukları çalışmada YSH ile yağmur suyu akışının alt havzalar için tepe akış azaltma potansiyellerinin %2,7 ile %14,3 arasında değiştiğini pik akıştaki ortalama potansiyel azalmanın ise %7,2 olduğunu bildirmiştir. Snir vd ( 2022) , 150 sakini ve 1000 m<sup>2</sup> kapsama alanı olan bir konut binası için yağmur suyu toplama sisteminin etkisini simüle etmişlerdir ve yüzey akışının simülasyonunda kullanılan tasarının yağmur suyu akışındaki azalmaya etkisinin %18,1 olduğunu bildirmiştir.

Küresel iklim değişikliği, ülkemizde kullanılabilir su kaynaklarının azalmasına neden olurken yağış suları, planlama ve dağıtım çalışmaları için önemli bir gösterge niteliği taşımaktadır. Türkiye’de yıllık tüketilebilir su miktarı kişi başına 2000 yılında 1.652m<sup>3</sup> iken, 2009 yılında 1.544m<sup>3</sup>’e, 2020 yılında ise 1.346m<sup>3</sup>’e kadar düşüş göstermiştir. Falkenmark tarafından geliştirilen göstergeye göre, kişi başına düşen yıllık su tüketimi için yıllık 1000-1700 m<sup>3</sup> arası olması durumu su stresi aralığı olarak kabul edilmektedir (Falkenmark ve Widstrand, 1992). Türkiye su stresi yaşayan ülkeler arasında yerini almaktadır. Bu yüzden suyun tasarruflu ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması önemlidir (Kalıpcı vd, 2021; Sarış F 2021).

Türkiye’de yağmur suyu hasadına dair Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından düzenlenerek yürürlüğe giren “Yağmur Suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkındaki Yönetmelik” ile yağmur suyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin tasarımına, planlanmasına, projelendirilmesine, yapımına ve işletilmesine ilişkin usul ve esaslar düzenlenmiştir (30105 sayı ve 23 Haziran 2017 tarihli Resmi Gazete). Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’nde yapılan değişiklikle, çatıda toplanan yağmur suyunun bahçe zemini altında toplanmasını sağlamak amacıyla yeni binalara "yağmur suyu toplama sistemi" kurulması; yine aynı yönetmelikle (31373 sayı ve 23.01.2021 tarihli Resmi Gazete), su sorununun giderek artması da dikkate alınarak artık 2000 m<sup>2</sup> den büyük parsellerde yapılacak tüm binaların çatı sistemlerinde toplanan yağmur sularının, yeşil alan sulama veya artırılarak bina ihtiyacında kullanılmak üzere bahçe zemini altında toplanması amacıyla "yağmur suyu toplama sistemi" yapılması zorunluluğu getirildi. Bu kapsamda çalışmada Ondokuz Mayıs Üniversitesi içerisinde çatı alanı 2 bin m<sup>2</sup> üzerinde olan ve etrafında yağmur suyunun sulama suyu olarak kullanılabilmesi alanların olduğu kütüphane binası için yağmur suyu hasadı (YSH) sisteminin su tasarrufu potansiyeli araştırılmış ve gereken su miktarı da hesaplanarak, YSH ile toplanacak yağmur suyunun ihtiyacı karşılamaya yönelik potansiyeli ve geri dönüş süresi belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Merkez Kütüphanesi, 2018-2019 eğitim öğretim döneminde hizmet vermeye başlamıştır. Kütüphane, Samsun ili Atakum ilçesi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit yerleşkesinde (41°21’52”N, 36°11’23”E) yer alan 10.500 m<sup>2</sup> kullanım alanlı, 700 kişilik oturma kapasiteli bir binadır. Bina etrafında peyzaj alanları, yakınında ise Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi’ne ait seralar ve ekilebilir alanlar bulunmaktadır (Şekil 2).

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kütüphane binasına yapılması planlanan YSH Sistemi için uygulama alanı olarak kullanılacak bina çatı alanının yaklaşık 3017 m<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Merkez Kütüphanesi, Ekilebilir Alan ve Seralar  
Figure 2. Ondokuz Mayıs University Central Library, Arable Land and Glasshouses



Şekil 3. Kütüphane çatı alanı  
Figure 3. Library roof area

### 2.1. Yağmur suyu verim hesabı

Kütüphane binasını çatı yüzeyinden toplanacak yağmur suyu miktarının hesabı için aşağıdaki “yağmur suyu verimi” formülü kullanılmıştır (Sutema, 2015; Dadhich ve Mathur, 2016). Yağmur suyu hasadının ekonomik analizi; toplam çatı alanı, yıllık ortalama yağış miktarı, çatı malzemesine göre farklılık gösteren akış katsayısı ve filtre etkinlik katsayısı temel alınarak belirlenmiştir.

$$\Sigma V_y = A_y \times Y \times K_a \times \beta$$

Burada;  $V_y$ : Yağmur suyu verimi,  $K_a$ : Çatı akış katsayısı,  $\beta$ : Filtre etkinlik katsayısı,  $A_y$ : Yağmur toplama alanı, toplam çatı alanını temsil etmektedir.  $Y$ : Yıllık yağış miktarı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından belirlenen toplam yıllık yağış miktarıdır.

Çatı malzemesi, çatıda toplanacak yağmur suyunun belirlenmesinde önemli bir faktördür. Akış katsayısı, su kayıplarının etkisini gösteren boyutsuz bir faktördür ve yüzey eğiminin doğasına ve yağış yoğunluğuna bağlıdır (Singh vd, 2011) Bu nedenle, bir çatı alanına düşen suyun tamamı toplanamayacağından akış katsayısının dikkate alınmasına ihtiyaç vardır. Tablo 1’de değişik çatı malzemelerine ait akış katsayısı verilmektedir. Bu çalışmanın çatı tipi metal çatı olup, akış katsayısı 0,9’dur.

Tablo 1. Farklı çatı tipleri için akış katsayısı (Dadhich ve Mathur, 2016; Taşçı 2021)

Table 1. Flow coefficient for different roof types (Dadhich and Mathur, 2016; Taşçı 2021)

Çatı tipi	Akış katsayısı
Metal çatı	0,9
Asbest çatı	0,8
Kiremitli çatı	0,75
Beton çatı	0,70

Filtre etkinlik katsayısı, DIN1989’da Alman standartları tarafından belirtilen kat sayısıdır (0,9). Çatılardan akan yağmur suyunun, kaba maddelerden ayrıştırılması için geçirilen ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Suyun bir miktarının buradan filtrelenemeyeceği hesaplanarak verilen bir kat sayıdır.

Kütüphane çatı yüzey alanı yaklaşık 3017 m<sup>2</sup> dir. İllerin yağış miktarı değişmektedir. Samsun ilinde 1929 ile 2021 yılları arasında metrekareye düşen ortalama yağış miktarı 717,9 mm (717,9 L/m<sup>2</sup>) olarak ölçülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Samsun İline ait yağış istatistik verileri (MGM,2022)

Table 2. Meteorology General Directorate, precipitation statistics for Samsun Province (MGM, 2022)

Samsun	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
<b>Ölçüm Periyodu (1929-1921)</b>													
Ortalama yağışlı gün sayısı	11,85	9,77	11,62	10,54	11,08	10,15	5,85	5,23	8,46	11,62	9,31	12,15	117,6
Aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm)	71,6	58,8	66,8	56,8	48,8	45,8	35,1	37,5	53,6	78,4	83,8	80,9	<b>717,9</b>

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1 Yağmur Suyu Verimi

3017 m<sup>2</sup> çatı alanı olan bir kütüphane için; Tablo 2’de verilen Samsun için ortalama yıllık yağış miktarı 717,9 mm = 717,9 L/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Buna göre;

$$V_y = 3017 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,9 \times 717,9 \text{ L/m}^2 = 1754382 \text{ L} = 1754 \text{ m}^3 / \text{yıl bulunur.}$$

#### 3.2 Yıllık Toplam Su İhtiyacı

Bir yağmur suyu toplama sisteminin potansiyel faydalarını en üst düzeye çıkarmak ve bundan maksimum fayda sağlamak için çatılarda toplanma alanı olarak hizmet edecek geniş alanların olması önemlidir. Bu nedenle yağmur suyunun uygun bir yöntemle toplanarak açık alan sulamasında kullanılması oldukça yaygın ve önerilen bir uygulamadır. Kütüphane binasının arkasında 13000 m<sup>2</sup> ekilebilir alan ve 18 adet sera bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Yağmur suyunun kullanılabilceği seralar ve ekilebilir alan

Figure 3. Glasshouses and arable land where rainwater can be used

Açık alanların su ihtiyacı hesaplanırken her bir sulama için su miktarı 5 L /m<sup>2</sup> olarak kabul edilmiştir.

13000 m<sup>2</sup> 'lik bir alanın sulaması için;

$$13000 \text{ m}^2 \times 5 \text{ L/m}^2 = 65000 \text{ L} = 65 \text{ m}^3 / \text{gün}$$

$$\text{Haftalık 1 kez sulama yapılması durumunda; } 65 \text{ m}^3 / \text{gün} \times 365 / (7) \text{ gün} = 3389 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

Sera alanlarının sulaması ile ilgili edinilen bilgiye göre 8 seranın aktif ve 1797 m<sup>3</sup>/yıl bir tüketimin olduğu belirlenmiştir.

$$\text{Yıllık Toplam Su İhtiyacı} = 3389 \text{ m}^3 / \text{yıl} + 1797 \text{ m}^3 / \text{yıl} = 5186 \text{ m}^3 / \text{yıl} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

### 3.3 Depo hacmi hesabı

Sistemin depo hacmi gereksinimi, maksimum yağışın olduğu Kasım ayı düşünülerek hesaplanmıştır (Tablo 2).

Kasım ayı: 83.8 mm

$$\text{Depo hacmi} = \text{yağış miktarı} \times \text{çatı alanı} \times 0.8 \times 0.9$$

$$\text{Depo hacmi} = 83,8 \text{ L/m}^2 \times 3017 \text{ m}^2 \times 0.9 \times 0.9 = 204787,9 \text{ L}$$

$$= 205 \text{ m}^3 \text{ 'lük depo hacmi gerekmektedir.}$$

### 3.4 Yıllık Tasarruf Edilen Tutar

Yıllık toplam 5186 m<sup>3</sup> su tüketiminin olacağı planlanan (ekilebilir alan dahil) bölgenin 1754 m<sup>3</sup> 'lük su kullanımı yağmur suyundan karşılanabilmektedir. Ocak ayı Samsun SASKİ Samsun su ve kanalizasyon idaresi) tarafından faturalandırılan suyun kamu ve özellikli alanlar için su için %1 ve atıksu için %8 KDV dahil ve 6,42 TL + %18 KDV sayaç bedeli eklenerek m<sup>3</sup> bedeli 23,58 TL/m<sup>3</sup> 'tür (SASKİ abone rehberi,2023).

$$\text{Yıllık tasarruf edilen tutar} = 1754 \text{ m}^3 \times 23,58 \text{ TL/m}^3 = 41,359.32 \text{ TL}$$

Toplam tüketilecek suyun %33,8 'i yağmur suyundan sağlanabilmekte ve yıllık olarak 41,359.32 TL tasarruf edilebilmektedir.

### 3.5 YSH Sisteminin Yatırım Tutarı

Yağmur suyu hasadı sistemi için gerekli ekipman, su filtresi, dalgıç pompa ve su deposudur. Ekipmana ait fiyatlandırma Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Ekipman maliyeti

Table 3. Equipment cost

Ekipman	TL Fiyatı	*€
100 m <sup>3</sup> depo	330000	16200
Dalgıç pompa (5 adet)	8375	411
Filtre (5 adet)	24500	1203
<b>Toplam</b>	<b>362875</b>	<b>17814</b>

\*Euro hesabında 04.02.2023 tarihli döviz kuru kullanılmıştır (1 € = 20,37 TL)



Deponun fiyatını belirlemek için depo üretiminde uzmanlaşmış Türk şirketi İzoplas firmasından fiyat alınarak Polyesterten yapılmış 100 m<sup>3</sup>lük bir deponun fiyatının 330000 TL olduğu tespit edilmiştir. Filtre için kendi kendini temizleme özelliği olan ve 200 m<sup>2</sup> ye kadar çatı alanlarından gelen yağmur suyunu filtreleyen Tankplast Yağmur Suyu Filtresi Ytyf 0100 Polietilen (4,2 Lt/Sn) fiyatı 4900 TL olarak belirlenmiştir. Pompa için 900 W gücünde paslanmaz, temiz su dalgıç pompanın fiyatı 1675 TL olarak belirlenmiştir.

Yağmur suyu toplama sisteminin ekonomik fizibilitesinin değerlendirilmesini tamamlamak amacıyla geri ödeme süresi de hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi, bir ilk yatırımın maliyetini geri kazanma süresini ifade etmektedir.

Geri ödeme süresi = Toplam sistem maliyeti/ yıllık tasarruf edilen

$$= 362,875 / 41,359.32 = 8,7 \text{ yıl}$$

#### 4. Sonuç

Güvenilir su kaynağı, yalnızca acil bir ihtiyaç haline gelmekle kalmamakta, aynı zamanda dünyanın dört bir yanındaki şehirlerin sürdürülebilir kalkınması için bir zorluk haline gelmektedir. İçme ve kullanım amaçlı harcanan suyun %70'i tuvaletler, dış mekân sulama, araç yıkama ve insani tüketim gibi ihtiyaçlar için kullanılmaktadır. Yağmur sularının %70'lik kısmı doğrudan kanalizasyona katılırken, %30'u yeraltı sularına karışmaktadır. Suyun hayatımızda vazgeçilmez önemi düşünüldüğünde, yağmur sularının tekrar kullanımının ne derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır (Eren vd., 2016, Yalılı Kılıç ve Abuç, 2018).

Bu çalışma Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Merkez Kütüphanesi YSH sisteminin su veriminin hesaplanması ve sistemin kurulması sonrasında ekonomik analizini incelemektedir. 3017 m<sup>2</sup> çatı alanı bulunan kütüphane binası çatısının çevresindeki seralar ve ekilebilir alanlar için toplanacak yağmur suyu potansiyeli MGM den alınan yağış verileri dikkate alınarak hesaplanmış ve toplam tüketimin %33,8 inin yağmur suyundan karşılanabileceği bulunmuştur. Sistemin kurulması durumunda ilk yatırım maliyetini 8,7 yılda geri ödeyeceği belirlenmiştir. YSH sisteminin kurulması güvenli su teminin yanı sıra altyapı sistemleri yeterli olmayan şehirlerin sel baskınlarına karşı korunmasını da sağlamaktadır. Binaların çatısına düşen yağmur suyunun yüksek bir yüzdesinin geleneksel drenaj sistemi tarafından bertaraf edilmeyecek olması sonucu, Kamu idarelerinin şehir çapındaki karmaşık yağmur drenaj ağlarına yapılan yatırımı azaltmasına da katkı sağlamış olacaktır. Bu kapsamda YSH sistemlerinin yaygınlaştırılması ve devlet kurumları, vergi indirimleri ve finansal devlet teşvikleriyle başta geniş çatılı binalar olmak üzere tüm ticari ve resmi binalarda su hasadına teşvik edilmesi, devletin çevre yönetim planları içerisinde bu sistem için kaynak ayırması önerilmektedir.

#### Kaynakça

- Abu-Zreig, M., Hazaymeh, A., & Shatanawi, M. (2013). Evaluation of residential rainfall harvesting systems in Jordan. *Urban Water Journal*, 10, 105–111. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.709255>
- Ahmed, F., Hewa, G.A. Argue, J.R. (2014). Variability of annual daily maximum rainfall of Dhaka, Bangladesh, *Atmos. Res.* 137 (2014) 176–182.
- Ali, S., Zhang, S., & Yue, T. (2020). Environmental and economic assessment of rainwater harvesting systems under five climatic conditions of Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120–829. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120829>
- Alim, M. A., Ashraf, A. A., Rahman, A., Tao, Z., Roy, R., Khan, M. M. & Shirin, S. (2021). Experimental investigation of an integrated rainwaterharvesting unit for drinking water production at the household level. *J. Water Process Eng.* 44, 102318. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102318>
- Bashar, M.Z.I., Karim, M.R., Imteaz, M.A. (2018). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: a comparative study within six major cities of Bangladesh. *Resour. Conserv. Recycl.* 133, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.025>.
- Chiu, Y. R., Liaw, C. H., & Chen, L. C. (2009). Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. *Renew Energy*, 34(3), 492–498. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.06.016>
- Custodio, D.A., Ghisi, E., (2019). Assessing the Potential for Potable Water Savings in the Residential Sector of a City: A Case Study of Joinville City, vol. 11. *Water*, Switzerland. <https://doi.org/10.3390/w11102074>
- Custódio, D.A. and Ghisi, E. (2023) Impact of Residential Rainwater Harvesting on Stormwater Runoff. *Journal of Environmental Management* 326 116814. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4198801>
- Dadhich, G., & Mathur, P. (2016). A GIS based Analysis for Rooftop Rain Water Harvesting. *International Journal of Computer Science & Engineering Technology*, 7(4), 129-143.
- Eren B., Aygün A., Likos S. ve Damar A.İ. (2016). Yağmur Suyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüs Örneği. *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES)*, 3-5 November, Antalya.
- Falkenmark, M., Widstrand, C. (1992). Population and Water Resources: A Delicate Balance. *Population Bulletin*, Population Reference Bureau.
- Fewkes, A. (1999) The use of rainwater for wc flushing: the field testing of a collection system, *Build. Environ.* 34 (6) 765–772, [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(98\)00063-8](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(98)00063-8).
- Ghenai, C., Kabakebji, D. Douba, I, Yassin, A. (2021) Performance analysis and optimization of hybrid multi-effect distillation adsorption desalination system powered with solar thermal energy for high salinity seawater, *Energy* 215, 119212.
- Ghisi, E., Bressan, DL., & Martini, M. (2007). Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Journal Building and Environment*, 42, 1654–1666.
- Guizani, M. (2016). Storm Water harvesting in Saudi Arabia: a multipurpose water management alternative. *Water Resources Management*, 30, 1819–1833. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1255-4>



- Imteaz, M. A., Ahsan, A., & Shanableh, A. (2013). Reliability analysis of rainwater tanks using daily water balance model: Variations within a large city. *Resources, Conservation and Recycling*, 77, 37–43.
- IPCC (2019). Summary for Policymakers — Special Report on Climate Change and Land [WWW Document]. URL. <https://www.ipcc.ch/srcccl/chapter/summary-for-policy-makers/>. Erişim tarihi: 10.12.22
- Islam, M., Akber, M., Rahman, M., Kabir, M. (2019) Evaluation of harvested rainwater quality at primary schools of southwest coastal Bangladesh, *Environ. Monit. Assess.* 191 (2) 1–12.
- Jamal A.H.M.S.I.M., Tarek Y.A., Siddique M.A.B., Shaikh M.A.A., Debnath S.C., Uddin M.R., Ahmed S., Akbor M.A., Al-Mansur M.A., Islam A.R.M.T, Khan R., Moniruzzaman M., Sultana S. (2023) Development of a fabricated first-flush rainwater harvested technology to meet up the freshwater scarcity in a South Asian megacity, Dhaka, Bangladesh. *Heliyon*. 18;9(1):e13027. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13027
- Jing, X., Zhang, S., Zhang, J., Wang, Y., & Wang, Y. (2017). Assessing efficiency and economic viability of rainwater harvesting systems for meeting non-potable water demands in four climatic zones of China. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.027>
- Kalıpcı, E., Başer, V. Genç, N. (2021). Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanarak Yağmur Suyu Hasadının Değerlendirilmesi: Giresun Üniversitesi Kampüs Örneği. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 10 (1), 49-58 .
- Karim, M.R., Bashar, M. Z. I., & Imteaz, M. A. (2015). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting in a megacity in Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 61–67.
- Leong, J.Y.C., Balan, P., Chong, M.N., Poh, P.E. (2019). Life-cycle assessment and life-cycle cost analysis of decentralised rainwater harvesting, greywater recycling and hybrid rainwater-greywater systems. *J. Clean. Prod.* 229, 1211–1224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.046>
- Malassa, H., Al-Rimawi, F., Al-Khatib, M., Al-Qutob, M. (2014) Determination of trace heavy metals in harvested rainwater used for drinking in Hebron (South West Bank, Palestine) by ICP-MS, *Environ. Monit. Assess.* 186 (10) 6985–6992.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), (2022). Resmi istatistikler: İllerimize ait genel istatistik verileri. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SAMSUN>
- Millero, F.J. Feistel, R. Wright, D.G., McDougall, T.J. (2008) The composition of standard seawater and the definition of the reference-composition salinity scale, *Deep Sea Res. Oceanogr. Res. Pap.* 55 (1) (2008) 50–72.
- Moazeni, F., & Khazaei, J. (2020). Dynamic economic dispatch of islanded water-energy microgrids with smart building thermal energy management system. *Applied Energy*, 276, Article 115422. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115422>
- Okafor, N. (2011) Environmental Microbiology of Aquatic and Waste Systems, in: Springer Science & Business Media, Valsami-Jones (Eds.), Chapter 1
- Ortiz, S., Barreto, PB, Castier, M. (2022) Rainwater harvesting for domestic applications: The case of Asunci' on, Paraguay, Results in *Engineering* 16, 100638, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100638>
- Sarıç, F. (2021). Türkiye'de Eysel Su Tedarik ve Tüketim İstatistiklerinin Değerlendirilmesi, *Coğrafi Bilimler Dergisi/ Turkish Journal of Geographical Sciences*, 19(1), 195-216, doi: 10.33688/aucbd.883794
- Schuetze, T. (2013) Rainwater harvesting and management–policy and regulations in Germany, *Water Sci. Technol. Water Supply* 13 (2) 376–385.
- Shahbaz A., Yan-Fang S. (2023) Implementing rainwater harvesting systems as a novel approach for saving water and energy in flat urban areas, *Sustainable Cities and Society*, 89,1-14, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104304>.
- Singh, V.P., Pratap Singh, P., Haritashya, U.K. (Eds.).(2011) *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. ISBN : 978-90-481-2641-5
- Snir, O., Friedler, E., Ostfeld, A. (2022). Optimizing the control of decentralized rainwater harvesting systems for reducing urban drainage flows. *Water* 14. <https://doi.org/10.3390/w14040571>.
- Sutema, (2015). Geleceğin suyu. [https://sutema.org/resources/Document/FileName/2015-12-01\\_22-11-14-692%20GeleceginSuyu.pdf](https://sutema.org/resources/Document/FileName/2015-12-01_22-11-14-692%20GeleceginSuyu.pdf) (Erişim Tarihi: 12.12.2022).
- Taşçı H. (2021). Economic Analysis of Water Storage by Rainwater Harvesting Technique at Izmir Katip Celebi, M.Sc. Thesis, Izmir Katip Celebi University, Turkey.
- UN-Water (2019), World Water Development Report. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2019> (Erişim Tarihi: 09.12.2022).
- URL-1: [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/190672/mod\\_resource/content/0/Su%20Hasad%C4%B1\\_11hf.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/190672/mod_resource/content/0/Su%20Hasad%C4%B1_11hf.pdf) (Erişim Tarihi: 05.01.2023)
- WHO/UNICEF (2017), Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines, World Health Organization.
- Yalılı Kılıç M., Abuş M.N. (2018) Bahçeli Bir Konut Örneğinde Yağmur Suyu Hasadı. *International Journal of Agriculture and Wildlife Science* 4(2): 209 - 215. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/593455>
- Zhang, S., Jing, X., Yue, T., & Wang, J. (2020). Performance assessment of rainwater harvesting systems: influence of operating algorithm, length and temporal scale of rainfall time series. *Journal of Cleaner Production*, 253, Article 120044. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120044>



# Investigation of Flexural, Compressive Strength and Microstructure of Silica Fume Added Steel Fiber Concrete

Mahmut Durmaz<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6060-4258), [mahmutdurmaz@siirt.edu.tr](mailto:mahmutdurmaz@siirt.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 7 Eylül 2023 ve Kabul Tarihi 30 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10397634)

**ATIF/REFERENCE:** Durmaz, M. (2023). Investigation of Flexural, Compressive Strength and Microstructure of Silica Fume Added Steel Fiber Concrete. *European Journal of Science and Technology*, (52), 183-192.

## Abstract

Concrete is the most extensively used construction material today, and cement is used as the bonding agent in the concrete production. Use of silica fume in steel fiber concretes is suitable for high-strength and high-quality concrete production. In this study, tests were conducted using silica fume in steel fiber concretes by 0 %, 5 %, 10 % and 15 % via replacement with cement. CEM I 42.5 N cement and steel fiber were used in the concrete produced during the tests. Samples were selected from C 25 class in which water/cement ratio was 0.50 and produced by being subjected to vibration. Test samples were subjected to a flexural test from their midpoints and a compression test from the edges on prism samples produced at sizes of 100 mm x 100 mm x 500 mm. 7 day and 28 day flexural and compression strength tests of the concretes produced were measured. Besides, hydration products in concrete were observed with scanning electron microscope, energy dispersive spectrometry, and x-ray diffraction. As a result, it was determined that as the amount of silica fume increased, there was an increase in flexural and compressive strength.

**Keywords:** Concrete, silica fume, steel fiber, flexural and compressive strength, microstructure

## Silis Dumanı Katkılı Çelik Lifli Betonun Eğilme, Basınç Dayanımı ve Mikro Yapısının İncelenmesi

### Özet

Beton günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesi olup, beton üretiminde bağlayıcı madde olarak çimento kullanılmaktadır. Çelik lifli betonlarda silis dumanının kullanılması yüksek dayanımlı ve kaliteli beton üretimi için uygundur. Bu çalışmada çelik lifli betonlarda silis dumanı kullanılarak %0, %5, %10 ve %15 oranlarında çimento ile ikame edilerek testler yapılmıştır. Testler sırasında üretilen betonda CEM I 42,5 N çimento ve çelik elyaf kullanıldı. Numuneler su/çimento oranı 0,50 olan C 25 sınıfından seçilmiş ve vibrasyona tabi tutularak üretilmiştir. Test numuneleri 100 mm x 100 mm x 500 mm ölçülerinde üretilen prizma numuneler üzerinde orta noktalarından eğilme testine, kenarlarından ise basma testine tabi tutuldu. Üretilen betonların 7 günlük ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanım testleri ölçüldü. Ayrıca betondaki hidratasyon ürünleri taramalı elektron mikroskobu, enerji dağılımlı spektrometri ve x-ışını kırınımı ile gözlemlendi. Sonuç olarak silis dumanı miktarı arttıkça eğilme ve basınç dayanımında artış olduğu belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, silis dumanı, çelik elyaf, eğilme ve basınç dayanımı, mikro yapı

\* Corresponding Author: [mahmutdurmaz@siirt.edu.tr](mailto:mahmutdurmaz@siirt.edu.tr)

## 1. Introduction

Turkey is among the rapidly developing countries in terms of level of development. One of the typical characteristics of this fact is developments in the construction industry. Concrete is one of the construction materials that come to mind when it comes to the construction industry. Developments in the field of concrete directly affect the resistance of a construction. Factors that affect the concrete strength can be divided into two groups as internal and external factors. Internal factors arise from the type and rates of the material forming the concrete while external factors stem from effects that are exposed throughout the concrete production, maintenance and service life. Among the internal factors are the types of cement, aggregate features, water/cement ratio, and chemical and mineral admixtures, whereas external factors include concrete casting and curing temperatures, curing conditions and compressive strength test conditions.

To bring new features to the concrete and upgrade some of its features markedly, chemical and pozzolanic admixtures are added to the concrete apart from steel, glass and polypropylene films. Fibers used in concretes increase the tensile and flexural strength and decrease shrinkage cracks (Afroughsabet & Ozbakkaloglu, 2015; Atiş & Karahan, 2009; Babu & Babu, 2003; Bagherzadeh et al., 2012).

The concrete does not break apart into two pieces due to the presence of fibers in the fiber-reinforced concrete obtained through the addition of steel fibers into the concrete, as distinct from normal concrete, and keeps carrying loads, albeit in little amount (Balendran et al., 2002; Behnood & Ziari, 2008; BENTUR & M. D. COHEN, 1987). Steel fibers substantially reduce crack widths, the number of cracks and joist displacement where measures are taken against the coagulation of fibers during the admixture. However, lifting the load again and repairing cracks in the joist at an early age may be considered as an important advantage for buildings exposed to repeated loads such as seismic loads (Doğruyol, 2017; Duval & Kadri, 1998).

The reduction rate of the load is much slower in fiber-reinforced concretes than in normal concretes as a result of increasing deformation following the maximum load. Therefore, energy absorption is at a fairly high level in fiber-reinforced concretes as fibers separate from the internal structure of the concrete and extend. Huge increases are maintained in the ductility and toughness of fiber-reinforced concretes compared to non-fibrous concretes (Ahmed Ezeldin & P. Balaguru, 1989; Doğruyol, 2017; Ferrara & Meda, 2006).

Steel fibers that are used in the concrete production are produced in various sections and sizes. Elements that define the fiber are the fiber length, the fiber diameter and the tensile stress of the fiber. In all studies ever conducted, it has been determined that there is a significant decrease in workability and a decrease in void measurement after fiber is added into the concrete (Gao et al., 1997; Hadi, 2009; Ivorra et al., 2010; Karahan & Atiş, 2011).

In general fly ash and silica fume are used as pozzolanic materials in the concrete production. As silica fume is a material finer than cement, it tightens and reinforces aggregate cement paste interfacial zone to minimize the void and increase the compressive strength of the concrete. Silica fume prevents the segregation in concrete and positively affects the homogeneity (Kamal Henri Khayat & Pierre-Claude, 1992; Kiliçkale, 1996). Use of silica fume up to 20 % instead of cement in concrete increases the adherence of the concrete to the steel (Choo & Newman, 2003; Kiliçkale, 1996). Besides, silica fume decreases pores in the cement paste, increases adhesion and maintains a more impermeable structure. Silica fume decreases the drying rate and diffusion coefficient of the concrete (Doğruyol, 2017). Serving as both filler and pozzolan, silica fume forms a dense structure from grains, cement paste and aggregate. As silica fume absorbs surplus water molecules, it reinforces the adherence between the cement paste and aggregate and limits the corrosion of the reinforcement (Kamal Henri Khayat & Pierre-Claude, 1992).

Concrete blocks produced with cool and lightweight aggregates were examined and it was determined that silica fume addition increased the strength at low doses and early age (Nili & Afroughsabet, 2010b; Serin, 1999).

It was determined that silica fume and fly ash improved the shrinkage and freeze-thaw properties of lightweight concretes, while silica fume increased the 28-day compressive strengths, while fly ash decreased their compressive strength (Nili & Afroughsabet, 2010a; Pinto & Hover, 1997).

The pozzolanic activity of artificial pozzolans such as blast furnace slag, fly ash and silica fume was investigated. Among these pozzolans, it was observed that silica fume had the highest pozzolanic activity (Regmi et al., 2011; Scrivener et al., 1988; Özcan and Güngör, 2019).

It was stated that the strength of cement systems increased with the addition of silica fume; that the preparation time of mortar shortened, and that normal water demand increased along with silica fume addition (Panjehpour et al., 2011; Şener et al., 2002; Al-Mashhadani, 2021).

The effects of silica fume substitution were investigated at two different rates (6 % and 10 %). Experimental results showed that the optimum silica fume addition was 6 % (Serin, 1999).

It was studied the effect of silica fume on the mechanical behavior of concrete in compression. They identified that use of silica fume in concrete changed the micro-structural features of the aggregate-mortar contact area and that the material exhibited a looser behavior (Siddique, 2011; Song & Hwang, 2004).

## 2. Material and Method

### 2.1 Material

Calcareous crushed aggregates are the majority in concrete design and divided into grain sizes of 0-4, 4-16, 16-32 mm. The densities of these aggregates are 2600, 2650, 2680 kg/m<sup>3</sup> respectively. During the concrete production, portland cement 42.5 type portland cement, silica fume obtained from electrometallurgy plants, the one recommended in Turkish Standard 10514 were used in concrete production. ZC 60/100 coded steel fiber was also used. Crimped and hooked steel fiber with a diameter of 1 mm and a length/diameter ratio of 60, Figure 1. Emphasis information on silica fume and cement amounts used for fresh concrete, in the first sample, only 320 kg cement was used. In the second sample, 8 kg of silica fume and 312 kg of cement were used Table 1. In the third sample, 16 kg of silica fume and 304 kg of cement were used. In the fourth sample, 32 kg of silica fume and 288 kg of cement were used.

Its density is 7800 kg / m<sup>3</sup> and its tensile strength is 1100 MPa. Concrete design did not include any extra additive and was prepared using tap water at the concrete laboratory University along with the production of 36 prism samples in total in sizes of 100 mm x 100 mm x 500 mm. 9 of the concretes those were produced of steel fiber and used as witness samples. 27 samples that remained constituted the fiber-reinforced concrete with additive silica fume at rates of 5 %, 10 % and 15 %.

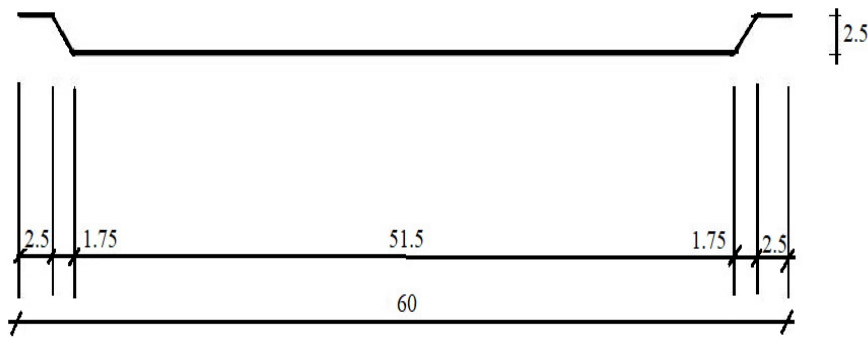


Figure 1. Sizes of Steel fiber (mm).

Table 1. Amounts of materials for Brand New Concrete.

Admixture Number	Concrete Type	Silica Fume (kg)	Cement (kg)	Water (Lt)	Steel fiber (kg)	Aggregate Grain Sizes (mm)		
						0-4	4-16	16-32
1	LB	0	320	138	50	893	903	204
2	SDLB-5	16	304	138	50	893	903	204
3	SDLB-10	32	288	138	50	893	903	204
4	SDLB-15	48	272	138	50	893	903	204

### 2.2 Method

C25 concrete was taken as basis in preparing the admixtures in which water/cement ratio was taken as 0.50. It was important

that the slump value of the concrete produced be  $7 \pm 1$ . Cement was replaced by silica fume by 5 %, 10 % and 15 % by weight. The steel fiber was added in accordance with Turkish Standard 10514 in concrete admixture, and remixing was carried out after initially each set of admixtures was subjected to dry-mix with mixer and then subjected to another dry-mix for one and half minute following the addition of the steel fiber on the same day to ensure a homogenous distribution of the steel fiber. Silica fume was added after it was turned into slurry with mixing water. Samples prepared were subjected to curing at  $20 \pm 2$  °C and in the same environment. During the flexural test, the gap between bearers was 450 mm and the load was installed from the point of  $\frac{1}{2}$  on the prism. The loading speed was 74 N/s. The loading mechanism is 3-point, Figure 2.

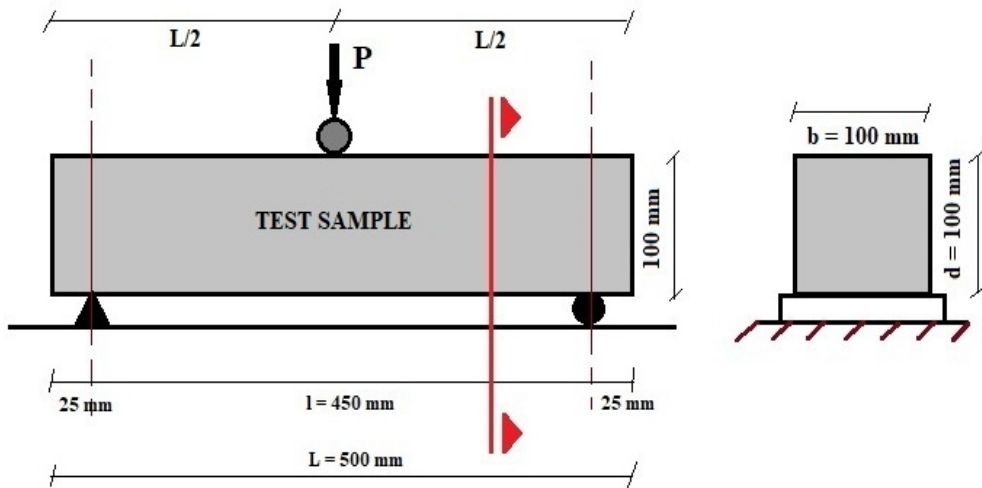


Figure 2. Test Loading Mechanism.

It has been determined that the flexural strength stress diagram of fiber reinforced concrete cannot be explained as in normal concrete (Behnood & Ziari, 2008), Figure 3.

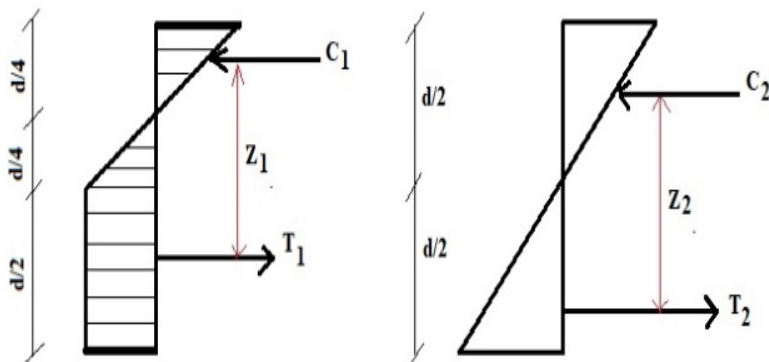


Figure 3. (a) Stress diagram of the fiber-reinforced (b) and non-fibrous concrete in beam bending.

Following assumptions were used to determine the distributions on the beam axis:

- Stress-strain is not proportional in tensile.
- As the fiber-reinforced concrete behaves distinctively in tensile and compression, the neutral axis is not the centre of gravity.



- c. The flexural tensile obtained through the elastic behaviour assumption is about three times as much as the direct tensile.
- d. It is enough to use the elastic behaviour in design though it does not exist in reality (Babu & Babu, 2003; Behnood & Ziari, 2008).

In addition, consistency water, flexural tensile strength (single point) and compressive strength results were determined for concrete samples on 7 days and 28 days. Cement hydration products were observed with the scanning electron microscope test of the 5 % silica fume substituted sample and calcium, chlorine and alkali ions, allite (Ca-Si O), combeite (Na-Ca-Si) and wadeite (K-Si-O) compositions were calculated with the x-ray diffraction and energy dispersive spectrometry tests, and the effect of concrete silica fume in concrete was revealed.

### 3. Experimental Outputs and Discussion

#### 3.1 Strength of Blended Concrete

XAs a result of the flexural test conducted on the concrete prisms that were produced, cracking occurred in fiber-reinforced concretes; however, they did not break apart and go into two pieces instantly but collapsed with elastic behaviour to a degree and kept carrying load, albeit at low levels. The flexural strength values of fiber reinforced concrete are good, Table 2. Brittle fracture is more manifest in silica fume concretes with the abovementioned occasion in concretes produced. As silica fume concretes have an additive adherence effect, the tensile occurring in concretes has concentrated in areas where cracking has the maximum flexural stress.

Table 2: Flexural Strength Values of the fiber-reinforced Concrete.

Concrete Age (days)	Rate of Silica Fume (%)	Flexural Strength (MPa)	Standard Deviation
7	0	5.23	0.11
	5	5.31	0.12
	10	6.11	0.08
	15	6.41	0.05
28	0	8.98	0.12
	5	9.01	0.48
	10	10.08	0.12
	15	10.05	0.13

It was observed that the strength of concrete at 7 days increased as the amount of silica fume increased. It was observed that as the amount of silica fume increased, the strength of concrete at 28 days increased and the strength value started to decrease when silica fume was added over 10 %, Table 2. The compressive strength of silica fume concrete increases as the amount of silica fume increases and it reaches the maximum level by 10 % to 15 % (TS 10514, n.d.).

The flexural and compressive strength of the concrete varies depending on the silica fume included in it. The flexural strength of the concrete increased in parallel with the rate of the silica fume, Figure 4.

There was an increase by 1.52 % in the 7 day fiber-reinforced concrete in which silica fume addition was 5% compared to fiber-reinforced concretes in which there was no silica fume addition. Accordingly, there was an increase by 14.4 % where silica fume rate was 10 % and an increase by 18.5 % where silica fume rate was 15 %. While compared to the additive-free fiber-reinforced concrete, there was not a change related to the 28 day flexural strength in the fiber-reinforced concrete which contained 5 % of silica fume, the fiber-reinforced concrete with 10 % and 15 % of silica fume increased by 12.24 % and 16.88 % respectively compared to the 28 day additive-free fiber-reinforced concrete, Table 2 and Figure 4.

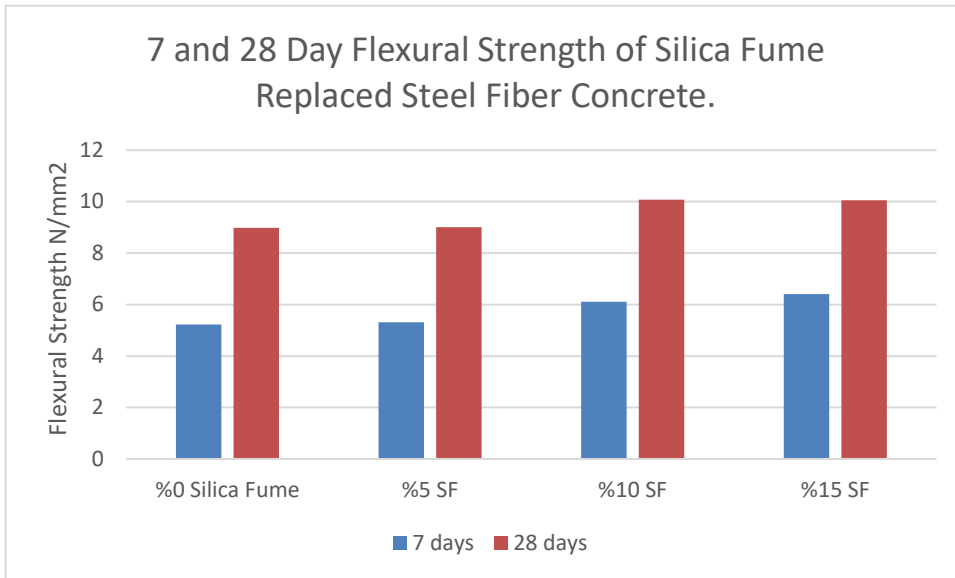


Figure 4. Silica Fume Rate and Flexural Strength Relationship in Steel fiber Concretes.

The compressive strength increases depending on the silica fume included in the fiber-reinforced concrete as it is in the flexural strength.

There was no increase where silica fume was 5 % compared to the 7 days additive-free fiber-reinforced concrete. However, silica fume with a rate of 10 % did give rise to an increase by 10.68 % while silica fume with a rate of 15 % led to an increase by 12.8 %.

In the 28 day compressive strength, there was an increase by 1.63 %, 15.7 % and 11.2 % where the fiber-reinforced concrete contained silica fume by 5 %, 10 % and 15 % respectively compared to the additive-free fiber-reinforced concrete Table 3. and Figure 5.

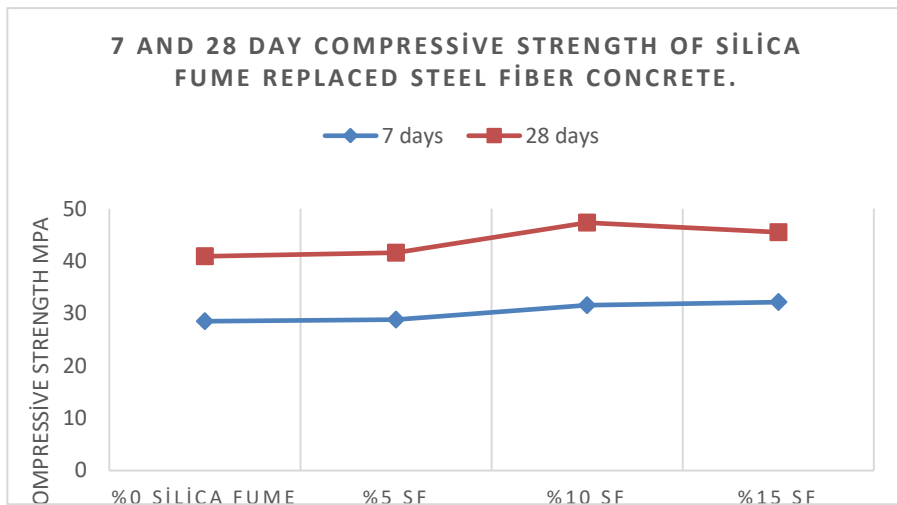


Figure 5. Silica Fume Rate and Compressive Strength Relationship in Steel fiber Concretes

Table 3. Silica Fume Rate and Compressive Strength Relationship in Steel fiber Concretes.

Age of Concrete (days)	Silica Fume substitution amount, %	Compressive Strength, MPa
7	0	28.50
	5	28.80
	10	31.54
	15	32.15
28	0	40.90
	5	41.56
	10	47.32
	15	45.48

### 3.2 Microstructure of Hardened Specimens

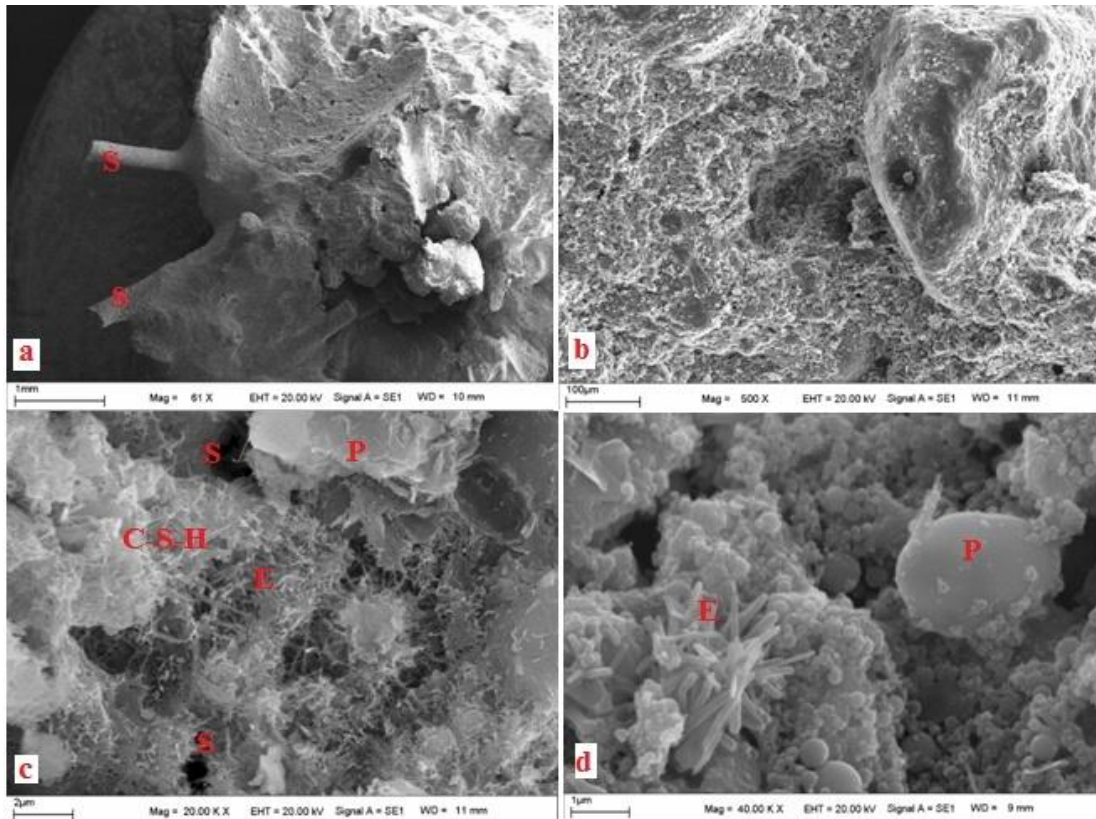


Figure 6. Hydration products of 5 % Silica Fume substituted sample P: portlandite (CH), E: ettringite ( $C_6A_5S_3H_{32}$ ), Calcium Silicate Hydrate Gel (C-S-H:  $C_3S_2H_3$ ).

Figure 6a, The 61-fold magnified view. The concrete image of steel fiber reinforcement. Figure 6b, the 500-fold magnified image gives information about the surface topography of the sample. Figure 6c, the steel fiber top view and hydration products including portlandite, ettringite and calcium silicate hydrate gel (C-S-H) bonds, were intensely visualized with a 20,000 fold magnified image. Figure 6d. Hydration products such as ettringite crystal needles and portlandite were observed with the 40,000 fold magnified image. Ettringite is a product that is open to reaction with external influences and causes capillary cracks on the concrete surface by expanding volumetrically. This situation negatively affects the strength and durability.

It was observed in the study that silica fume substitution increased the 7 and 28 days compressive and tensile strength of steel fiber concrete, Figure 5. Silica fume substituted concrete showed the highest compressive strength performance in both water cure and sulphate solution in early and later ages, but the production cost is much higher than other types of concrete mixtures. In addition, it has an effect on the adherence of concrete (Yan et al., 1999).

Figure 6c, since steel fiber is opaque, it appears as black. A cement matrix was observed on the steel fiber surface. This shows that steel fibers have a good bond between cement hydration products. It can be seen that the steel fibers are heavily surrounded by hydration products, Figure 6c,

The peak of quartz was observed at the position of  $2\theta = 29.040$ . In addition, predominant mineral phases (calcite) at different Bragg angle positions ( $2\theta = 31.020, 39.460$ ) stand out in x-ray diffraction patterns (Yazıcıoğlu & Bozkurt, 2006) reported similar x-ray diffraction results in their study on concrete, Figure 7.

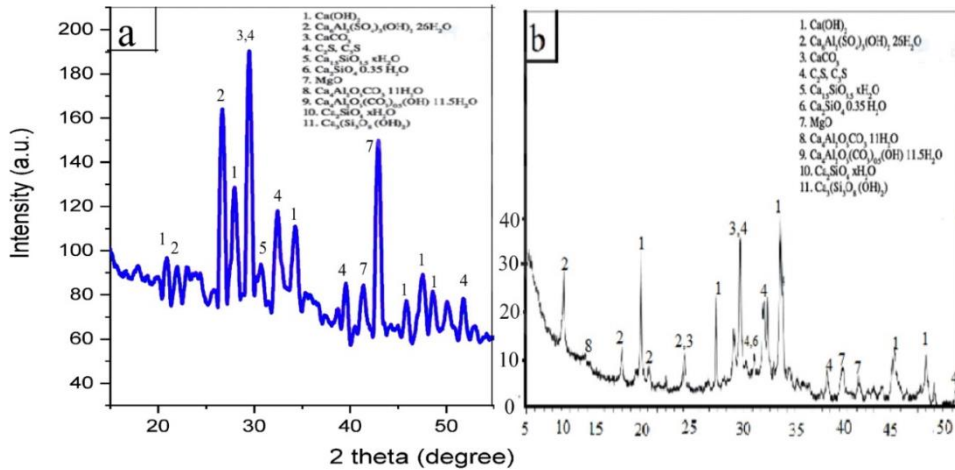


Figure 7. X-Ray Diffraction Analysis of the (a) 5 % Silica Fume. (b) CEM I 42.5N.

As seen in the energy dispersive spectrometry, the Si rate in the sample increased with the addition of silica fume to the concrete. It was observed that the high Si rate, which fills the inter-fiber spaces, increased the compressive strength and adherence. Calcium, chlorine and alkali ions, alite (Ca-Si-O), combeite (Na-Ca-Si) and wadeite (K-Si-O) compositions in oxide cement concrete with (energy dispersive spectrometry) experiments revealed the effect of silica fume in concrete Figure 8. The fine grain structure of silica fume reduced the permeability of concrete. Using 10% silica fume by weight instead of cement avoids the main factors causing alkali-aggregate reaction (Yoo et al., 2015).

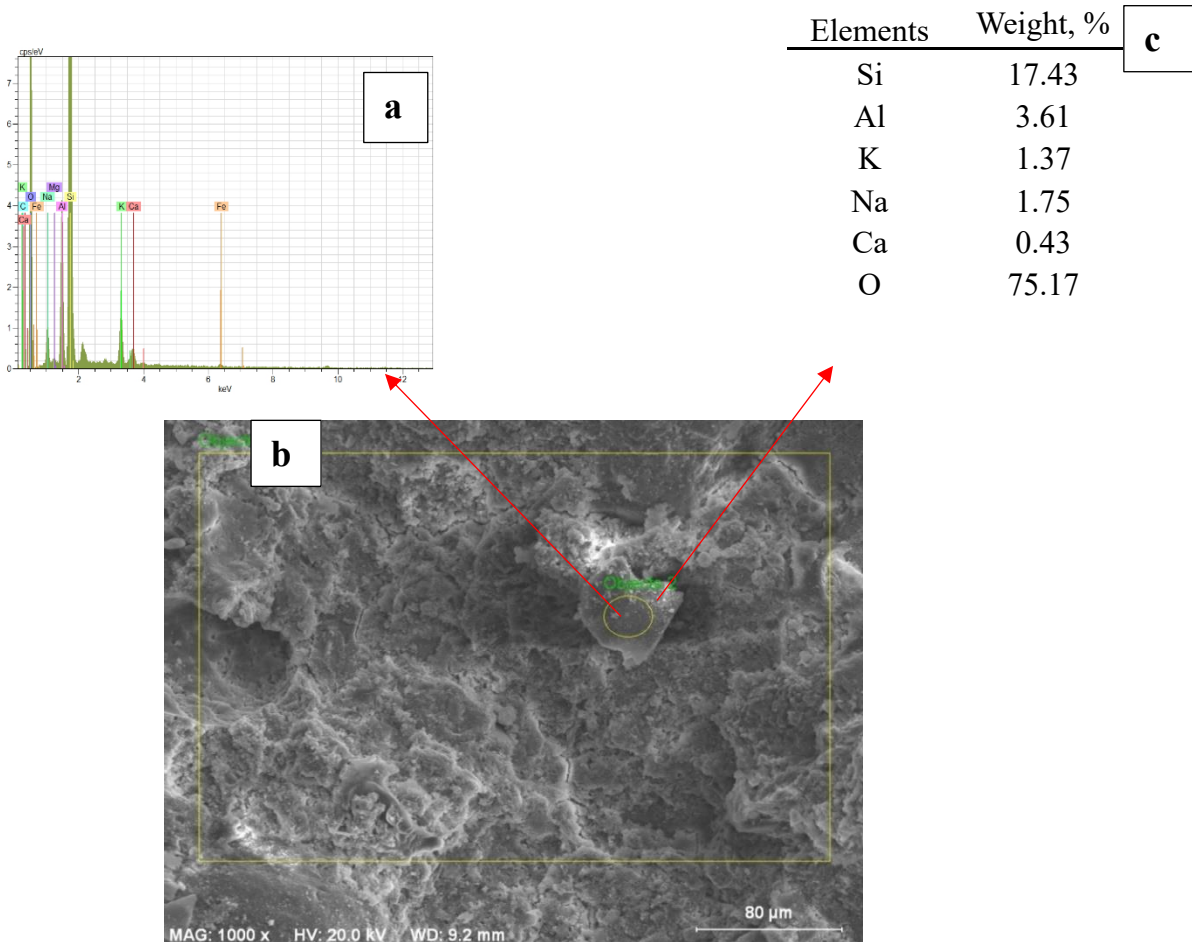


Figure 8. (a) scanning electron microscope-energy dispersive spectrometry of 5 % Silica Fume (b) scanning electron microscope of 5 % Silica Fume (c)some elements in 5 % Silica Fume.

## 4. Concluding Remarks

As a result of the tests carried out on concrete prisms produced,

1. There was no immediate concrete fracture during the flexural test with the addition of steel fiber into the concrete. Initially, cracking occurred, and the concrete collapsed with slight elastic behavior and kept carrying some loads.
2. As the rate of silica fume in the fiber-reinforced concrete increased, there was an increase in the flexural and compressive strength as seen [Figure 4](#) and [Figure 5](#).
3. The addition of silica fume into fiber-reinforced concretes led to an increase in the adherence, and cracks in the flexure concentrated in areas where maximum stress was dense.
4. A 5% of addition of silica fume did not affect the flexural and compressive strength, but the addition of silica fume by 10 % and 15 % increased the flexural and compressive strength of the fiber-reinforced concretes.
5. It was observed that in the concrete with substituted silica fume, the formation of Alkali Silica Reactions decreased with the decrease in the amount of alkali in the concrete, [Figure 8](#).
6. The recycling of environmental wastes has made an economically and environmentally beneficial contribution to reducing the greenhouse gases to be emitted to the nature in cement production due to the reduction of the amount of cement in the silica fume substituted concrete.

## 5. Benefits of Experimental Results

It has been observed by mechanical experiments that silica fume increases the flexural and compressive strength of steel fiber concrete, in addition, with the scanning electron microscope-energy dispersive spectrometry and x-ray diffraction analysis, it has been observed that occurs the calcium silicate hydrate gel (C-S-H) formation at the molecular level and decrease elements and minerals that to form alkali thanks to substitute the silica fume.

During the bending test with the addition of steel fiber to the concrete, there was no sudden concrete breakage. Initially, cracking occurred, and the concrete collapsed with slightly elastic behavior and continued to carry some load.

## 6. Acknowledgments

The author gratefully thanks Prof. Dr. M. Haluk ÇELİK, Asst. Prof. Dr. Murat DOGRUYOL and Res. Asst. Abdullilah YILMAZ for their technical assistance.

## References

- Afrouhsabet, V., & Ozbakkaloglu, T. (2015). Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 94, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.051>
- Ahmed Ezeldin, & P. Balaguru. (1989). Bond Behavior of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete. *Materials Journal*, 86(5), 515–524.
- AL-MASHHADANI, M. M. M. (2021). Strength behavior of geopolymer based SIFCON with different fibers. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1342-1347.
- Atiş, C. D., & Karahan, O. (2009). Properties of steel fiber reinforced fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, 23(1), 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.002>
- Babu, K. G., & Babu, D. S. (2003). Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 755–762. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01055-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01055-4)
- Bagherzadeh, R., Sadeghi, A. H., & Latifi, M. (2012). Utilizing polypropylene fibers to improve physical and mechanical properties of concrete. *Textile Research Journal*, 82(1), 88–96. <https://doi.org/10.1177/0040517511420767>
- Balendran, R. V., Zhou, F. P., Nadeem, A., & Leung, A. Y. T. (2002). Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete. *Building and Environment*, 37(12), 1361–1367. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00109-3)
- Behnood, A., & Ziari, H. (2008). Effects of silica fume addition and water to cement ratio on the properties of high-strength concrete after exposure to high temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 30(2), 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.06.003>
- BENTUR, A., & M. D. COHEN. (1987). Effect of Condensed Silica Fume on the Microstructure of the Interfacial Zone in Portland Cement Mortars. *Journal of the American Ceramic Society*, 70(10), 738–743. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1987.tb04873.x>
- Choo, B. S., & Newman, J. B. (2003). *Advanced concrete technology 2: concrete properties*.
- Doğruyol, M. (2017). Diyarbakır Bazaltının Mineral Katkıları İle Kullanılmasının Betonun Dayanım ve Dayanıklılığına Etkisi. *Dicle Üniversitesi, Diyarbakır*.
- Duval, R., & Kadri, E. H. (1998). Influence of Silica Fume on the Workability and the. *Cement and Concrete Research*, 28(4), 533–547.
- Ferrara, L., & Meda, A. (2006). Relationships between fibre distribution, workability and the mechanical properties of SFRC applied to precast roof elements. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 39(4), 411–420. <https://doi.org/10.1617/s11527-005-9017-4>
- Gao, J., Sun, W., & Morino, K. (1997). Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strength, lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 19(4), 307–313. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(97\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(97)00023-1)



- Hadi, M. N. S. (2009). Reinforcing concrete columns with steel fibres. *Asian Journal of Civil Engineering*, 10(1), 79–95.
- Ivorra, S., Garcés, P., Catalá, G., Andión, L. G., & Zornoza, E. (2010). Effect of silica fume particle size on mechanical properties of short carbon fiber reinforced concrete. *Materials and Design*, 31(3), 1553–1558. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.050>
- Kamal Henri Khayat, & Pierre-Claude. (1992). SilicaFume in Concrete--An Overview. *Special Publication*, 132, 835–872.
- Karahan, O., & Atiş, C. D. (2011). The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete. *Materials and Design*, 32(2), 1044–1049. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.07.011>
- Kilinçkale, F. M. (1996). Çeşitli Puzolanların Puzolanik Aktivitesi ve Bu Puzolanlarla Üretilen Harçların Dayanımı. *Teknik Dergi*, 7(33).
- Nili, M., & Afroughsabet, V. (2010a). Combined effect of silica fume and steel fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 37(8), 879–886. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2010.03.004>
- Nili, M., & Afroughsabet, V. (2010b). The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 24(6), 927–933. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.11.025>
- Özcan, U., & Güngör, S. (2019). Sürdürülebilir Bir Yöntem/Betonda Puzolan Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 176-182.
- Panjehpour, M., Abdullah, A., Ali, A., & Demirboga, R. (2011). a Review for Characterization of Silica Fume and. *International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology*, 2(2), 1–7.
- Pinto, R. C., & Hover, K. C. (1997). Effect of Silica Fume and Superplasticizer Addition on Setting Behavior of High-Strength Mixtures. *Transportation Research Record*, 1574(1), 56–62.
- Regmi, G., Indraratna, B., Nghiem, L. D., & Banasiak, L. (2011). Evaluating waste concrete for the treatment of acid sulphate soil groundwater from coastal floodplains. *Desalination and Water Treatment*, 32(1–3), 126–132.
- Scrivener, K. L., Bentur, A., & Pratt, P. L. (1988). Quantitative characterization of the transition zone in high strength concretes. *Advances in Cement Research*, 1(4), 230–237. <https://doi.org/10.1680/adcr.1988.1.4.230>
- Şener, S., Begimgil, M., & Belgin, Ç. G. A. (2002). Size Effect on Failure of Concrete Beams with and Without Steel Fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14(5), 436–440. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2002\)14:5\(436\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:5(436))
- Serin, G. (1999). Pomzanın hafif beton blok duvar elemanı olarak kullanılmasının araştırılması.
- Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 923–932. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.012>
- Song, P. S., & Hwang, S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18(9), 669–673. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.027>
- TS 10514. (n.d.). Concrete - Steel Fibre Reinforced - Rules for Mixing Concrete and Control.
- Wu, Z., Shi, C., He, W., & Wu, L. (2016). Effects of steel fiber content and shape on mechanical properties of ultra high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 103, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.028>
- Yan, H., Sun, W., & Chen, H. (1999). Effect of silica fume and steel fiber on the dynamic mechanical performance of high-strength concrete. *Cement and Concrete Research*, 29(3), 423–426. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00235-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00235-X)
- Yazıcıoğlu, S., & Bozkurt, N. (2006). Pomza ve mineral katkılı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21(4), 675–680.
- Yoo, D. Y., Yoon, Y. S., & Banthia, N. (2015). Flexural response of steel-fiber-reinforced concrete beams: Effects of strength, fiber content, and strain-rate. *Cement and Concrete Composites*, 64, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.001>



# Kalın Kesitli Hadfield Çeliklerine Karbon ve Molibden İlavesinin Etkisinin İncelenmesi

Faruk Öztürk<sup>1\*</sup>, Uğur Gürol<sup>2</sup>, Mehmet Uysal<sup>3</sup>

1\* Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2818-6690), oztfaruk@hotmail.com

2 İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3205-7226), ugur.gurol@yahoo.com

3 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9396-7450), mehmetu@sakarya.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Kasım 2022 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439835)

**ATIF/REFERENCE:** Öztürk, F., Gürol, U., Uysal, M. (2022). Kalın Kesitli Hadfield Çeliklerine Karbon ve Molibden İlavesinin Etkisinin İncelenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (52), 193-200

## Öz

Hadfield çelikleri madencilik endüstrisinde özellikle yüksek tokluk ve aşınma direnci gerektiren astar plakalarında, konik kırıcıların cevher ile temas eden ve cevheri öğüten kırıcı mantolarında, kırıcı çenelerinde ve iş makinalarının yürüyüş takımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çeliklerde artan kalite gereksinimleri nedeniyle, daha yüksek tokluk ve aşınma özellikleri elde etmek için dökümhanelerin Ar-Ge departmanları tarafından alaşım geliştirme ve ısıtım işlem optimizasyon çalışmaları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada kalın kesitli Hadfield çeliklerinde karbon ve molibden ilavesinin mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Döküm numunelerinin karakterizasyonu için mikro yapı incelemelerine ek olarak sertlik, çekme ve darbe çentik testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar en yüksek çekme ve süneklik değerlerinin düşük karbon içeriğine sahip (1.09%C) molibdensiz analiz ile elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, daha yüksek akma mukavemetine sahip karbürsüz bir yapı eldesi için molibden ilavesi olması durumunda ise ısıtım işlem sıcaklığının veya süresinin artırılması gerektiğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hadfield çelikleri, Alaşımlama, Çözeltiye alma, Mikroyapı, Mekanik özellikler

## Investigation of the Effect of Carbon and Molybdenum Addition on Thick-walled Hadfield Steels

### Abstract

Hadfield steels are widely used in the mining industry, especially in mill liners, crusher mantles of cone crushers that contact and grind ore, crusher jaws, and undercarriage of construction machinery, where the high toughness and wear resistance properties are required. Due to the increasing quality requirements in these steels, alloy development and heat treatment optimization are gaining importance by the R&D departments of the foundries to obtain higher toughness and wear properties. This study investigated the effects of carbon and molybdenum additions on the microstructure and mechanical properties of thick-section Hadfield steels. The hardness, tensile and Charpy impact tests were applied in addition to microstructure examination to characterize the casting samples. The results showed that the highest tensile and ductility values can be obtained with molybdenum-free analysis with low carbon content (1.09%C). In addition, it was revealed that the heat treatment temperature or time should be increased in case of molybdenum addition to obtaining a carbide-free structure with higher yield strength.\*

**Keywords:** Hadfield steel, Alloying, Solution annealing, Microstructure, Mechanical properties

\* Sorumlu Yazar: oztfaruk@hotmail.com

## 1. Giriş

Hadfield çelikleri 1882 yılında İngiliz metalurjist Sir Rober Hadfield tarafından keşfedilmiştir. Bı çelikler yüzyılı aşkın bir süredir özellikle madencilik endüstrisinde, öğütme sistemlerinde kullanılan astar plakalarında, konik kırıcıların cevher ile temas eden ve cevheri öğüten kırıcı mantolarında, kırıcı çenelerinde ve iş makinelerinin yürüyüş takımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebebi ostenitik yapıda olmalarının yanı sıra darbe altında soğuk şekil değiştirme (work hardening) göstermeleri ve yüzeylerinde aşınmaya dayanıklı bir tabaka oluşmasıdır [1-2]. Bu tip çelikler sahip oldukları yüksek tokluk değerleri sayesinde kuzey kutbu iklimlerindeki sıfır altı sıcaklıklarda çalışan madencilik parçalarında dahi ferritik çeliklere nazaran önemli bir emniyet faktör sağlamaktadır [3].

Hadfield çelikleri kalıp içerisinde yavaş soğumaları nedeniyle döküm yapılarında tane sınırları boyunca çökelmiş kompleks karbürler ve üçlü fosfor ötektikleri içerirler [4]. Oluşan bu ikincil çökeltilerin çatlak başlangıç noktaları oluşturmaları nedeniyle döküm yapıları kırılmalıdır. Bu sebeple özellikle kalın kesitli numunelerde döküm sonrası mutlaka bir ısıl işlem yapılması gerekmektedir. İçerdikleri alaşım elementlerine bağlı olarak Hadfield çelikleri 900°C ile 1150°C sıcaklığa ısıtılır ve inç başına 1 saat bekletildikten sonra yavaş soğumalarına soğumalarına izin verilmeksizin oda sıcaklığındaki suya daldırılır. Sonucunda karbürsüz ve %100 ostenitik bir yapının hedeflendiği bu ısıl işleme verilen isim çözeltiye alma ısıl işlemi adı verilir [5].

Yüksek manganlı çeliklere darbeli yükler altında çalışmaları durumunda çözeltiye alma ısıl işlemi sonrasında ön ısıtma veya temperleme işlemleri önerilmez. Çünkü kısa süreliğine de olsa parça sıcaklığının 595°C'nin üzerine veya uzun süreli ısıtımlarda 315 °C üzerine çıkması durumunda kararlı olan ostenitik fazında bölgesel dönüşümler veya tane sınırları boyunca karbür çökelmeleri başlayacaktır [6]. Bu nedenle özellikle düşük karbon içeriğine sahip parçaların ısıtılma veya ısınma durumlarında karbür oluşumunu geciktirmek, mevcut karbürlerin daha küresel bir formda çökmesini sağlamak ve aynı zamanda parçaların kırılma eğilimine karşı olan dayanımlarını arttırmak amacıyla %1'e kadar Mo ilavesi yapılmaktadır. Böylece döküm uygulamalarında zorunlu koşullar sebebi ile uygulanan yüksek sıcaklık uygulamalarının (besleyici ve yolluk gibi ilavelerin parçadan kesilmesini içeren kesim uygulamaları gibi) daha kolay uygulanmakta ve çatlama riski minimize edilmektedir [7]. İlâveten, Mohammednezhad ve arkadaşları tarafından artan Mo miktarı ile MoC'lerin oluştuğu ve bu karbürlerinde katılaşma esnasında bir çekirdeklenme bariyeri gibi davranarak ostenitik manganlı çeliklerde tane küçültücü etki oluşturduğu raporlanmıştır [8]. Benzer şekilde, Zhuang ve arkadaşları tarafından 25 mm çapındaki ingot parçalar üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda %0,9 Mo ilavesi ile sertlik ve darbe çentik değerlerinin sırasıyla %49,41 ve %44,7 oranında arttığı belirtilmiştir [9].

Molibden elementinin oluşturduğu tüm bu olumlu etkiler yapıdaki karbon miktarının değişmesi ile etkisini kaybedebilmektedir. Çünkü yüksek manganlı çeliklerde artan karbon miktarı ile tane sınırlarına çökelen karbür ağlarının ciddi orada sünekliliği düşürdüğü bilinmektedir [10]. Lencina ve arkadaşları yaklaşık %1,4 karbon içeriğinin tane sınırlarında karbür oluşumuna sebep olduğunu, 100 mm'den büyük dökümlerde artan kırılma eğiliminin sonuç olarak tokluk değerini düşürdüğünü belirtmiştir [11]. Gürol ve Kurnaz tarafından 60 mm et kalınlığına döküm numuneleri kullanılarak sabit mangan içeriğindeki (%17Mn) yüksek manganlı çeliğe karbon ilavesinin etkisinin incelendiği çalışmada optimum karbon içeriğinin %1 olduğu, artan karbon miktarı tane sınırlarında karbürlerin çökelmeye başladığı ve buna bağlı olarak da çekme mukavemeti ile sünekliliği düşüğü raporlanmıştır. Yine aynı çalışmada artan karbon oranı ile döküm parçaların katılaşma aralığının arttığı ve bunun sonucunda da tane boyutlarının arttığı belirtilmiştir [12]. Bu sebeple endüstriyel uygulamalarda bilhassa karbür çökme riskinin çok yüksek olduğu kalın kesitli döküm parçalarda (t:>100mm) kırılma ve aşınma problemlerinin önüne geçilebilmesi için Mo ve C ilavesinin birlikte düşünülerek optimize edilmesi gerekmektedir.

Yüksek manganlı ostenitik çelikler içerdikleri C, Mn, Cr, Mo ve Ni gibi alaşımların % oranlarına bağlı olarak ASTM A 128 standardında alt gruplar dahil 10 farklı gruplarda sınıflandırılmaktadır [13]. Standartın B-1, B-2, B-3 ve B-4 sınıfları dışındaki diğer gruplarında karbon aralığı daha geniş tutulmuştur. Fakat, dökümhanelerde standart bir kalitenin elde edilebilmesi için bu aralıklar daha da daraltılarak kullanılmak zorundadır. Aksi takdirde standartın belirttiği karbon ve molibden aralıklarında oldukça geniş analize sahip parçalar döküldüğünde mikro yapı ve mekanik özelliklerin kolay bir şekilde kontrol edilememesi nedeniyle kırılmalar veya aşınma problemleri kaçınılmaz olacaktır. Bu çalışmada literatürdeki birçok çalışmalardan farklı olarak endüstriyel şartlar altında üretimi gerçekleştirilen 200 mm kesit kalınlığına sahip ASTM A 128 Grade E-1 sınıfındaki yüksek manganlı ostenitik çeliğe molibden (%0,90) ve farklı oranlarda karbon ilavesi (%1.09, %1.15 ve %1.20) gerçekleştirilerek mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

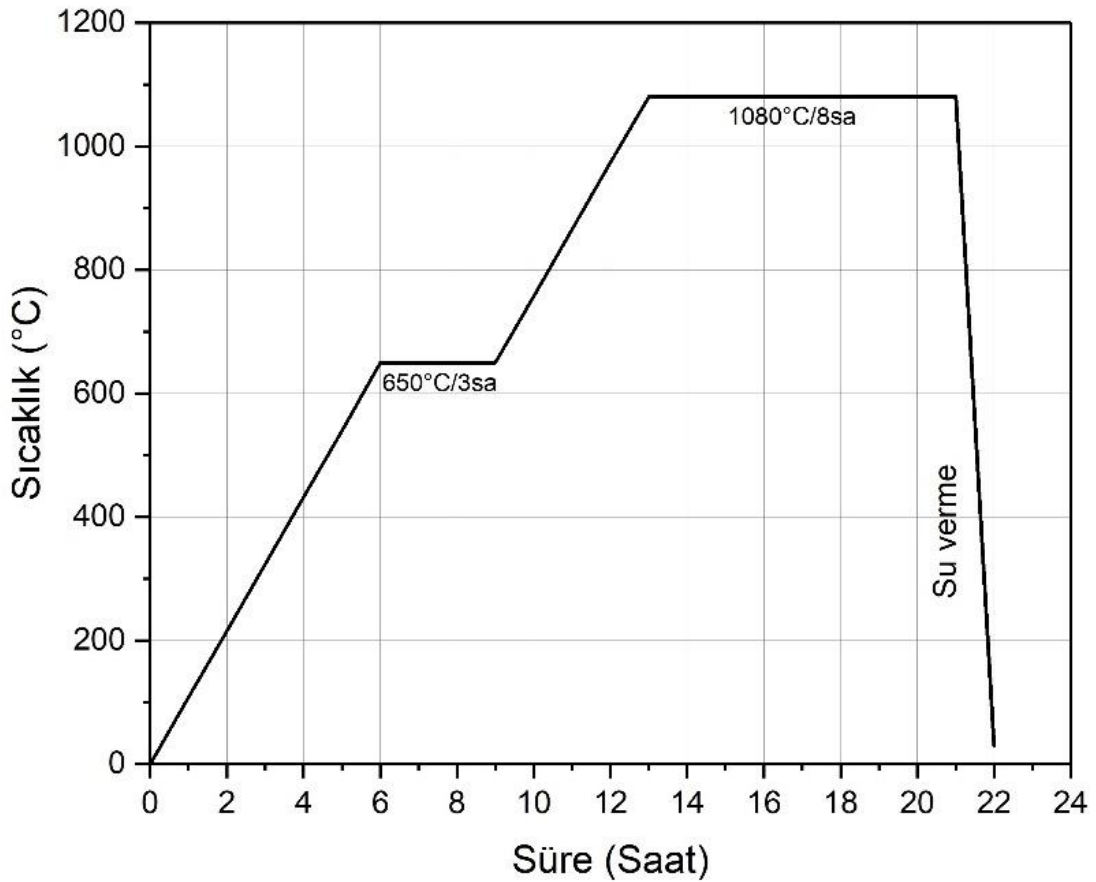
Bu çalışmada kullanılan 240x240x200 mm ebatlarındaki döküm test blokları silis kumu kullanılarak kum kalıp döküm yöntemi ile kalıplanmış ve atmosfere açık 3500 kg kapasitesi olan induksiyon ocağı ile dökülmüştür. Ergitme işlemi esnasında silisyum, mangan, kükürt ve fosfor elementlerinin mikro yapı ve mekanik özelliklere olası etkilerini bertaraf edebilmek için tüm deneme dökümlerinde istenilen analiz aralıkları dar toleranslarda tutularak birbirlerine yakın olacak şekilde alaşımlamalar yapılmıştır. Ayrıca mangan içeriği standartın üst sınırı, molibden ilavesi ise standartın alt limitine hedeflenmiştir. Döküm numunelerin kimyasal analiz testleri ARL İspark 8860 marka spektrometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 3 adet yakma yapılmış ve nihai analiz olarak bunların ortalaması esas alınmıştır. Numune test bloklarının pota analizleri Tablo 1'de verilmiştir.

Döküm işlemi ısıl kayıpların engellenmesi için önceden 900°C'ye ısıtılmış pota ile gerçekleştirilmiştir. Döküm sıcaklıkları ergimiş metalin önceden ısıtılmış potaya aktarılmasından hemen sonra pirometre yardımıyla ölçülmüştür. Tüm dökümler 1465±10°C'de gerçekleştirilmiştir. Parçaların yolluk ve besleyicileri soğumadan doğacak ilave gerilimlerden kaçınmak için 200°C'de kesilmiş, akabinde yüzeylerinde bulunan tüm tufal ve cüruf kalıntılarının giderilmesi amacıyla 10 dk süreyle kumlama işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo 1. Döküm test numunelerinin kimyasal bileşimi, % ağırlıkça (Chemical composition of the casting samples, wt.%)

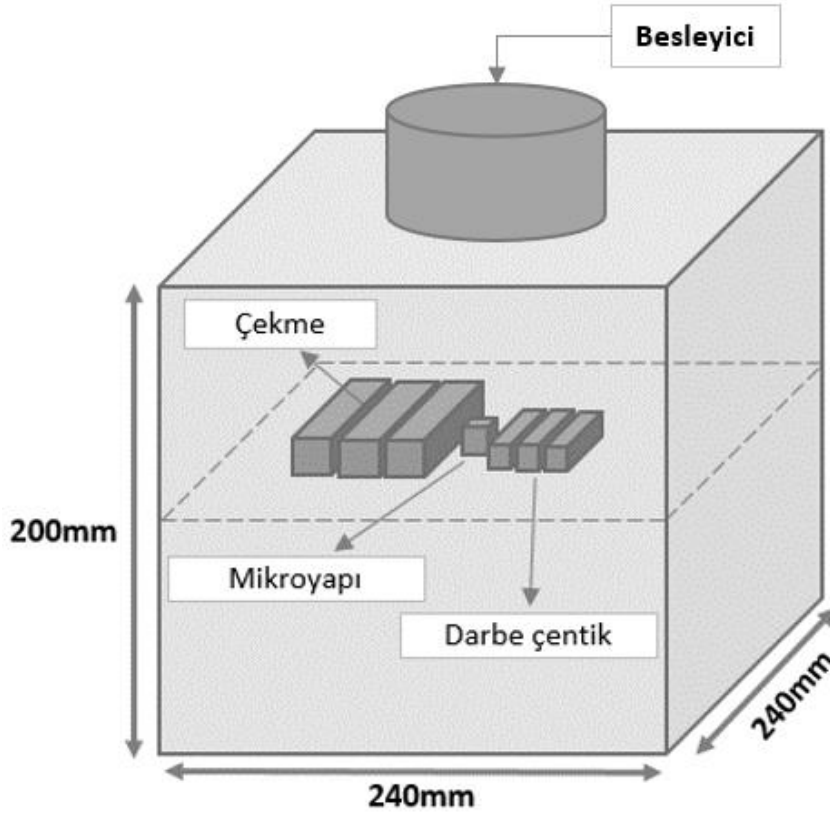
Numune adı	Standart kalitesi	C	Mn	Si	Mo	P	S	Fe
1,20C-14Mn-0,90Mo	A128 E-1	1,20	13,92	0,49	0,91			Kalan
1,15C-14Mn-0,90Mo	A128 E-1	1,15	13,96	0,50	0,90			Kalan
1,09C-14Mn-0,90Mo	A128 E-1	1,09	13,95	0,52	0,90			Kalan
1,09C-14Mn	A128 B-2	1,09	13,93	0,56	-			Kalan

Kum püskürtme işlemi ile kalıp artıklarından temizlenen parçalara  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  sıcaklık sapması olan oksijen kontrollü otomatik ısıtma işlemi fırınında  $1080^{\circ}\text{C}$ 'de 8 saat boyunca çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra arabalı otomatik ısıtma işlemi fırını sayesinde tüm parçalar 55 saniye içerisinde sıcaklığı  $28^{\circ}\text{C}$  olan 90 tonluk ısıtma havuzuna daldırılmıştır. Fırın sıcaklık rampası tüm parça yüzeyinde homojen ısınmanın sağlanabilmesi için  $1,67^{\circ}\text{C}/\text{dk}$  olarak belirlenmiştir. Isıtma esnasında parçalar nihai östenizasyon sıcaklığına çıkarılmadan önce  $650^{\circ}\text{C}$ 'de 3 saat bekletilmiştir. Bu ara proses ile test numunelerinin yüzey ve merkezleri arasındaki sıcaklık farklılıklarının eşitlenmesi, döküm yapısında bulunan perlit miktarının azaltılması ve buna bağlı olarak da ısıtma esnasındaki iç çatlakların oluşmasının engellenmesi hedeflenmektedir [14]. Yapılan ısıtma işlemi uygulamasına ait gösterim Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Döküm test numunelerine uygulanan ısıtma işlemi rejimi (The applied heat treatment process for the casting samples)

Çözeltiye alma ısıtma işlemi tamamlanan parçalara mekanik özelliklerin tayini için çekme testi, darbe çentik testi ve sertlik testi uygulanmıştır. Parçalara ait test çubuklarının yerleşim planı Şekil 2'de verilmiştir. Çekme testleri 300 kN kapasiteli Instron 300LX marka çekme cihazı ile oda sıcaklığında EN ISO 6892-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Çentik testleri ise ALŞA marka ve 300 J kapasiteli test cihazı kullanılarak TS EN ISO 148-1 standardına göre yine oda sıcaklığında yapılmıştır. Çekme ve darbe çentik testleri için her bir döküm parçadan üçer adet numune test edilmiş ve bunların ortalaması baz alınmıştır. Akabinde ASTM E3 standardına göre numunelere standart kesme, zımparalama ve parlatma adımları uygulanmıştır. Optik mikroskop ile mikro yapı görüntüleme işlemleri Olympus PME Tokyo marka optik mikroskop gerçekleştirilmiştir. Tane boyutu ölçümleri ise ASTM E112 standardına uygun olarak kesişim yöntemi seçilerek belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri mikroyapı numunelerinin optik görüntüleri çekildikten sonra, bu numunelerin  $3\ \mu\text{m}$  ve  $1\ \mu\text{m}$ 'lik alümina süspansiyonu ile tekrar parlatılmasından sonra aynı numuneler üzerinden yapılmıştır. Sertlik ölçümleri 1 mm çapa sahip bilye ve 30 kgf yük ile yapılmıştır. Her numune için 3 ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 2. Test çubuklarının parça üzerindeki yerleşim planı (The layout of the test specimens on the sample block)

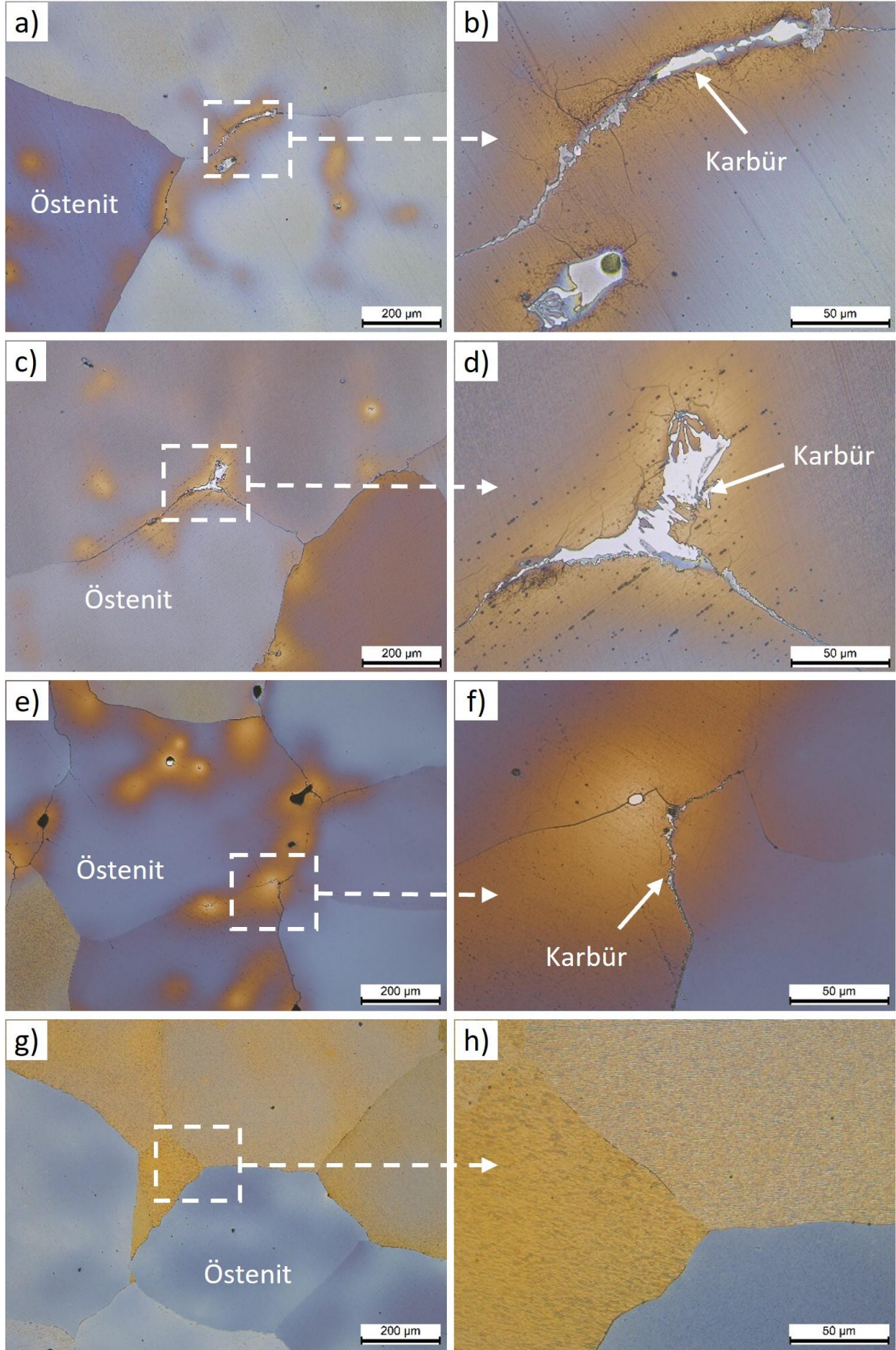
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 3’de kum kalıba döküm yöntemiyle farklı karbon ve molibden oranlarında üretimi gerçekleştirilen kalın kesitli yüksek manganlı test bloklarının optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. İçerdikleri yüksek karbon, mangan ve molibden elementleri nedeniyle oda sıcaklığında genel mikro yapı literatür çalışmaları ile benzer nitelikte ostenitik matris ile farklı miktarda karbür yapısından oluşmaktadır [15-18]. Şekil 3a-b’de %1,20 karbon içeriğine sahip molibden içerikli test parçasının genel ve detay mikro yapıları gösterilmektedir. Tane sınırlarında ve tane sınırlarına yakın bölgelerde oluşan karbür yapılarına ilaveten belli bölgelerde kalın karbür tabakaların varlığı dikkat çekmektedir. Aynı şekilde %1,15 C içeriğine sahip bir diğer molibden içerikli numunede de %1,20 C içeriğine benzer şekilde karbür yapıları tespit edilmiş olup, buradaki karbürlerin nispeten daha ince ve daha az tane sınırlarını çevrelediği görülmüştür (Şekil 3c-d). Genel olarak mangan çeliklerinde 0,2  $\mu\text{m}$  den daha küçük kalınlığa sahip karbürler ince karbür olarak tanımlanırken, 0,5  $\mu\text{m}$  den daha büyük karbürler kalın karbür olarak sınıflandırılmaktadır. Kuyucak ve arkadaşları tarafından ince karbürlerin yüksek manganlı çeliklerin tokluk değerlerine çok fazla etkisi olmadığı fakat kalın karbürlerin ise malzemelerin sünekliğini önemli ölçüde azalttığı raporlanmıştır [19].

İçerdikleri yüksek karbon, mangan ve molibden elementleri nedeniyle oda sıcaklığında tüm parçaların genel mikro yapısı literatür çalışmaları ile benzer nitelikte ostenitik matris ile farklı miktarda karbür yapısından oluşmaktadır [15-18]. Şekil 3a ve Şekil 3b’de %1,20 karbon içeriğine sahip molibden içerikli test parçasının genel ve detay mikro yapıları gösterilmektedir. Tane sınırlarında ve tane sınırlarına yakın bölgelerde oluşan karbür yapılarına ilaveten belli bölgelerde kalın karbür tabakaların varlığı dikkat çekmektedir. Aynı şekilde %1,15 C içeriğine sahip bir diğer molibden içerikli numunede de %1,20 C içeriğine benzer şekilde karbür yapıları tespit edilmiş olup, buradaki karbürlerin nispeten daha ince ve daha az tane sınırlarını çevrelediği görülmüştür (Şekil 3c-d). Genel olarak mangan çeliklerinde 0,2  $\mu\text{m}$  den daha küçük kalınlığa sahip karbürler ince karbür olarak tanımlanırken, 0,5  $\mu\text{m}$  den daha büyük karbürler kalın karbür olarak sınıflandırılmaktadır. Kuyucak ve arkadaşları tarafından ince karbürlerin yüksek manganlı çeliklerin tokluk değerlerine çok fazla etkisi olmadığı fakat kalın karbürlerin ise malzemelerin sünekliğini önemli ölçüde azalttığı raporlanmıştır [19].

Şekil 3e ve Şekil 3f’de %1,09 C içeriğine sahip molibden içerikli test numunesinin mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Daha yüksek karbon oranlarına sahip (%1,20 ve 1,15 C) numunelere nazaran mikro yapıdaki karbürlerin miktarının ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Ayrıca diğer numunelerde tane sınırları boyunca çökelen ve yüksek büyütmelerde görülebilen ince karbürlerin karbon oranının %1,09’a düşmesiyle kesintiye uğradığı ve tanenin tamamını kapsamadığı görülmektedir. Şekil 3g ve Şekil 3h’de ise yine %1,09 C içeriğine sahip fakat molibdensiz test numunesinin mikro yapısı verilmiştir. Diğer tüm test numunelere nazaran mikro yapı da optik mikroskop altında görülebilecek herhangi bir karbür test edilmemiş olup yapının tamamı ile ostenitik olduğu görülmüştür.





Şekil 3. Test parçalarının mikro yapı görüntüleri; a,b) 1,20C-14Mn-0,90Mo c,d) 1,15C-14Mn-0,90Mo e,f) 1,09C-14Mn-0,90Mo, g,h) 1,09C-14Mn (Microstructure of the test samples; a,b) 1,20C-14Mn-0,90Mo c,d) 1,15C-14Mn-0,90Mo e,f) 1,09C-14Mn-0,90Mo, g,h) 1,09C-14Mn)

Tablo 2’de karbon ve molibden ilavesine bağlı olarak ısıtılma sonrası test numunelerinin tane boyutu ölçümleri verilmiştir. Karbon miktarının %1,20’den %1,15’e düşmesiyle tane boyutunda %28 azalma görülürken, %1,15’ten 1,09’a düşmesiyle ~ %70 azalma olduğu tespit edilmiştir. Tane boyutundaki bu düşüşün sebebi olarak karbon oranının azalması ile katılma aralığının daralması gösterilebilir [12]. İlâveten aynı karbon ve mangan içeriğine sahip numunelerde ise molibden ilavesi ile tane boyutunun %11 oranında azaldığı görülmüştür.

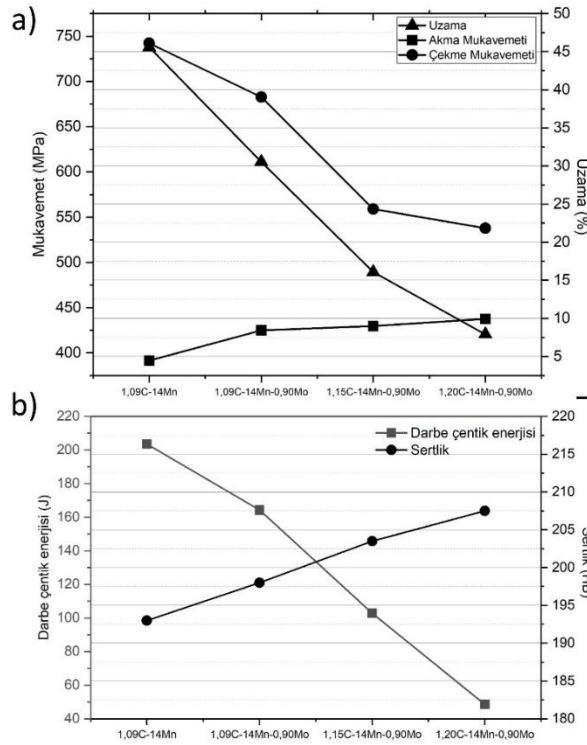
Tablo 2. Tane boyutu ölçümleri (Grain size measurements)

	1,20C-14Mn-0,90Mo	1,15C-14Mn-0,90Mo	1,09C-14Mn-0,90Mo	1,09C-14Mn
Tane Boyutu (mm)	1,315	0,951	0,387	0,436

Tablo 3’de döküm test bloklarına ait ısıtılma sonrası mekanik test sonuçları özetlenmiş ve akma mukavemeti, çekme mukavemeti, %uzama, sertlik ve çentik darbe enerjilerinin birbirleri ile olan ilişkisi Şekil 4 a-b’de verilmiştir. Karbon miktarının %1,09’dan %1,20’ye artırılması ile çekme mukavemetinde, çentik darbe enerjisinde ve % uzama değerlerinde sırasıyla %27, %70, %74 oranında düşüş olduğu görülmüştür. Burada özellikle malzemenin sünekliğindeki düşüşe dikkat edilmelidir. Mikro yapı test sonuçlarından da görüleceği üzere (Şekil 3a-f) parçaların süneklik değerlerinin etkileyen en önemli parametrenin tane sınırları boyunca uzanan karbürlerin miktarı, dağılımı ve kalınlığı olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle en düşük çekme, çentik darbe enerjisi ve % uzama değerleri tane sınırları boyunca uzanmış kalın karbür yapıları içeren 1,20C-14Mn-0,90Mo numunesinde tespit edilirken, en yüksek değerler %100 östenitik yapının elde edildiği molibdensiz 1,09C-14Mn numunesinde elde edilmiştir. Aynı şekilde, sabit karbon (%1,09) ve mangan (%14) oranındaki numuneye %0,90 oranında molibden ilavesi ile çekme mukavemeti, darbe çentik enerjisi ve % uzama değerlerinin sırasıyla %8, %33, %19 oranında azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Buna karşılık molibden ilavesi malzemenin akma mukavemetinde % 9 oranında bir artış olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Oda sıcaklığında yapılan çentik darbe testi ve sertlik test sonuçları (The test results of the Charpy impact and hardness tests performed in ambient temperature)

Numune adı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)	Darbe çentik (J)	Sertlik (HB)
1,20C-14Mn-0,90Mo	437,54	537,76	7,90	48,6	207,5
1,15C-14Mn-0,90Mo	429,71	559,14	16,08	102,9	203,5
1,09C-14Mn-0,90Mo	425,04	682,86	30,54	164,3	198
1,09C-14Mn	391,55	742,19	45,59	203,5	193



Şekil 4. Mekanik test sonuçları; a) Çekme test sonuçları, b) Sertlik ve çentik darbe test sonuçları (The mechanical test results; a) Tensile test results, b) Hardness and Charpy impact test results)

## 4. Sonuç

Bu çalışmada endüstriyel şartlarda dökümü gerçekleştirilen kalın kesitli ve yüksek manganlı Hadfield çeliğine karbon ve molibden ilavesinin etkisi incelenmiş ve sonuçları birbirleri ile detaylı olarak kıyaslanmıştır. Elden edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Karbon miktarının artması ile tane sınırları boyunca çökelen karbür miktarının arttığı ve buna bağlı olarak da çekme mukavemeti, çentik darbe enerjisi ve % uzama değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Buna karşılık akma mukavemeti ve sertlik değerlerinde ise her ne kadar ufak bir artış olsa da ciddi bir değişim gözlenmemiştir.

- Molibden ilavesi ile çözeltiye alma ısıl işlemi sonrasında karbürlerin tamamının çözünmediği ve tane sınırları boyunca bir miktar ince karbürlerin olduğu görüşmüştür. Bu da çekme mukavemeti, darbe çentik enerjisi ve % uzama değerlerinde sırasıyla %8, %33, %19 oranında düşüşe sebebiyet vermiştir. Buna karşılık akma mukavemetinde %9 oranında bir artış olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak kalın kesitli parçalarda yüksek darbe direnci gerektiren uygulamalarda düşük karbon içeriğine sahip (1.09%C) numunelerin daha uygun olduğu, molibden ilavesi olması durumunda ise ısıl işlem sıcaklığının veya süresinin artırılması gerektiği görülmüştür.

## Kaynakça

- [1] Havel, D. (2017). Austenitic Manganese Steel Complate Overview. Columbia Steel Casting Co. Inc., 1-19.
- [2] Okechukwu, C., Dahunsi, O. D., Oke, P. O., Oladele, I. O., Dauda, M. (2017). Prominence of Hadfield steel in mining and minerals industries: A review. International Journal of Engineering Technologies-IJET, Vol.3, No:2, 83. <https://doi.org/10.19072/ijet.299068>
- [3] ] Çıktı, E. (2015). Kırıcı ve Öğütücülerde Kullanılan Demir Esaslı Malzemelerin Yapı, Mekanik Özellikler ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 21-22.
- [4] Ayadi, S. ve Hadji, A. (2021). Effect of Chemical Composition and Heat Treatments on the Microstructure and Wear Behavior of Manganese Steel. . Inter Metalcast, 15, 510-519. <https://doi.org/10.1007/s40962-020-00479-2>
- [5] Alyaz, S., (2003). Effects of heat treatment and chemical composition on microstructure and mechanical properties of Hadfield Steels. (Yüksek lisans tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 14-15.
- [6] Gürol, U. (2022). Welding of High Manganese Austenitic Cast Steels Using Stainless Steel Covered Electrode. Inter Metalcast, 2. <https://doi.org/10.1007/s40962-022-00834-5>
- [7] Tüfenk, E. (2012). Farklı Kimyasal Kompozisyona Sahip Östenitik Manganlı Çeliklerin Isıl İşlemler Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek lisans tezi). On dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 20-21.
- [8] Mohammadnezhad, M., Javaheri, V., Naseri, M. (2013). Effect of the molybdenum on the microstructural and mechanical properties of Hadfield austenitic manganese steel. The Second International and the Seventh Joint Conference of Iranian Metallurgical Engineering and Iranian Foundryman Scientific Societies, 12816, 1-7.
- [9] Yan, Z., Zhang, P., Wang, X. (2021). Effect of Mo Alloying on Properties of High Manganese Steel Castings and Cost Analysis. 4th World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing (WCMEIM). <http://dx.doi.org/10.1109/wcmeim54377.2021.00137>
- [10] Dziubek M, Rutkowska-Gorczyca M, Dudziński W, Grygier D. (2022). Investigation into Changes of Microstructure and Abrasive Wear Resistance Occurring in High Manganese Steel X120Mn12 during Isothermal Annealing and Re-Austenitisation Process. Materials (Basel), 15(7), 2622, 2. doi:[10.3390/ma15072622](https://doi.org/10.3390/ma15072622)
- [11] Lencina, R., Caletti, C., Brunelli, K., Micone, R. (2015). Assessing wear performance of two high-carbon Hadfield steels through field tests in the mining industry. Procedia Materials Science, 358-366. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.05.005>
- [12] Gürol, U., Kurnaz, S. C. (2020). Effect of carbon and manganese content on the microstructure and mechanical properties of high manganese austenitic steel. Journal of Mining and Metallurgy, Section B Metallurgy, 56(2), 171-182. <https://doi.org/10.2298/JMMB191111009G>
- [13] Standard Specification for Steel casting, Austenitic Manganese, ASTM Designation: A128/A128M-19. [https://doi.org/10.1520/A0128\\_A0128M-19](https://doi.org/10.1520/A0128_A0128M-19)
- [14] Gürol, U. (2020). Döküm proses parametrelerinin yüksek manganlı östenitik çeliklerin özelliklerine etkisinin incelenmesi. (Doktora tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 19-20.
- [15] Grzegorz, T. ve Zapata, R. (2018). Changes in Impact Strength and Abrasive Wear Resistance of Cast High Manganese Steel Due to the Formation of Primary Titanium Carbides. Archives of Foundry Engineering, 18(1): 119-122.
- [16] Tecza, G. ve Sobula, S. (2014). Effect of Heat Treatment on Change Microstructure of Cast High-manganese Hadfield Steel with Elevated Chromium Content. Archives of Foundry Engineering, 14(3):67-70.



- [17] Jafarian, H. R., Sabzi, M., Mousavi Anijdan, S. H., Eivani, A. R., Park, N. (2021). The influence of austenitization temperature on microstructural developments, mechanical properties, fracture mode and wear mechanism of Hadfield high manganese steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 819-831. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.003>
- [18] Gürol, U., Karadeniz, E., Çoban, O., Kurnaz, C. S. (2021). Casting properties of ASTM A128 Gr. E1 steel modified with Mn-alloying and titanium ladle treatment. *China Foundry*, 18, 199-206. <https://doi.org/10.1007/s41230-021-1002-1>
- [19] Kuyucak, S., Zavadil, R., Gertsman, V. (2001). On the Heat-Treatment Processing of Austenitic Manganese Steels, Including Quenching and Control of Distortion: An International Symposium in Honor of Professors Bozidar Liscic and Hans M. Tensi. *Proceedings of the 21st Conference*, 1-16.



# Kurumsal Kaynak Planlama İş Yazılımı Sistemlerinde Uygulama Programlama Arayüzü ve İstemci Farklılıklarının Performansa Etkisi

Ali Burak Zeytinci<sup>1</sup>, Rüya Şamlı<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0009-0005-0089-7924), [zeytinciburak@gmail.com](mailto:zeytinciburak@gmail.com)

<sup>2\*</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8723-1228), [ruyasamli@iuc.edu.tr](mailto:ruyasamli@iuc.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 15 Mayıs 2023 ve Kabul Tarihi 23 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439864)

**ATIF/REFERENCE:** Zeytinci, A. B. & Şamlı, R. (2023). Kurumsal Kaynak Planlama İş Yazılımı Sistemlerinde Uygulama Programlama Arayüzü ve İstemci Farklılıklarının Performansa Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 201-211.

## Öz

Bu çalışma kapsamında ERP (Enterprise Resource Planning - Kurumsal Kaynak Planlama) iş yazılımları içerisinde sıklıkla kullanılan SAP sistemlerinde uygulama programlama arayüzü (API - Application Programming Interface) ve istemci farklılıklarının performansa etkisi incelenmiştir. Ayrıntılı olarak ifade etmek gerekirse, farklı uygulama programlama arayüzü kullanımlarının performansa etkisi, aynı web servislerden sağlanan verinin büyüdükçe farklı programlama dilleri tarafından yorumlanmasındaki performans farklılıkları, farklı uygulama programlama arayüzü kullanımının farklı programlama dillerinde oluşturabileceği performans farklılıkları ortaya çıkarılmıştır. Bu amaçla, küçük ve büyük boyutlu verilerle SOAP (Simple Object Access Protocol - Basit Nesne Erişim Protokolü), REST (Representational State Transfer - Temsili Durum Transferi) JSON (JavaScript Object Notation - JavaScript Nesne Notasyonu) ve REST XML (Extensible Markup Language - Genişletilebilir İşaretleme Dili) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her bir çalışmanın altında da C#, Java ve JavaScript (Node.js) programlama dilleri ve platformları ile çeşitli uygulamalar yapılmış ve bu uygulamaların performansları incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurumsal Kaynak Planlama, Uygulama Programlama Arayüzü, Performans Analizi.

## Effects of Api and Consumer Differences on Performance in ERP Business Software Systems

### Abstract

Within the study, ERP (Enterprise Resource Planning), the effect of application programming interface (API - Application Programming Interface) and client differences on performance in SAP systems, which are frequently used in business software, has been examined. To put it in detail, the effects of using different application programming interfaces on the performance, the performance differences in the interpretation of the data provided from the same web services by different programming languages as it grows, the performance differences that the use of different application programming interfaces can create in different programming languages have been revealed. For this purpose, SOAP (Simple Object Access Protocol), REST (Representational State Transfer) JSON (JavaScript Object Notation) and REST XML (Extensible Markup Language) Markup Language studies were carried out, and under each study, various applications were made with C#, Java and JavaScript (Node.js) programming languages and platforms, and the performances of these applications were examined.

**Keywords:** Enterprise Resource Planning, Application Programming Interface, Performance Analysis.

\* Sorumlu Yazar: [ruyasamli@iuc.edu.tr](mailto:ruyasamli@iuc.edu.tr)



## 1. Giriş

ERP yazılımları, bir işletmenin üretimden satışa, satın almada muhasebeye dek uzanan çeşitli iş süreçlerinin ortak bir platformda toplandığı ve işletmelerin bu sayede farklı fonksiyonlarını daha kolay bir şekilde kontrol edebildiği yazılımlardır. İşletmeler bu yazılımlara farklı sebeplerden ötürü ihtiyaç duyabilmektedir. Diğer bir deyişle her işletmenin ERP yazılımlarına ihtiyaçları farklı olabilmektedir. Günümüzde piyasada birçok ERP yazılımı mevcuttur ve diğer tüm yazılım çeşitlerinde (işletim sistemleri, veritabanları, internet tarayıcılar vb.) olduğu gibi ERP yazılımlarında da kurum için en uygun seçimin yapılması oldukça önemlidir. Uygun bir ERP yazılımı seçimi işletmeler için rekabet avantajı oluştururken, uygun olmayan bir ERP seçimi söz konusu projenin başarısız olmasına ve işletme performansı üzerinde olumsuz etki yapmasına neden olur. Uygun ERP yazılımı seçimi birçok kriter altında alternatiflerin değerlendirme skorlarına ve çoğunlukla yüksek, zayıf gibi dilsel terimlerle ifade edilen kriter ağırlıklarına bağlı olarak geliştirilen karmaşık bir süreçtir. Günümüzde, literatürde uygun ERP yazılımı seçimi için pek çok çalışma bulunmaktadır.

Genel olarak ERP seçimleri ile ilgilenen birçok akademik çalışma mevcuttur. Bayraktar ve Efe (2006) çalışmasında kurumsal kaynak planlaması ERP ve yazılım seçim süreci genel olarak ele alınmıştır. Dülgerler (2007) çalışmasında kurumsal kaynak planlaması ve web servisleri ile bir ERP uygulaması gerçekleştirilmiştir. Turan (2011) çalışmasında, KOBİ'lerin kurumsal kaynak planlama yazılımlarından beklentileri ve sektörel bazda yazılım geliştirilmesi ele alınmıştır. Kılıçaslan (2012) çalışmasında bir kurumsal kaynak planlama yazılımı uygulaması ve başarımı değerlendirilmiştir. Boztaş ve Özmızrak (2012) çalışmasında ERP yazılımları kurulum ve kullanım sürecinin bilgi yönetimi kavramıyla etkileşimi incelenmiştir. Çakır ve Bedük (2013) çalışmasında çalışanların kurumsal kaynak planlaması ERP değerlendirmeleri ve kurumsallaşma algıları incelenmiştir. Arslan (2015) çalışmasında ERP Microsoft Dynamics AX yazılımının şirketlere ve kamu kuruluşlarına uyarlanması gerçekleştirilmiştir. Tarhan (2017) çalışmasında, bir kurumsal kaynak planlama yazılımı ve akıllı karar destek sistemi araçları geliştirilmiştir.

Kimi zaman ERP'nin sadece bir bölgede ya da sadece bir konudaki uygulamalarının incelendiği çalışmalar görmek de mümkündür. Yeşildağ (2010) çalışmasında Muğla ilindeki KOBİ'lerde ERP yazılımları kullanım düzeyi ve verimliliği araştırılırken, Topbaş (2019) çalışmasında yalın kurumsal kaynak planlaması yazılımının geliştirilmesi ve Kahramanmaraş'ta yalın üretim yapan işletmelerde uygulanması ele alınmıştır.

ERP yazılımı seçimi gerçekleştirilirken farklı yaklaşımların kullanıldığı da literatürde sıklıkla görülmektedir. Perçin ve Gök (2013) çalışmasında işletme problemlerinde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden AAS (Analitik Ağ Süreci) ve TOPSIS yaklaşımlarının bir arada kullanılmasına yönelik bir metodoloji sunulmuştur. Sunulan iki aşamalı yaklaşımın uygulanabilirliğinin gösterilmesi amacıyla örnek bir uygulamaya yer verilerek, işletmeler için ERP yazılımı seçimi üzerine bir karar problemi ele alınmıştır. Vatanserver ve Uluköy (2013) çalışmasında, üretim sektöründeki firmaların beklenti ve ihtiyaçlarına yönelik en uygun yazılım seçimi için bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve bulanık MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis - Oran Analizi Temeline Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon) yöntemleri bir arada kullanılarak yöneticilere karar desteği sağlanması amaçlanmaktadır. Yıldız ve Yıldız (2014) çalışmasında ERP yazılımı seçimi için bulanık TOPSIS yönteminin nasıl uygulanacağını bütüncül bir yapı içinde göstermeyi hedeflemiştir. Bu yapı beş alternatifli on kriterli değişkenlere dayalı olarak bir firma için geliştirilmiştir. Değerlendirme sonucunda beşinci alternatif birinci sırada seçilmiş ve yazılım maliyetleri ile yazılımın süreçlere uyumluluğu da en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Başar ve Arslan (2017) çalışmasında, işletmeler için en etkin ERP yazılımı seçiminde çok kriterli karar analizi yöntemlerinden VIKOR (En Uygun Uzlaşık Çözüm) yönteminden faydalanılmıştır. Polyester üretim sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin karar almada yetkili çalışanları ile ERP, seçim kriterleri ve muhtemel alternatifler hakkında görüşülmüştür. Ayrıca çalışmada ERP yazılımlarının işletmelere sağladığı faydalar ve seçim sürecine ilişkin önemli hatırlatmalar üzerinde durulmuştur. VIKOR yöntemi ile yapılan analizler sonucunda işletme için en etkin ERP yazılımları sırası belirlenmiş ve sonuçlar işletme ile paylaşılmıştır. Özkan Özen ve Koçak (2017) çalışmasında, fason imalat ve makine bakım konularında faaliyet gösteren bir imalat firmasında öncelikle sistem analizi çalışması yapılarak ihtiyaç listesi çıkarılmıştır. Sonrasında oluşan bu seçim kriterlerine göre, nihai olarak karar verilen iki yazılım firmasının uygulama yazılımlarında bulanık AHP kullanılarak seçim süreci gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak ERP seçimine konu olan seçim kriterlerinin etkileyen ve etkilenen ilişkileri bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirilerek seçim sonrası ERP yazılımının kurulumunda rehber olacak stratejik bir yol haritası oluşturulmuştur.

Bal (2020) çalışmasında, AHP ve Birliktelik Kuralları Analizi kullanılarak ERP seçimi yapılmış ve bu seçimler arasında performans analizleri değerlendirilmiştir. Madencioğlu (2021) çalışmasında, dış kaynak kullanımıyla temin edilecek olan ERP yazılımı seçimi problemine, karar verme sürecine belirsizliğin dahil edildiği çok kriterli bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımında alternatiflerin değerlendirmesinde kullanılacak olan kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Shannon entropi yöntemi ve alternatiflerin sıralanmasında Bulanık TOPSIS, Bulanık GİA, Bulanık Maut, Bulanık Aras, Bulanık Waspas, Bulanık Copras, Bulanık Edas yöntemleri kullanılmıştır. Farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinden elde edilen sıralamalar bütünleştirilerek alternatiflerin nihai sıralaması elde edilmiştir. Çalışmada önerilen çözüm yaklaşımı, mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin dış kaynak kullanımı ile işletmeye uygun ERP yazılımının seçim sürecine uygulanmış ve sonucunda işletmeye en uygun olan ERP yazılımı seçilmiştir. Dikmen ve Kavakci (2022) çalışmasında, 2020 yılı 1. ve 2. ISO 500 anket sonuçlarında yer alan ve Malatya İlinde faaliyet gösteren firmaların ERP yazılım seçenekleri arasından ölçütlerine en uygun olan ERP yazılımını belirlemektir. Bu amaçla ÇOKV (Çok Ölçütlü Karar Verme) yöntemlerinden MACBETH, TOPSIS ve COPRAS yöntemleri bütünlük olarak kullanılmış ve ERP yazılımı seçimi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada bir ERP yazılımı olan SAP yazılımının performans incelemesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, küçük ve büyük boyutlu verilerle SOAP, REST JSON ve REST XML uygulamaları ve bu uygulamaların performans analizleri değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kurumsal Kaynak Planlama Sistemleri - ERP

ERP sistemleri, yazılımın ana iş süreçlerine entegre yönetimidir. ERP, genellikle bir kuruluşun birçok ticari faaliyetten veri toplamak, depolamak, yönetmek ve yorumlamak için kullanılabileceği iş yönetimi entegre yazılım paketidir. ERP sistemleri yerel tabanlı veya bulut tabanlı olabilir. Bulut tabanlı uygulamalar, bilgilerin internet erişimi olan herhangi bir yerden kolayca erişilebilir olması ve kaynakların bölüşülebilir olmasından doğan uygun fiyat avantajları nedeniyle son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır.

#### 2.1.1. Kurumsal Kaynak Planlama İş Yazılımı - SAP

SAP, şirket içi organizasyonlar arasında veri işlemeyi ve bilgi akışını kolaylaştıran çözümler geliştiren bir ERP yazılımıdır. İş süreçlerinin yönetimi için dünyanın önde gelen yazılım üreticilerinden biridir. ERP iş yazılımının en önemli isimlerinden ve öncüsü IBM'den ayrılan mühendislerin 1972 yılında Almanya'da Systemanalyse Programmentwicklung ismiyle kurup zaman içerisinde SAP kısaltmasıyla adlandırdıkları bir iş yazılımıdır. Bugün SAP, 230 milyondan fazla bulut kullanıcılarına, tüm iş fonksiyonlarını kapsayan 100'den fazla çözüme ve tüm altyapı sağlayıcılarının en büyük bulut portföyüne sahiptir.

### 2.2. Uygulama Programlama Arayüzleri - API

API, bir yazılımın fonksiyonlarının diğer bir yazılımda kullanılmasını sağlar. Bununla beraber bir veritabanına veya bir bilgisayar donanımına erişmeyi de sağlamaktadır. Örneğin bir programlama dili ile yazılmış olan bir önyüz, bir veritabanından gelecek verilerle doldurulması gerektiğinde web servislere ihtiyaç duyulmaktadır. Web servisler bu verilere erişir ve bazı internet protokolleri ile veriyi dışarıya açar, önyüz programı veya birçok farklı alandan doğru istekleri yapan ve yetkileri olan herkes bu verilere erişir, işler, kullanır.

### 2.3. Web Servisler

Bir web servisi; elektronik bir cihazın başka bir elektronik cihazla internet üzerinden konuşması ve iletişimde kalmasını sağlayan bir servis veya bir bilgisayarda çalışan, bir ağ üzerinden belirli bir bağlantı noktasındaki istekleri dinleyen, bu isteklere cevap sunan bir sunucudur. Web servisleri, WWW (World Wide Web) protokollerini kullanarak internet üzerinde çalışan bilgisayarlardan başka bilgisayarlara veri aktaran servislerdir. En yaygın web servis çeşitlerinden SOAP ve REST tanımları ve özelliklerine üçüncü bölümde detaylıca yer verilmiştir.

#### 2.3.1. Basit Nesne Erişim Protokolü - SOAP

SOAP, bir paketin farklı uygulamalarının iletişim kurmasını sağlayan bir mesajlaşma protokolüdür. SOAP, web ile ilgili HTTP (Hypertext Transfer Protocol - Hiper Metin Transfer Protokolü) dahil olmak üzere çeşitli standart protokoller üzerinden taşınabilir. SOAP, farklı programlama dillerine sahip uygulamalar için bir ara dil olarak geliştirilmiş ve bu uygulamaların internet üzerinden birbirleriyle iletişim kurmasını sağlamıştır. SOAP, esnek ve bağımsızdır, bu da geliştiricilerin farklı dillerde SOAP API'ler yazmasına ve aynı zamanda özellikler ve işlevler eklemesine olanak tanır.

SOAP, genellikle XML (Extensible Markup Language - Genişletilebilir İşaretleme Dili) ile web API'leri oluşturmak için kullanılan hafif bir protokoldür. HTTP, SMTP (Simple Mail Transfer Protocol - Basit Posta Aktarım Protokolü) ve TCP (Transmission Control Protocol - İletim Kontrol Protokolü) üzerinden çok çeşitli iletişim protokollerini destekler. SOAP yaklaşımı, bir SOAP mesajının nasıl işlendiğini, içerdiği özellikleri ve modülleri, desteklenen iletişim protokollerini ve SOAP mesajlarının yapısını tanımlar.

#### 2.3.2. Temsili Durum Transferi - REST

REST, bir protokol veya standart değil, bir dizi mimari kısıtlamadır. API geliştiricileri, REST'i çeşitli şekillerde uygulayabilir. RESTful API, REST mimari stiline kısıtlamalarına uyan ve RESTful web hizmetleriyle etkileşime izin veren bir API'dir. RESTful API aracılığıyla bir alıcı isteği yapıldığında, kaynağın durumunun bir temsili istek sahibine veya uç noktaya aktarır. Bu bilgi veya temsil, HTTP aracılığıyla birkaç formattan birinde iletilir: JSON, HTML, XML veya düz metin. JSON, genel olarak kullanılan en popüler dosya formatıdır çünkü ismine rağmen dilden bağımsızdır ve hem insanlar hem de makineler tarafından okunabilmektedir.

### 2.4. Programlama Dilleri

Bu çalışma C#, Java ve JavaScript (Node.js) programlama dilleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu programlama dillerinin performans analizleri değerlendirilmiştir. Kurumsal kaynak planlama iş yazılımı olarak seçilen SAP ise kendi geliştirdiği ABAP dilini desteklemektedir. Bu dillerle geliştirilen uygulamaların yürütüldüğü ortamlara da yine bu bölümde yer verilmiştir.

#### 2.4.1. ABAP

ABAP, SAP tarafından 1980'lerde geliştirilmeye başlanan bir uygulamaya özel dördüncü nesil programlama dilidir. Başlangıçta, büyük şirketlerin malzeme yönetimi, finans ve muhasebesi için iş uygulamaları oluşturmasını sağlayan bir platform olan SAP R/2'nin rapor(program) diliydi. Günümüzde ise R/3 ve S/4 ile devam etmektedir.

ABAP, Almanca Allgemeiner Berichts-Aufbereitungs-Prozessor (Türkçesi: Jenerik Rapor Hazırlama İşlemcisi) kısaltması olarak ortaya çıkmış, ancak daha sonra İngilizce'ye geçerek Advanced Business Application Programming olarak yeniden adlandırılmıştır.

#### 2.4.2. C#

C#, geliştiricilerin .NET üzerinde çalışan çeşitli, güvenli ve güvenilir uygulamalar oluşturmasını sağlayan üst düzey, sınıf tabanlı, nesne yönelimli bir programlama dilidir. C#; web uygulamaları, konsol uygulamaları, masaüstü uygulamaları, mobil uygulamalar, oyunlar ve çok daha fazlasını geliştirmek için kullanılır. Microsoft tarafından geliştirilmektedir.

#### 2.4.3. Java

Java, 1995 yılında Sun Microsystems tarafından ortaya çıkarılan bir programlama dili ve bilgi işlem platformudur. Java, üst düzey, sınıf tabanlı, nesne yönelimli bir programlama dilidir. Programcıların bir kez yazıp her yerde çalıştırmasını (Write Once Run Anywhere – WORA) hedefleyen genel amaçlı bir programlama dilidir. Diğer bir deyişle derlenmiş bir Java kodu, Java'yı destekleyen tüm platformlarda, yeniden derlemeye gerek kalmadan çalışabilir.

Java uygulamaları genellikle, temeldeki bilgisayar mimarisinden bağımsız olarak herhangi bir JVM (Java Virtual Machine - Java Sanal Makinesi'nde) çalışabilen bayt kodunda derlenir. Java'nın sözdizimi C ve C++'a benzer, ancak her ikisinden de daha az alt düzey olanaklara sahip daha üst düzey bir dildir.

#### 2.4.4. JavaScript (Node.js)

JavaScript, WWW'nin HTML ve CSS (Cascading Style Sheets - Basamaklanmış Stil Katmanları) ile birlikte en temel üç teknolojilerinden biridir. Günümüzde neredeyse tüm web siteleri bir veya birden fazla JavaScript kütüphanesi yardımıyla geliştirilmektedir. Kullanılan tüm popüler web tarayıcılarında JavaScript ile geliştirilmiş bu kodları kullanıcının cihazında çalıştırmak için bir JavaScript motoru bulunmaktadır. Bu sayede cep telefonlardan akıllı saatlere, bilgisayarlardan yeni nesil otomobillere birçok internete bağlanan ve web tarayıcısı olan cihazda JavaScript ile oluşturulmuş web sitelerini görüntülemek mümkündür.

JavaScript, ECMAScript standardına uyan, üst düzey, genellikle tam zamanında (just-in-time) derlenen, prototip tabanlı, nesne yönelimli bir programlama dilidir. JavaScript motorları ilk başta sadece web tarayıcılarında kullanılmakta idi, ancak artık sunucuların ve uygulamaların temel bileşeni haline gelmiştir. Bu alanda en popüler JavaScript Runtime ortamı Node.js'dir.

### 2.5. Programlama Platformları

Bu çalışma kapsamında ele alınan algoritmalar, farklı programlama dilleri kullanılarak gerçekleştirildiği için farklı programlama platformlarının da kullanılması gerekmiştir.

C# programlama dili ile kodlanan programlar Visual Studio platformunda, Java programlama dili ile kodlanan programlar IntelliJ IDEA platformunda, Node.js ile kodlanan programlar ise Visual Studio Code platformunda gerçekleşmiştir. Bu bölümde bu programlama platformları hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

#### 2.5.1. Visual Studio Code - VSC

Visual Studio Code (diğer bilinen adıyla VS Code veya VSC), Windows, Linux ve macOS için Microsoft tarafından Electron Framework ile yapılmış bir kaynak kodu düzenleyicisidir. Özellikleri arasında hata ayıklama (debugging), sözdizimi vurgulama (syntax highlighting), akıllı kod tamamlama (IntelliSense), snippets, kod refactoring ve gömülü Git desteği yer almaktadır. Kullanıcılar temayı, klavye kısayollarını, tercihleri değiştirebilir ve ek işlevler ekleyen uzantıları yükleyebilir. Uzantılar ile size sınırsız kolaylık, geliştirme ortamı ve programlama dili desteği sunmaktadır. Visual Studio Code ile JavaScript ve TypeScript yerleşik olarak desteklenmektedir. Diğer dillere ise eklentiler ile destek vermektedir.

#### 2.5.2. Visual Studio

Visual Studio, .NET ortamında C# dilinde web, masaüstü, konsol ve mobil uygulama geliştirmek için kullanılmaktadır. Microsoft tarafından geliştirilmektedir. Visual Studio ile yalnız .NET ortamında C# değil, birçok farklı programlama dillerinde geliştirme yapılabilmektedir.

Visual Studio Community, giriş seviyesi sürüm olup ücretsiz olarak kullanılabilir. Visual Studio Community sürümünün sloganı “Öğrenciler, açık kaynak ve bireysel geliştiriciler için ücretsiz, tam özellikli IDE”dir.

#### 2.5.3. IntelliJ IDEA

IntelliJ IDEA, JetBrains tarafından geliştirilen bir entegre geliştirme ortamıdır. 2001 yılında piyasaya sürülmüş olup Windows, macOS ve Linux işletim sistemlerinde kullanılabilir. Başlangıçta Java programlama diline odaklanmış olsa da yerleşik olarak veya eklentiler aracılığıyla diğer programlama dillerini de desteklemektedir. Hem ücretsiz bir “Community” sürümü hem de ticarî bir “Ultimate” sürümü mevcuttur. IntelliJ IDEA kaynak kodunu JetBrains açık kaynak Apache Lisansı 2.0 altında 2009 yılında yayımlanmıştır.

### 2.6. Veri Formatları

Bu çalışmada SAP tarafına yapılan istekler ve alınan cevaplarda farklı standartlar kullanılmaktadır. Bunlar SOAP için WSDL (Web Services Description Language - Web Servisleri Tanımlama Dili) iken REST için JSON ve XML'dir.

#### 2.6.1. Genişletilebilir İşaretleme Dili - XML

XML verileri depolamak ve farklı bilgisayarlar arasındaki iletişimde verileri iletmek için bir dosya formatıdır. Verileri hem makine hem de insan tarafından okunabilecek bir şekilde kodlanması için çeşitli kuralları bulunmaktadır. WWW Konsorsiyumu'nun 1998 tarihli XML 1.0 Spesifikasyonu ile tanımlanmıştır. XML'in tasarım hedefleri; basitliği, genelliği ve internet genelinde kullanılabilirliği vurgulamaktadır. Farklı insan dilleri için Unicode aracılığıyla desteği olan metinsel bir veri formatıdır.

### 2.6.2. Web Servisleri Tanımlama Dili - WSDL

WSDL, 26 Haziran 2007 tarihli bir W3C (World Wide Web Konsorsiyumu) standartıdır. Bir web servisiyle yapılabilecek tüm işlemleri ve bu işlemler için kullanılacak mesajları ve veri türlerini tanımlayan bir XML formatıdır. Geçerli bir WSDL dosyası, bir web servisine istek göndermek için ihtiyacımız olan tüm bilgileri içerir.

### 2.6.3. JavaScript Nesne Notasyonu - JSON

JSON, hafif (lightweight) bir veri değişim formatıdır. İnsanlar için okuma-yazması, makinelerin ayrıştırması ve oluşturması kolaydır. JSON, dilden tamamen bağımsızdır, ancak C dahil, C ailesi programcılarının aşına olduğu kuralları kullanan bir metin formatıdır. Bu, JSON'u ideal bir veri değişim dili yapar.

JSON iki yapı üzerine kuruludur:

- isim:değer çiftlerinden oluşan bir yığın: Çeşitli dillerde bu; bir nesne, kayıt, yapı, sözlük, karma tablo, anahtarlı liste veya ilişki dizi olarak gerçekleştirilir.
- Sıralı değerler listesi: Çoğunlukla bu bir dizi, liste, sıra veya vektör olarak dillerde yer alır.

Bunlar evrensel veri yapılarıdır. Neredeyse tüm modern diller bunları bir şekilde desteklemektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada sırasıyla SOAP, JSON ve XML uygulamaları gerçekleştirilmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Yapılan uygulamalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

#### SOAP Uygulamaları:

- IDES Küçük Veri SOAP Çalışması
- LOCAL Küçük Veri SOAP Çalışması
- S4 Küçük Veri SOAP Çalışması
- IDES Büyük Veri SOAP Çalışması
- LOCAL Büyük Veri SOAP Çalışması
- S4 Büyük Veri SOAP Çalışması

#### JSON Uygulamaları:

- IDES Küçük Veri JSON Çalışması
- LOCAL Küçük Veri JSON Çalışması
- S4 Küçük Veri JSON Çalışması
- IDES Büyük Veri JSON Çalışması
- LOCAL Büyük Veri JSON Çalışması
- S4 Büyük Veri JSON Çalışması

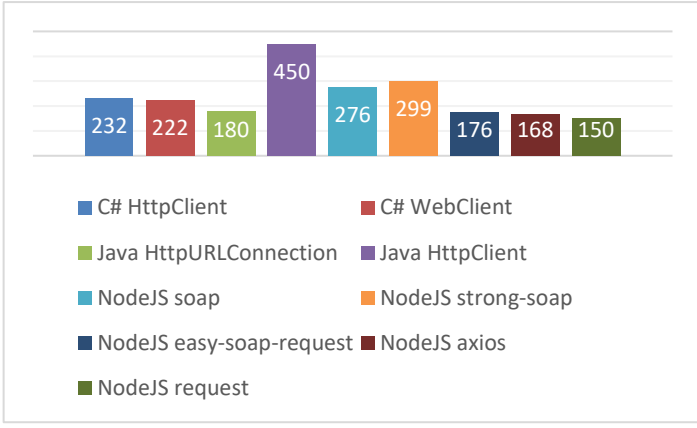
#### XML Uygulamaları:

- IDES Küçük Veri XML Çalışması
- LOCAL Küçük Veri XML Çalışması
- S4 Küçük Veri XML Çalışması
- IDES Büyük Veri XML Çalışması
- LOCAL Büyük Veri XML Çalışması
- S4 Büyük Veri XML Çalışması

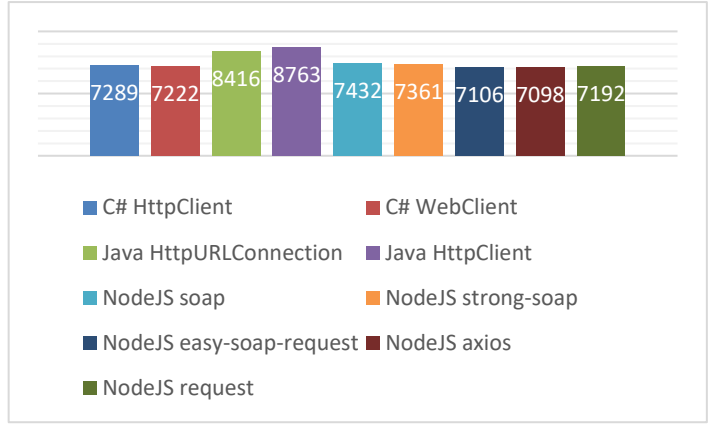
### 3.1. SOAP Uygulamaları

Bu çalışmada ilk olarak WSDL formatındaki küçük ve büyük verilerle SOAP API uygulaması gerçekleştirilmiştir. Test çeşitliliği ve sonuçların doğru yorumlanabilmesi için üç farklı sunucuyla çalışılmıştır. Sunuculardaki küçük veri büyüklükleri sırasıyla IDES ile LOCAL arasında yaklaşık 100 kat, LOCAL ile S4 arasında yaklaşık 5 kat büyüklük farkı olacak şekildedir. Büyük verilerde ise üç sunucuda da aynı verilerle çalışılmıştır ve bunların küçük veriye büyüklük oranları 100-10.000 kat fazladır. Üç farklı programlama dili kullanılıp bunlar sırasıyla C#, Java ve JavaScript (Node.js) dilleridir. Bu programlama dilleri de kendi içerinde farklı kütüphaneler ve sınıflar kullanılarak test sonuçları her programlama dili içerisinde çeşitlendirilmiştir. Her bir program uygun olduğu geliştirme ortamında geliştirilip derlenmiş ve çalıştırılmıştır. Her bir çalıştırma döngüsü kendi içerisinde üç ana başlıktan oluşmaktadır; istek paketlerinin oluşturulması, gönderilmesi ve cevabın alınması, cevabın yorumlanması. Bu üç başlığın toplam çalışma süresi milisaniye (ms) biriminden kaydedilmiş ve çalışma kapsamında yorumlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yorumlanan veriler; programların toplam çalışma süreleri değil, belirtilen bu üç ana başlıkta geçirilen sürelerdir.

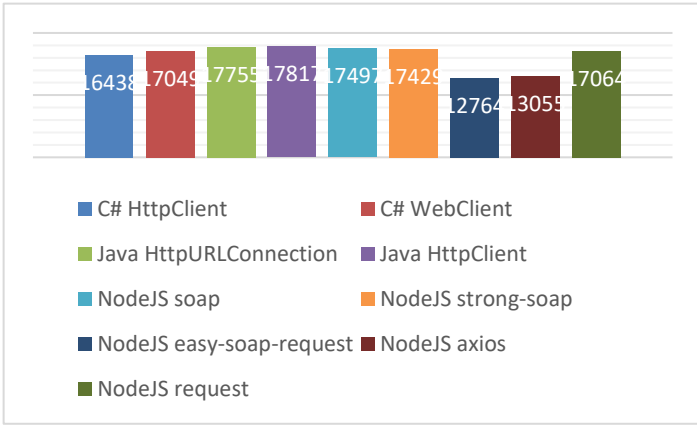
Kullanılan farklı diller ve bu dillerde kullanılan farklı kütüphaneler veya sınıflar SOAP istek mektubunu ve HTTP 1.1 isteğini farklı yöntemlerle oluşturup, gönderip, aynı cevabı almıştır. Bu cevap; SAP tarafında veritabanının farklı alanlarından SQL sorguları ve ABAP fonksiyonlarıyla çekilmiş, paketlenmiş ve gönderilmiştir. Sırasıyla Şekil 1'de IDES Küçük Veri SOAP Çalışması'nın, Şekil 2'de LOCAL Küçük Veri SOAP Çalışması'nın, Şekil 3'te S4 Küçük Veri SOAP Çalışması'nın, Şekil 4'te IDES Büyük Veri SOAP Çalışması'nın, Şekil 5'te LOCAL Büyük Veri SOAP Çalışması'nın, Şekil 6'da S4 Büyük Veri SOAP Çalışması'nın sonuçları sunulmuştur.



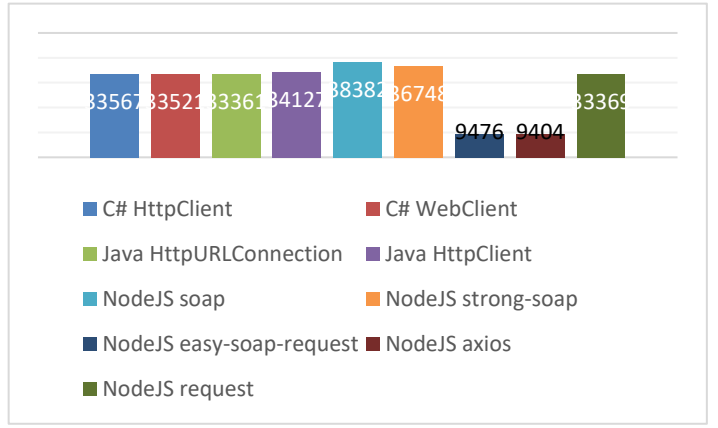
Şekil 1. IDES Küçük Veri SOAP Çalışması  
(Figure 1. IDES Small Data SOAP Study)



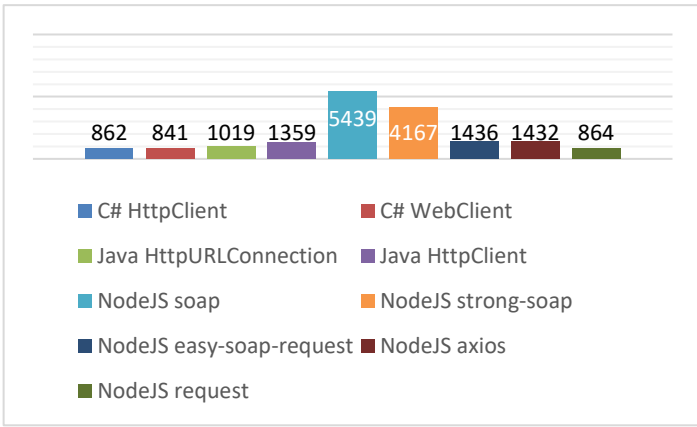
Şekil 2. LOCAL Küçük Veri SOAP Çalışması  
(Figure 2. LOCAL Small Data SOAP Study)



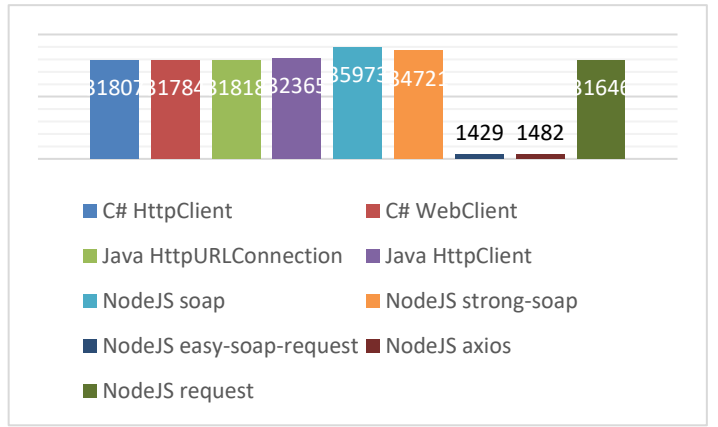
Şekil 3. S4 Küçük Veri SOAP Çalışması  
(Figure 3. S4 Small Data SOAP Study)



Şekil 4. IDES Büyük Veri SOAP Çalışması  
(Figure 4. IDES Large Data SOAP Study)



Şekil 5. LOCAL Büyük Veri SOAP Çalışması  
(Figure 5. LOCAL Large Data SOAP Study)



Şekil 6. S4 Büyük Veri SOAP Çalışması  
(Figure 6. S4 Large Data SOAP Study)

SAP sistemlerinden verileri dışarıya SOAP API ile WSDL formatında açmak istendiğinde çoğu senaryoda en iyi tercih Node.js ortamı olacaktır. Veri boyutu küçüldükçe C# programlama dilinde WebClient sınıfı kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Java programlama dilinde HttpClient sınıfı ise çoğu çalışmada olduğu gibi bu çalışmalarda da en yavaş ya da ortalama altı performans sergilemiştir ve performans odaklı çalışmalarda tercih edilmemelidir.

Bir XML türevi olan WSDL formatındaki küçük verilerle SOAP API üzerinden yapılan çalışmalarda her üç sunucuda da ortak olarak en yüksek değer alınan sonuçlar, yani en yavaş olan çalışma Java programlama dilindeki HttpClient sınıfı kullanılarak yapılan çalışmadır. Çalışmalarda en düşük değer alınan sonuçlar, yani en hızlı olan çalışmalar ise Node.js çalışmaları olmuştur. Node.js ortamında beş alternatif kütüphane ile çalışılmış ve üç farklı sunucuda da ortak olarak veri boyutu büyüdükçe axios ve easy-soap-request çalışmaları en hızlı sonuçları vermiştir. Ama yüksek açıklık ve çeyrekler açıklığı oranlarıyla karşılaşmıştır. Veri boyutu



küçüldükçe request kütüphanesi de aynı performansları benzer hatta daha kararlı dağılımlarla verebilmiştir. C# programlama dilindeki WebClient sınıfı ortalama üzeri performans sunmuştur. Diğer yapılan çalışmalarda rekabetçi sonuçlar elde edilememiştir.

WSDL formatındaki büyük verilerle SOAP API üzerinden yapılan çalışmalarda her üç sunucuda da ortak olarak en yüksek ve de en düşük performans sergileyen çalışmalar Node.js ortamındaki çalışmalar olmuştur. Node.js ortamındaki soap ve strong-soap kütüphaneleri sırasıyla ve diğer çalışmalara oranla fark yaratır düzeyde en yavaş iki performansı göstermiştir. En hızlı performansları ise ortalamaya ve de çeyrekler ortalamasına çok yüksek oransal farklarla Node.js ortamındaki axios ve easy-soap-request kütüphaneleri göstermiştir. Küçük verilerle olan çalışmalardaki dağılımlarının aksine daha düzenli sonuçlar elde edilmiştir.

Node.js ekosistemindeki ilk kütüphanelerden olan ve ilk versiyonunu 2009 yılında tanıtan request kütüphanesi 2020 itibarıyla zamanın gerisinde kalan bir çekirdeğe sahip olduğu gerekçesiyle tüm desteğini sonlandırmış (deprecated) ve bakım moduna (maintenance mode) geçmiş durumdadır. 2023 itibarıyla 3 senedir güncelleme almamış olmasına karşın hala haftalık indirmeleri 15 milyonun üzerinde kalmakta hatta zaman zaman 20 milyona yaklaşmaktadır. Daha genç bir kütüphane olarak ilk versiyonunu 2014 yılında tanıtan axios ise bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen senaryoların neredeyse tamamında request ile yakın sonuçlar elde eden diğer bir Node.js kütüphanesi olmuştur. Düzenli güncellemeler almaya devam eden ve mimarî açıdan daha güvenli ve daha fazla kontrol alanı sağlayan bir yapıda olan axios, 2021 yılının son çeyreği itibarıyla haftalık indirmelerde request kütüphanesini geçmiş, günümüzde ise aralarında 2 katı aşkın bir fark axios liderliğinde oluşmuş durumdadır. İki kütüphane de hem REST hem SOAP istekleri için kullanılabilir.

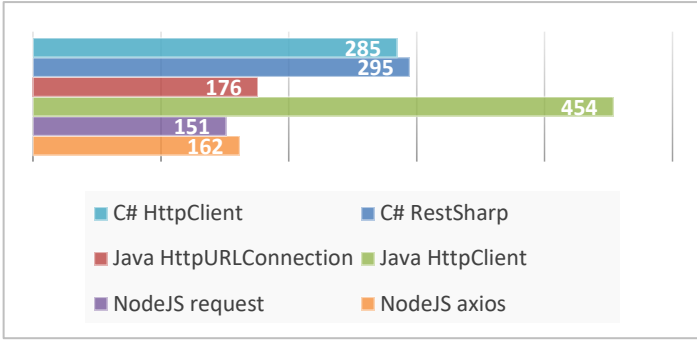
SOAP çalışmaları için Node.js ortamında toplam beş olmak üzere üç alternatif kütüphane daha kullanılmıştır. İlk ikisi REST çalışmalarında da kullanılan axios ve request kütüphaneleri olmak üzere kalan üçü sırasıyla soap, strong-soap ve easy-soap-request kütüphaneleridir. Bunlardan soap, Node.js ortamındaki en eski SOAP isteklerini yönetme amaçlı kütüphanesidir. Eski adı node-soap olan bu kütüphaneden geliştirilerek 2016 yılında ekosisteme kazandırılan diğer bir alternatif ise strong-soap kütüphanesidir. Kullanımları ve performansları birbirleriyle oldukça yakındır. Kullanılan son ve en genç alternatif ise axios kütüphanesinden geliştirilerek 2018 yılında ekosisteme kazandırılan ve performansları da birbirleriyle oldukça yakın olan easy-soap-request kütüphanesidir. Haftalık indirmeleri ise 2023 yılında soap kütüphanesi için 400 bin civarında olup, strong-soap ve easy-soap-request kütüphaneleri için ise on binler seviyesindedir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen test senaryolarının büyük çoğunluğunda en performanslı ve birbirleriyle çok yakın sonuçlara sahip iki çalışma Node.js ortamındaki axios ve request kütüphanelerine aittir. Lakin SOAP çalışmalarında veri boyutları büyüdükçe axios çalışmaları, request çalışmalarına karşı ciddi performans kazanımı göstermektedir. Veri boyutu on binlerce ve hatta yüz binlerce satırı geçtiği SOAP çalışmalarında çok ciddi farklar axios ve easy-soap-request kütüphaneleri liderliğinde ortaya çıkmaktadır. Node.js ortamındaki diğer alternatif soap, strong-soap ve request kütüphaneleri veya bu çalışma kapsamında kullanılan C# ve Java programlama dillerindeki diğer alternatif çalışmalar veri boyutu büyüdükçe SOAP çalışmalarında birbirleriyle benzer sonuçları getirmiş olup, üç sistemde de aynı veri setiyle gerçekleştirilen “Büyük Veri SOAP Çalışmaları”nda axios ve easy-soap-request kütüphanelerine kıyasla ortalamada ve çeyrekler ortalamasında 2’den 22 kata kadar geride kaldıkları görülmektedir. Bu ciddi farklar nedeniyle performans odaklı SOAP çalışmalarında Node.js ortamında axios veya easy-soap-request kütüphaneleri tercih edilmelidir. Node.js ortamındaki soap ve strong-soap kütüphaneleri kolay kullanımları açısından tercih edilebilecek iken performans odaklı olarak tercih edilmemelidir.

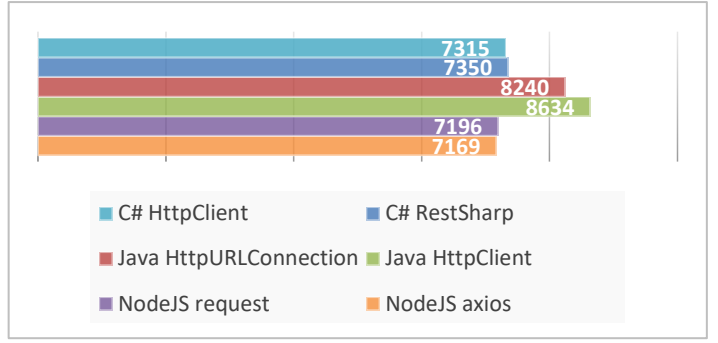
### 3.2. JSON Uygulamaları

Bu çalışmada ikinci olarak JSON formatındaki küçük ve büyük verilerle REST API uygulaması gerçekleştirilmiştir. Test çeşitliliği ve sonuçların doğru yorumlanabilmesi için üç farklı sunucuyla çalışılmıştır. Sunuculardaki küçük veri büyüklükleri sırasıyla IDES ile LOCAL arasında yaklaşık 100 kat, LOCAL ile S4 arasında yaklaşık 5 kat büyüklük farkı olacak şekildedir. Büyük verilerde ise üç sunucuda da aynı verilerle çalışılmış ve bunların küçük veriye büyüklük oranları 100-10.000 kat fazladır. Üç farklı programlama dili kullanılıp bunlar sırasıyla C#, Java ve JavaScript (Node.js) dilleri olmuştur. Bu programlama dillerinin de kendi içlerinde farklı kütüphaneler ve sınıflar kullanılarak test sonuçları her programlama dili içerisinde çeşitlendirilmiştir. Her bir program uygun olduğu geliştirme ortamında geliştirilip derlenmiş ve çalıştırılmıştır. Her bir çalıştırma döngüsü kendi içerisinde üç ana başlıktan oluşmaktadır; istek paketlerinin oluşturulması, gönderilmesi ve cevabın alınması, cevabın yorumlanması. Bu üç başlığın toplam çalışma süresi milisaniye (ms) biriminden kaydedilmiş ve çalışma kapsamında yorumlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yorumlanan veriler; programların toplam çalışma süreleri değil, belirtilen bu üç ana başlıkta geçirilen sürelerdir.

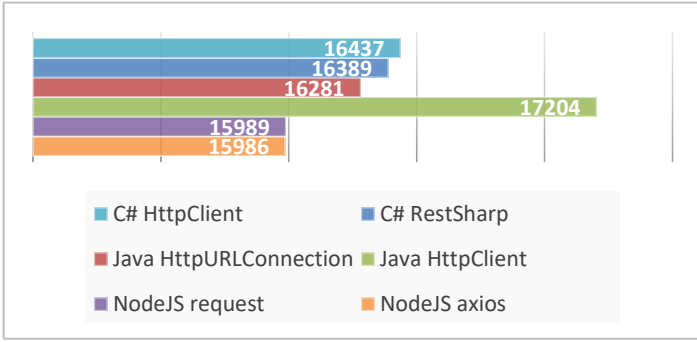
Kullanılan farklı diller ve bu dillerde kullanılan farklı kütüphaneler veya sınıflar REST isteklerini farklı yöntemlerle oluşturup, gönderip, aynı cevabı almıştır. Bu cevap; SAP tarafında veritabanının farklı alanlarından SQL sorguları ve ABAP fonksiyonlarıyla çekilmiş, paketlenmiş ve gönderilmiştir. Sırasıyla Şekil 7’de IDES Küçük Veri JSON Çalışması’nın, Şekil 8’de LOCAL Küçük Veri JSON Çalışması’nın, Şekil 9’da S4 Küçük Veri JSON Çalışması’nın, Şekil 10’da IDES Büyük Veri JSON Çalışması’nın, Şekil 11’de LOCAL Büyük Veri JSON Çalışması’nın, Şekil 12’de S4 Büyük Veri JSON Çalışması’nın sonuçları sunulmuştur.



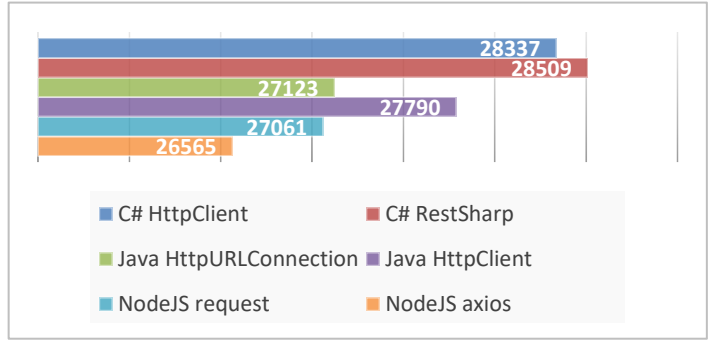
Şekil 7. IDES Küçük Veri JSON Çalışması  
(Figure 7. IDES Small Data JSON Study)



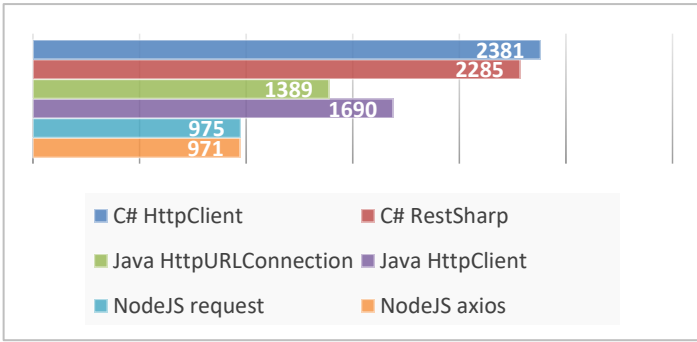
Şekil 8. LOCAL Küçük Veri JSON Çalışması  
(Figure 8. LOCAL Small Data JSON Study)



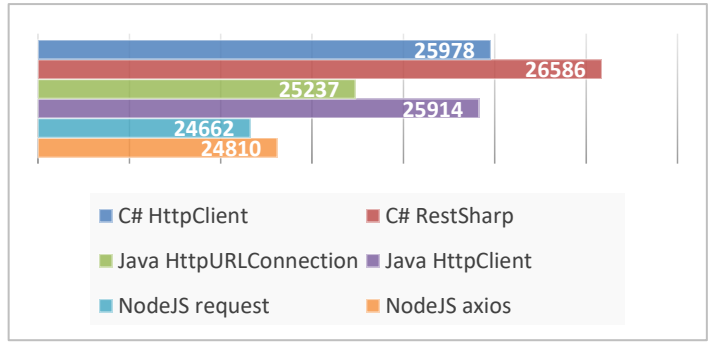
Şekil 9. S4 Küçük Veri JSON Çalışması  
(Figure 9. S4 Small Data JSON Study)



Şekil 10. IDES Büyük Veri JSON Çalışması  
(Figure 10. IDES Large Data JSON Study)



Şekil 11. LOCAL Büyük Veri JSON Çalışması  
(Figure 11. LOCAL Large Data SOAP Study)



Şekil 12. S4 Büyük Veri JSON Çalışması  
(Figure 12. S4 Large Data SOAP Study)

JSON formatındaki küçük verilerle RESTful API üzerinden yapılan çalışmalarda her üç sunucuda da ortak olarak en yüksek değer alınan sonuçlar, yani en yavaş olan çalışma Java programlama dilindeki HttpClient sınıfı kullanılarak yapılan çalışmadır.

JSON formatındaki büyük verilerle RESTful API üzerinden yapılan çalışmalarda her üç sunucuda da ortak olarak en yüksek değer alınan sonuçlar, yani en yavaş olan çalışma C# programlama dili kullanılarak yapılan çalışmalardır. REST çalışmaları için .NET ortamında hazır olarak gelen HttpClient sınıfı ile onun geliştirilmesiyle ortaya çıkmış günümüzde popüler bir açık kaynak kütüphanesi olan RestSharp kullanılmıştır. Daha kolay kullanımı olmasına karşın RestSharp, HttpClient sınıfıyla olan çalışmalara kıyasla daha fazla bellek kullanımı gerçekleştirmektedir. Bu çalışma kapsamında hem XML hem JSON veri formatındaki çalışmalarda birbirlerine çok yakın sonuçlar elde etmiş olup, dağılımları diğer çalışmalardan düzensiz değildir. HttpClient sınıfı küçük farklarla daha performanslıdır. Tüm JSON çalışmalarında en düşük değer alınan sonuçlar, yani en hızlı olan çalışmalar Node.js çalışmaları olmuştur.

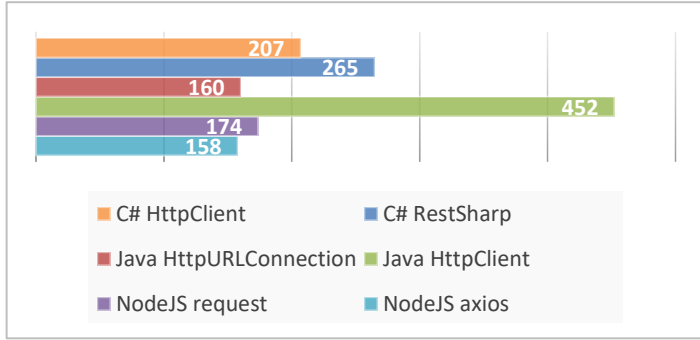
JSON formatındaki verilerin yorumlanması için C# programlama dilinde Json.NET çatısı, Java programlama dilinde JSON-Java kütüphanesi kullanılmıştır. Node.js ortamında ek bir kullanıma gerek yoktur. Bu durum da performansa oldukça etki etmektedir.

### 3.3. XML Uygulamaları

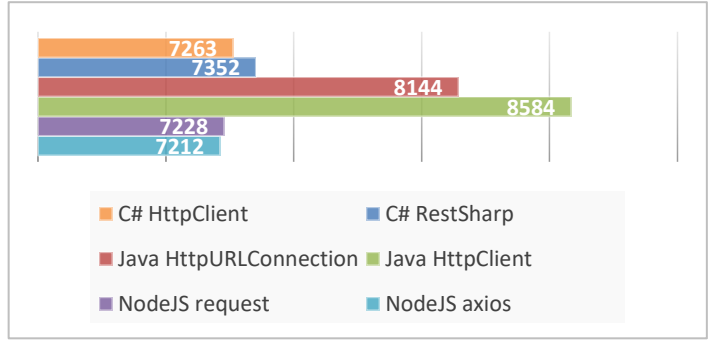
Bu çalışmada son olarak XML formatındaki küçük ve büyük verilerle REST API uygulaması gerçekleştirilmiştir. Test çeşitliliği ve sonuçların doğru yorumlanabilmesi için üç farklı sunucuyla çalışılmıştır. Sunuculardaki küçük veri büyüklükleri sırasıyla IDES ile LOCAL arasında yaklaşık 100 kat, LOCAL ile S4 arasında yaklaşık 5 kat büyüklük farkı olacak şeklindedir. Büyük verilerde ise üç

sunucuda da aynı verilerle çalışılmış ve bunların küçük veriye büyüklük oranları 100-10.000 kat fazladır. Üç farklı programlama dili kullanılıp bunlar sırasıyla C#, Java ve JavaScript (Node.js) dilleri olmuştur. Bu programlama dillerinin de kendi içlerinde farklı kütüphaneler ve sınıflar kullanılarak test sonuçları her programlama dili içerisinde çeşitlendirilmiştir. Her bir program uygun olduğu geliştirme ortamında geliştirilip derlenmiş ve çalıştırılmıştır. Her bir çalıştırma döngüsü kendi içerisinde üç ana başlıktan oluşmaktadır; istek paketlerinin oluşturulması, gönderilmesi ve cevabın alınması, cevabın yorumlanması. Bu üç başlığın toplam çalışma süresi milisaniye (ms) biriminden kaydedilmiş ve çalışma kapsamında yorumlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yorumlanan veriler; programların toplam çalışma süreleri değil, belirtilen bu üç ana başlıkta geçirilen sürelerdir.

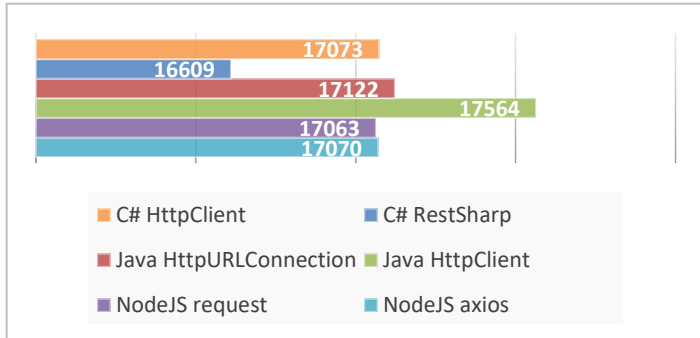
Kullanılan farklı diller ve bu dillerde kullanılan farklı kütüphaneler veya sınıflar REST isteklerini farklı yöntemlerle oluşturup, gönderip, aynı cevabı almıştır. Bu cevap; SAP tarafında veritabanının farklı alanlarından SQL sorguları ve ABAP fonksiyonlarıyla çekilmiş, paketlenmiş ve gönderilmiştir. Sırasıyla Şekil 13’de IDES Küçük Veri XML Çalışması’nın, Şekil 14’te LOCAL Küçük Veri XML Çalışması’nın, Şekil 15’te S4 Küçük Veri XML Çalışması’nın, Şekil 16’da IDES Büyük Veri XML Çalışması’nın, Şekil 17’de LOCAL Büyük Veri XML Çalışması’nın, Şekil 18’de S4 Büyük Veri XML Çalışması’nın sonuçları sunulmuştur.



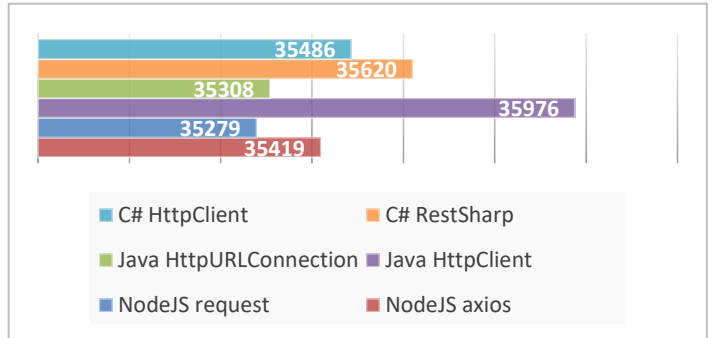
Şekil 13. IDES Küçük Veri XML Çalışması  
(Figure 13. IDES Small Data XML Study)



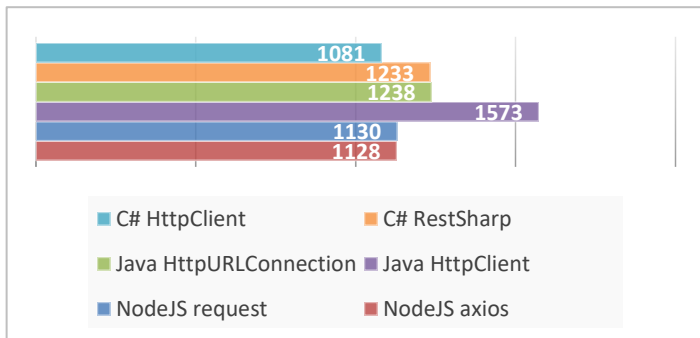
Şekil 14. LOCAL Küçük Veri XML Çalışması  
(Figure 14. LOCAL Small Data XML Study)



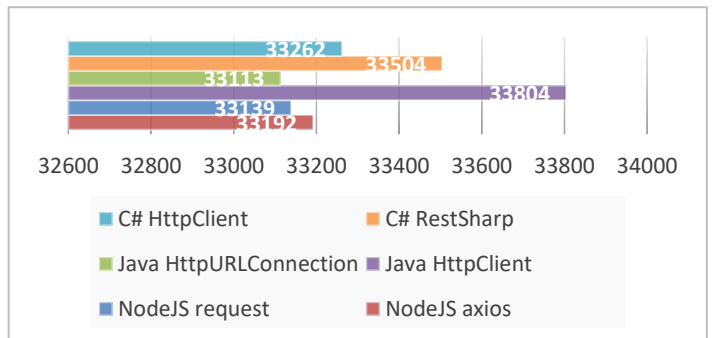
Şekil 15. S4 Küçük Veri XML Çalışması  
(Figure 15. S4 Small Data XML Study)



Şekil 16. IDES Büyük Veri XML Çalışması  
(Figure 16. IDES Large Data XML Study)



Şekil 17. LOCAL Büyük Veri XML Çalışması  
(Figure 17. LOCAL Large Data XML Study)



Şekil 18. S4 Büyük Veri XML Çalışması  
(Figure 18. S4 Large Data XML Study)

XML formatındaki verilerle RESTful API üzerinden yapılan tüm çalışmalarda her üç sunucuda da ortak olarak en yüksek değer alınan sonuçlar, yani en yavaş olan çalışma Java programlama dilindeki HttpClient sınıfı kullanılarak yapılan çalışmadır.

Bütün çalışmalar boyunca sonuçların birbirine en yakın olduğu ve açıklık veya çeyrekler açıklığı oranlarıyla en düzenli dağılım gösteren çalışmalar XML çalışmaları olmuştur. XML çalışmalarında en düşük değer alınan sonuçlar, yani en hızlı olan çalışmalar

genelde Node.js çalışmaları olmuştur. Fakat Java programlama dilindeki HttpClient sınıfı hariç diğer çalışmalar birbirlerine yakın değerlerle sonuçlanmıştır, bu yüzden performans odaklı çalışmalarda Node.js ortamındaki request veya axios kütüphanesini tavsiye etmekle beraber diğer programlama dillerinin de kullanılabilceği söylenebilir. Tablo 1’de gerçekleştirilen çalışmalar ve özet sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Gerçeklenen Çalışmalar ve Özet Sonuçları (sn.) (Table 1. Performed Studies and Summary Results) (sec.)

	IDES			LOCAL			S4		
	En Hızlı Çalışma	Ortalama	Çeyrekler Ortalaması	En Hızlı Çalışma	Ortalama	Çeyrekler Ortalaması	En Hızlı Çalışma	Ortalama	Çeyrekler Ortalaması
<b>Küçük Veri SOAP</b>	150	239	226	7098	7542	7312	12764	16319	16968
<b>Küçük Veri JSON</b>	151	254	229	7169	7651	7622	15986	16381	16243
<b>Küçük Veri XML</b>	158	236	207	7212	7630	7591	16609	17084	17087
<b>Büyük Veri SOAP</b>	9404	29106	33744	841	1935	1150	1429	25892	32006
<b>Büyük Veri JSON</b>	26565	27564	27638	971	1615	1607	24662	25531	25439
<b>Büyük Veri XML</b>	35279	35515	35461	1081	1230	1182	33113	33336	33298

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, bir ERP iş yazılımı olan SAP sistemlerinden dışarıya açılması istenen verilerin boyutlarına göre seçilecek istemci (client), API ve veri formatları taraflı yaşanabilecek performans farkları ortaya konmuştur.

Sonuçlar; istemci tarafında istek mesajının oluşturulması ve gönderilmesi, SAP tarafında mesajın alınması, ilgili programların çalıştırılması, veritabanı bağlantılarının yapılması, REST isteklerde verilerin JSON veya XML formatına dönüştürülmesi, verilerin paketlenmesi ve gönderilmesi, tekrar istemci tarafında cevabın alınması ve her satırın en az 1 kez yorumlanması süreciyle elde edilmiştir. SAP tarafında SOAP mesajlar doğrudan çıkış yapabilirken, REST mesajlar için SAP içerisinde ek olarak her satır veriye XML veya JSON yazım formatına dönüştürme aşaması uygulanmaktadır. İstemci tarafında ise her satır veri bir sayaç fonksiyonu ile sayılmakta böylelikle en az bir kez yorumlanmaktadır. Fakat JavaScript, JSON cevapları doğrudan veya bir kez parse fonksiyonundan geçirip yorumlayabiliyorken, C# ve Java programlama dillerinde bu işlem için ek olarak JSON Object dönüşümü ve peşinden JSON Array dönüşümü gerçekleştirmek gerekmekte, bu da her bir satır verinin fazladan iki kez yorumlanması anlamına gelmektedir. Gerçek hayat kullanımlarında bu senaryolar gerçekleşeceği için bu çalışmada da bu dönüşümlere de yer verilmiş, sonuçlar bu şekilde toplanmıştır.

Küçük verilerle yapılan tüm çalışmalarda Java programlama dilindeki HttpClient sınıfı en yavaş sonuçları vermiştir. Büyük verilerle yapılan çalışmalarda da ortalama altı performans göstermiştir. Java programlama dilinde alternatif olarak kullanılan HttpURLConnection sınıfı ise hem SOAP hem REST çalışmalarında ortalama ve çeyrekler ortalaması üzerinde performans sergilemiştir. Java programlama dilinin en eski sınıflarından olan HttpURLConnection sınıfı yapılan her çalışmada HttpClient sınıfından daha performanslı sonuçlar sağlamıştır.

HttpURLConnection sınıfı Java 1.1 sürümü ile 1997 yılında ve devam formu HttpsURLConnection sınıfı ise Java 1.4 sürümü ile 2002 yılında desteğe kavuşmuştur. HttpClient sınıfı ise çok daha yeni sayılabilecek Java 11 sürümü ile 2018 yılının son çeyreğinde tam desteğine kavuşmuştur. Günümüzde, topluluk gözünde hantal ve zor bir yazımı olduğu düşünülen ve bazı günümüz ihtiyaç teknolojilerini karşılayamayan HttpURLConnection sınıfı yerine daha akıcı ve kolay bir yazımı olduğu düşünülen ve HTTP/2 asenkron çalışma gibi diğer ihtiyaç teknolojilerini karşılayabilen HttpClient sınıfı tercih edilmektedir. Fakat bu çalışma kapsamındaki çalışmalarda SAP sunucularında HTTP/1.1 üzerinden yapılan hem SOAP 1.1 hem de REST çalışmalarının tamamında HttpURLConnection sınıfının kullanımının HttpClient sınıfına oranla daha performanslı sonuçlar veren bir tercih olacağı net bir şekilde görülmüştür. Çalışmalardan elde edilen sonuçların dağılımları ise iki alternatif için de sonucu değiştiremeyecek kadar düzenlidir.

SAP sistemlerinden dışarıya veri açılan performans odaklı çalışmalarda API ve veri formatı seçiminde bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar en performanslı sonuçlara göre sıralandığında SOAP API seçiminin özellikle veri boyutu büyüdükçe net bir şekilde tek tercih olduğu görülmektedir. Bu sonuçların da büyük çoğunluğu Node.js çalışmalarına aittir. Ama WSDL formatındaki veriler, XML veya JSON formatındaki aynı verilerden daha büyük dosya boyutlarına sahiptir. Buna rağmen ortaya çıkan performans farkı, SAP tarafında WSDL dönüştürücüsünün sistemin dahili bileşenleri tarafından yapılmasından ve JSON veya XML dönüştürme işlemlerinin ise kullanıcının seçeceği veya yazacağı fonksiyon veya sınıf metotlarıyla yapılmasından kaynaklıdır.

REST cevapları için SAP tarafında doğrudan bir desteğin olmaması, verilerin farklı yöntemlerle XML veya JSON formatına dönüştürülüp, sunucuya gelen REST isteklerinin bu dönüştürülmüş verilerle cevaplanması ile çözülmektedir. XML formatındaki veriler, JSON formatındaki aynı verilerden daha fazla etiket ve elementler ile yaklaşık yüzde elli daha büyük dosya boyutuna sahip

olabilmektedir. İstemci tarafından alınan bu verilerin yorumlanmasında ise JSON obje ve dizilerine dönüştürme işlemleri bu farkı kapatmakta hatta JSON çalışmalarını geriye düşürmektedir. Aynı işlemler tam tersinden hem XML hem JSON için SAP içerisinde de gerçekleştirildiği için performans farkı SOAP çalışmalarına kıyasla giderek artmaktadır.

Genel değerlendirme olarak performans odaklı çalışmalarda SAP sistemlerinden dışarıya SOAP API ile WSDL formatında veya RESTful API ile XML veya JSON formatında veriler açılmak istendiğinde çoğu senaryoda en iyi tercih Node.js ortamı olacaktır. JSON formatıyla yapılan çalışmalarda C# programlama diliyle yapılan çalışmalar yavaş kalmakta, bunun sebebi JSON veri formatının yorumlanmasındaki gecikmedir. XML formatıyla yapılan çalışmalarda Java programlama dilindeki HttpClient çalışmaları yavaş kalmakta, diğer tüm alternatif çalışmalar birbiriyle yakın sonuçlar sergilemektedir. Tüm sonuçlar analiz edildiğinde özellikle veriler büyüdükçe SAP içerisinde web servisler ve geliştirici ekranlarıyla doğrudan desteklenen SOAP API üzerinden WSDL veri formatıyla Node.js ortamında axios veya easy-soap-request kütüphanesiyle çalışmak en performanslı tercih olacaktır.

## Kaynakça

- Arslan, E. (2015). Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Microsoft Dynamics Ax Yazılımının Şirketlere Ve Kamu Kuruluşlarına Uyarlanması, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bal, B.M. (2020). Kurumsal Kaynak Planlama Yazılımı Seçimi İçin Analitik Hiyerarşik Proses ve Apriori Algoritması Uygulanması, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Başar, R. ve Arslan, H.M. (2017). Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Yazılımının En Uygun Uzlaşık Çözüm (Vikor) İle Seçimi, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Sayı. 22(4), Sayfa. 1065-1080.
- Bayraktar, E. ve Efe, M. (2006). Kurumsal Kaynak Planlaması ERP Ve Yazılım Seçim Süreci, The Journal of Selcuk University Social Sciences Institute, Sayı. 15, Sayfa. 689- 709.
- Boztaş, M. ve Özmızrak, M. (2012). Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Yazılımları Kurulum ve Kullanım Sürecinin Bilgi Yönetimi Kavramıyla Etkileşimi, İstanbul Commerce University Journal of Science, Sayı. 11(21), Sayfa. 65-79.
- Çakır, B.Ö. ve Bedük, A. (2013). Çalışanların Kurumsal Kaynak Planlaması ERP Değerlendirmeleri ve Kurumsallaşma Algıları, The Journal of Selcuk University Social Sciences Institute, Sayı. 30, Sayfa. 81-91.
- Dikmen, F.C. ve Kavakcı, I. (2022). Bütünleşik Olarak Kullanılan Macbeth, Topsis Ve Copras Yöntemleri İle Kurumsal Kaynak Planlama Yazılım Seçimi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı. 8(1), Sayfa. 205-238.
- Dülgerler, M. (2007). Kurumsal Kaynak Planlaması Ve Web Servisleri İle Bir Erp Uygulaması, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kılıçaslan, Ş. (2012). Bir Kurumsal Kaynak Planlama Yazılımı Uygulaması ve Başarımının Değerlendirilmesi”, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Madenoğlu, F.S. (2021). Bütünleşik Entropi-Copras Yaklaşımı İle Kurumsal Kaynak Planlama (KKP) Yazılımının Seçimi, Journal of Management and Economics Research, Sayı. 19(4), Sayfa. 14-29.
- Özkan Özen, Y.D. ve Koçak, A. (2017). Bulanık Analitik Hiyerarşi ve Bulanık Dematel Yöntemleri Kullanılarak Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılım Seçimi ve Değerlendirilmesi, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Sayı. 24(3), Sayfa. 929-957.
- Perçin, S. ve Gök, A.C. (2013). ERP Yazılımı Seçiminde İki Aşamalı AAS-TOPSIS Yaklaşımı, Eskişehir Osmangazi University Journal of Economics and Administrative Sciences, Sayı. 8(2), Sayfa. 93-114.
- Tarhan, H.H. (2017). Bir Kurumsal Kaynak Planlama Yazılımı Ve Akıllı Karar Destek Sistemi Araçlarının Geliştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Topbaş, E. (2019). Yalın Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılımının Geliştirilmesi Ve Kahramanmaraş'ta Yalın Üretim Yapan İşletmelerde Uygulanması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Turan, S. (2011). Kobi'lerin Kurumsal Kaynak Planlama Yazılımlarından Beklentileri ve Sektörel Bazda Yazılım Geliştirilmesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Vatansever, K. ve Uluköy, M. (2013). Kurumsal Kaynak Planlaması Sistemlerinin Bulanık AHP ve Bulanık MOORA Yöntemleriyle Seçimi: Üretim Sektöründe Bir Uygulama, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı.11(2), Sayfa. 274-293.
- Yeşildağ, B. (2010). Muğla İlinde Küçük Ve Orta Büyüklükteki İşletmelerde Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) Yazılımları Kullanım Düzeyi Ve Verimliliğinin Araştırılması, Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
- Yıldız, A. ve Yıldız, D. (2014). Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılım Seçimi, Business and Economics Research Journal, Sayı. 5(1), Sayfa. 87-106.





# Sağlık Bilimleri Fakültesi Öğrencilerinin Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışlarının İncelenmesi

Bayam Hikmet<sup>1\*</sup>, Yeğın Melike<sup>2</sup>, Ergün Fatma<sup>3</sup>, Karasu Ayata Muradiye<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8890-8547), [hikmet.bayam@ahievran.edu.tr](mailto:hikmet.bayam@ahievran.edu.tr)

<sup>2</sup> Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0475-8850), [melike.yegin@ahievran.edu.tr](mailto:melike.yegin@ahievran.edu.tr)

<sup>3</sup> Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5587-1581), [fatma.ergun@ahievran.edu.tr](mailto:fatma.ergun@ahievran.edu.tr)

<sup>4</sup> Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8890-8547), [m.karasu@ahievran.edu.tr](mailto:m.karasu@ahievran.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 15 Mayıs 2023 ve Kabul Tarihi 19 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439883)

**ATIF/REFERENCE:** Bayam H., Yeğın M., Ergün F., Karasu Ayata M. (2023). Sağlık Bilimleri Fakültesi Öğrencilerinin Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışlarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 212-219.

## Öz

Besin ve beslenme güvenliğine, sağlıklı yaşama katkıda bulunan, çevresel etkileri düşük beslenme olarak tanımlanan sürdürülebilir beslenme ile ilgili farkındalığın geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu araştırmada, üniversite öğrencilerinin sürdürülebilir beslenme konusundaki bilgi, tutum ve davranışları değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı, kesitsel tipteki araştırma Sağlık Bilimleri Fakültesi'nde eğitim gören 342 gönüllü öğrencinin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma verileri Anket Formu aracılığıyla gerekli yazılı izinler alındıktan sonra Kasım - Aralık 2022 tarihleri arasında öğrencilerden çevrimiçi olarak toplanmıştır. Verilerin istatistiksel analizinde istatistik programı kullanılmıştır. Çalışmaya katılan katılımcıların %92,4'ü kadın, %7,6'sı erkektir. Kadın katılımcıların %15,5'i ve erkeklerin %3,8'i zayıftır. Normal BKİ'ye sahip toplam katılımcı sayısı %67,8 (232 kişi) iken kadınların %66,1' i (209 kişi) ve erkeklerin %88,5'i (23 kişi) normal BKİ aralığındadır. Kadın katılımcıların sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama ölçek puanı 117,4±1,4 iken erkek katılımcılarınki 118,8±5,5'tir. Katılımcıların cinsiyet, okunan sınıf-bölüm, nerede ve kiminle yaşadığı, gelir düzeyi, tanıli bir hastalığı olup olmama durumu, alkol kullanımı, gün içerisinde tükettiği öğün sayısı ve beden kütle indeksi ile sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama ölçek puanı arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır (p>0.05). Sonuç olarak katılımcıların incelenen parametrelerle Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları ölçeği ve faktörleriyle arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Sürdürülebilir, sağlıklı beslenme kavramlarının son zamanlarda dikkat çeken bir konu olması sebebiyle ilişkili olduğu alt başlıkların ve faktörlerin belirlenmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

**Anahtar Kelimeler:** Beslenme, Öğrenci, Sürdürülebilir beslenme.

## Investigation of The Sustainable and Healthy Eating Behaviors of The Faculty of Health Sciences Students

### Abstract

It is of great importance to raise awareness about sustainable nutrition, which is defined as a diet with low environmental impacts that contributes to food and nutrition security and healthy living. In this study, university students' knowledge, attitudes and behaviors regarding sustainable nutrition were evaluated. The descriptive, cross-sectional research was conducted with the participation of 342 volunteer students studying at the Faculty of Health Sciences. Research data was collected online from students between November and December 2022, after obtaining the necessary written permissions via the Survey Form. A statistical program was used in the statistical analysis of the data. 92.4% of the participants in the study were women and 7.6% were men. 15.5% of female participants and 3.8% of male participants were underweight. While the total number of participants with normal BMI is 67.8% (232 people), 66.1% of women (209 people) and 88.5% of men (23 people) are within the normal BMI range. While the average sustainable and healthy nutrition behavior scale score of female participants is 117.4±1.4, that of male participants is 118.8±5.5. There is a statistically significant difference between the participants' gender, class-department, where and with whom they live, income level, whether or not they have a diagnosed disease, alcohol use, number of meals consumed during the day, body mass index and the average scale score of sustainable and healthy eating behaviors. was not found (p>0.05). As a result, no significant relationship was found between the participants' examined parameters and the Sustainable and Healthy Eating Behaviors scale and its factors. Since the concepts of sustainable, healthy nutrition have been a subject that has attracted attention recently, more studies are needed to determine the subheadings and factors they are related to

**Keywords:** Nutrition, Student, Sustainable nutrition.

\* Corresponding Author: [hikmet.bayam@ahievran.edu.tr](mailto:hikmet.bayam@ahievran.edu.tr)

## 1. Giriş

Hızla artan dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9 milyara ulaşacağı öngörülmektedir. Günümüzdeki küresel tarım sistemleri, şu anki nüfusun gıda ihtiyacını karşılamaktadır. Fakat 40 yıl sonrası için hesaplanan arzın karşılanabilmesi için mevcut gıda üretiminin iki katına çıkması gerekmektedir (Foley, 2011). Maliyeti yüksek hayvansal kaynaklı gıda tüketiminin artması ve kaynakların hızla tüketilmesi gıda sisteminin iyileştirilmesini ve çevresel sürdürülebilirlik faaliyetlerinin artırılmasını mecburi kılmaktadır (Godfray ve ark., 2010).

Beslenme bilimi, belirli besinlerin veya besin gruplarının sağlık üzerindeki etkilerini ve besin eksikliklerini incelemektedir. Son yıllarda diyetlerin hem insan sağlığı hem de çevre ve gıda sistemleri üzerindeki etkileri dikkat çeken bir konu haline gelmiştir. Bu durum sürdürülebilir beslenme kavramının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Sürdürülebilir diyetler gıda güvenliğine dikkat eden, sağlıklı yaşama katkıda bulunan, çevresel etkileri düşük olan diyetlerdir (Macdiarmid, 2013). Bu diyetler, biyoçeşitliliği koruyucu, ekosistemlere saygılı, kültürel olarak kabul edilebilir, erişilebilir, ekonomik, güvenli ve kaynakları maksimum verimde kullanan diyetlerdir (Burlingame & Dernini, 2010).

Çevresel etkinin önemli bir kısmını gıda tüketimi oluşturmaktadır. İklim değişikliği başta olmak üzere, toprak yapısının bozulması, su kirliliği, su kıtlığı, habitat kaybı ve biyolojik çeşitlilikte azalma bu çevresel etkiler arasında yer almaktadır. Ayrıca gıdanın israf edilmesi su, tarım arazisi, gübre, fosil yakıt gibi kaynakların gereksiz yere kullanımına ve artan sera gazı emisyonuna sebep olmaktadır (Kummu ve ark., 2012).

Dünyanın birçok yerinde sağlıklı ve besleyici gıdaya erişim mümkün olmamaktadır (Coff ve ark., 2008). Öte yandan, bazı bölgelerde insanlar aşırı kilolu veya obezdir (Reisch ve ark., 2013). Tüketim dengesizliğini ve gıda israfını ortadan kaldırmak ve sağlıklı beslenmeyi teşvik etmek ancak sağlıklı ve sürdürülebilir gıda tüketimi ile mümkün olacaktır (Tekinbaş Özkaya ve ark., 2021).

Dünya Doğayı Koruma Vakfı tarafından 2014 yılında gerçekleştirilen Livewell for Low Impact Food in Europe (LIFE) projesi, sağlıklı beslenme ve sürdürülebilirliği ortak paydada ele almıştır. Proje sonunda sebze meyve tüketiminin artırılması, beslenmede çeşitliliğinin sağlanması, gıda israfının azaltılması hem kırmızı hem de beyaz et tüketiminin minimum seviyelere indirilmesi, besinlerin güvenilir kaynaklardan satın alınması ve yağ, tuz, şeker içeriği yüksek besinlerin tüketimini azaltmayı amaçlayan temel ilkeler ortaya konulmuştur (Alarcon & Gerritsen, 2014).

Bireysel açıdan, yaşam kalitesini arttırmak çevresel açıdan ise daha yaşanabilir bir dünya için sürdürülebilir, sağlıklı yeme davranışlarının erken yaşlarda kazanılması ve bu davranışların gelecek nesillere aktarılması büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışma; Sağlık Bilimleri Fakültesi öğrencilerinin sürdürülebilir ve sağlıklı yeme davranışlarını incelemek amacıyla yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırmanın Tipi

Araştırma kesitsel ve tanımlayıcı tiptedir.

### 2.2. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi'nde 2022-2023 Eğitim ve Öğretim yılına kayıtlı 1523 öğrenci oluşturmaktadır. Araştırma örneklemini Epiinfo 2000 programı kullanılarak evreni bilinen formül ile bilinmeyen prevalans %50 alınarak, %95 güven aralığında ve 0.05 kabul edilebilir örnekleme hatası ile minimum örneklem genişliği 307 olarak hesaplanmıştır. Araştırmada veri kaybı göz önünde bulundurularak 342 öğrenci ile araştırma tamamlanmıştır. Araştırmada olasılıksız örnekleme yöntemi kullanılmıştır.

### 2.3. Veri Toplama Araçları

Veriler araştırmacı tarafından literatür taranarak hazırlanmış; sosyo-demografik özellikleri ve beslenme alışkanlıklarını değerlendirmek amacıyla 14 sorudan oluşan kişisel veriler formu ve sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışlarını değerlendirmek amacıyla 'Sürdürülebilir ve Sağlıklı Beslenme Davranışları Ölçeği' kullanılmıştır. Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları Ölçeği, Zakowska-Biemans ve ark. (2019) tarafından, sürdürülebilir diyet kavramının FAO tanımlamasına, LiveWell yaklaşımına, sürdürülebilir ve sağlıklı yeme alışkanlıkları ilkelerine göre geliştirilen bir ölçektir. Türkçe versiyonunun geçerlilik ve güvenilirlik analizi Erdoğan ve ark. (2019) tarafından yapılmıştır. Bu ölçek, 8 faktörü; Sağlıklı ve Dengeli Beslenme, Kalite İşaretleri (Yöresel ve Organik), Et Tüketiminin Azaltılması, Yerel Gıda, Düşük Yağ, Gıda İsrafından Kaçınma, Hayvan Sağlığı ve Mevsime Özgü Gıdalar olan toplam 34 maddeden oluşmaktadır. Ölçekteki 34 madde likert tipi ölçekten oluşmakta ve seçenekleri, hiç, çok nadir, nadiren, bazen, sıklıkla, çok sık veya her zaman şeklindedir. Hiç seçeneğinden her zaman seçeneğine göre puanlandırma 1'den 7'ye doğru olacak şekilde değerlendirme yapılmıştır. Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları Ölçeği'nin güvenilirliği Erdoğan ve ark. (2019) tarafından hesaplanmıştır. Cronbach Alfa değeri 0,772 olması ölçeğin güvenilir olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki şekilde ölçeğin alt boyutlarının Cronbach Alfa değerleri gösterilmiştir (Filaziçolu, 2021).

Şekil 1. Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları Ölçeğinin Güvenilirlik Analizi

	n	Cronbach's Alpha
Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları Ölçeği	34	0,772
Sağlıklı ve Dengeli Beslenme	10	0,712
Kalite İşaretleri (Yöresel ve Organik)	5	0,767
Et Tüketiminin Azaltılması	4	0,826
Yerel Gıda	3	0,777
Düşük Yağ	3	0,711
Gıda İsrafından Kaçınma	3	0,791
Hayvan Sağlığı	3	0,728
Mevsime Özgü Gıdalar	3	0,729

## 2.4. Verilerin Toplanması

Araştırmanın verileri 01.11.2022-01.12.2022 tarihleri arasında Google form üzerinden çevrimiçi olarak hazırlanmış anket formunun linki gönderilerek toplanmıştır. Olasılıksız örnekleme yöntemiyle 342 katılımcıya ulaşılmış ve anketin başında öğrencilere gönüllü onam formu doldurtulmuş çalışmaya katılmak için gönüllü olmaları dikkate alınmıştır.

## 2.5. Verilerin Analizi

Verilerin istatistiksel analizinde IBM SPSS 22.0 programı kullanılmıştır. Araştırmanın analizinde tanımlayıcı istatistiksel metotlar için sayı-yüzde dağılımı, ortalama değer, standart sapma ve Ki kare testi uygulanmıştır. Verilerin normal dağılım göstermediğini değerlendirmek için Kolmogorov-Smirnova ve Shapiro-Wilk testleri uygulanmıştır.  $P > 0.05$  ise  $H_0$  hipotezi kabul edilmiş ve verilerin normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca her bir grupta çarpıklık ve basıklık katsayısı (2 ile -2 arasında olup olmadığı) ve grafiksel gösterimler (histogram, normal Q-Q grafiği) dikkate alınmıştır (Marjorie, 1997). Normallik testleri sonucuna göre veri dağılımının 'normal dağılım' gösterdiği saptanmıştır. Normal dağılım gösteren verilerin korelasyon analizi için Independent Sample's T testi ve One Way Anova testi uygulanmıştır. Veri analizinde  $p < 0.05$  istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

## 2.6. Araştırmanın Etik Yönü

Araştırma, 23/09/2022 tarihli ve E-42695516-000-00000460799 sayılı Sağlık Bilimleri Fakültesi Dekanlığından alınan kurum izni ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu'ndan alınan 11.10.2022 tarihli ve 2022-18/162 karar numaralı etik kurul izni sonrasında gerçekleştirilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Katılımcıların Demografik Verileri ile Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları Ölçeğinin Faktör Ortalama Puanlarının İncelenmesi

Katılımcıların demografik verilerine Tablo 1.'de yer verilmiştir. Araştırmaya katılanların %92,4'ü kadın, %7,6'sı erkektir. Katılımcıların %28,7'si Çocuk Gelişimi, %43,6'sı Ebelik ve %27,8'i Hemşirelik bölümünde öğrenim görmektedir. Öğrencilerin %34,8'i 1. Sınıf; %20,2'si 2. Sınıf; %34,5'i 3. Sınıf ve %11,5'i 4. Sınıfta öğrenim görmektedir. Ailesiyle birlikte yaşayanların sayısı 44; öğrenci evinde tek başına yaşayanların sayısı 5; öğrenci evinde arkadaşlarıyla yaşayanların sayısı 15; yurttan kalanların sayısı 271; akrabalarıyla beraber yaşayan 1 ve diğer kategorisini seçen katılımcı sayısı 6'dır. Araştırmada verilen cevaplara göre katılımcıların gelir düzeyi karşılaştırıldığında 'gelirim giderimden az' cevabını veren öğrenci sayısı 152 (%44,4); 'gelirim giderime denk' cevabını veren öğrenci sayısı 167 (%48,8) ve 'gelirim giderimden fazla' cevabını veren öğrenci sayısı ise 23 (%6,7) tür. Ayrıca katılımcıların %16,1'inin (55 kişi) tanımlı bir hastalığı olup; %11,7'si (40 kişi) sigara kullandığını; %4,7'si (16 kişi) ise alkol kullandığını belirtmiştir. Günlük öğün sayılarına bakıldığında ise %34,7'si (119 kişi) tek öğün beslenmekte; %48,2'si (165 kişi) iki öğün ve %16,9'u (58 kişi) üç öğün beslenmektedir. Tablo 2'de katılımcıların sürdürülebilir ve sağlıklı yeme davranışları ölçeğinin faktör ortalama puanları ve standart sapma değerleri verilmiştir. Yolcuoğlu'nun (2020) yaptığı çalışma sonuçlarına göre ölçeğin alt faktörlerinden et tüketiminin azaltılması ve yerel gıda faktörlerinin ortalama puanları dışındaki diğer alt faktör puanlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Her iki çalışmanın örneklemini Sağlık Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören öğrencilerden oluşmaktadır.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Verilerinin ve Öğün Sayısının İncelenmesi

	n	%
<b>Cinsiyet</b>		
Kadın	316	92,4
Erkek	26	7,6
<b>Bölümü</b>		
Çocuk Gelişimi	98	28,7
Ebelik	149	43,6
Hemşirelik	95	27,8
<b>Sınıf</b>		
1	119	34,8
2	69	20,2
3	118	34,5
4	36	11,5
<b>Nerde Yaşıyorsunuz</b>		
Aile ile birlikte evde	45	12,4
Öğrenci evinde tek başına	5	1,4
Öğrenci evinde arkadaşları ile	17	4,7
Yurtta	289	79,4
Akrabaları ile	2	0,5
Apartta	6	1,6
<b>Gelir Düzeyi</b>		
Giderinden az	165	45,2
Giderine denk	175	47,9
Giderinden fazla	25	6,8
<b>Hastalık Durumu</b>		
Var	55	16,1
Yok	287	83,9
<b>Sigara İçme</b>		
Evet	40	11,7
Hayır	302	88,3
<b>Alkol Tüketimi</b>		
Evet	16	4,7
Hayır	326	95,3
<b>Öğün Sayısı</b>		
1	119	34,7
2	165	48,4
3	58	16,9

Tablo 2. Katılımcıların Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları Ölçeğinin Faktör Ortalama Puanları

	Ortalama	Standart Sapma
Sağlıklı ve Dengeli Beslenme	3,80	1,49
Kalite İşaretleri (Yöresel ve Organik)	3,56	1,48
Et Tüketiminin Azaltılması	2,99	1,62
Yerel Gıda	3,11	1,63
Düşük Yağlar	4,02	1,45
Gıda İsrafından Kaçınma	4,40	1,65
Hayvan Sağlığı	3,26	1,75
Mevsime Özgü Gıdalar	3,73	1,37

Çalışmaya katılımın cinsiyete göre dağılımı incelendiğinde kadınların (%92,4) çoğunluğu oluşturduğu görülmüştür. Bu araştırmaya katılan öğrencilerin %83,9'unun doktor tarafından tanısı koyulmuş herhangi bir hastalığı bulunmamaktadır.

Katılımcıların tükettikleri öğün sayıları incelendiğinde tek (%34,7) ve iki öğün (%48,2) tüketenlerin oranı, üç öğün (%16,9) tüketenlere göre daha yüksek bulunmuştur. Benzer olarak Özdoğan ve ark. (2012) üniversite öğrencilerinin öğün düzenlerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, öğrencilerin %84,5'inin ana öğünleri atladıklarını bildirmişlerdir (Özdoğan ve ark., 2012). Üniversite öğrencileri üzerinde yürütülen bir diğer çalışmada ise öğün atlama oranı %68 olarak belirtilmiştir (Özakar Akça & Selen, 2015). Yapılan çalışmada, öğrencilerinin çoğunluğunun (%79,2) yurtlarda kaldıkları görülmüştür. Genel olarak yurtlarda günde iki öğün yemek verilmesi, öğrencilerin düzensiz beslenmesinde bir etken olarak gösterilebilir.

### 3.2. Katılımcıların Cinsiyetlerine Göre Beden Kütle İndeksinin Sınıflandırılması

Tablo 2'de katılımcıların cinsiyetlerine göre beden kütle indeksleri sınıflandırılmıştır. Çalışmada katılımcının beyanı dikkate alınmış olup; boy uzunluğu, ağırlık verileri kullanılarak araştırmacı tarafından BKİ hesaplanmıştır. BKİ (kilogram/metrekare (kg/m<sup>2</sup>)) = [vücut ağırlığı (kg) / (boy uzunluğu)<sup>2</sup>] formülüyle hesaplanmış olup, BKİ'nin gruplandırılması Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından yapılan sınıflamaya uygun olarak: Zayıf olanlar <18.5 kg/m<sup>2</sup>, normal vücut ağırlığına sahip olanlar (18.5-24.9 kg/m<sup>2</sup>, hafif şişman olanlar 25.0-29.9 kg/m<sup>2</sup>. Derece şişman 30-34.9 kg/m<sup>2</sup> şeklinde tanımlanmıştır.

BKİ Kadınların %15,5'i (49 kişi), erkeklerin ise %3,8'i (1 kişi) zayıftır. Normal BKİ'ye sahip toplam katılımcı sayısı %67,8 (232 kişi) iken kadınların %66,1'i (209 kişi) ve erkeklerin %88,5'i (23 kişi) normal BKİ aralığındadır. Katılımcıların %17,5'i (60 kişi) ise hafif şişman kategorisinde olup; kadınların %88,5'i (58 kişi) ve erkeklerin %7,7'si (2 kişi) hafif şişmandır.

Tablo 3. Katılımcıların Cinsiyetlerine Göre Beden Kütle İndeksinin Sınıflandırılması

Cinsiyet	Kadın		Erkek		Toplam	
	n	%	n	%	n	%
<b>BKİ Grupları</b>						
Zayıf (<18,5 kg/m <sup>2</sup> )	49	% 15,5	1	%3,8	50	%14,6
Normal (18,5-24,9 kg/m <sup>2</sup> )	209	% 66,1	23	%88,5	232	%67,9
Hafif şişman (25-29,9 kg/m <sup>2</sup> )	58	% 18,4	2	%7,7	60	%17,5

Yolcuoğlu & Kızıltaş (2021) üniversite öğrencileri ile yaptıkları çalışmada kadın öğrencilerin BKİ değerlerinin erkek öğrencilere göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir (Yolcuoğlu & Kızıltaş, 2021). Üniversite öğrencileri üzerinde yürütülen birçok çalışmada benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır (Özdoğan ve ark., 2012; Arslan ve ark., 2016). Bu çalışmada ise cinsiyet ve BKİ değerleri arasındaki ilişkiye bakıldığında; hafif şişman kategorisindeki kadın öğrencilerin oranının, erkek öğrencilere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine normal BKİ aralığındaki erkek öğrencilerin oranı, kadın öğrencilere göre daha yüksek bulunmuştur. Demir (2019)'ün üniversite öğrencilerinin duygusal yeme davranışlarını incelediği çalışmasında kadın öğrencilerin duygusal durumlarda yeme alışkanlığının erkek öğrencilere göre daha fazla olduğu belirtilmiştir (Demir, 2019). Bu çalışmada da kadın öğrencilerin BKİ değerlerinin daha yüksek çıkması, duygusal yeme alışkanlıkları ile ilişkilendirilebilir.

### 3.3. Sürdürülebilir ve Sağlıklı Beslenme Davranışları Puanının Demografik Verilere Göre Karşılaştırılması

Tablo 3'te katılımcıların sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları puanının demografik verilere göre karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Araştırmaya katılan kadın bireylerin ortalama ölçek puanı 117,4±1,4 iken erkek bireylerinki 118,8±5,5'tir. Cinsiyete göre ölçek puanı arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (p>0.05). Bölümlere göre öğrencilerin sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı Çocuk gelişimi bölümü için 116,8±2,64; Ebelik bölümü öğrencileri için 117,2±1,98; Hemşirelik bölümü için 118,7±3,14'tir. Bölümlere göre sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (p>0.05). Katılımcıların sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı 1. Sınıf öğrencileri için 116,9±2,2; 2. Sınıf öğrencileri için 118,8±3,2; 3. Sınıf öğrencileri için 115,6±2,5 ve 4. Sınıf öğrencileri için ise 122,9±4,5 olarak hesaplanmıştır. Okunan sınıfa göre sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (p>0.05). Araştırmaya katılan bireylerin sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı ailesiyle yaşayanlar için 117,1±4,5; öğrenci evinde tek başına yaşayanlarda 134,4±8,3; öğrenci evinde arkadaşlarıyla yaşayanlarda 115,0±6,7; yurttan kalanlarda 117,1±1,5 ve diğer kategorisi için 133,6±11,5 tir. Yaşanılan yere göre sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (p>0.05). Katılımcıların gelir düzeyleri ile sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanları arasındaki ilişkiye bakıldığında 'gelirim giderimden az' cevabını verenlerin 114,0±2,1; 'gelirim giderime denk' cevabını verenlerin 119,6±2,0 ve 'gelirim giderimden fazla' cevabını verenlerin ise 124,6±5,8 ortalama puana sahip olduğu görülmüştür. Katılımcıların gelir düzeyine göre sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (p>0.05). Hastalık tanısı olan katılımcıların ortalama ölçek puanı 115,0±3,9 iken herhangi bir hastalığı olmayanların ki 117,9±1,5'tir. Benzer şekilde hastalık durumuna göre sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları



ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ( $p>0.05$ ). Sigara kullanan katılımcıların sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı  $110,3\pm 3,6$ ; sigara kullanmayanların ki  $118,4\pm 1,5$ 'tir. Araştırmaya katılan öğrencilerin sigara kullanma durumuna göre sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmıştır ( $p<0.05$ ). Sigara kullanmayan katılımcıların sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı kullanan katılımcılara göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Katılımcıların sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı alkol kullandığını belirten katılımcılarda  $115,3\pm 8,6$  iken kullanmayan katılımcılarda  $117,6\pm 1,4$ 'tür. Katılımcıların alkol kullanma durumuna göre sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ( $p>0.05$ ). Günlük öğün sayısı dikkate alındığında tek öğünle beslenenlerde sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı  $114,4\pm 2,4$ ; iki öğün beslenenlerde  $118,2\pm 2$  ve üç öğün beslenenlerde  $121,6\pm 3,6$ 'dır. Katılımcıların öğün sayısı ile sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ( $p>0.05$ ).

Tablo 4. Sürdürülebilir ve Sağlıklı Beslenme Davranışları Puanının Demografik Verilere Göre Karşılaştırılması

Sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları puanı		
Değişkenler	Ort. ±ss.	Ölçek Puanı (n=342) <i>p</i>
<b>Cinsiyet</b>		
Kadın	117,4±1,4	,799
Erkek	118,8±5,5	
<b>Bölümü</b>		
Çocuk Gelişimi	116,8±2,64	,873
Ebelik	117,2±1,98	
Hemşirelik	118,7±3,14	
<b>Sınıfı</b>		
1	116,9±2,9	,510
2	118,8±3,2	
3	115,6±2,5	
4	122,9±4,5	
<b>Yaşanılan Yer</b>		
Aile ile birlikte evde	117,1±4,5	,457
Öğrenci evinde tek başına	134,4±8,3	
Öğrenci evinde arkadaşları ile	115,0±6,7	
Yurtta	117,1±1,5	
Akrabaları ile	104±**	
Apartta	133,6±11,5	
<b>Gelir düzeyi</b>		
Giderinden az	114,0±2,1	,072
Giderine denk	119,6±2,0	
Giderinden fazla	124,6±5,8	
<b>Hastalık Durumu</b>		
Var	115,07±3,9	,496
Yok	117,9±1,5	
<b>Sigara İçme</b>		
Evet	110,3±3,6	,047**
Hayır	118,47±1,5	
<b>Alkol Tüketimi</b>		
Evet	115,3±8,6	,795
Hayır	117,6±1,4	

Çalışmaya katılım sağlayan erkeklerin sürdürülebilir ve sağlıklı yeme davranışları ortalama ölçek puanı kadınlara göre daha yüksek bulunmuştur. ( $117,4$ ;  $118,8$ ). Ancak cinsiyet ile sürdürülebilir ve sağlıklı yeme davranışları ortalama ölçek puanı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p= .799$ ). Engin & Sevim (2022) lisans öğrencileri üzerinde yaptıkları çalışmada da sürdürülebilir beslenme bilgi puanı ile cinsiyet arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı bildirilmiştir (Engin & Sevim, 2022). Stephens ve ark. (2017), cinsiyet ve ırkın beslenme alışkanlıkları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, sağlıklı beslenme konusunda kadınların erkeklerden daha yüksek bir yeterliliğe sahip olduklarını belirtmişlerdir (Stephens ve ark., 2017). Bu çalışma, Engin & Sevim (2022)'in yaptığı çalışma ile benzerlik gösterirken, Stephens ve ark. (2017) yaptığı çalışma ile farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada, dördüncü sınıfta öğrenim gören öğrencilerin sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı diğer sınıftakilere göre nispeten daha yüksektir. Ancak okunan sınıf ile ölçek puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ( $p=.510$ ). Engin & Sevim (2022) lisans öğrencileri ile yürüttüğü çalışmada sağlıklı yaşam biçimi davranışları ölçeği toplam puanı 1. sınıfa kıyasla 4. sınıfta öğrenim görenlerde anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur (Engin & Sevim, 2022). Özüpek & Arslan (2021)'in yaptığı çalışmada genel beslenme bilgi puanlarının toplamı ile öğrencinin okuduğu sınıf arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı belirtilmiştir. Yapılan istatistiksel analizde hem 3. sınıf hem de 4. sınıfta okuyan öğrencilerin genel beslenme bilgi puanlarının toplamı 1. sınıf öğrencilerine göre daha yüksek bulunmuştur (Özüpek & Arslan, 2021). Literatürde üçüncü ve dördüncü sınıf öğrencilerinin sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme hakkında daha fazla bilgi sahibi oldukları görülmüştür. Bu durum, öğrencilerin beslenme ile ilgili dersleri ağırlıklı olarak eğitim hayatlarının son yıllarında almaları ile ilişkilendirilebilir.

Yapılan çalışmada, yaşanan yer ile sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Filazioğlu (2021) tarafından sosyal medya kullanan üniversite öğrencilerinin sürdürülebilir ve sağlıklı yeme davranışları incelediği çalışmada da benzer sonuçlar tespit edilmiştir (Filazioğlu, 2021). Yolcuoğlu (2020) tarafından yapılan bir çalışmada katılımcıların sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ölçeğinin alt boyutları olan sağlıklı ve dengeli beslenme, kalite işaretleri (yöresel ve organik), et tüketiminin azaltılması, yerel gıda, düşük yağ, gıda israfından kaçınma ve hayvan sağlığı gibi faktörler ile yaşanan yer arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir (Yolcuoğlu, 2020). Filazioğlu (2021) ve Yolcuoğlu (2020)'nun yaptığı çalışmalar, bu çalışmanın sonuçlarını destekler niteliktedir.

Katılımcıların gelir seviyesi arttıkça sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanının da arttığı görülmektedir. Ancak gelir durumu ile toplam ölçek puanı arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Engin & Sevim (2022)'in lisans öğrencileri üzerinde yürüttüğü çalışmada gelir durumları ile sürdürülebilir beslenme davranış puanı arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir (Engin & Sevim, 2022). Beslenmenin sadece insan sağlığını değil aynı zamanda çevreyi de önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir. Gilg ve ark. (2005)'nin sürdürülebilir tüketicileri belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, gelir düzeyi düşük olan erkek katılımcıların çevreyi daha az önemseydiği bildirilmiştir.

### 3.4. Sürdürülebilir ve Sağlıklı Beslenme Davranışları Puanının BKİ Gruplarına Göre Karşılaştırılması

Sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları puanının BKİ gruplarına göre karşılaştırılmasına Tablo 4'te yer verilmiştir. Araştırmaya katılan öğrencilerin sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı zayıflarda  $116,4\pm 4,3$ ; normal vücut ağırlığındaki katılımcılarda  $117,9\pm 1,6$  ve hafif şişmanlarda  $116,7\pm 3,7$  'tir. Katılımcıların beden kütle indeksleriyle sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ( $p>0.05$ ).

Tablo 5. Sürdürülebilir ve Sağlıklı Beslenme Davranışları Puanının BKİ Gruplarına Göre Karşılaştırılması

Faktörler	Sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları puanı	
	Ort. $\pm$ ss.	Ölçek Puanı (n=342)
<b>BKİ Grupları</b>		<b>p</b>
Zayıf	116,4 $\pm$ 4,3	,900
Normal	117,9 $\pm$ 1,6	
Hafif Şişman	116,7 $\pm$ 3,7	

Bu çalışmada, beden kütle indeksleriyle sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme davranışları ortalama puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Benzer olarak Özüpek & Arslan (2021)'in Beslenme ve Diyetetik Bölümünde okuyan 190 öğrenci üzerinde yürüttüğü çalışmada genel beslenme bilgi puanının toplamı ile BKİ değerleri arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı belirtilmiştir (Özüpek & Arslan, 2021). Atar (2021)'in çalışmasında ise sürdürülebilir beslenme bilgi düzeyi yüksek olan katılımcıların, BKİ değerlerine bakıldığında normal aralıkta veya zayıf oldukları belirtilmiştir (Atar, 2021). Bu çalışma, Özüpek & Arslan (2021)'in yaptığı çalışmanın sonuçları ile benzerlik gösterirken, Atar (2021)'in yaptığı çalışmanın sonuçları ile farklılık göstermektedir.

Artan dünya nüfusu ile mevcut gıda kaynaklarının durumu ve çeşitli çevresel sorunlar göz önünde bulundurulduğunda, sürdürülebilir gıda tüketiminin önemi giderek artmaktadır. Hem bireysel hem çevresel açıdan daha yaşanılabilir bir dünya ancak genç yaşlarda kazanılan sağlıklı ve sürdürülebilir beslenme alışkanlıklarının gelecek nesillere aktarılması ile mümkün olacaktır. Literatürde sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme ile ilgili yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme kavramının daha iyi anlaşılması için hem farklı özellikteki gruplarda hem de daha yüksek sayıdaki popülasyonlarda yapılacak olan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada katılımcıların cinsiyeti, sınıfı, yaşanan yer, gelir durumu, BKİ değerleri, öğün sayısı, ile sürdürülebilir ve sağlıklı yeme davranışları arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuç olarak katılımcıların incelenen parametrelerle Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları ölçeği ve faktörleriyle arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

## 5. Teşekkür

Verilerin analizi kısmında desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Halime AYDEMİR ve Öğr. Gör. Muhammed KÖSTEKÇİ'ye teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Alarcon, B., & Gerritsen, E. (2014). On our plate today: healthy, sustainable food choices. *LiveWell for LIFE*, 1-63.
- Arslan, S. A., Daşkapan, A., & Çakır, B. (2016). Üniversite öğrencilerinin beslenme ve fiziksel aktivite alışkanlıklarının belirlenmesi. *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 15(3), 171-180.
- Atar, A. (2021). *Kurumsal şirket çalışanlarının sürdürülebilir beslenme hakkındaki bilgi, tutum ve davranışlarının değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Burlingame, B., & Dernini, S. (2010). Sustainable diets and biodiversity. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 7-8.
- Coff, C., Korthals, M., & Barling, D. (2008). Ethical traceability and informed food choice. *Ethical traceability and communicating food*, 1-18.
- Demir, H. (2019). *Üniversite öğrencilerinin duygusal yeme davranışı ile antropometrik ölçümler arasındaki ilişkinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi].
- Engin, Ş., & Sevim, Y. (2022). Lisans Öğrencilerinin Sürdürülebilir Beslenme Hakkındaki Davranışları ve Bilgi Düzeyleri ile Besin Tercihleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Tek Merkezli Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 259-269.
- Erdoğan, N., Çıtar, E., Köksal, E. & Bilici, S. (2019). *Üniversite Öğrencilerinde Beslenme Davranışlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem: Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışları Ölçeği*. 1.Uluslararası Sürdürülebilir Yaşam Kongresi.
- Filazıoğlu, E. (2021). *18-30 Yaş Aralığındaki Sosyal Medya Kullanan Üniversite Öğrencilerinin Sürdürülebilir ve Sağlıklı Yeme Davranışlarının Değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimler Enstitüsü].
- Foley, J. A. (2011). Can we feed the world sustain the planet?. *Scientific American*, 305(5), 60-65.
- Gilg, A., Barr, S., & Ford, N. (2005). Green consumption or sustainable lifestyles? Identifying the sustainable consumer. *Futures*, 37(6), 481-504.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327(5967), 812-818.
- Kayak, S. (2023). *Aile sağlığı merkezi çalışanlarının sürdürülebilir beslenme hakkında bilgi, tutum, davranışlarının ve diyet kalitelerinin değerlendirilmesi: Kırklareli il merkezi örneği* [Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., & Ward, P. J. (2012). Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *Science of the total environment*, 438, 477-489.
- Macdiarmid, J. I. (2013). Is a healthy diet an environmentally sustainable diet?. *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(1), 13-20.
- Marjorie, A.P. (1997). Nonparametric statistic for health care research: Statistic for small samples and unusual distributions. London: Sage Public.
- Özakar Akça, S., & Selen, F. (2015). Üniversite öğrencilerinin öğün atlamaları ve günlük fiziksel aktivitelerinin beden kütle indeksi (BKİ) üzerine etkisi. *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 14(5), 394-400.
- Özdoğan, Y., Yardımcı, H., Özçelik, A. Ö., & Sürücüoğlu, M. S. (2012). Üniversite öğrencilerinin öğün düzenleri. *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 29(1), 67-74.
- Özüpek, G., & Arslan, M. (2021). Sürdürülebilir Beslenme Davranışları İle Beslenme Bilgi Düzeyi Ve Beden Kütle İndeksi İlişkisinin İncelenmesi. *Gevher Nesibe Journal Of Medical And Health Sciences*, 6(14), 68-79.
- Reisch, L., Eberle, U., & Lorek, S. (2013). Sustainable food consumption: an overview of contemporary issues and policies. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 9(2), 7-25.
- Stephens, J. D., Althouse, A., Tan, A., & Melnyk, B. M. (2017). The role of race and gender in nutrition habits and self-efficacy: Results from the young adult weight loss study. *Journal of obesity*, 2017, 1-6.
- Tekinbaş Özkaya, F., Durak, M. G., Doğan, O., Bulut, Z. A., & Haas, R. (2021). Sustainable consumption of food: Framing the concept through Turkish expert opinions. *Sustainability*, 13(7), 3946.
- Yolcuoğlu, İ. Z. (2020). *Beslenme eğitiminin diyet kalitesi ile sürdürülebilir ve sağlıklı yeme davranışları üzerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Yolcuoğlu, İ. Z., & Kızıltan, G. (2021). Beslenme eğitiminin diyet kalitesi, sürdürülebilir beslenme ve yeme davranışları üzerine etkisi. *Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi-BÜSBİD*, 6(1).
- Żakowska-Biemans, S., Pieniak, Z., Kostyra, E., Gutkowska, K. (2019). Searching for a Measure Integrating Sustainable and Healthy Eating Behaviors. *Nutrients*, 11(1), 95.



# Diyabet Tahmininde Geleneksel Yöntemlerin Analizi ve Değerlendirilmesi

Hayriye Tanyıldız<sup>1\*</sup>, Canan Batur Şahin<sup>2</sup>, Özlem Batur Dinler<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Computer Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6300-9016), hayriye.tanyildiz@tedas.gov.tr

<sup>2</sup> Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Computer Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2131-6368), canan.batur@ozal.edu.tr

<sup>3</sup> Siirt University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Siirt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2955-6761), o.b.dinler@siirt.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 30 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439913)

**ATIF/REFERENCE:** Tanyıldız, H., Batur Şahin, C., Batur Dinler, Ö. (2023). Alysis and Evaluation of Conventional Methods for Diabetes Prediction. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 220-233.

## Öz

Dünya çapında milyonlarca insanı etkileyen kronik bir hastalık olan diyabet, vücudun kan şekeri düzeylerini etkili bir şekilde yönetememesiyle karakterize edilir. Kontrol edilmezse veya uygun şekilde yönetilmezse, bu durum kalp hastalığı, felç, böbrek yetmezliği ve hatta körlük gibi ciddi sonuçlara yol açabilir. Genetik ve yaşam tarzı faktörlerinin karşılıklı etkileşimi nedeniyle, diyabet insidansı artmakta ve diyabet acil müdahale gerektiren önemli bir küresel sağlık sorunu olarak konumlanmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), diyabetin küresel prevalansının 1980'den bu yana neredeyse iki katına çıktığını ve yetişkin nüfusta %4,7'den %8,5'e yükseldiğini bildirmektedir. Bu artış, hastalığın erken teşhisine ve etkin yönetimine yönelik stratejilerin aciliyetini ve önemini vurgulamaktadır. Böyle bir halk sağlığı sorunu karşısında sağlık hizmetleri bu salgınla mücadele için teknolojik gelişmelerden yardım istemektedir. Sağlık hizmetlerinde en umut verici teknolojik sınırlar arasında, çok büyük miktarda veriyi analiz edebilen, kalıpları tanımlayabilen ve sonuçları tahmin edebilen yapay zekanın (AI) bir alt kümesi olan Makine Öğrenimi (ML) yer alıyor. Makine öğrenimi, hasta sağlığına ilişkin değerli içgörüler sağlayarak, tedavi kararlarını bildirerek ve hatta bir kişinin gelecekte hastalığa yakalanma riskini tahmin ederek diyabet yönetiminde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Bu teknoloji, doğru kullanılırsa diyabetle mücadelede oyunu değiştirebilir. Bu bağlamda, diyabet riskini tahmin etmek için geleneksel sınıflandırıcı yöntemlerin kullanılması uygulanabilir ve etkili bir yaklaşım gibi görünmektedir. Bu yöntemler gelişmeye devam ettikçe, bu kronik hastalığın erken teşhisi ve etkili tedavisinde önemli bir rol oynamakta ve diyabet risk tahmininin doğruluğunu ve kesinliğini artırma sözü vermektedir.

Bu yazıda, diyabeti tahmin etmek için geleneksel sınıflandırıcı yöntemlerin nasıl kullanıldığını, bu teknolojinin hastalık teşhisindeki etkilerini ve gelişen bu alanın gelecekteki potansiyelini inceleyeceğiz.

**Anahtar Kelimeler:** Diyabet, Yapay zeka, Sınıflandırıcılar, Makine Öğrenmesi, Tahmin.

## Analysis and Evaluation of Conventional Methods for Diabetes Prediction

### Abstract

Diabetes, a chronic disease that affects millions of people worldwide, is characterized by the body's inability to manage blood sugar levels effectively. If left unchecked or not managed properly, this condition can lead to serious consequences such as heart disease, stroke, kidney failure, and even blindness. Due to the interplay of genetic and lifestyle factors, the incidence of diabetes is increasing, positioning it as a significant global health problem requiring urgent attention.

The World Health Organization (WHO) reports that the global prevalence of diabetes has nearly doubled since 1980, rising from 4.7% to 8.5% in the adult population. This increase highlights the urgency and importance of strategies aimed at early diagnosis and effective management of the disease. In the face of such a public health problem, health services seek help from technological developments to combat this epidemic. Among the most promising technological frontiers in healthcare is Machine Learning (ML), a subset of artificial intelligence (AI) that can analyze vast amounts of data, identify patterns and predict outcomes. Machine learning

\* Sorumlu Yazar: [hayriye.tanyildiz@tedas.gov.tr](mailto:hayriye.tanyildiz@tedas.gov.tr)

has the potential to revolutionize diabetes management by providing valuable insights into patient health, informing treatment decisions, and even predicting a person's risk of developing the disease in the future. This technology, if used properly, could change the game in the fight against diabetes. In this context, the use of traditional classifier methods to estimate diabetes risk seems to be a viable and efficient approach. As these methods continue to evolve, they play an important role in the early detection and effective treatment of this chronic disease, promising to increase the accuracy and precision of diabetes risk estimation.

In this article, we will examine how traditional classifier methods are used to predict diabetes, the implications of this technology for disease diagnosis, and the future potential of this evolving field

**Keywords:** Diabetes, Artificial Intelligence, Classifiers, Machine Learning, Prediction.

## 1. Giriş

The increasing global prevalence of diabetes indicates an urgent need for advanced diagnostic and predictive tools. Currently, more than 537 million adults worldwide are living with diabetes, and this figure is predicted to increase to 784 million by 2045 [1]. Among the reasons for the increase in the number of diabetes are physical inactivity, unhealthy diet, and excessive stress factors due to urbanization.

The effects of diabetes are enormous and if left untreated, it can lead to serious complications such as kidney failure and blindness. The most important thing about diabetes is that it is often not diagnosed until complications arise. This delay in diagnosis is due to the insidious nature of the disease. Given these circumstances, the ability to predict diabetes risk and facilitate early detection is crucial.

In the last few decades, advances in technology have opened up new ways to predict and diagnose diabetes. Machine Learning (ML), a subset of artificial intelligence, has emerged as a powerful tool in healthcare due to its ability to process large datasets and identify patterns. Thanks to its capacity to include a wide variety of risk factors and to discern the complex relationships between them, it holds great promise in predicting disease risk, including diabetes. This article aims to explore how various classifier techniques can be used for diabetes risk estimation. The goal is to provide insight into how these techniques could potentially save millions of lives and significantly reduce the healthcare burden by enabling the early detection of diabetes.

In this research study conducted on the Pima Indian Diabetes (PID) dataset collection [13], a prediction accuracy of 82% was achieved using the Hidden Naïve Bayes classifier.

In study [14], 67% accuracy rate was obtained by using Random Forest algorithm on Pima dataset.

In this study for diabetes diagnosis [15], they presented an automated diagnostic system for diabetes on Linear Discriminant Analysis (LDA) and Morlet Wavelet Support Vector Machine Classifier (LDA-MWSVM).

In [16], obtained 44.12% accuracy with the Cosine KNN algorithm in their study to find the presence of diabetes using the Intermediate K-NN (K-Nearest Neighbor) and Cosine. The results show that accuracy success grows proportionally as the amount of sampling and the proportions of the training dataset increase.

In this study [14] detailed the investigations of CNN, CNN-LSTM, ConvLSTM and deep 1D convolutional neural network (DCNN) techniques for early diagnosis of diabetes and proposed a SMOTE-based deep LSTM method for diabetes prediction.

In [18], they used various Machine Learning techniques such as SVM, DT, KNN, Random Forest, Logistic Regression and Gradient Boosting and obtained 77 percent accuracy using the RF algorithm.

In the study [20], a framework was proposed for diabetes prediction that outperforms the different Machine Learning (ML) classifiers (k-nearest Neighbour, Decision Trees, Random Forest, AdaBoost, Naïve Bayes, and XGBoost) and Multilayer Perceptron (MLP) methods. The proposed ensembling classifier outperforms the best results of the state-of-the-art results.

In a study [27], A and his colleagues used artificial neural networks to predict whether a person is diabetic or not. They predicted it with 87.3% accuracy.

In [28], In their study with the model they created with three different algorithms: Logistic Regression, Support Vector Machines and Random Forest, a and her colleagues achieved the highest accuracy value of 84% in the Random forest algorithm.

Machine learning techniques were used for the purpose of detecting diabetes in the current research. Thus, different machine learning-based classification algorithms, such as decision tree, SVM, AdaBoost, random forest, gradient boosting machines, KNN, XGBoost, CatBoost, light gradient boosting machine, linear discriminant analysis, Naïve Bayes, stochastic gradient descent, and quadratic discriminant analysis techniques, were employed. Afterward, the performance of the above-mentioned classifiers was assessed concerning precision, sensitivity, specificity, FPR, FDR, FNR, and F1 measures.

The novelty of this work is to apply an automated diabetes prediction to a dataset collected by the National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases using machine learning techniques. In this study, we analyze large-scale machine learning techniques for the first time with approaches and measurement metrics not available in any other recent study.

The remaining part of the current work has the following organization. An explanation of the Material and methods is contained in Part 2. Part 3 describes the Application Results. Part 4 summarizes the conclusion and future research.

## 2. Materyal ve Metot



In this section, the machine learning methods used in the study to predict diabetes are examined. In this study, 13 different classification methods were used to predict diabetes. The software was developed using the Python programming language and the Colab editor

## **2.1. Decision Tree**

The decision tree represents a popular machine computer, which is capable of analyzing a set of decision management configuration datasets. It is a tree-structured classifier, in which internal nodes refer to a dataset's features, branches refer to the decision rules, and every leaf node refers to the outcome. In decision trees, the start is at the tree's root for predicting a record's class label. The values of the root attribute are compared to the record's attribute. The purpose is to establish a model predicting a target variable's value as a result of learning simple decision rules obtained from data features. The said rules are organized in a tree-like model in which every feature forms a decision node.

## **2.2. Support Vector Machine (SVM)**

The purpose of this algorithm is to provide the most effective division by creating numerous vectors to separate data belonging to two different classes in a linear or non-linear way. This method, which is especially preferred in large data sets, makes it possible to get fast results. In addition, the ability to separate the data in linear or non-linear forms and the ability to find the best option among the infinite decomposition possibilities available has provided high accuracy results [7].

## **2.3. AdaBoost**

The ensemble, which is formed by the combination of individual students and naturally their decisions, is called collective learning. In general, classification success in collective learning applications is higher than in single learning. AdaBoost is among the most used boosting algorithms and was first proposed by Freund and Schapire [19].

## **2.4. Random Forest**

Collective learning is the combination of individual students and naturally their decisions. In general, classification success in collective learning applications is higher than in single learning. Random forest represents a classifier, which includes a number of decision trees in different subsets of the particular dataset and averages the said dataset with the objective of enhancing the prediction accuracy. The concept of ensemble learning, which represents the process of combining multiple classifiers for the solution of a complex problem and enhancing the model's performance, constitutes its basis [2].

## **2.5. Gradient Boosting Machines (GBM)**

Gradient Boosting Machines (GBM) is a limitation by training a group of decision-making tree classifiers iteratively and aiming to optimize over a long period of time and reveal a powerful classifier [11]. Hiding GBM has the potential to provide high accuracy at the limits of generalization. Gradient boosting represents a powerful boosting algorithm combining a number of weak learners into strong ones, in which every novel model is trained using gradient descent with the objective of minimizing the loss function, e.g., the mean square error or cross-entropy of the previous model. At every iteration, the algorithm computes the loss function's gradient on the basis of the present group's estimates, following which it trains a novel weak model for the purpose of minimizing the gradient in question. Afterward, the novel model's predictions are added to the community, and the process is repeated until meeting a stopping criterion.

## **2.6. The K-Nearest Neighbor (KNN)**

The Nearest Neighbor (kNN) algorithm was first proposed in the early 1950s. KNN algorithm draws attention, especially with its low computational cost and complexity. Therefore, it did not gain popularity until computing power became available. One of the supervised learning methods, the k Nearest Neighbor algorithm is a versatile algorithm that can be used both in classification and regression. To define it in its simplest form, the data of an unknown class is compared with other data in the training set and a distance measurement is made. According to the calculated distance, the most optimal class is found for the data that has not yet been assigned to a class [10].

## **2.7. XGBoost**

XGBoost is a high-performance and effective gradient boosting library. Gradient boosting is a machine learning technique that usually combines a set of predictions of simple models (weak learners) such as decision trees. The new model attempts to correct the errors of the previous model, so that it creates a series of models and then combines them to form a result [3].

## **2.8. CatBoost**

CatBoost is a Gradient Boosted Decision Tree (GBDT) algorithm that quickly processes categorical features. Unlike deep learning models, it can achieve effective results without the need for large datasets. This is a high-performance, easy-to-use algorithm that automatically processes categorical data. While traditional GBDT algorithms process categorical features in the preprocessing stage, CatBoost handles these features throughout the training process. Although there are different methods for using categorical features in gradient boosting, these methods may lead to deviations in estimates [4].

## **2.9. Light Gradient Boosting Machine**

Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) is a type of gradient boosting method, and the term light refers to the lightweight version of this method, which is claimed to make the gradient boosting framework using tree-based learning methods faster, distributed, high-performance and efficient. It has the advantage of being able to process large-scale datasets and offer faster training times [12].

### 2.10. Linear Discriminant Analysis (LDA)

Linear Discriminant Analysis (LDA) is a method that allows dividing the  $p$  features in the  $X$  data set into two or more real groups, and it ensures that the newly observed units are correctly assigned to the determined classes through the determined differential functions [5].

### 2.11. Naive Bayes

Naive Bayesian classifier is a simple probability classification that calculates a set of probabilities by quantifying the given dataset's frequency and combination of values [6]. The advantage of the Naive Bayes Classifier is that it can work quickly when applied to large and diverse data.

### 2.12. Stochastic Gradient Descent (SGD)

The Stochastic Gradient Descent (SGD) algorithm only considers a randomly selected sample, instead of using all the training data, while changing the weight values when classifying. This algorithm, in which a single point is examined, makes it possible to obtain faster results. In alternative terms, the SGD algorithm only processes a randomly selected sample instead of going through the entire training set to adjust the weight values during the classification process. This one-point focus approach allows the algorithm to produce results faster [8].

### 2.13. Quadratic Discriminant Analysis (QDA)

Quadratic Discriminant Analysis (QDA) is better known for providing classification and size reduction. As the name suggests, QDA is often used as a dimensionality reduction technique and a classifier. It is a variant of linear discriminant analysis (LDA), whereas QDA can only serve as a classifier [9].

## 3. Application Results

### 3.1. Dataset

This dataset, originally collected by the National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, has been published online with the objective of diagnostically predicting whether a patient has diabetes, based on certain diagnostic measurements included in the dataset[26]. The dataset is comprised of two classes, labeled as 1 for "Diabetes" and 0 for "Non-Diabetes".

There are 154 records in the dataset. Out of these records, 99 are not diagnosed with diabetes, and 55 are diagnosed with diabetes.

In the partitioning of the dataset, considering the principle that models' discovery and adaptation abilities will increase due to the expansion of the search space with fundamental understanding and maximum resource utilization[29], the dataset has been divided into 80% training data and 20% test data.

Table 1. Dataset Description

Number	Attribute	Description
1	Pregnancies	Number of times pregnant
2	Glucose	Plasma glucose concentration a 2 hours in an oral glucose tolerance test
3	BloodPressure	Diastolic blood pressure (mm Hg)
4	SkinThickness	Triceps skin fold thickness (mm)
5	Insulin	2-Hour serum insulin (mm U/ml)
6	BMI	Body mass index
7	DiabetesPedigreeFunction	Diabetes pedigree function
8	Age	Ager (years)
9	Outcome	Class variable (0 or 1)

To classify the dataset, we employed a variety of classifiers including SVM, LightGBM, CatBoost, Random Forest, Decision Tree, XGBOOST, Gradient Boosting Machines, Stochastic Gradient Descent, Naïve Bayes, Quadratic Discriminant Analysis, KNN, and Linear Discriminant Analysis. We allocated 80% of the maternal health risk data set for training purposes, reserving the remaining 20% for testing. The data, classified via six distinct classifiers, was analysed to determine the confusion matrix and accuracy ratio.

The first model used in the study to predict maternal risk health is the Decision Tree. The confusion matrix of the Decision Tree method is given in Figure 1.

0	77	22
1	26	29
	0	1

Figure 1. Confusion Matrix of Decision Tree

Meta Parameters used in the Decision Tree classifier is shown in Table 2

Table 2. Meta Paramaters of Decision Tree

<b>criterion</b>	gini
<b>splitter</b>	best
<b>max_depth</b>	None
<b>min_samples_split</b>	2
<b>min_samples_leaf</b>	1
<b>min_weight_fraction_leaf</b>	0.0
<b>max_features</b>	None
<b>random_state</b>	1

In Figure 1, the Decision Tree model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 68.83% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Decision Tree classifier correctly predicted 103 and incorrectly identified 22. When looking at the 99 non-diabetic samples, 77 were accurately categorized, but 22 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 26 were incorrectly labeled, while 29 were accurately identified. The performance measurement metrics of the Decision Tree method are presented in Table 15.

The confusion matrix of the SVM Classifier is shown in Figure 2.

0	92	7
1	23	32
	0	1

Figure 2. Confusion Matrix of SVM

Meta Parameters used in the SVM classifier is shown in Table 3

Table 3. Meta Paramaters of SVM

<b>C</b>	1.0
<b>kernel</b>	rbf
<b>gama</b>	scale
<b>probability</b>	False
<b>tol</b>	1e-3
<b>cache_size</b>	200
<b>verbose</b>	False
<b>Max_iter</b>	-1

In Figure 2, the SVM model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 80.52% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the SVM classifier correctly predicted 124 and incorrectly identified 30. When looking at the 99 non-diabetic samples, 92 were accurately categorized, but 22 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 23 were incorrectly labeled, while 32 were accurately identified. The performance measurement metrics obtained in the SVM are presented in Table 15.

The confusion matrix of the AdaBoost Classifier is shown in Figure 3.

0	85	14
1	18	37
	0	1

Figure 3. Confusion Matrix of AdaBoost

Meta Parameters used in the AdaBoost classifier is shown in Table 4

Table 4. Meta Parameters of AdaBoost

<b>C base_estimator</b>	DecisionTreeClassifier(max_depth=1)
<b>n_estimators</b>	50
<b>learning_rate</b>	1.0
<b>algorithm</b>	SAMME.R
<b>random_state</b>	1

In Figure 3, the AdaBoost model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 79.22% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the AdaBoost classifier correctly predicted 122 and incorrectly identified 32. When looking at the 99 non-diabetic samples, 85 were accurately categorized, but 14 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 18 were incorrectly labeled, while 37 were accurately identified. The performance measurement metrics obtained in the AdaBoost are presented in Table 15.

The confusion matrix obtained in the Random Forest Classifier is shown in Figure 4.

0	92	7
1	12	43
	0	1

Figure 4. Confusion Matrix of Random Forest

Meta Parameters used in the Random Forest classifier is shown in Table 5

Table 5. Meta Paramaters of Random Forest

<b>n_estimators</b>	100
<b>random_state</b>	1

In Figure 4, the Random Forest model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 87.66% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Random Forest classifier correctly predicted 136 and incorrectly identified 19. When looking at the 99 non-diabetic samples, 92 were accurately categorized, but 7 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 12 were incorrectly labeled, while 43 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Random Forest model are outlined in Table 15.

The confusion matrix obtained in the Gradient Boosting Machines classifier is shown in Figure 5.

0	91	8
1	16	39
	0	1

Figure 5. Confusion Matrix of Gradient Boosting Machines

Meta Parameters used in the Gradient Boosting Machines classifier is shown in Table 6

Table 6. Meta Paramaters of SVM

<b>loss</b>	deviance
<b>Learning_rate</b>	0.1
<b>n_estimators</b>	100
<b>subsample</b>	1.0
<b>criterion</b>	friedman_mse
<b>min_samples_split</b>	2
<b>min_samples_leaf</b>	1
<b>min_weight_fraction_leaf</b>	0.0

In Figure 6, the Gradient Boosting Machines model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 84.42% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Gradient Boosting Machines classifier correctly predicted 130 and incorrectly identified 24. When looking at the 99 non-diabetic samples, 91 were accurately categorized, but 8 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 16 were incorrectly labeled, while 39 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Gradient Boosting Machines model are outlined in Table 15.

The confusion matrix obtained in the KNN classifier is shown in Figure 6.

0	90	9
1	21	34
	0	1

Figure 6. Confusion Matrix of KNN



Meta Parameters used in the KNN classifier is shown in Table 7

Table 7. Meta Paramaters of KNN

<b>n_neighbors</b>	5
--------------------	---

In Figure 6, the KNN model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 79.97% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the KNN classifier correctly predicted 124 and incorrectly identified 30. When looking at the 99 non-diabetic samples, 90 were accurately categorized, but 9 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 21 were incorrectly labeled, while 34 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Gradient Boosting Machines model are outlined in Table 15.

The confusion matrix obtained in the XGBOOST classifier is shown in Figure 7.

0	81	18
1	20	35
	0	1

Figure 7. Confusion Matrix of XGBOOST

Meta Parameters used in the XGBOOST classifier is shown in Table 8

Table 8. Meta Paramaters of XGBOOST

<b>max_depth</b>	6
<b>n_estimators</b>	100
<b>learning_rate</b>	0.3
<b>objective</b>	binary:logistic
<b>booster</b>	1 gbtree

In Figure 7, the Xgbost model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 75.32% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Xgbost classifier correctly predicted 126 and incorrectly identified 30. When looking at the 99 non-diabetic samples, 81 were accurately categorized, but 18 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 20 were incorrectly labeled, while 35 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Xgboost model are outlined in Table 15.

The confusion matrix obtained in the Catboost classifier is shown in Figure 8.

0	87	12
1	19	36
	0	1

Figure 8 Confusion Matrix of CATBOOST

Meta Parameters used in the CATBOOST classifier is shown in Table 9

Table 9. Meta Paramaters of CATBOOST

<b>iterations</b>	100
<b>depth</b>	6
<b>learning_rate</b>	0.03
<b>l2_leaf_reg</b>	3
<b>booster</b>	254
<b>verbose</b>	500
<b>Od_type</b>	IncToDec

In Figure 8, the Catboost model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 79.87% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Catboost classifier correctly predicted 133 and incorrectly identified 31. When looking at the 99 non-diabetic samples, 87 were accurately categorized, but 12 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 19 were incorrectly labeled, while 36 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Catboost model are outlined in Table 15.

The confusion matrix of the LightGBM Classifier is shown in Figure 10.

0	83	16
1	20	35
	0	1

Figure 9 Confusion Matrix of LightGBM

Meta Parameters used in the LightGBM classifier is shown in Table 10

Table 10. Meta Paramaters of LightGBM

<b>boosting_type</b>	gbdt
<b>num_leaves</b>	31
<b>learning_rate</b>	0.1
<b>n_estimators</b>	100
<b>subsample</b>	1.0

In Figure 9, the LightGBM model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 76.62% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the LightGBM classifier correctly predicted 138 and incorrectly identified 36. When looking at the 99 non-diabetic samples, 83 were accurately categorized, but 16 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 20 were incorrectly labeled, while 35 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the LightGBM model are outlined in Table 15.

The confusion matrix of the Naïve Bayes Classifier is shown in Figure 10.

0	85	14
1	21	34
	0	1

Figure 10. Confusion Matrix of Naïve Bayes

Meta Parameters used in the Naïve Bayes classifier is shown in Table 11

Table 11. Meta Paramaters of Naïve Bayes

<b>priors</b>	None
<b>var_smoothing</b>	1e-9

In Figure 10, the Naïve Bayes model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 77.27% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Naïve Bayes classifier correctly predicted 129 and incorrectly identified 35. When looking at the 99 non-diabetic samples, 85 were accurately categorized, but 14 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 21 were incorrectly labeled, while 34 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Naïve Bayes model are outlined in Table 15.

The confusion matrix of the Linear Discriminant Analysis (LDA) Classifier is shown in Figure 11.

0	89	10
1	24	31
	0	1

Figure 11. Confusion Matrix of LDA

Meta Parameters used in the LDA classifier is shown in Table 12

Table 12. Meta Paramaters of LDA

<b>priors</b>	None
<b>n_components</b>	min(n_classes - 1, n_features)
<b>store_covariance</b>	True
<b>tol</b>	0.0001
<b>store_covariance</b>	False

In Figure 11, the Linear Discriminant Analysis model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 77.92% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Linear Discriminant Analysis classifier correctly predicted 120 and incorrectly identified 34. When looking at the 99 non-diabetic samples, 89 were accurately categorized, but 10 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 24 were incorrectly labeled, while 31 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Linear Discriminant Analysis model are outlined in Table 15.

The confusion matrix of the Stochastic Gradient Descent (SGD) Classifier is shown in Figure 12.

0	70	29
1	37	18
	0	1

Figure 12. Confusion Matrix of SGD

Meta Parameters used in the SGD classifier is shown in Table 13

Table 13. Meta Parameters of SGD

<b>penalty</b>	12
<b>reg_param</b>	0
<b>shuffle</b>	True
<b>tol</b>	1e-3

In Figure 12, the Stochastic Gradient Descent model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 57.14% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Stochastic Gradient Descent Analysis classifier correctly predicted 120 and incorrectly identified 34. When looking at the 99 non-diabetic samples, 70 were accurately categorized, but 29 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 37 were incorrectly labeled, while 18 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Linear Discriminant Analysis model are outlined in Table 15.

The confusion matrix of the Quadratic Discriminant Analysis (QDA) Classifier is shown in Figure 13.

0	83	16
1	24	31
	0	1

Figure 13. Confusion Matrix of QDA

Meta Parameters used in the ODA classifier is shown in Table 14

Table 14. Meta Parameters of ODA

<b>priors</b>	None
<b>reg_param</b>	0
<b>store_covariance</b>	True
<b>tol</b>	1.0e-4

In Figure 13, the Quadratic Discriminant Analysis model's confusion matrix was analyzed, yielding an accuracy score of 74.03% when assessing the test data. Out of the 154 data points set aside for testing, the Quadratic Discriminant Analysis classifier correctly predicted 114 and incorrectly identified 40. When looking at the 99 non-diabetic samples, 83 were accurately categorized, but 16 were misinterpreted as being diabetic. Of the 55 diabetic samples, 24 were incorrectly labeled, while 31 were accurately identified. The performance evaluation indicators garnered from the Quadratic Discriminant Analysis model are outlined in Table 15.

Table 16 presents the accuracy results from the six classifiers used in the study.

Table 16 shows the accuracy rates of various classifiers for diabetes prediction. Accuracy metric was used to measure the performance of each classifier on the data set. Accuracy is defined as the ratio of the model's correct predictions to the total predictions.

Looking at Table 16, we see that the Random Forest classifier has the highest accuracy rate of 87.66%. This indicates that the Random Forest model outperforms other classifiers in this particular diabetes prediction task. However, the Gradient Boosting Machines, KNN, and SVM classifiers also perform quite well, with an accuracy rate of over 80%. Gradient Boosting Machines classifier has the second highest accuracy with 84.42, while KNN and SVM are third with 80.52%. On the other hand, the SGD classifier had the lowest accuracy rate of 57.14%, outperforming other classifiers in this task

Table 15. Performance metrics (%).

	Accuracy	Precision	Sensitivity	Specificity	FPR	FDR	FNR	F1
<b>Decision Tree</b>	68.83	77.78	74.76	56.86	43.14	22.22	25.24	76.24
<b>SVM</b>	80.52	92.93	80.00	82.05	17.95	7.07	20	85.98
<b>AdaBoost</b>	79.22	85.86	82.52	72.55	27.45	14.14	17.48	76.24
<b>Random Forest</b>	87.66	92.93	88.46	86.00	14.00	07.07	11.54	90.64
<b>Gradient Boosting M.</b>	84.42	91.92	85.05	82.98	17.02	08.08	14.95	88.35
<b>KNN</b>	80.52	88.89	81.48	76.09	23.91	11.11	18.52	85.02
<b>XGBOOST</b>	75.32	81.82	80.20	66.04	33.96	18.18	19.80	81.00
<b>CATBOOST</b>	79.87	87.88	82.08	75.00	25.00	12.12	17.92	84.88
<b>LightGBM Classifier</b>	76.62	83.84	80.58	68.63	31.37	16.16	19.92	82.18
<b>Naïve Bayes Classifier</b>	77.27	85.86	80.19	70.83	29.17	14.14	19.81	82.93
<b>LDA Classifier</b>	77.92	89.90	78.76	75.61	24.39	10.10	21.24	82.96
<b>SGD Classifier</b>	57.14	70.71	65.42	38.30	61.70	29.29	34.58	67.96
<b>QDA Classifier</b>	74.03	83.84	77.57	65.96	34.04	16.16	22.43	80.58

Table 16. Accuracy rates of classifiers (%)

<b>Decision Tree</b>	<b>LightGBM</b>	<b>CatBoost</b>	<b>Random Forest</b>	<b>Gradient Boosting Machines</b>	<b>KNN</b>
<b>68.83</b>	76.62	79.87	87.66	84.42	80.52
<b>QDA</b>	<b>SGD</b>	<b>Naïve Bayes</b>	<b>XGBOOST</b>	<b>AdaBoost</b>	<b>SVM</b>
<b>74.03</b>	57.14	77.27	75.32	79.22	80.52
<b>LDA</b>	-	-	-	-	-
<b>77.92</b>	-	-	-	-	-

## 4. Conclusions

Table 17. Comparison table of accuracy rates achieved by different models

<b>Study Reference</b>	<b>Algorithm/Model Used</b>	<b>Accuracy Rate(%)</b>
[13]	Naïve Bayes	82
[14]	Random Forest	67
[16]	CosineKNN-IntermediateKNN	44.12
[18]	Random Forest	77
[27]	Artificial Neural Networks	87.3
[28]	Random Forest	85
<b>Our Work</b>	<b>Random Forest</b>	<b>87.66</b>



The performance of models varies widely, from as low as 44.12% accuracy achieved with the Cosine KNN method in study [16] to as high as 87.3% in study [27] using artificial neural networks.

Random Forest seems to be a recurrent algorithm in multiple studies ([14], [18], [28]). It has showcased accuracy rates ranging between 67% to 84%, highlighting its robustness and reliability for this specific dataset.

The study [16], where the accuracy was found to be around 44.12% with the Cosine KNN algorithm, indicates that not all models are suitable for every type of data.

In this study, a problem that will help in the field of health care is discussed with different machine learning approaches. It is aimed to predict diabetes by analyzing using computer-based classifiers. Among the studied models, 87,66% accuracy value was obtained in Random Forest classifier. Considering the results of the models studied, it has been observed as a result of the results obtained that the users will be very helpful in detecting the diabetes risk at a very early stage.

In future studies, it is aimed to evaluate and analyze vital diseases such as diabetes with such approaches. With richer datasets, similar diseases will be evaluated and compared with deep learning approaches as well as machine learning approaches.

## 5. Acknowledge

The present paper does not include any research with human participants conducted by any of the authors.

## References

- [1] IDF Diabetes Atlas, "Diabetes around the world in 2021", Accessed 13.09.2023, <https://diabetesatlas.org/>.
- [2] Kalaycı, T. E. (2018). Kimlik hırsızları web sitelerinin sınıflandırılması için makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(5), 870-878.
- [3] Chen, T., Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining (pp. 785–794). ACM. doi: 10.1145/2939672.2939785.
- [4] Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. V., & Gulin, A. (2017). CatBoost: unbiased boosting with categorical features. arXiv preprint arXiv:1706.09516.
- [5] Karabrahimoglu, A. , Kara, Ü. , Kılıçoğlu, Ö. & Kara, Y. (2023). Prediction of absorption dose of radiation on Thorax CT imaging in geriatric patients with COVID-19 by classification algorithms . European Mechanical Science , 7 (2) , 89-98 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ems/issue/76070/1262875>.
- [6] Saritas, M.M., Yasar, A. (2019) Performance Analysis of ANN and Naive Bayes Classification Algorithm for Data Classification. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering 7(2), 88-91. (<https://doi.org/10.18201/ijisae.2019252786>).
- [7] Hsu, C.-W., Chang, C.-C., Lin, C.-J., 2010. A Practical Guide to Support Vector Classification. Department of Computer Science, National Taiwan University, Taipei, Taiwan 16.
- [8] Chandrashekhar, A.M., Raghuvver, K. (2014). Amalgamation of K-means Clustering Algorithm with Standard MLP and SVM Based Neural Networks to Implement Network Intrusion Detection System. In: Kumar Kundu, M., Mohapatra, D., Konar, A., Chakraborty, A. (eds) Advanced Computing, Networking and Informatics- Volume 2. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 28. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07350-7\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07350-7_31)
- [9] Chand, S., & Vishwakarma, V. P. (2022). Application of quadratic discriminant analysis algorithm for the classification of acute leukemia using microscopic image data. *Adv. Appl. Math. Sci.*, 21, 2737-2750.
- [10] Hu, L.Y., Huang, M.W., Ke, S.W., Tsai, C.F., (2016), "The Distance Function Effect on kNearest Neighbor Classification for Medical Datasets", Springer Plus, 5(1), 1-9.
- [11] Friedman J., Greedy function approximation: A gradient boosting machine, *Annals of Statistics*, 29, 1189-1232, 2001.
- [12] Sai, M.J., Chettri, P., Panigrahi, R. *et al.* An Ensemble of Light Gradient Boosting Machine and Adaptive Boosting for Prediction of Type-2 Diabetes. *Int J Comput Intell Syst* 16, 14 (2023). <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00184-y>
- [13] Al-Hameli, B., Alsewari, A., Basurra, S., Bhogal, J. & Ali, M. (2023). Diabetes disease prediction system using HNB classifier based on discretization method. *Journal of Integrative Bioinformatics*, 20(1), 20210037. <https://doi.org/10.1515/jib-2021-0037>.
- [14] Zou Q, Qu K, Luo Y, Yin D, Ju Y, Tang H. Predicting Diabetes Mellitus With Machine Learning Techniques. *Front Genet*. 2018 Nov 6;9:515. doi: 10.3389/fgene.2018.00515. PMID: 30459809; PMCID: PMC6232260.
- [15] Çalışır, D., & Doğanekin, E. (2011). An automatic diabetes diagnosis system based on LDA-Wavelet Support Vector Machine Classifier. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8311-8315.
- [16] Nirupama S, & Jenila Rani D. (2022). Analysis And Comparison Of Diabetic Prediction Using Medium KNN Classifier And Cosine KNN Classifier. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 386–394. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S04.043>.
- [17] Alex SA, Jhanjhi N, Humayun M, Ibrahim AO, Abulfaraj AW. Deep LSTM Model for Diabetes Prediction with Class Balancing by SMOTE. *Electronics*. 2022; 11(17):2737. <https://doi.org/10.3390/electronics11172737>
- [18] Nahzat, S. & Yağanoğlu, M. (2021). Diabetes Prediction Using Machine Learning Classification Algorithms. *European Journal of Science and Technology*, (24), 53-59.

- [19] Bulut, F. (2016). Determining Heart Attack Risk Ration Through AdaBoost/AdaBoost ile Kalp Krizi Risk Tespiti. *Celal Bayar University Journal of Science*, 12(3), 459-472.
- [20] M. K. Hasan, M. A. Alam, D. Das, E. Hossain and M. Hasan, "Diabetes Prediction Using Ensembling of Different Machine Learning Classifiers," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 76516-76531, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2989857.
- [21] Gayathri, S., Gopi, V.P. & Palanisamy, P. Diabetic retinopathy classification based on multipath CNN and machine learning classifiers. *Phys Eng Sci Med* 44, 639–653 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13246-021-01012-3>
- [22] Sharma, T., Shah, M. A comprehensive review of machine learning techniques on diabetes detection. *Vis. Comput. Ind. Biomed. Art* 4, 30 (2021). <https://doi.org/10.1186/s42492-021-00097-7>
- [23] T. Gupta, M. R. A T, R. C and R. Kumar M, "Diabetes Prediction using different Machine Learning Classifiers," 2023 2nd International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking Technologies (ViTECoN), Vellore, India, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ViTECoN58111.2023.10157531.
- [24] Tasin, I., Nabil, T. U., Islam, S., & Khan, R. (2023). Diabetes prediction using machine learning and explainable AI techniques. *Healthcare Technology Letters*, 10(1-2), 1-10. <https://doi.org/10.1049/htl2.12039>
- [25] Puneeth N. Thotad, Geeta R. Bharamagoudar, Basavaraj S. Anami, Diabetes disease detection and classification on Indian demographic and health survey data using machine learning methods, *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, Volume 17, Issue 1, 2023, 102690, ISSN 1871-4021, <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2022.102690>.
- [26] <https://www.kaggle.com/datasets/mathchi/diabetes-data-set/code>
- [27] El-Jerjawi, N.S., & Abu-Naser, S.S. (2018). Diabetes Prediction Using Artificial Neural Network.
- [28] D. Dutta, D. Paul and P. Ghosh, "Analysing Feature Importances for Diabetes Prediction using Machine Learning," *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, Vancouver, BC, Canada, 2018, pp. 924-928, doi: 10.1109/IEMCON.2018.8614871.
- [29] Gökalp, O. (2021). Performance evaluation of Heuristic and Metaheuristic Algorithms for Independent and Static Task Scheduling in Cloud Computing. *2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4.
- [30] Tanyıldız, H. & Batur Şahin, C. (2023). Transfer Learning for Detection of Casting Defects Model In Scope of Industrial 4.0 . *Türk Doğa ve Fen Dergisi* , 12 (3) , 45-51 . DOI: 10.46810/tdfd.1236584.
- [31] Şahin, C.B. (2023). Semantic-based vulnerability detection by functional connectivity of gated graph sequence neural networks. *Soft Comput* 27, 5703–5719 . <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07777-3>.
- [32] C. B. Şahin, (2021). DCW-RNN: Improving Class Level Metrics for Software Vulnerability Detection Using Artificial Immune System with Clock-Work Recurrent Neural Network," *2021 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, Kocaeli, Turkey, pp. 1-8, doi: 10.1109/INISTA52262.2021.9548609.



# Uzaktan Algılama, Yapay Zekâ ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri

Muhammet Fatih Çakmakçı<sup>1</sup>, Ramazan Çakmakçı<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8035-0278), [202151075005@ogr.akdeniz.edu.tr](mailto:202151075005@ogr.akdeniz.edu.tr)

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1354-1995), [rcakmakci@comu.edu.tr](mailto:rcakmakci@comu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 31 Temmuz 2023 ve Kabul Tarihi 27 Eylül 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439935)

**ATIF/REFERENCE:** Çakmakçı, M.F. & Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan Algılama, Yapay Zeka ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 234-246.

## Öz

Gelecek vadeden bir sektör olarak dijital tarım ve teknolojiler; verimliliği ve üretkenliği iyileştirmeye, biyolojik çeşitliliğin ve toprağın korunmasına, gıda güvenliğinin iyileştirilmesine, sağlık ve beslenmeye, iklim değişikliği ile mücadele ve kıt kaynaklar üzerindeki baskının azaltılmasına yardımcı olabilir. Akıllı tarımda nesnelerin interneti (Nİ), kablosuz sensör ağları (KSA), uzaktan algılama (UA), insansız hava araçları (İHA), büyük veri analitiği, makine öğrenmesi (MÖ), derin öğrenme (DÖ) ve yapay zekâ (YZ) kullanımı, tarım ve endüstrinin uzun ömürlü ve sürdürülebilir olması için kritik öneme sahiptir. Tarımda YZ ve MÖ, öncelikle verim tahmini, yabancı ot, hastalık, azot ve su stresi tespiti, ürün kalite özelliklerinin tespiti ve sınıflandırılması, bitki türlerinin tanımlanması ve sınıflandırılması gibi bitki yönetimi alanlarında kullanılacağı gibi evapotranspirasyon ve sıcaklık tahmini, toprak kurummasının değerlendirilmesi, toprak sıcaklığı, toprak nemi, sulama zamanı, miktarı ve optimizasyonunun belirlenmesi, toprakta karbon ve azot tahmini gibi toprak ve su yönetiminde öneriler sunabilir. Bu derlemede, tarımı daha verimli hale getirme ve sürdürülebilirlik için KSA, Nİ, YZ ve MÖ gibi temel teknolojiler kullanılarak bilginin algılanması, izlenmesi, toplanması, analiz edilmesi ve bilgilerden anlamlı öngörüler çıkarılarak tarımsal faaliyetlerde uygulanabilirliği tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay zekâ (YZ), Makine öğrenmesi (MÖ), Nesnelerin interneti (Nİ), Tarımsal uzaktan algılama (UA), Hassas tarım (HT).

## Remote Sensing, Artificial Intelligence and Smart Agriculture Technology Trends of the Future

### Abstract

As a promising sector, digital agriculture and technologies can help improve efficiency, productivity, and food security, protect biodiversity and soil, while also helping to improve food security, nutrition and health, combat climate change and reduce pressure on scarce resources. The use of the internet of things (IoT), wireless sensor networks (WSN), remote sensing (RS), unmanned aerial vehicles (UAVs), big data analytics (BDA), machine learning (ML), deep learning (DL) and artificial intelligence (AI) in smart agriculture is critical for the long-term viability and sustainability of agriculture and industry. In agricultural terms, AI and ML can be used in crop management areas such as yield prediction, weed, disease, nitrogen, and water stress detection, detection and classification of crop quality characteristics, and classification of plant species, as well as suggestions and insights can provided on water management and soil management such as estimation of evapotranspiration and temperature, evaluation of soil drying, estimation of soil temperature and soil moisture, determination of irrigation time, amount and optimization, and prediction of soil carbon and total nitrogen. In this review, its applicability in agricultural activities such as sensing, monitoring, collecting, analysing, and extracting meaningful insights from information by using basic technologies such as WSN, IoT, AI and ML to make agriculture more efficient and sustainable is discussed.

**Keywords:** Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), Internet of Things (IoT), Agricultural remote sensing (RS), Precision agriculture (PA).

\* Sorumlu Yazar: [rcakmakci@comu.edu.tr](mailto:rcakmakci@comu.edu.tr)

## 1. Giriş

Tarım sektörünün verimli ve sürdürülebilir olması, dolayısıyla gıda güvenliğinin sağlanması; tarımın geçirdiği üçüncü ve dördüncü sanayi devrimi dönemlerinden sonra daha önemli hale gelmiştir. Nüfus artışıyla birlikte gıda talebi, girdi maliyeti, iklim ve çevresel baskı artmakta, su arzı düşmekte, biyolojik çeşitlilik azalmakta, beslenme ve gıda güvenliği sorunları ve bozulan ekilebilir arazilerin restorasyon ihtiyacı oluşmaktadır. Tarım ve gıda üretimi fazla suya ihtiyaç göstermekte ve bilinçsizce kullanılan bitki besin maddeleri (Kılıç, 2020), ilaçlar ve benzeri girdiler su kirliliğini artırmaktadır. Yeraltı sularındaki nitrat, azot ve fosfor kirliliğinin artması, toprağın sağlık ve üretkenliğinin bozulması gibi sorunlar girdi kullanımını azaltan teknolojilerin tarımda kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Çakmakçı, 2019).

Avrupa Birliği (AB), biyolojik esaslara dayalı bir ekonomi önermekte, çiftlikten çatala (F2F) stratejisiyle gıda sisteminin iklim değişikliğine karşı direncini artırmak, tarımsal girdilerin daha verimli kullanılması için dijital teknolojilerin önemine ve spesifik strateji olarak biyolojik gübreler, biyoenerji ve biyokimyasalların geliştirilmesine vurgu yapmaktadır (EC, 2020). Geleceğin tarım stratejilerinde iklim değişikliğine uyum, hassas teknolojilerle kaynak kullanım etkinliğinin artırılması, dijital teknolojilerin teşviki, hassas tarım (HT), yapay zekâ (YZ) uygulamalarının yaygınlaştırılması, toprak işleme, gübreleme ve bitki koruma için yenilikçi teknolojiler geliştirilmesi/uygulanması gerektiği vurgulanmaktadır (MacPherson vd., 2022). Biyoçeşitliliğin ve ekosistemlerin pestisit kullanımı ve gübre kaynaklı aşırı besin birikimi ile olumsuz etkilendiğini öngören AB, bunların korunması kapsamında 2030 yılına kadar pestisit kullanımını %50, AB nitrat direktifi uyarınca, düşük girdili tarım ve HT ile gübre kaynaklı besin maddelerinin %20 azaltılacağını öngörmektedir (EC, 2020).

Tarımda YZ ve YZ'nin sunduğu tahmine dayalı analitik ve bağlantılı sensörler; bitki verimiyle birlikte su, bitki besin maddeleri ve diğer girdilerin kullanım etkinliğini artırabilmektedir. Uzaktan algılama teknolojileri, veri toplama, analizi, depolama, yönetimi, aktarımı ve paylaşımı, iletişim ve işleme teknolojisi alanlarındaki gelişmeler, çok fazla verinin transferini ve analitik süreçleri otomatikleştirme yeteneğini artırmıştır. Yüksek verimli ve sürdürülebilir tarım için uzaktan algılama sistemlerinin tarıma entegre edilmesi, gelişmiş algoritmaların, sensörlerin, YZ ve büyük verilerin kullanımı vazgeçilmez hale gelmiştir (Martos vd., 2021).

Günümüzde veri toplama, analiz ve değerlendirme, üretimin optimizasyonu, ticaret ve akıllı tarım uygulamalarında uzaktan algılama (UA), nesnelerin interneti (Nİ), insansız hava araçları (İHA), bulut bilişim teknolojisi, akıllı sensörler, blok zinciri, robotik, karar destek sistemleri (KDS), geniş alan ağları (GAA), kablosuz sensör ağları (KSA), derin sinir ağları (DSA), yapay zekâ (YZ), düşük güçlü geniş alan ağları (LPWAN), uzun menzilli geniş alan ağları (LoRaWAN), büyük veri analitiği (BVA), makine öğrenimi (MÖ) ve derin öğrenme (DÖ) algoritmaları gibi teknolojilerin farklı kombinasyonları umut verici gelişmeler olarak tarımda başarıyla uygulanmaktadır (Pivoto vd., 2018; Das vd., 2019; Boursianis vd., 2022; Javaid vd., 2022; MacPherson vd., 2022). Su ve gübre gibi girdi maliyeti ve kayıplarını azaltan, bitkisel verim, kalite ve kaynak kullanım etkinliğini artıran teknolojik yenilikler ile ekonomik, sosyal ve çevresel birçok sorunun çözülebileceği tahmin edilmektedir (Dayıoğlu ve Türker, 2021).

Yapay zeka, bir veri analiz yöntemi olan MÖ ve MÖ'nün alt kümesi olan ve insan beyni işlevlerini taklit eden yapay sinir ağlarından oluşan derin öğrenmeyi içermektedir. YZ, insan beyni gibi çalışan bir teknoloji geliştirmekte, düşünme ve öğrenmeden, problem çözmeye kadar birçok işlevi tasarlamakta ve uygulamaktadır. Geçmiş verilerden problemi öğrenip geleceği tahmin etme bilimi olan YZ'nin temel parçalarından biri MÖ olup programlamadan birşey öğrenme yeteneği, diğeri ise DÖ olup, DSA aracılığıyla verilerin öğrenilmesidir (Kodali ve Sahu, 2016; Sukhadia vd., 2020). Ayrıca YZ'nin önemli bir ayağı olan sinir ağları, DÖ algoritmalarının esasını oluşturur (Gu vd., 2018). YZ, MÖ, bilgisayarla görme, derin öğrenme, görüntü işleme ve sinir ağları gibi birçok alanı kapsamakta (Patrício ve Rieder, 2018; Kale ve Patil, 2019); toprak sağlığı, bitki verimi ve herbisit direnci gibi birçok tarımsal sorunu çözmeye ve verimi artırmaya yardımcı olmaktadır. Sürdürülebilirlik ilkelerine ulaşmak için, YZ ile birleştirilmiş uydu görüntüleme, İHA gibi uzaktan algılama teknolojileri, arazi kullanım değişimlerini izleme (Ferreira vd., 2020) ve değişken oranlı teknolojilerle gübre kaynaklı nitroz oksit, pestisit kalıntısı ile olan toksisite ve besin dengesizliğinin azaltılması gerekmektedir (Lieder ve Schröter-Schlaack, 2021).

YZ, bilgisayarların görsel algılama, konuşma tanıma ve karar verme gibi zekâ gerektiren insana özgü görevleri karşılamak için etkileşime girmesine, akıl yürütme ve öğrenmesine yardımcı olur. DÖ, nesneleri algılama, hareketleri izleme, eylem tanıma, poz tahmini ve anlamsal segmentasyon gibi çeşitli bilgisayar görme problemlerinde büyük gelişmeler sağlarken (Voulodimos vd., 2018), Nİ sensörler ve cihazlar kullanarak veri toplama ve alışverişi sağlamakta ve YZ'nin çıkarımlar yapmasını sağlayan büyük veri üretebilmektedir. Akıllı sistemler; çalışmak ve öğrenmek için bulut bilişim, makineler arası iletişim, büyük veri analitiği ve Nİ kombinasyonunu kullanmaktadır. Diğer endüstrilerin gerisinde kalmasına ve az dijitalleşmesine rağmen; tarımda YZ araştırmaları, bitki ve toprak izleme sistemleri, bilgisayarlı görme algoritmaları, otonom robotlar ve akıllı karar destek sistemleri giderek daha fazla önem ve ivme kazanmaktadır.

## 2. Tarım ve Gıda için Dijital Teknolojiler

Tarım sektörünün dijitalleşmesini gerektiren çiftlik içi ve dışı itici faktörler arasında; tarımsal verimlilik ve sürdürülebilirliğin geliştirilmesi, iklim değişikliğine uyum ve etkilerinin azaltılması, pazarlara erişimin ve iyi yönetimin temini, değer zinciri yönetimi, ticaret gereksinimleri ve tüketici talebi bulunmaktadır. Dijital tarımın gıda sistemlerinde sürdürülebilirliğe yönelik iyileştirmeler sağlayabildiği; değişken oran teknolojileri (VRT), Nİ, bulut bilişim, verim haritalama, dijital toprak haritalama, sensörler ve İHA gibi teknolojilerin tarımsal hedeflerin çoğuna ve çeşitli sürdürülebilirlik ilkelerine ulaşmak için uygun olduğu; uydu görüntüleri, YZ gibi teknolojilerin biyokütle üretimi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve iklim değişikliğini azaltma için önemli olduğu belirtilmektedir (MacPherson vd., 2022). Tarımda uyduya, drona ve insanlı araca monteli veri toplama teknolojileri, izleme ve uzaktan algılama sistemleri giderek artmaktadır. Başta su ve hava kalite sensörleri, nem içeriği, elektrik iletkenlik sensörleri, ot arayıcı sensörler, sıcaklık,



rüzgâr hızı ve pH ölçüm sensörleri, su akış sensörleri, yerinde toprak, bitki, hayvan, biyoçeşitlilik, haşere ve istilacı tür monitörleri gibi dijital algılama teknolojileri tarım ve gıda alanında yaygınlaşmaktadır. Birçok Nİ teknolojisi, özellikle sulama ve su kalitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Araştırmalar sonucunda bitki kök bölgesi toprağı görüntülerinden su içeriğini optik olarak tahmin eden otomatik sulama sistemi (Javaid vd., 2022) ve bir işlemci tarafından çalıştırılan ve tamamen insansız kontrol edilen damla sulama sistemi geliştirilebilmiştir (Kavianand vd., 2016). Nİ teknolojileri kullanılarak buğdayda hastalık, zararlı ve yabancı otların izlenmesi, tahmini ve kontrolü için öneri sistemi oluşturulmuştur. (Zhang vd., 2014). Veriye dayalı teknolojilerden yararlanan dijital tarım, sadece verimliliğı, üretkenliğı ve gıda güvenliğini iyileştirmeyip biyolojik çeşitliliğın ve toprağın korunması ve insan sağığı açısından da önemlidir.

Veri analiz teknolojileri arasında, veri temizleme ve büyük veri analiz algoritmaları, MÖ ve tahmine dayalı analitik gibi DÖ uygulamaları ile bulut depolama, gizli bilgi işlem ve sanal veri merkezleri gibi veri toplama teknolojileri giderek önem kazanmaktadır. Veriler, üretim süreçlerinde bilgi ve tavsiye oluşturma ve faaliyetleri otomatikleştirme amacıyla kullanılmaktadır. Veri yönetimi, aktarımı ve paylaşımı teknolojileri, makine destekli dijital iletişim, görüntü tabanlı kontrol, ticaret, ödeme, hizmet ve veri görselleştirme teknolojileri gelecekte gıda ve tarım için faydalı olacaktır. Tarımsal alandaki bu yenilikler makinelerin ve sistemlerin bilgi edinme, uygulama ve akıllı davranış yeteneğı olarak tanımlanabilen YZ sayesinde gelişmektedir. Geleceğı uygun şekilde tahmin etmek, değiştirmek, iyileştirmek, onarmak için geçmiş deneyim ve verileri kullanan MÖ sürdürülebilir toprak ve tarım yönetiminde oldukça fazla uygulama alanı bulmuştur.

Tarımda dijital veri ve teknolojiler, çiftliklerin iyi yönetiminden üretkenlik ve kaynak kullanımına, düşük teknolojik çözümlerden saha içi sensör ve Nİ, büyük veri analitiğı, süreçlerin otomasyonu, robotik ve YZ'ye kadar birçok alanda kullanılmaktadır (OECD, 2022). Tarım sistemlerinde YZ tabanlı robotik ekim, ilaçlama, biçme, toplama, kontrol, hasat, ürün ayırma ve paketleme gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak, robotik teknolojilerin tarımda kullanımını yavaş ilerlemektedir. Kullanımın yaygınlaşması, hız ve doğruluklarının artırılmasına bağlıdır. Birçok faydalı yönüne rağmen dijital teknolojilerin yaygınlaşmasının önündeki engeller olarak yüksek yatırım maliyetleri (Rose ve Chilvers 2018) ve eğitim hizmetlerinin yetersizliğı (Paustian ve Theuvsen, 2017) söylenebilir. Geleceğın tarımında daha önemli olacak verilerin kontrolü büyük tarım şirketlerinin eline geçtiğinde, bunun sürdürülebilirlik ilkelerine uygun kullanılıp kullanılmayacağı konusu belirsizdir.

### **3. Tarımsal Uzaktan Algılama**

Uzaktan algılama (UA), bitkileri tahrip etmeden uzaktan büyük ölçekte izlenmesine olanak sağlar. UA, insansız kara araçlarına, uyduya veya saha robotlarına monte edilmiş bitkilerden yansıyan elektromanyetik radyasyondan bilgi üretilen işleyebilen sensörleri içerir. Günümüz tarımında en önemli teknolojilerden biri olan UA'nın temelini, çevrenin ve bitkinin tüm bilgilerini sağılayan yer tabanlı, uzay ve hava kaynaklı sensörler oluşturur. Sistem biyokimyasal, morfolojik, fenolojik ve fizyolojik fonksiyonel özellikler olarak tanımlanan (Weiss vd., 2020) ve bitkinin performans ve uygunluğunu belirleyen özelliklerden veri ve çözüm üretmeye yöneliktir. UA tarafından sunulan bitki yoğunluğu, yaprak alanı, yaprak içeriğı ve işlevleri, bitki örtüsü, toprak sıcaklığı ve nemi gibi bilgiler işlenip, bitki sağığı, besin eksikliğı, sulama süresi ve miktarı ve verim tahmininde kullanılmaktadır (Weiss vd., 2020; Martos vd., 2021). Tarımda UA uygulamaları; HT, iyi çeşitlerin tanılanması, bitki yönetiminin optimizasyonu, tarım fenolojisi, biyoçeşitlilik taraması, üretim tahmini, toprak ve su kaynakları hizmetleri, bitki ve arazi izleme gibi avantajlara sahiptir (Sishodia vd., 2020; Weiss vd., 2020; Zheng vd., 2021). Tarımsal UA'nın önemli alanlarından biri stres tespittir.

Tarımda bitki sınıflama, gelişmeyi izleme, toprak nemi, geometrik özelliklerin tahmini, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerin belirlenmesi, klorofil ve azot içeriğı, yaprak alanı, bitki sağığı, su ve bitki sayımı ve erozyon analizi benzeri amaçlarla yakın kızılötesi, sentetik açıklıklı radar, floresan spektroskopisi ve görüntüleme, ışık algılama, multispektral, hiperspektral ve görünür kırmızı, yeşil ve mavi (KYM) bitki örtüsü endeksleri sensörleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Mishra vd., 2017; Steele-Dunne vd., 2017; Ahmad vd., 2021; Martos vd., 2021; Zheng vd., 2021; Javiaid vd., 2022). Yer tabanlı sensörler uzun zamandan beri kullanılmakta olup kablosuz sensörler, KSA ve frekans tanımlamaları ve küçük algılama cihazları ise yakın zamanda gelişmeye başlamıştır. Kablosuz sensör teknolojileri ve KSA özellikle hayvancılıkta, seralarda ve toprak nemi, sıcaklığı ve iletkenliğı gibi parametrelerin ölçümünde kullanılmaktadır (Martos vd., 2021). Sensör verilerini korumak ve güvenlik konularında giderek artan bazı sorunlar olsa da tarım, dronların interneti dönemine giriyor gibi gözükmektedir.

Verim, hastalık ve otomasyon konularında YZ esaslı araştırmalar, KSA ve kontrol otomasyonu kullanımı giderek artmaktadır. Ayrıca bitki gelişmesi ve izlenmesi, hastalık teşhisi, toprak ve arazi analizi, sulama ve gübreleme, ürün hasadı, yabancı ot yönetimi, mekanik tozlaşma, hayvancılık ve ürün sigortası gibi tarımsal uygulamalarda uzaktan kumandalı uçaklar kullanılabilmektedir (Natu ve Kulkarni, 2016; Rani vd., 2019; Devi vd., 2020; Ren vd., 2020; Song vd., 2020; Sun vd., 2020; Ahmad vd., 2021; Saranya vd., 2023).

### **4. Sürdürülebilir Tarımda Yapay Zekâ (YZ) ve Nesnelerin İnterneti (Nİ)**

YZ, akıllı davranışı otomatikleştiren ve hesaplamalı programlama kullanarak belli bir zekâ düzeyine ulaşan ve akılcı çıktılar üreten bir sistemdir. Yeni ve gelişmekte olmasına rağmen YZ teknolojilerinin verim, ürün izleme, sulama, toprak içeriğinin algılanması, ürün ayıklama, ürün oluşturma gibi tarımın birçok alanında önemli potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır. YZ ilerledikçe tarımda giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır (Shaikh vd., 2022). Avrupa komisyonu tarafından; endüstri 5.0 döneminin başladığı ve günümüz tarımının, beşinci devrim olarak uzaktan algılamaya, yapay zekâyâ ve bulut bilişimine dayandığı bildirilmiştir (Martos vd., 2021). YZ'nın tarım sektörüne en önemli katkıları, görüntü tanıma ve algılama, çıkırtıyı en üst düzeye çıkarma, becerileri artırma ve işgücüdür (Subeesh ve Mehta, 2021). YZ; görme, öğrenme, anlama, planlama, hareket etme ve iletişim gibi görevleri insanlara benzer şekilde gerçekleştirebilen bir zekâ biçimi olarak; hastalık, toprak yönetimi, haşere ve yabancı ot yönetimi, bitki yönetimi, su kullanımı yönetimi,



besin eksikliğinin belirlenmesi, ürün analizi ve çevresel etkilerin takip ve tahmin edilmesinde kullanılabilen tahmine dayalı analitik kategorileri kapsar ve sürdürülebilir üretime hizmet eder (Ryan vd., 2023). Tarımda Nİ ve YZ, sensör verilerini daha iyi kullanma, ürün kalitesini ve miktarını iyileştirme, dahili süreçleri daha iyi yönetme, iş verimliliğini artırma, israfı ve maliyetleri azaltma potansiyeline sahip olup (Alreshidi, 2019), akıllı tarım; YZ ve Nİ kullanımına dayanan bir teknolojidir (Shaikh vd., 2022).

Nİ, gerçekleştireceği görev için makineden makineye ve insandan makineye etkileşim gerektirmeden ağ üzerinden veri aktarabilen bir sitemdir. Nİ veri bloklarını uzaktan algılama, izleme ve geçici olarak depolamak için benzersiz kimliklere ve yeteneklere sahip cihazlardır (Ray, 2018). Nİ ve sensörlerinin kapsam, verimlilik, maliyet, dayanıklılık, bellek, taşınabilirlik, güç verimliliği, güvenilirlik, yaşam kolaylığı, üretkenlik, izleme, kaynak optimizasyonu, akıllı sulama, ürün ve haşere izleme, kontrol, hasat ve ürün kalitesini koruma özelliklerinden dolayı akıllı tarımda kullanımları giderek artmaktadır (Qureshi vd., 2022). Nİ sensör bileşenleri teknolojisi, ortam faktör ve değişkenlerini toplamak ve ölçmek için kullanılmaktadır (Gómez vd., 2017). Nİ uygulamalarının çoğunluğu kablosuz veri iletimine dayandığından, Nİ teknolojisinde KSA'nın rolü büyüktür. Tarım süreçleri giderek Nİ cihazlarından elde edilecek verilere bağlanmaktadır. Nİ uygulamalarında, jeo-uzamsal ve zamansal haritalama ve örnekleme, su stresi değerlendirmeleri, zararlı ve yabancı ot yönetimi, bitki örtüsü indeksleri, verim değerlendirme ve hassas gübreleme öne çıkmaktadır. Ayrıca Nİ teknolojileri; hava durumuna ayarlı bitki ve toprak stres düzeyine bağlı akıllı sulama sistemlerinde (Keswani vd., 2019), görüntü işleme ve erken teşhisle hastalık ve zararlıların kontrolünde (Dhanaraju vd., 2022), hasadın planlanmasında (Goedde vd., 2020) ve optimum besin ihtiyacının tahmininde (Suganya vd., 2019) başarıyla kullanılabilir. Nİ uygulamalarının genel olarak tarımsal kaynak kullanım etkinliğini artırma (Abioye vd., 2020; Tao vd., 2021; Pincheira vd., 2021), hastalık ve zararlıları azaltma (Bischoff vd., 2021), enerji kullanımını ve CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltma (Maraveas vd., 2022) potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Uygulayan firmaların birinci hedefi olmasa da Nİ teknolojisi tarımın sürdürülebilir üretim sistemine dönüşmesine katkı sağlamaktadır (Wolfert ve Isakhanyan, 2022).

Araştırmalarda elma, buğday, mısır, çeltik, çilek, domates, biber, asma ve kahvede DÖ ilkeleri kullanılarak biyotik ve abiyotik stres sınıflandırılması (DeChant vd., 2017; Fuentes vd., 2017; Liu vd., 2018; An vd., 2019; Cruz vd., 2019; Liang vd., 2019; Nie vd., 2019; Esgario vd., 2020; Lin vd., 2020), bitki fenotipleme (Jung vd., 2021), verim tahmini (Fu vd., 2020), meyve ve yabancı ot tespiti (Apolo-Apolo vd., 2020; Huang vd., 2018) yapılabilmektedir. YZ ve MÖ, toprakların çoraklaşmasına yol açan aşırı kimyasal kullanımının önlenmesi (Elahi vd., 2019) amacıyla kullanılabilir. YZ ve zekâ gerektiren olayları nasıl gerçekleştireceğini öğrenen makineler, çiftçilerin düşük girdilerle yüksek çıktı elde etmelerine yardımcı olma, ilaç kullanmadan yabancı ot kontrolü, verim ve talebi doğru tahmin ederek israf ve bozulmayı azaltma potansiyeline sahiptir (Bu ve Wang, 2019; Sparrow vd., 2021).

Nİ ve sensör teknolojisindeki gelişmelerle birlikte DÖ teknolojisi birleştirildiğinde, bitki fenolojisi, toprak ve bitki örtüsü haritalama, hava ve verim tahmini, bitki kanopi ve yüksekliği, gübrelerin etkisi, su stresi, yeraltı suyu ve kuraklık koşullarının tespiti, yabancı ot, haşere ve hastalık tespiti ve yönetimi, seraların izlenmesi ve yönetiminde yardımcı olabilmektedir (Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018; Quazi vd., 2022). YZ uzaktan algılama araçlarını da kullanarak iklim verilerinin ve bitki kalitesinin izlenmesi (Manogaran ve Lopez, 2018), otomatik iklim kontrollü seralar (Hemming vd., 2019), tahmine dayalı analiz, dijital bitki sağlığı teşhis uygulamaları, çiftlik yönetimi (Chen vd., 2022) ve hayvancılık yönetiminde yaygın olarak kullanılabilir (Bhagat vd., 2022). Sulama, besin ve ürün kalitesi yönetimi, sıcaklık, toprak nemi, su akışı, CO<sub>2</sub> ve ışık radyasyonunun kontrolü gibi seracılık ihtiyaçlarının iyileştirilmesi, uzaktan algılama destekli kontrol sistemleri, MÖ ve Nİ teknolojileri kullanılarak sağlanabilmektedir (Zhou vd., 2022).

## 5. Tarımda İnsansız Hava Araçları (İHA) ve Dronlar

Dünya genelinde giderek artan uzaktan algılama, dron ve İHA'ların kullanımının ana hedefi bitki ve yabancı ot tespiti, bitki izleme, haritalama, biyokütle değerlendirmesi ve verim tahminidir. Uzaktan algılamaya dayalı verim tahmini için de MÖ yöntemleri geliştirilmektedir. Uzaktan kumandalı İHA'lar veya dronlar püskürtme, ekim, iyi yönetim, zamansal değişimlerin izlenmesi, anormallik ve olası sorunların belirlenmesi, analiz etme ve gerçek zamanlı verileri diğer ekipman ve tesislere taşımak için bilgisayar vizyonunu kullanabilir. Farklı izleme sistemleriyle toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri izlenerek, toprak kalitesinin geliştirilmesi için önlemler alınabilmektedir.

Ürün kalitesinin ve sulama ekipmanlarının izlenmesi, gübre uygulama, yabancı ot tanımlama, sürü ve yaban hayatı izleme ve afet yönetiminde dronlar kullanılmaktadır (Veroustraete, 2015; Natu ve Kulkarni, 2016; Ahirwar vd., 2019). İHA teknolojileri; belli bir alanda bulunan çiçek sayısı, nektar miktarı ve bal arısı için habitat potansiyelinin belirlenmesinden, tarımsal girdi israfının önlenmesi ve kuş imdat veya yırtıcı hayvan sesiyle kuş zararının önlenmesine kadar birçok karmaşık sorunun çözümünde sürdürülebilir tarım için önemli bir yardımcıdır. Robotik, bilgi işlem, YZ, Nİ, bilgi ve iletişim teknolojilerinin bileşimi olan İHA teknolojisi pratikte hava, bulut, yer şekilleri, engebeler nedeniyle uydu üzerinden algılama ve görüntüleme sınırlamasını ortadan kaldırabilmektedir (Qureshi vd., 2022). Nitekim, geliştirilen evrimsel sinir ağları (ESA) İHA'lardan alınan KYM verilerini kullanarak arpa ve buğday verim tahmininde başarılı olmuş ve ESA modelinin KYM verileriyle, bitki örtüsü indeks değerlerinden daha iyi performans gösterdiği vurgulanmıştır (Nevavuori vd., 2019). Nİ ve İHA'ların geleneksel tarımı hassas veya akıllı tarıma dönüştüren ve akıllı tarım için en önemli teknolojiler olduğu (Saranya vd., 2023), HT'da akıllı sensörler İHA kullanılarak entegre edilebildiği (Boursianis vd., 2022) ve sürdürülebilir HT uygulamalarında İHA teknolojisinin genişlemeye devam edeceği (Maes ve Steppe, 2019) bildirilmiştir. HT'da ürün izleme ve pestisit benzeri uygulamalarda İHA kullanılmaktadır (Talaviya vd., 2020).

İHA'lar toprak ve bitki örnekleme ve haritalama (Saranya vd., 2023), bitki gelişme parametrelerinin takibi (Chang vd., 2017), verim tahmini (Hassan vd., 2019), zararlı ve hastalık tespiti (Vanegas vd., 2018), yabancı ot tespiti (Huang vd., 2018), toprak ve bitki stres yorumu (Park vd., 2017; Ivushkin vd., 2019) ve yaprak alan indeksinin tespiti (Roth vd., 2018) gibi izleme aşamaları ile ekim (Diwate vd., 2018), herbisit (Castaldi vd., 2017), pestisit (Faiçal vd., 2017) ve gübre uygulama (Muhammad vd., 2019) aşamasında kullanılabilir. İHA tarafından sağlanan spektral ve dijital görüntülere dayalı bitki örtü indeksleri kullanılarak çeltikte tane verimi tahmini yapılabilmektedir (Zhou vd., 2017) ve kışlık buğdayın gelişim aşamaları izlenebilmiştir (Zhang vd., 2019). Hassas bağcılıkta, gerçek

zamanlı ölçümler için İHA ve KSA entegrasyonu ile toplanan yüksek çözünürlüklü veriler kullanılarak; asma üretim, verim, kalite ve karlılığını etkileyen parametreler ile üretim verimliliği uygun girdi maliyetiyle optimize edilmiştir (Spachos ve Gregori, 2019). İHA ve görüntülerden bir derin evrimsel sinir ağı kullanılarak arpada azot gübrelemesi ve verim tahmini yapılabilmektedir (Escalante vd., 2019). İHA tabanlı UA kullanımı ile HT gittikçe gelişmektedir.

## **6. Hassas Tarım (HS) ve Tarım 4.0 ve 5.0.**

Günümüzün yeni teknolojilerini kullanan akıllı tarımsal üretim sistemlerini tanımlamak için, “hassas tarım”, “hassas yaklaşım”, “akıllı tarım”, “uzaktan algılama”, “sayısal tarım”, “bilgi yoğun tarım”, “değişken oranlı tarım”, “sahaya özel ürün yönetimi”, “tarım 4.0 ve 5.0” ve “dijital tarım veya çiftçilik” gibi birbirleriyle değiştirilebilir kavramlar ortaya çıkmıştır (Martos vd., 2021). Son yıllarda ortaya çıkan “tarım 5.0” kavramının YZ ve robotiklerin veriye dayalı sürdürülebilir tarım kapsamına alınmasını kapsayan bir kavram olduğu vurgulanmıştır (Saiz-Rubio ve Rovira-Más, 2020). Akıllı tarım veya tarım 4.0 çevresel sensörlerin ve tahmin teknolojilerinin entegrasyonu esasına dayalı birçok güncel teknolojiyi içermekte, daha az doğal kaynak kullanarak daha fazla üretkenlik amaçlamaktadır (Shaikh vd., 2022).

HT zamansal, mekânsal ve bireysel verileri toplayan, işleyen ve analiz eden, kaynak verimliliğini, üretkenliğini, kalitesini, karlılığını ve sürdürülebilirliğini geliştirme stratejisidir. HT, verilerin toplanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve uygulanması için bilgi teknolojilerini kullanmakta, tarımsal gıda sistemlerinin dönüşümünde dijital teknolojilerin entegrasyonundan yararlanmakta ve sonuçta da kaynakların etkin kullanımını, üretkenliği, karlılığı, kaliteyi ve tarımsal üretimin çevresel etkilerini azaltabilmekte ve sürdürülebilirliğine katkı yapmaktadır (Çakmakçı vd., 2023). Tarımda dijital verilerin kullanımının verim artışı sağlama özelliği, HT uygulamaları ile ortaya konulmuştur. HT, geleceğin sürdürülebilir verimli gıda sistemlerini oluşturmak için uydu teknolojilerini kullanmakta, bitkinin gerçek ihtiyaçlarının dikkate alınması, kaynak kullanımı için iyi zaman yönetimi, çevresel etkilerin azaltılması ve verim etkinliğinin artırılması gibi bakış açılarını benimsemektedir. Kullandığı teknolojiler; yönlendirme, bilgi yönetimi, uygulama ve veri analiz teknolojileri olarak dört aşamada özetlenebilir. Yönlendirme teknolojileri donanım ve yazılıma dayalı her türlü otomatik yönlendirmeyi kapsarken, uygulama teknolojileri yazılıma dayalı geliştirilen besin maddeleri, sulama, tohum ekimi, bitki koruma maddeleri, yabancı ot kontrolü için değişken oranlı sulama gibi uygulamaları kapsamaktadır (Dayıoğlu ve Türker, 2021). Akıllı tarım, DÖ, YZ, Nİ ve bulut bilişim gibi en son teknolojileri entegre ederek, bilgi ve birikim yardımıyla tarım sektörünün otomatik olarak takibi, izlemesini, akıllı bir şekilde kontrol edilmesini ve kararlar almasını sağlayan bir yönetim stratejisidir (Saranya vd., 2023). Akıllı tarım, çevresel koşullar, büyüme durumu, toprak durumu, sulama suyu, gübreler, yabancı ot yönetimi ve sera üretimi gibi uygulamaların girdilerini optimize etmek ve ayrıca maliyetleri azaltma ve tarımsal verimliliği artırmayı hedeflemektedir.

Tarım 4.0 teknolojileri; izleme, kontrol, tahmin ve lojistik uygulamalarını içermektedir. Tarım 4.0 kapsamında hava ve sera, bitki, toprak, su ve hayvan izleme uygulamalarının yanı sıra akıllı seralar, gübreleme sistemleri, sulama sistemleri, yabancı ot, zararlı ve hastalık kontrolü, hasat ve benzeri kontrol uygulamaları bulunmaktadır (Araújo vd., 2021). İzleme, hızlı ve doğru karar verme, zamanında müdahale, zaman ve maliyetlerden tasarruf sağlamaktadır. Tarım 4.0 ana yönlerinden biri akıllı telefonlar ve kameralar gibi mobil cihazların tarlada doğrudan kullanılarak izleme ve veri toplama yoluyla hastalıkların tanınmasıdır (Megeto vd., 2020).

Araştırmalar, Nİ ve YZ gibi dijital teknolojilerin sürdürülebilir tarımı geliştirmek için kilit teknolojiler olduğunu göstermektedir (Jung vd., 2021; Wolfert ve Isakhanyan, 2022). Nİ teknolojileri veri depolama, veri yönetim ve analitiği sağlamakta; her türlü kaynaktan gelen veriyi filtreleyebilmekte, kullanabilmekte ve akıllı tarımda yaygın olarak uygulanabilmektedir. Değişken oranlı uygulamaları esas alan HT ve akıllı tarım teknolojileri sadece girdi maliyetini düşürmekle kalmayıp, üretimin verim ve kalitesini de artırabilmektedir (Wolfert vd., 2017; Boursianis vd., 2022). Nİ kullanılarak HT’de doğal kaynakların verimli kullanımı, çevrenin korunması için toprak ve bitki değişimlerini ölçmek ve yorumlamak, değişkenliği mekansal ve zamansal olarak yönetmek ve sonuçları izlemek esas alınmaktadır (Mahmood vd., 2013). HT, Nİ, sensör, bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak gerçek zamanlı verilerden karlılık ve sürdürülebilirlik sağlanırken (Mohanraj vd., 2016), bu sistemleri kullanan akıllı seralarda iklim ve gelişme koşulları izlenerek istenildiğinde ısıtma, soğutma, sulama gibi müdahaleler yapılabilmekte (Öztürk vd., 2021) ve en az insanla, gerekli önlemler zamanında alınabilmekte ve bitki yetiştirilebilmektedir (Bibri, 2018). Sera çiftliği, HT’ye benzemekle birlikte kapalı ve izole ortamda yürütüldüğü ve akıllı sistemler tarafından kontrol edildiği için farklıdır. Bu sistemde Nİ ve akıllı sistemler sayesinde izleme ve kontrol ve geleneksel yöntemlerden daha fazla üretim sağlamaktadır. Sera çiftliği uygulamalarıyla sürdürülebilir çiftlik için çöl alanlarının bile kullanılabilceği vurgulanmıştır (Qureshi vd., 2022).

Algılama ve iletişim yoluyla izleme ve karar desteği sağlayan İHA sistemleri tarımda çığır açan teknolojiler olarak değerlendirilmekte (Zhang ve Kovacs, 2012), İHA teknolojileri geliştikçe akıllı tarımda kullanılan önemli teknolojilerden biri olan uzaktan algılamanın giderek yaygınlaşacağı öngörülmektedir (Maes ve Steppe, 2019). Hassas tarımda, İHA teknolojisi kullanımının en faydalı alanlarından biri yabancı ot tespit ve yönetimidir. İHA ve DÖ teknikleriyle bitki ve yabancı otlar ayrı ayrı tanımlanabilmiş (Barrero vd., 2018; Sa vd., 2018), İHA sistemiyle elde edilen yüksek çözünürlüklü KYM görüntülerden yabancı ot tespiti yaklaşımı geliştirilmiştir (Mateen ve Qingsheng, 2019). HT’de İHA; bitki modelleme, verim yönetimi, nihai verim tahmini, spektral görüntü, akıllı sensör entegrasyonu, fenotipleme ve bitkisel indeks hazırlama alanlarında kullanılmaktadır (Boursianis vd., 2022). YZ, hassas tarımı giderek daha uygun ve uygulanabilir hale getirirken; geleneksel tarımı hassas/akıllı tarıma dönüştüren dijital ve bilgisayar destekli tarım teknolojileri kaçınılmaz olmaktadır.

## **7. Hassas Tarım Teknolojilerinin Tipik Uygulama Alanları**

HT’de akıllı teknolojilerin başlıca uygulama alanları zararlı yönetimi, yabancı ot kontrolü, tarımsal ürünlerin izlenmesi, depolama yönetimi, bitki hastalıkları yönetimi ve mücadelesi, hava tahmini ve izlenmesi, sulama yönetimi, verim tahmini, toprak bileşimi ve

yönetimi ve tarım makineleri yönetimidir. Tarımsal üretim tedarik zincirinin yönetimi, toprak değişkenlerinin ölçümü, tarımsal üretim ve yönetiminin geliştirilmesi, kaynak kullanımının azaltılması, su tüketiminin izlenmesi, tarımsal işlemlerin iyileştirilmesi, tarımsal risk ve tehlikelerin belirlenmesi ve kararların optimizasyonu tarım teknolojilerinin önemli uygulama alanlarıdır.

## 7.1. Bitki İzleme

Günümüzde tarımda; optik, mekanik, elektrokimyasal, hava akışı ve konum sensörleri kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Görüntü tanıma en önemli alanlardan biridir. Sensörler, çiftçilerin uygun zamanda doğru ve daha bilinçli karar almaları ile hastalık ve zararlı konusunda erken uyarılmaları için görüntüler sağlayabilirken akıllı izleme; hasadın optimizasyonu, bitki kalite özellikleri bakımından izleme ve geliri artırabilme olanağı vermektedir (Goedde vd., 2020). Son yıllarda tarımsal verileri toplama, işleme ve analiz etme kapasitesini artıran yenilikler arasında; veri ve süreçlerin okunabilir formata dönüştürülmesini sağlayan sayısallaştırma ve ayrıca gerçek zamanlı izleme ve tahmine dayalı analize izin veren, süreç ve faaliyetleri izleyebilen, takip, analiz ve optimize edilebilen veriler üreten veriyeleştirme öne çıkmaktadır. Günümüzdeki dijital teknolojiler, tarım ve gıda sistemlerinin sürdürülebilirliğini ve üretkenliğini geliştirmek, maliyeti düşürmek ve hızı artırmak için tarımsal ve diğer verilerin dijital formatta oluşturulması, kullanılması, birleştirilmesi, yönetilmesi, analizi ve paylaşımına odaklanmaktadır.

Gıda ve hammadde talebini karşılamak ve verimliliği sürdürülebilir bir şekilde artırmak için, ekimden ürünün dağıtımına kadar bitki yönetiminin optimizasyonu esastır. Bu bakımdan otomatik izleme sistemleri, çiftçinin uygun zamanda hızlı ve doğru kararlar almasını ve uygulamasını sağlayan akıllı dijital tarım konseptinin önemli bir adımıdır. Hassas ve dijital tarımda, hava ve sera gazı izleme, bitki izleme, toprak izleme, su kalitesi ve sulama parametreleri ile sıcaklık, nem, iletkenlik, pH değeri ve besin içeriği gibi toprak parametrelerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve ölçümü, sürdürülebilir tarım yönetimi için önemlidir. Bu parametreleri gerçek zamanlı olarak ölçmek için Nİ sensörleri, veri analizi için YZ ve KDS birleştirilerek tarım daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilir.

İHA teknolojileri bitki gelişme parametrelerinin izlenmesine imkân sağlamakta, sulama ve gübreleme gibi tarımsal işlemlerde kullanılabilir. YZ, tarımda bitkisel üretimi artırmış, izleme, hasat, işleme ve pazarlamayı geliştirmiştir. Uzaktan algılama ve izleme teknolojileri ile su kalitesinin değerlendirilebildiği (Gholizadeh vd., 2016), toprak haritalarının çıkarılabildiği (Gómez vd., 2016), biyolojik çeşitliliğin izlenebildiği (Hodgson vd., 2018) belirtilmiştir. MÖ, DSA ve yapay sinir ağları veya tekrarlayan sinir ağları gibi YZ araçları ile buğday (Bali ve Singla, 2021), sorgum (Zannou ve Houndji, 2019), soya (Maimaitijiang vd., 2020), çeltik (Lingwal vd., 2022), domates (Yamamoto vd., 2014), biber (Gholipoor ve Nadali, 2019), kayısı (Blagojević vd., 2016) ve elmada (Ji vd., 2021) verim tahmini yapılmıştır. Bilgisayar teknolojileriyle iklim faktörlerinin etki dereceleri ve cevizde verim potansiyelinin matematiksel olarak tahmini (Aslantaş ve Olgun, 1999), sinir ağı algoritması ile elmalarda meyve nitelikleri kullanılarak erken verim tahmini (Cheng vd., 2017) ve DSA ve İHA görüntülerinden çilekte çiçek sayısı kullanılarak verim tahmin edilebilmiştir (Chen vd., 2019). İHA'lerden alınan verilerle bitki verimini tahmin edebilen derin ESA geliştirilebilmiştir (Nevavuori vd., 2019).

İHA'lardaki gelişmeler HT'de bitki gelişimini izleme maliyetini azaltmakta ve düşük verimli ve hastalıklı alanların belirlenmesini sağlamakta; havadan uzaktan algılama ve izleme teknolojileri ise yüksek çözünürlüklü haritalama, yaban hayatı sayımları ve biyolojik çeşitlilik izleme etkinliğini artırmaktadır. Tarımda MÖ, makine görüşü, verim tahmini, haşere ve hastalık tespiti, stres faktörlerinin izlenmesi, navigasyon ve optimizasyon gibi alanlarda kullanılmaktadır. Gelişmiş YZ teknolojileri verimliliği artırabilir, işçilik süresini kısaltıp iş gücü sıkıntısını hafifletebilir, tedarik basamaklarında gıda ürünü izleme ve test etme, ürün geliştirme, uygun pazarlama analizi ve ürünün tüm aşamalarının takibini iyileştirebilir. Verim haritalama ve izleme, don zararları oluşumu ve analizi, rotasyonların değerlendirilmesi, verim hesaplama ve kalibrasyonu gelişmiş sensörler ve görüntüleme uygulamalarıyla gerçekleştirilmektedir (Aslantaş vd., 2010; Pantazi vd., 2016; Song vd., 2022).

## 7.2. Hayvan İzleme

Büyük ölçekli hayvancılık yönetiminde; çevresel sensörler ve vücut sensörlerinin kullanılması, sıcaklık, nabız ve konum izleme ile hastalık ve salgınların önlenmesi ve tehlikelerin tespiti, hava ve ısıtmanın ayarlanması ile hayvan yaşam koşulları iyileştirebilir (Goedde vd., 2020). MÖ algoritmaları kullanılarak sığırlarda kızgınlık ve çiftleşme davranışları (Tsai ve Huang, 2014), hasta etlik piliç tespiti (Zhuang vd., 2018) gibi bireysel hayvan analizleri gerçekleştirilebilmiştir. Verilerin toplanma ve analizini amaçlayan izleme sistemleriyle hassas hayvancılıkta; çiftçinin ihtiyaç duyduğu sıcaklık, davranış, sağlık ve beslenme içgörülerini sağlanmakta; hayvan üretkenliği artırılmakta, hayvan aktivitesi, sağlık sorunları ve refahı değerlendirilebilmekte ve hayvan sağlığı korunabilmektedir (Schillings vd., 2021). Hayvan refahını izleme ve anormallik durumunda erken müdahaleye imkan sağlayan sensör, kamera ve bilgisayar gibi akıllı teknolojileri kullanan sistemler geliştirilirken (Rose ve Chilvers, 2018; Norton vd., 2019), çiftçiyi destekleme amacıyla tasarlanmakta olan hassas hayvancılık teknolojileri, sağlık ve refah parametrelerinde olduğu gibi hayvanların verimliliğini ve çevresel etkileri de kontrol edebilmektedir (Berckmans, 2014). Ayrıca MÖ ve YZ; süt işletme yönetimi, üretim tahmini ve hayvancılık uygulamalarında kullanılabilir (Shine vd., 2018; García vd., 2020; Nguyen vd., 2020).

## 7.3. Bitki Fenotipleme, Doğal Kaynakların Keşfi ve İzlenmesi

YZ ve MÖ uygulamaları spektroskopik verileri ve uydu görüntülerini de kullanarak; toprak verilerini analiz etme (Padarian vd., 2020), çeşit sınıflandırma (Duysak vd., 2020), bitki fenotipleme (Boursianis vd., 2022), karbon fraksiyonlarının haritalanması (Keskin vd., 2019), karbon stok tahmini (Pham vd., 2021), iklime duyarlı toprak haritalama (McNicol vd., 2019), organik karbon değişiminin modellenmesi (Heuvelink vd., 2021) ve toprak sağlığı göstergelerinin tahmininde (Morellos vd., 2016; Ng vd., 2019; Sanderman vd., 2019) kullanılabilir. DÖ ve ESA modelleri, kullandıkları görüntü işleme ve MÖ algoritmalarıyla, görüntü tabanlı bitki fenotipleme, görüntü sınıflandırma, regresyon ve nesne algılama konularında etkindir. ESA kullanılarak bitki türlerinin teşhis edilebileceği ve derin ESA'ların gelecekte tohum ve bitki etken maddelerini ve kontamine olma durumlarını belirleyebileceği söylenebilir.

## **7.4. Kontrol**

Verileri toplamak, depolamak ve iletmek; akıllı seralar, sulama, gübreleme, hastalık ve zararlıları kontrol etmek; gübreleme tekniklerini daha sürdürülebilir hale getirmek ve gelişmiş algılama yeteneklerine sahip otonom sistemler oluşturmak için Nİ, sensörler, robotik ve YZ tabanlı teknik ve veri analizine dayalı çözümler önerilmiştir. Çevre, toprak ve bitki parametrelerinin izlenebildiği ve süreçlerin otomatikleştirilebildiği akıllı seralarda tarımsal sürdürülebilirlik için akıllı sulama ve gübreleme, haşere ve hastalık kontrolü, iç ortam ve sıcaklık kontrolü gibi HT uygulamaları geliştirilmektedir (Araújo vd., 2021).

## **7.5. Sulama, Pestisit, Herbisit ve Gübre Kullanımının Optimizasyonu**

Akıllı tarım, akıllı cihazlarla sulama, gübreleme veya haşere kontrolü gibi süreçleri otomatik hale getirebilmekte, gerektiği yerde ve gerektiği kadar sulama uygulayan Nİ ve akıllı sistemler kullanılarak su kullanımı azaltılabilmektedir. YZ teknolojileri; kullandığı diğer araç ve uygulamalarla birlikte pestisit, aşırı su ve herbisit kullanımından tasarruf sağlarken, toprak verimliliğini korumakta, üretim ve kaliteyi artırmaktadır (Talaviya vd., 2020). Tarımda robot kullanımı, toprağın verimliliğini ve su kaynağının etkin kullanımını sağlamakta, toprak verimliliğini belirlemektedir. Tarımda; sunucu ve bulut iletişimi ve ağlar üzerinden veri paylaşımı destekli robotlar ve YZ ve Nİ teknolojilerinin kullanılması sonucu toprak nem ve sıcaklığının tespiti (Shekhar vd., 2017), nesnelere tanıma ve mobil sulama/ilaçlama (Özgen ve Turan, 2021), sulamada insan gücü ve zaman kaybının azaltılması (Jha vd., 2019), su kaynaklarının optimizasyonu (Pincheira vd., 2021), sulama ve gübreleme (Rani vd., 2019; Ren vd., 2020), kuraklığın tahmini ve sulama sistemlerinin verimliliğini artırılması (Savitha ve UmaMaheshwari, 2018) sağlanmıştır. Nitekim Nİ tabanlı akıllı sulama sistemleri kullanılarak sadece mevcut su kaynakları korunmakla kalmayıp sulama süreçlerinin verimliliği artırılmakta ve su kayıpları azaltılmaktadır (Patricio ve Rieder, 2018).

Nİ ve akıllı sistemler; bitki hastalık, zararlı ve yabancı otları erken aşamalarda değerlendirebilir ve çiftçiyi bilgilendirebilir, aynı zamanda akıllı araçlar kullanılarak hassas hedefleme ile zararlı ve patojenler ortadan kaldırılabilmektedir. Bilgisayar görüşü ve YZ kullanımı ile otonom ayıklama, hassas ot yönetimi, yabancı ot tespiti, ot kontrol ve önleme, robotik kollar, akıllı püskürtme, sıra içi ayıklama gibi yabancı otların ayıklanması işlemleri yapılabilmektedir (Natu ve Kulkarni, 2016; Sujaritha vd., 2017; Partel vd., 2019). YZ ve MÖ, damla sulama sistemi optimizasyonu (Klyushin ve Tymoshenko, 2021) ve sulama, herbisit ve pestisit kullanımının uygun hale getirilmesinde kullanılmıştır (Talaviya vd., 2020).

## **7.6. Hasat Sistemleri**

Akıllı sensörler, robotik, bölge tabanlı evrişimli sinir ağları (R-ESA), İHA'lar ve Nİ cihazları, YZ ve MÖ tabanlı bilgisayarla görme teknikleri gibi teknolojileri kullanan akıllı hasat sistemleri daha düşük maliyetli üretim, daha az işçilik ve daha düşük hasat maliyeti, verim optimizasyonu ve artan üretkenlik ile sürdürülebilir üretime yardımcı olabilmektedir (Hornig vd., 2020; Zhang vd., 2020; Sharma vd., 2021).

## **8. Akıllı Tarım Teknolojilerinin Benimsenmesinde Bazı Zorluklar ve Başarı Faktörleri**

Bazı zorluklara ve yüksek ilk yatırım maliyetlerine rağmen HT, çiftlik verimliliğini artırabilecek, çevresel etkiyi azaltabilecek, gıda güvenliği ve sürdürülebilir üretime katkıda bulunabilecek deneyim ve uzmanlık gerektiren, giderek büyüyen ve benimsenen bir endüstridir (Masi vd., 2022). Ancak yatırım düzeyine rağmen HT teknolojilerine yönelik uygulamalardaki artış yavaş ve sınırlıdır. Ayrıca ölçeklenebilirlik, erişilebilirlik ve kullanılabilirlik uygulamaları gelişme aşamasında olduğu için tamamıyla yerine getirilmemektedir (Megeto vd., 2020). Kullanıcı algıları, teknik uzmanlık eksikliği, verilerin kullanılabilirliği, kalitesi ve maliyeti, bilgi ve teknolojik boşluklar, alt yapı ve kurumsal kısıtlamalar, gizlilik ve güven ile ilgili endişeler, tarımsal zorluklar, karlılık sorunu, beceri eksikliği, maliyet ve güvenlik sorunları, faydacılık algısı ve teknik zorluklar HT'nin önündeki engellerdir. Çiftçilerin bilgi eksikliği ve bakış açıları, farklı teknolojiler arasındaki ara bağlantı eksikliği ve karı sürdürülebilirliğe göre önceliklendirme eğilimi; yenilikçi hassas dijital teknolojilerin benimsenmesinin önündeki engellerdir. Makine, ekipman ve uygulama satın alma maliyeti, yetersiz mali imkanlar, küçük tarımsal alan ve ekipmanların uyumsuzluğu nedeniyle yatırımın ekonomik olarak uygulanabilir olmaması, kırsal alanlarda bağlantı sorunları/veya yokluğu ana sorunlar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, dijital tarımın ekosistem hizmetlerini, tarımsal üretimi ve gıda sistemlerini nasıl etkileyeceği ve geleceğinin nasıl olacağı hala belirsiz olmakla birlikte; teknolojilerin ucuzlaması, daha hızlı bağlantılar, modelleme kapasitesi ve verilerin modellere entegrasyonu gelecekte dijital ve HT'nin benimsenme oranını artırabilecektir (Çakmakçı vd., 2023).

Derin öğrenmede; aşırı öğrenme, uzun eğitim süresi ve kaybolan ve yok olan gradyan problemleri önemli sorunlardır. Aşırı öğrenme sorununun ağ hacmini ve eğitim veri kapasitesini genişleterek; doğruluk kaybını azaltmak için veri artırma ve düzenleme gibi teknikler ve eğitim süresini azaltmak için toplu normalleştirme, bırakma ve girdi görüntü boyutları azaltılabilir (Saranya vd., 2023). Kullanılan veri miktarı ne kadar fazla olursa DÖ modelleri o kadar iyi performans gösterir (Khalil, 2021). Ancak tarımın birçok alanında veri sıkıntısı vardır ve veri tabanı oluşturma maliyetinin yüksek olması DÖ yaklaşımının geliştirilmesini engellediği vurgulanmıştır (Megeto vd., 2020). Bu nedenle veri artırma teknikleri ve transfer öğrenme yöntemlerinin uygulanması, veri taşıma ve depolama ihtiyaçlarının azaltılması için DÖ algoritmalarının uygun şekilde değiştirilip geliştirilmesi gereklidir (Saranya vd., 2023).

HT'de Nİ'nin geliştirilmesi ve kullanılmasıyla ilgili ve entegrasyonu için; yüksek başlangıç maliyeti özellikle birden fazla cihazın konuşlandırılması ve bağlanması gibi birçok sorun vardır (Duncan ve diğerleri, 2021; Qazi ve diğerleri, 2022). Kullanılan ekipmanlar yağmur, aşırı nem, yüksek sıcaklık, kuvvetli rüzgârlar gibi olumsuz iklim koşullarına ve elektronik devrelere zarar verebilecek tehlikelere doğrudan maruz kalabilmektedir. Bazı durumlarda yetersiz pil kaynağına dayalı donanım arızaları düzenli çalışmaları engelleyebilmekte; açık alanda pilin değiştirilmesi zor ve kablolu Nİ sisteminin kurulması ve yeniden yapılandırılması pahalı olabilmektedir. Ayrıca YZ teknolojilerinin; teknolojinin aracılık ettiği işsizlik ve işleri makinelerin devralması, toprak ve sermaye



sahipliğinin artması, sömürü ve gözetim olasılığı, veri zengini ve fakiri arasında ayırım oluşturma, bilgisayar korsanlığına karşı güvenlik açığı, yerli ve küçük çiftçilere yetersiz hizmet, kırsal ve kentsel ilişkilerin dönüşümü, ekonomik kırılganlık, monokültürün yayılması ve doğal dünyadan kopma ve yabancılaşma gibi sonuçları ve karşılaşılabilecek riskleri olduğu belirtilmiştir (Sparrow vd., 2021).

Ölçeklenebilirlik sorunu için; ağ oluşturma, kablosuz iletişim, daha iyi iletişim hizmeti için doğru arayüzü teknolojisinin seçimi, mobilite, düşük enerji harcayan cihazlar, servis kalitesi, birlikte çalışabilirlik hizmeti, iyi tanımlanmış mimari ve cihazlar ve iletişim için güvenlik tarımsal Nİ zorlukları için alınacak önlemlerdir (Saranya vd., 2023). Ayrıca, yeni teknolojilerin tarım endüstrisine daha fazla entegrasyonu, ekipman ve altyapı maliyetleri, sermaye yatırımı, heterojenlik, uyumluluk, büyük miktarda verinin yönetim ve işlenmesi, tarımsal birimler arasında veri aktarımı, mahremiyet kaybı, teknolojik uyumsuzluk, kaynakların korunması ve siber güvenlik gibi sorunların çözülmesini gerektirmektedir (Duncan vd., 2021; Javaid vd., 2022; Shaikh vd., 2022).

Dijital teknolojilerin yaygınlaşması ve başarısı için yeni teknolojilerin benimsenmesi, zamansal ve mekânsal verilerin bir araya getirilmesi, disiplinlerarası yaklaşım, devlet ve özel sektör destekleri, eğitim programları ve yüksek kaliteli veri güvencesi gerekli görülmektedir. Küçük ve yerel çiftçiler için düşük maliyetli uygun makinelerin üretilmesi, büyük ölçekli çiftçiler için sensörlü sürücüsüz traktörlerin geliştirilmesi, farklı teknolojilerin tek bir sürece entegrasyonu gibi HT yönetimi faaliyetleri geliştirilmelidir. Mali kısıtlamaların önlenmesiyle birlikte, makine ve girdiler için kredi eksikliğinin giderilmesi çiftçilerin HT'yi benimsemelerini teşvik edebilir.

## 9. Sonuç

Tarımda karşılaşılan ve gelecekte daha artacak olan zorluklarla başa çıkmak ve verimliliği artırmak için bilimsel ve teknolojik gelişmelere her zamankinden daha fazla ihtiyaç vardır. Son yıllarda geliştirilen/geliştirilmekte olan yeni teknolojiler süreçleri daha verimli hale getirebilir, doğru karar verme, güvenli, kaliteli ve sürdürülebilir gıda üretimine katkı sağlayabilir. Bu teknolojiler verim ve kaliteyi iyileştirebilir, maliyetleri azaltabilir, toprak tuzluluğunu azaltıcı hassas sulama ve bitki besin maddesi kullanım etkinliğini artırabilirler. Ayrıca verimli rasyonel gübreleme ve pestisit kullanımından kaynaklanan kirliliği azaltabilir. Gelecekte tüm bitkilerde temel özelliklerin makine ve derin öğrenme modellerinin seçimi önerilebilir. Biyosensörlerin bitkilere dahil edilmesi; bitki moleküler süreçleri, besin asimilasyonu, antioksidan üretimi, meyve olgunlaşmasını gösteren etilen seviyesi ve diğer önemli parametreleri ölçmede etkili olabilecektir. Geçmiş ve güncel tarla verileri toprak verimliliğinin tahmininde kullanılabilirken, belli bir alanda yetersiz beslenen bitkiler tuz ve kuraklık stresi gibi koşulların göstergesi olabilir. Uzaktan algılama teknolojilerinin maliyet sorunları çözülerek tarıma dahil edilmesi gıda sektörünün sürdürülebilirliğini kolaylaştırabilir.

Bu derlemede, YZ teknolojilerinin; arazi kalitesi, hava durumu, tarımsal verilerin çıkarılması, projeksiyon ve verim tahmini, yeraltı suyu, ürün döngüsü, yabancı ot, hastalık ve haşere gibi alanlarda faydalı olacağı açıkça görülmüştür. Yeni teknolojiler hayvancılık sistemlerinde optimum çevre koşullarının sağlanması ve sağlık sorunlarının erken teşhisinde yardımcı olabilmektedir. Tüm bu olumlu gelişmelere rağmen veri gizliliği, güvenlik açığı, tekelleşme, tarihsel haritalama eksikliği, yavaş veri işleme, sensörlerin maliyeti, doğal dünyadan kopma, işleme karmaşıklığı ve eğitim gibi zorlukları aşmak; YZ, Nİ, her şeyin interneti (IoE), dronların interneti (IoD), İHA ve MÖ gibi yenilikçi verim, kalite ve kar artışı sağlayan teknolojilerin yayılma ve benimsenmesine katkı yapabilir. Geleceğin tarımı, özellikle su kaynağı kıtlığı, sıcaklık değişimleri, gıda kıtlığı ve israfi gibi zorlukların çözümünü uygun maliyetle bulmalı ve üstesinden gelmelidir. Bu durum, kirlilik düzeyinin azaltılması ve enerji üretkenliğinin artırılması, risklerin uygun yönetimi, çevre ve ekolojik varlıkların korunması, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik için yeni teknolojilerin geliştirilmesiyle mümkün olabilecektir. Tarım teknolojisi sürdürülebilirliği esas almalı, girdi ihtiyacını azaltmalı, uygulamaları kolaylaştırmalı, tarımsal biyolojiyi yüksek oranda kullanmalı, doğaya, insana, toprak, çevre ve su gibi kaynaklara saygılı ve güven verici olmalıdır. Bu derlemenin, tarımda sürdürülebilirlik, izlenebilirlik, verim, kalite ve daha birçok yönüyle yararlı olacağı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- Abioye, E.A., Abidin, M.S.Z., Mahmud, M.S.A., Buyamin, S., Ishak, M.H.I., Rahman, M.K. I.A., Otuoze, A.O., Onotu, P., & Ramli, M.S.A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441.
- Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., & Namwade, G. (2019). Application of drone in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(1), 2500–2505.
- Ahmad, A., Ordoñez, J., Cartujo, P., & Martos, V. (2021). Remotely piloted aircraft (RPA) in agriculture: A pursuit of sustainability. *Agronomy*, 11(1), 7.
- Alreshidi, E. (2019). Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(5), 93-102.
- An, J., Li, W., Li, M., Cui, S., & Yue, H. (2019). Identification and classification of maize drought stress using deep convolutional neural network. *Symmetry*, 11(2), 256.
- Apolo-Apolo, O.E, Martínez-Guanter, J., Egea, G., Raja, P., & Pérez-Ruiz, M. (2020). Deep learning techniques for estimation of the yield and size of citrus fruits using a UAV. *European Journal of Agronomy*, 115, 126030.
- Araújo, S.O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, J.C. (2021). Characterising the agriculture 4.0 landscape-emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, 11 (4), 667.
- Aslantaş, R., & Olgun, M. (1999). İklim verilerinden faydalanarak çoruh vadisinde yetişen cevizlerde verim tahmini ve modellemesi. *Türkiye III. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi*, Ankara, 305–309.
- Aslantaş, R., Karakurt, H., & Karakurt, Y. (2010). Bitkilerin düşük sıcaklıklara dayanımında hücrel ve moleküler mekanizmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (2), 157-167.



- Bali, N., & Singla, A. (2021). Deep learning based wheat crop yield prediction model in Punjab Region of North India. *Applied Artificial Intelligence*, 35(15), 1304–1328.
- Barrero O., & Perdomo S.A. (2018). RGB and multispectral UAV image fusion for Gramineae weed detection in rice fields. *Precision Agriculture*, 19(5), 809–822.
- Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique et Technique*, 33, 189–196.
- Bhagat, P.R., Naz, F., & Magda, R. (2022). Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: A bibliometric analysis. *PLoS One*, 17(6), e0268989.
- Bibri, S.E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 38, 230-253.
- Bischoff, V., Farias, K., Menzen, J.P., & Pessin, G. (2021). Technological support for detection and prediction of plant diseases: A systematic mapping study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105922.
- Blagojević, M., Blagojević, M., & Ličina, V. (2016). Web-based intelligent system for predicting apricot yields using artificial neural networks. *Scientia Horticulturae*, 213, 125-131.
- Boursianis, A.D., Papadopoulou, M.S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas G., Karagiannidis, G., Wan, S., & Goudos, S.K. (2022). Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 18, 100187.
- Bu, F., & Wang, X. (2019). A smart agriculture IoT system based on deep reinforcement learning. *Future Generation Computer Systems*, 99, 500–507.
- Castaldi, F., Pelosi, F., Pascucci, S., & Casa, R. (2017). Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture*, 18(1), 76–94.
- Chang, A., Jung, J., Maeda, M. M., & Landivar, J. (2017). Crop height monitoring with digital imagery from unmanned aerial system (UAS). *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 232 – 237.
- Chen, Q., Li, L., Chong, C., & Wang, X. (2022). AI-enhanced soil management and smart farming. *Soil Use and Management*, 38(1), 7-13.
- Chen, Y., Lee, W. S., Gan, H., Peres, N., Fraisse, C., Zhang, Y., & He, Y. (2019). Strawberry yield prediction based on a deep neural network using high-resolution aerial orthoimages. *Remote Sensing*, 11(13), 1584.
- Cheng, H., Damerow, L., Sun, Y., & Blanke, M. (2017). Early yield prediction using image analysis of apple fruit and tree canopy features with neural networks. *Journal of Imaging*, 3(1), 6.
- Cruz, A., Ampatzidis, Y., Pierro, R., Materazzi, A., Panattoni, A., De Bellis, L., & Luvisi, A. (2019). Detection of grapevine yellows symptoms in *Vitis vinifera* L. with artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 63–76.
- Çakmakçı, R., (2019). A Review of biological fertilizers current use, new approaches, and future perspectives. *International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology (IJISSET)*, 5(7), 83-92.
- Çakmakçı, R., Salık, M.A., Çakmakçı, S. (2023). Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. *Agriculture*, 13, 1073.
- Das, J.V., Sharma, S., & Kaushik, A. (2019). Views of Irish farmers on smart farming technologies: An observational study. *AgriEngineering*, 1(2), 164–187.
- Dayioğlu, M.A., & Türker, U. (2021). Digital transformation for sustainable future- agriculture 4.0: A review. *Journal of Agricultural Science*, 27(4), 373-399.
- DeChant, C., Wiesner-Hanks, T., Chen, S., Stewart, E.L., Yosinski, J., Gore, M.A., Nelson, R.J., & Lipson, H. (2017). Automated identification of northern leaf blight-infected maize plants from field imagery using deep learning. *Phytopathology*, 107, 1426–1432.
- Devi, G., Sowmiya, N., Yasoda, K., Muthulakshmi, K., & Balasubramanian, K. (2020). Review on application of drones for crop health monitoring and spraying pesticides and fertilizer. *Journal of Critical Reviews*, 7, 667–672.
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart farming: Internet of things (IoT)-based sustainable agriculture. *Agriculture*, 12(10), 1745.
- Diwate, S., Nitnaware, V., & Argulwar, K. (2018). Design and development of application specific drone machine for seed sowing. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(5), 4003–4007.
- Duncan, E., Glaros, A., Ross, D.Z., & Nost, E. (2021). New but for whom? Discourses of innovation in precision agriculture. *Agriculture and Human Values*, 38, 1181–1199.
- Duysak, H., Özkaya, U., Yiğit, E. (2020). Grain surface classification via machine learning methods. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 54-59.
- EC, (2020). European Commission, Farm to fork strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. <https://food.ec.europa.eu/system/files/2020>.
- Elahi, E., Weijun, C., Zhang, H., & Nazeer, M. (2019). Agricultural intensification and damages to human health in relation to agrochemicals: Application of artificial intelligence. *Land Use Policy*, 83, 461–474.
- Escalante, H. J., Rodriguez-Snchez, S., Jimenez-Lizrraga, M., Morales-Reyes, A. Calleja, J. D. L., & Vazquez, R. (2019). Barley yield and fertilization analysis from UAV imagery: A deep learning approach. *International Journal of Remote Sensing*, 40(7), 2493–2516.
- Esgario, J.G. Krohling, R.A., & Ventura, J.A. (2020). Deep learning for classification and severity estimation of coffee leaf biotic stress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105162.

- Faiçal, B.S., Freitas, H., Gomes, P.H., Mano, L.Y., Pessin, G., de Carvalho, A.C.P.L.F., Krishnamachari, B., & Ueyama, J. (2017). An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments, *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 210–223.
- Ferreira, B., Iten, M., & Silva, R.G. (2020). Monitoring sustainable development by means of earth observation data and machine learning: a review. *Environmental Sciences Europe*, 32,120.
- Fu, Z., Jiang, J., Gao, Y., Krienke, B., Wang, M., Zhong, K., Cao, Q., Tian, Y., Zhu, Y., Cao, W., & Liu, X. (2020). Wheat growth monitoring and yield estimation based on multi-rotor unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing*, 12(3), 508.
- Fuentes, A., Yoon, S., Kim, S.C., & Park, D.S. (2017). A robust deep-learning-based detector for real-time tomato plant diseases and pests recognition. *Sensors*, 17, 2022.
- García, R., Aguilar, J., Toro, M., Pinto, A., & Rodríguez, P. (2020). A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105826.
- Gholipour, M., & Nadali, F. (2019). Fruit yield prediction of pepper using artificial neural network. *Scientia Horticulturae*, 250, 249-253.
- Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). Spaceborne and airborne sensors in water quality assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 37, 3143-3180.
- Goedde, L., Katz, J., Ménard, A., & Revellat, J. (2020). Agriculture's connected future: How technology can yield new growth. McKinsey and Company, <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture>.
- Gómez, C., White, J., & Wulder, M. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55-72.
- Gómez, J.E., Marcollo, F.R., Triana, F.L., Gallo, V.T., Oviedo, B.W., & Hernández, V.L. (2017). IoT for environmental variables in urban areas. *Procedia Computer Science*, 109, 67-74.
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Liu, T., Wang, X., Wang, G., & Cai, J. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 77, 354–377.
- Hassan M.A., Yang, M., Rasheed A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., Xiao, Y., & He, Z. (2019). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*, 282, 95–103.
- Hemming, S., de Zwart, F., Elings, A., Righini, I., & Petropoulou, A. (2019). Remote control of greenhouse vegetable production with artificial intelligence—greenhouse climate, irrigation, and crop production. *Sensors*, 19(8), 1807.
- Heuvelink, G.B.M., Angelini, M.E., Poggio, L., Bai, Z., Batjes, N.H., van den Bosch, R., Bossio, D., Estella, S., Lehmann, J., Olmedo, G.F., & Sanderman, J. (2021). Machine learning in space and time for modelling soil organic carbon change. *European Journal of Soil Science*, 72, 1607–1623.
- Hodgson, J.C., Mott, R., Baylis, S.M., Pham, T.T., Wotherspoon, S., Kilpatrick, A.D., Segaran, R.R., Reid, L., Terauds, A., & Koh, L.P. (2018). Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(5), 1160-1167.
- Hong, G.-J., Liu, M.-X., & Chen, C.-C. (2020). The smart image recognition mechanism for crop harvesting system in intelligent agriculture. *IEEE Sensors Journal*, 20, 2766-2781.
- Huang, H., Deng, J., Lan, Y., Yang, A., Deng, X., & Zhang, L. (2018). A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *PLoS One*, 13 (4), e0196302.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt A.K., Pulatov, A., Franceschini, M.H:D., Kramer, H., van Loo, E.N., Roman, V.J., & Finkers, R. (2019). UAV based soil salinity assessment of cropland. *Geoderma*, 338, 502–512.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., & Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 150–164.
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1–12.
- Ji, J., Zhu, X., Ma, H., Wang, H., Jin, X., & Zhao, K. (2021). Apple fruit recognition based on a deep learning algorithm using an improved lightweight network. *Applied Engineering in Agriculture*, 37(1), 123-134.
- Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A., & Landivar-Bowles, J. (2021). The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 15–22.
- Kale, S.S., & Patil, P.S. (2019). Data mining technology with fuzzy logic, neural networks and machine learning for agriculture. In V. Balas, N. Sharma, & A. Chakrabarti (Eds.), *Data management, analytics and innovation* (pp.79-87), Springer, Singapore.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F.X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90, 2018.
- Kavianand, M., Nivas, V.M., Kiruthika R., & Lalitha, S. (2016). Smart drip irrigation system for sustainable agriculture. 2016 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), Chennai, India, pp. 19–22.
- Keskin, H., Grunwald, S., & Harris, W.G. (2019). Digital mapping of soil carbon fractions with machine learning. *Geoderma*, 339, 40–58.
- Keswani, B., Mohapatra, A.G., Mohanty, A., Khanna, A., Rodrigues, J.J.P.C., Gupta, D., & de Albuquerque, V.H.C. (2019). Adapting weather conditions based IoT enabled smart irrigation technique in precision agriculture mechanisms. *Neural Computing and Applications*, 31, 277–292.
- Khalil, R.A., Saeed, N., Masood, M., Fard, Y.M., Alouini, M.S., & Al-Naffouri, T.Y. (2021). Deep learning in the industrial internet of things: Potentials, challenges, and emerging applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 8 (14), 11016–11040.
- Kılıç, Z. (2020). The importance of water and conscious use of water. *International Journal of Hydrology*, 4(5), 239-241.

- Klyushin, D., & Tymoshenko, A. (2021). Optimization of drip irrigation systems using artificial intelligence methods for sustainable agriculture and environment. In: AE. Hassanien, R. Bhatnagar, & A. Darwish (Eds.). *Artificial intelligence for sustainable development: Theory, practice and future applications* (pp. 3-17). Springer International Publishing.
- Kodali, R.K., & Sahu, A. (2016). An IoT based soil moisture monitoring on Losant platform. 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics. IEEE, pp. 764–768.
- Liang, W., Zhang, H., Zhang, G., & Cao, H. (2019). Rice blast disease recognition using a deep convolutional neural network. *Scientific Report*, 9, 1–10.
- Lieder, S., & Schröter-Schlaack, C. (2021). Smart farming technologies in arable farming: towards a holistic assessment of opportunities and risks. *Sustainability*, 13, 6783.
- Lin, T.-L., Chang, H.-Y., & Chen, K.-H. (2020). The pest and disease identification in the growth of sweet peppers using faster R-CNN and mask R-CNN. *Journal of Internet Technology*, 21, 605–614.
- Lingwal, S., Bhatia, K.K., & Singh, M. (2022). A novel machine learning approach for rice yield estimation. *Journal of Experimental Theoretical Artificial Intelligence*, <https://doi.org/10.1080/0952813X.2022.2062458>
- Liu, B., Zhang, Y., He, D., & Li, Y. (2018). Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks. *Symmetry*, 10, 11.
- MacPherson, J., Voglhuber-Slavinsky, A., Olbrisch, M., Schöbel, P., Dönitz, E., Mouratiadou, I., & Helming, K. (2022). Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 70.
- Maes, W.H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*, 24 (2), 152-164.
- Mahmood, H.S., Ahmad, M., Ahmad, T., Saeed, M.A., & Iqbal, M. (2013). Potentials and prospects of precision agriculture in Pakistan—a review. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 26(2), 151–167.
- Maimaitijiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Hartling, S., Esposito, F., & Fritschi, F.B. (2020). Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111599.
- Manogaran, G., & Lopez, D. (2018). Disease surveillance system for big climate data processing and dengue transmission. In *Climate Change and Environmental Concerns: Breakthroughs in Research and Practice* (pp. 427-446). IGI Global.
- Maraveas, C., Piromalis, D., Arvanitis, K.G., Bartzanas, T., & Loukatos, D. (2022). Applications of IoT for optimized greenhouse environment and resources management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 106993.
- Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P., & Ordoñez, J. (2021). Ensuring agricultural sustainability through remote sensing in the era of agriculture 5.0. *Applied Sciences*, 11, 5911.
- Masi, M., De Rosa, M., Vecchio, Y., Bartoli, L., & Adinolfi, F. (2022). The long way to innovation adoption: Insights from precision agriculture. *Agricultural and Food Economics*, 10, 27.
- Mateen, A., & Qingsheng, Z. (2019). Legion based weed extraction from UAV imagery. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 56(4), 1057–1064.
- McNicol, G., Bulmer, C., D'Amore, D., Sanborn, P., Saunders, S., Giesbrecht, I., Arriola, S. G., Bidlack, A., Butman, D., & Buma, B. (2019). Large, climate-sensitive soil carbon stocks mapped with pedology-informed machine learning in the North Pacific coastal temperate rainforest. *Environmental Research Letters*, 14(1), 14004.
- Megeto, G.A.S., da Silva, A.G., Bulgarelli, R.F., Bublitz, C.F., Valente, A.C., & da Costa, D.A.G. (2020). Artificial intelligence applications in the agriculture 4.0. *Revista Ciência Agronômica*, 51, Special Agriculture 4.0, e20207701.
- Mishra, P., Asaari, M.S.M., Herrero-Langreo, A., Lohumi, S., Diezma, B., & Scheunders, P. (2017). Close range hyperspectral imaging of plants: A review. *Biosystems Engineering*, 164, 49–67.
- Mohanraj, I., Ashokumar, K., & Naren, J. (2016). Field monitoring and automation using IoT in agriculture domain. *Procedia Computer Science*, 93, 931-939.
- Morellos, A., Pantazi, X.-E., Moshou, D., Alexandridis, T., Whetton, R., Tziotzios, G., Wiebensohn, J., Bill, R., & Mouazen, A.M. (2016). Machine learning based prediction of soil total nitrogen, organic carbon and moisture content by using VIS-NIR spectroscopy. *Biosystems Engineering*, 152, 104–116.
- Muhammad, M.N., Wayayok, A., Shariff, A.R.M., Abdullah, A.F., & Husin, E.M. (2019). Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105045.
- Natu, A.S., & Kulkarni, S. (2016). Adoption and utilization of drones for advanced precision farming: A review. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 4, 563–565.
- Nevavuori, P., Narra, N., & Lipping, T. (2019). Crop yield prediction with deep convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104859.
- Ng, W., Minasny, B., Montazerolghaem, M., Padarian, J., Ferguson, R., Bailey, S., & McBratney, A.B. (2019). Convolutional neural network for simultaneous prediction of several soil properties using visible/near-infrared, mid-infrared, and their combined spectra. *Geoderma*, 352, 251–267.
- Nguyen, Q.T., Fouchereau, R., Frénod, E., Gerard, C., & Sincholle, V. (2020). Comparison of forecast models of production of dairy cows combining animal and diet parameters. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105258.
- Nie, X., Wang, L., Ding, H., & Xu, M. (2019). Strawberry verticillium wilt detection network based on multi-task learning and attention. *IEEE Access*, 7, 170003–170011.
- Norton, T., Chen, C., Larsen, M.L.V., & Berckmans, D. (2019). Review: precision livestock farming: building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. *Animal*, 3, 3009–3017.
- OECD, (2022). Digital innovations and the growing importance of agricultural data. OECD Publishing, Paris.



- Özgen, H., & Turan M. (2021). Sulama/ilaçlama robotu için nesne tanıma çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 25-33.
- Öztürk, E., Çelik, Y., & Kırıcı, P. (2021). Akıllı tarımda sensör uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 1279-1282.
- Padarian, J., Minasny, B., & McBratney, A.B. (2020). Machine learning and soil sciences: a review aided by machine learning tools. *Soil*, 6(1), 35–52.
- Park, S., Ryu, D., Fuentes, S., Chung, H., Hernández-Montes, E., & O’Connell, M. (2017). Adaptive estimation of crop water stress in nectarine and peach orchards using high-resolution imagery from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 9(8), 828.
- Partel, V., Kakarla, S.C. & Ampatzidis, Y. (2019). Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 339–350.
- Patrício, D.I., & Rieder, R. (2018). Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 69-81.
- Paustian, M., & Theuvsen, L. (2017). Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agriculture*, 18, 701–716.
- Pham, T.D., Yokoya, N., Nguyen, T.T.T., Le, N.N., Ha, N.T., Xia, J., Takeuchi, W., & Pham, T.D. (2021). Improvement of mangrove soil carbon stocks estimation in North Vietnam using Sentinel-2 data and machine learning approach. *GIScience and Remote Sensing*, 58(1), 68–87.
- Pincheira, M., Vecchio, M., Giaffreda, R., & Kanhere, S.S. (2021). Cost-effective IoT devices as trustworthy data sources for a blockchain-based water management system in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105889.
- Pivoto, D., Waquil, P.D., Talamini, E., Finocchio, C.P.S., Corte, V.F.D., & de Vargas Mores, G. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 21-32.
- Qazi, S., Khawaja, B.A., & Farooq, Q.U. (2022). IoT-equipped and AI-enabled next generation smart agriculture: A critical review, current challenges and future trends. *IEEE Access*, 10, 21219-21235.
- Qureshi, T., Saeed, M., Ahsan, K., & Malik, A.A. (2022). Smart agriculture for sustainable food security using internet of Things (IoT). *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 9608394.
- Rani, A., Chaudhary, A., Sinha, N., Mohanty, M., & Chaudhary, R. (2019). Drone: The green technology for future agriculture. *Harit Dhara*, 2, 3–6.
- Ray, P. (2018). A survey on internet of things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30(3), 291-319.
- Ren, Q., Zhang, R., Cai, W., Sun, X., & Cao, L. (2020). Application and development of new drones in agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 440(5), 052041.
- Rose, D.C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87.
- Roth, L., Aasen, H., Walter, A., & Liebisch, F. (2018). Extracting leaf area index using viewing geometry effects- A new perspective on high-resolution unmanned aerial system photography. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 141, 161-175.
- Ryan, M., Isakhanyan, G., Tekinerdogan, B. (2023). An interdisciplinary approach to artificial intelligence in agriculture. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 95, 2168568.
- Sa, I., Chen Z., Popovi, M., Khanna, R., Liebisch, F., Nieto, J., & Siegwart, R. (2018). WeedNet: Dense semantic weed classification using multispectral images and mav for smart farming. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3 (1), 588–595.
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(207), 1–21.
- Sanderman, J., Savage, K., & Dangal, S.R.S. (2019). Mid-infrared spectroscopy for prediction of soil health indicators in the United States. *Soil Science Society of America Journal*, 84, 251–261.
- Saranya, T., Deisy, C., Sridevi, S., & Anbananthen, K.S.M. (2023). A comparative study of deep learning and Internet of Things for precision agriculture. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 122, 106034.
- Savitha, M., & UmaMaheshwari, O.P. (2018). Smart crop field irrigation in IOT architecture using sensors. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 9(1), 302–306.
- Schillings, J., Bennett, R., & Rose, D.C. (2021). Exploring the potential of precision livestock farming technologies to help address farm animal welfare. *Frontiers in Animal Science*, 2, 639678.
- Shaikh, T.A., Rasool, T., & Lone, F.R. (2022). Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107119.
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., Chowdary, V. (2021). Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9, 4843-4873.
- Shekhar, Y., Dagur, E., Mishra, S., Tom, R.J., Veeramanikandan, M., & Sankaranarayanan, S. (2017). Intelligent IoT based automated irrigation system. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(18), 7306–7320.
- Shine, P., Murphy, M.D., Upton, J., & Scully, T. (2018). Machine-learning algorithms for predicting on-farm direct water and electricity consumption on pasture based dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 74–87.
- Sishodia, R.P., Ray, R.L., & Singh, S.K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12, 3136.
- Song, X.P., Li, H., Potapov, P., & Hansen, M.C. (2022). Annual 30 m soybean yield mapping in Brazil using long-term satellite observations, climate data and machine learning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 326, 109186.
- Song, X.-P., Liang, Y.-J., Zhang, X.-Q., Qin, Z.-Q., Wei, J.-J., Li, Y.-R., & Wu, J.-M. (2020). Intrusion of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in sugarcane and its control by drone in China. *Sugar Tech*, 22, 734–737.

- Spachos, P., & Gregori, S. (2019). Integration of wireless sensor networks and smart UAVs for precision viticulture. *IEEE Internet Computing*, 23(3), 8-16.
- Sparrow, R., Howard, M., & Degeling, C. (2021). Managing the risks of artificial intelligence in agriculture. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 93(1), 172-196.
- Steele-Dunne, S.C., McNairn, H., Monsivais-Huertero, A., Judge, J., Liu, P.-W., & Papathanassiou, K. (2017). Radar remote sensing of agricultural canopies: A review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10, 2249–2273.
- Subeesh, A., & Mehta, C.R. (2021). Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 278-291.
- Suganya, E., Sountharajan, S., Shandilya, S.K., & Karthiga, M. (2019). Chapter 5- IoT in agriculture investigation on plant diseases and nutrient level using image analysis techniques. In V.E. Balas, L.H. Son, S. Jha, M. Khari, R. Kumar (Eds.), *Internet of Things in biomedical engineering* (pp.117–130). Academic Press.
- Sujaritha, M., Annadurai, S., Satheeshkumar, J., Kowshik Sharan, S., & Mahesh, L. (2017). Weed detecting robot in sugarcane fields using fuzzy real time classifier. *Computers and Electronics in Agriculture*, 134, 160–171.
- Sukhadia, A., Upadhyay, K., Gundeti, M., Shah, S., & Shah, M. (2020). Optimization of smart traffic governance system using artificial intelligence. *Augmented Human Research*, 5, 13.
- Sun, Y., Yi, S., Hou, F., Luo, D., Hu, J., & Zhou, Z. (2020). Quantifying the dynamics of livestock distribution by unmanned aerial vehicles (UAVs): A case study of yak grazing at the household scale. *Rangeland Ecology and Management*, 73, 642–648.
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58–73.
- Tao, W., Zhao, L., Wang, G., & Liang, R. (2021). Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106352.
- Tsai, D.M., & Huang, C.Y. (2014). A motion and image analysis method for automatic detection of estrus and mating behavior in cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 104, 25–31.
- Vanegas, F., Bratanov, D., Powell, K., Weiss, J., & Gonzalez, F. (2018). A novel methodology for improving plant pest surveillance in vineyards and crops using UAV-based hyperspectral and spatial data. *Sensors*, 18(1), 260, 2018.
- Veroustraete, F. (2015). The rise of the drones in agriculture. *Ecronicon*, 2 (2), 1–3.
- Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep learning for computer vision: A brief review. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, 7068349.
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111402.
- Wolfert, S., & Isakhanyan, G. (2022). Sustainable agriculture by the Internet of Things – A practitioner’s approach to monitor sustainability progress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107226.
- Yamamoto, K., Guo, W., Yoshioka, Y., & Ninomiya, S. (2014). On plant detection of intact tomato fruits using image analysis and machine learning methods. *Sensors*, 14(7), 12191-
- Zannou, J.G.N., & Houndji, V.R. (2019). *Sorghum yield prediction using machine learning*. 3rd International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies, 24-26 April 2019, Paris, France.
- Zhang, C., & Kovacs, J.M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712.
- Zhang, S. Chen, X., & Wang, S. (2014). Research on the monitoring system of wheat diseases, pests and weeds based on IoT. 9th International Conference on Computer Science Education, 22-24 August 2014, Vancouver, BC, Canada, pp. 981–985.
- Zhang, T., Su, J., Liu, C., & Chen, W.-H. (2019). Bayesian calibration of AquaCrop model for winter wheat by assimilating UAV multi-spectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105052.
- Zhang, J., Karkee, M., Zhang, Q., Zhang, X., Yaqoob, M., Fu, L., & Wang, S. (2020). Multi-class object detection using faster R-CNN and estimation of shaking locations for automated shake-and-catch apple harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105384.
- Zheng, C., Abd-Elrahman, A., & Whitaker, V. (2021). Remote sensing and machine learning in crop phenotyping and management, with an emphasis on applications in strawberry farming. *Remote Sensing*, 13, 531.
- Zhou, X., Zheng, H., Xu, X., He, J., Ge, X., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W., & Tian, Y. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 246 – 255.
- Zhou, Y., Xia, Q., Zhang, Z., Quan, M., & Li, H. (2022). Artificial intelligence and machine learning for the green development of agriculture in the emerging manufacturing industry in the IoT platform. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 72 (1), 284-299.
- Zhuang, X., Bi, M., Guo, J., Wu, S., & Zhang, T. (2018). Development of an early warning algorithm to detect sick broilers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 144, 102–113.





# Dijital Pazarlamanın İhracattaki Rolü: İnegöl Mobilya Sektörü Üzerine Bir İnceleme

Tutku Tuncalı Yaman<sup>1\*</sup>, Enes Aytakin<sup>2</sup>, Ahmet Fırat Çiftçi<sup>3</sup>, Alaa Alshawish<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Marmara Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8742-2625), [tutku.tuncali@marmara.edu.tr](mailto:tutku.tuncali@marmara.edu.tr)

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İşletmecilik Programı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0009-0009-0366-9547), [enes.aytekin@marun.edu.tr](mailto:enes.aytekin@marun.edu.tr)

<sup>3</sup> Marmara Üniversitesi, Xxxxx Fakültesi, Xxxx Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0009-0009-6078-9908), [ahmetciftci@marun.edu.tr](mailto:ahmetciftci@marun.edu.tr)

<sup>4</sup> Marmara Üniversitesi, Xxxxx Fakültesi, Xxxx Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0009-0001-5403-114X), [ashareef@marun.edu.tr](mailto:ashareef@marun.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 5 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 23 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439969)

**ATIF/REFERENCE:** Tuncalı Yaman, T., Aytakin, E., Çiftçi, A.F. & Alshawish, A. (2023). Dijital Pazarlamanın İhracattaki Rolü: İnegöl Mobilya Sektörü Üzerine Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 247-258.

## Öz

Bu çalışmada, bir örnek vaka çalışması olarak Bursa ilinin önemli bir üretim bölgesi olan İnegöl'de mobilya sektöründe faaliyette bulunan işletmelerin, dijital pazarlama stratejilerinin ihracat performanslarındaki rolü ele alınmıştır. Günümüzde artan küresel rekabetin bir sonucu olarak işletmeler, temel fonksiyonu olan sürekliliği sağlamak için güncel yaklaşımlara ihtiyaç duymaktadır. Bu kapsamda işletmelerin, modern dünyanın getirdiği teknolojik yeniliklerden istifade ederek, dijital pazarlama stratejilerini ihracat süreçlerinde aktif bir şekilde kullanması, ihracat yapan işletmelere uzun vadede geniş pazarlara erişme olanağı tanınması bakımından son derece önemlidir. Dijital pazarlamanın, işletmelerin artan küresel rekabete uyum sağlamasına ve coğrafi olarak uzak müşterilere ulaşmasına nasıl olanak tanıdığı ifade edilmektedir. Özellikle müşteri ilişkilerinin geliştirilmesi ve yurt dışında yeni müşteriler bulunması açısından dijital pazarlama araçlarının kullanımının önemi vurgulanmaktadır. Bu bağlamda tasarlanan çalışma kapsamında 2023 yılı Nisan ayında Bursa İnegöl'de dijital pazarlamayı kullanan ve ihracatı 1.000.000 \$ üzerinde olan 5 işletmenin yöneticisi ile derinlemesine görüşmeler gerçekleştirilerek bu alandaki görüş ve mevcut uygulamaları hakkında detaylı bilgi alınmıştır. Araştırma sonucunda, İnegöl mobilya sektöründe yer alan işletmelerin, ihracat faaliyetlerinde dijital pazarlamanın rolünü tam olarak kavrayamadıkları ve sektörün içinde bulunduğu koşullardan dolayı klasik pazarlama faaliyetlerinin de işletmelerin gündeminde yer alması gerekliliğini ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Dijital Pazarlama, İhracat, Mobilya Sektörü.

## The Role Of Digital Marketing In Export: An Investigation On Inegol Furniture Industry

### Abstract

In this study, the role of digital marketing strategies in the export performance of businesses operating in the furniture industry in İnegöl, an important production region of Bursa, is discussed as a case study. As a result of increasing global competition today, businesses need up-to-date approaches to ensure continuity, which is their basic function. In this context, it is extremely important for businesses to actively use digital marketing strategies in their export processes by taking advantage of the technological innovations brought by the modern world, as it will allow exporting businesses to access large markets in the long term. It describes how digital marketing allows businesses to adapt to increasing global competition and reach geographically distant customers. The importance of using digital marketing tools is emphasized, especially in terms of improving customer relations and finding new customers abroad. Within the scope of the study designed in this context, in-depth interviews were held with the managers of 5 businesses that use digital marketing in Bursa İnegöl in April 2023 and whose exports are over \$ 1,000,000, and detailed information was obtained about their opinions and current practices in this field. As a result of the research, it has been revealed that the businesses in the İnegöl furniture sector cannot fully understand the role of digital marketing in their export activities and that classical marketing activities should also be on the agenda of the businesses due to the conditions of the sector.

**Keywords:** Digital Marketing, Export, Furniture Industry.

\* Sorumlu Yazar: [tutku.tuncali@marmara.edu.tr](mailto:tutku.tuncali@marmara.edu.tr)

## 1. Giriş

Çağımızda dijital teknolojilerin gelişmesi ve yayılmasıyla birlikte, uluslararası pazarlarda faaliyet gösteren ve ihracat yapan işletmelerin kurumsal yapılarında, gayelerinde ve stratejilerinde değişim yaşamaları kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Konjoktürde yaşanan bu değişim neticesinde işletmelerin pazarlama stratejilerinde de değişimler meydana gelmiştir. Bu kapsamda geleneksel pazarlama anlayışını tercih eden işletmelerin bu anlayıştan vazgeçip, küresel ölçekte artan rekabete uyum sağlamak için dijital pazarlama anlayışına bürünmesi, işletmelerin ihracat faaliyetlerini sürdürülebilir bir zemine oturtması için son derece makuldur.

İşletmelerin temel amacı sürdürülebilir bir yapıya sahip olup, kazanç elde etme kültürüdür. İhracat yapan işletmelerin ulusal sınırlar dışında sürdürülebilirlik ilkesini uygulamasının en pratik yollarından birisi de dijital pazarlama anlayışını ne derece uyguladığı ve benimsediğidir. Geleneksel pazarlama anlayışının aksine dijital pazarlama, ihracatçı işletmelere daha geniş araç ve gereçler sunarak coğrafi konum itibarıyla uzak olan müşterilere ve müşteri adaylarına ulaşma şansına olanak sağlamaktadır. İnternet penetrasyonunun küresel ölçekte gün geçtikçe artmaya devam etmesiyle birlikte ihracatçı işletmeler hedef kitlelerini dijital pazarlama anlayışını benimseyerek genişletme imkanına sahiptirler (We Are Social, 2023).

Dijital pazarlamanın bir aracı olarak sosyal medya, işletmecilik anlamında da özellikle müşteri ilişkileri yönetimi, yeni müşteri bulma, satış öncesi ve sonrası hizmet gibi unsurların düşük maliyetlerle işletmede başarıyla uygulanabilmesi potansiyeline sahiptir. Uluslararası pazarlarda müşteri ilişkilerini iyileştirme ve yeni müşteri kazanımında sosyal medya pazarlamanın önemi hakkında literatürün yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın temel amacı dijital pazarlamanın ihracat sürecindeki rolünü ortaya koymakla beraber örnek bir vaka çalışması olarak Bursa ilinde önemli bir yere sahip olan İnegöl ilçesinde mobilya sektöründe faaliyette bulunup ihracat yapan işletmeler örneği üzerinden bir değerlendirme sunmaktır. Bu bağlamda İnegöl mobilya sektörünün ihracat faaliyetlerinde dijital pazarlamanın etkileri derinlemesine görüşme yapılarak incelenmiştir. Ayrıca dijital pazarlamanın ihracattaki rolüne odaklanarak, İnegöl mobilya sektöründeki firmaların daha geniş bir uluslararası pazara erişim sağlamak ve rekabet avantajı elde etmek için dijital pazarlamayı etkin bir şekilde kullanıp kullanmadıkları ölçümlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca mobilya sektöründe dijital pazarlamanın zorlukları da tüketici beklentileri odaklı değerlendirilmiştir. Küreselleşmenin getirdiği bir sonuç olarak ülkeler farklı bölgelerden ziyade, tek bir pazar olarak görülmeye başlanmıştır. Yurtiçi piyasalarda faaliyet gösteren işletmeler ulusal pazarların dışına çıkarak rekabet ortamında kazanç sağlayarak işletmenin fonksiyonu olan sürekliliği devam ettirmek için ihracat faaliyetlerine gereksinim duymaktadır. Bu çalışmada İnegöl mobilya sektöründe faaliyette bulunan işletmelerin dijital pazarlamayı ihracat sürecindeki rolünün, derinlemesine mülakat yöntemiyle ortaya konulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ele alınan konular başlıklar halinde şöyledir: Kavramsal Çerçeve başlığı altında dijital pazarlama kavramı, dijital pazarlamanın araçları, dijital pazarlamanın önemi, dijital pazarlamanın dezavantajları ve avantajları, dijital pazarlama ve ihracat kavramlarına değinilmiştir. Aynı zamanda yapılan literatür taraması sonucunda konuyla ilgili farklı sektörlerde yapılan çalışmalara değinilmiştir. Çalışmanın Metodoloji ve Bulgular başlığı altında araştırma adımları ifade edilmiş, gerçekleştirilen çalışma sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Son bölümde ise bulgular ışığında genel bir değerlendirme yapılmış, sektör yöneticileri ve uzmanlarına önerilerde bulunulmuştur.

### 1.1. Kavramsal Çerçeve

#### 1.1.1. Dijital Pazarlama

Piyasada işletmeler son derece yoğun bir rekabet ortamına sahiptir. İşletmelerin rekabet ortamında internetin sağladığı zenginlik sayesinde müşteri sayılarını arttırmak, yeni müşterilere ulaşarak hedef kitlesini genişletmek ve ulusal sınırlardan çıkarak yeni pazarlara erişme çabasından ötürü yeni bir pazarlama anlayışına gereksinim duyulmuştur. Bu anlayış ise dijital pazarlama olarak ifade edilmektedir. Dijital pazarlama anlayışında işletmeler, internetin sağladığı zenginlikle müşterilere dijital kanallar aracılığıyla ulaşarak rakip işletmelere karşı rekabet avantajı elde etmeyi amaçlarlar. Dijital pazarlama, işletmelerin müşterilerden anında yanıt almak amacıyla kalıcı bir şekilde müşteri ilişkileri kurmasını içeren, bireysel tüketiciler ve müşteri topluluklarını hedef alan, doğrudan etkileşimi esas alan bir kavram olup, ilgili işletmenin satış hedeflerine ulaşmak için; teknolojiyi, interneti ve sosyal medya platformlarını etkin bir biçimde kullanarak; reklam, marka imajı, müşteri deneyimi gibi faaliyetlerin dijital kanallar aracılığıyla sağladığı bütünüdür. (Armstrong v.d., 2014). Dijital pazarlama sayesinde işletmeler daha etkin müşteri ilişkileri yönetimi araçlarına erişim sağlamak ve müşterilerine daha yüksek müşteri memnuniyeti sağlamaktadır (Veleva ve Tsvetanova, 2020: 2). Dijital pazarlama faaliyetinde, müşteriyle bağ kurulan alan dijital platform temellidir. Geleneksel anlamda pazarlama süreçleri marka sadakati, markanın bilinirliği yaygınlaştırarak, ilgili işletmenin ürün ve hizmetlerini hedef kitlenin satın almasını teşvik ederken, dijital pazarlama, ifade edilen faaliyetlere ek olarak dijital teknolojileri de bu sürece dahil ederek yeni müşteriler elde eder ve bünyesinde barındırdığı müşterilerle ilişkisini zenginleştirir (Chaffey and Ellis-Chadwick, 2019). Dijital pazarlama sayesinde işletmeler, tüketicinin ihtiyaçlarını karşılamak için bilgi ve iletişim teknolojilerinden istifade etmektedir (Chaffey, 2007). Dijital pazarlamanın sunduğu bu yaklaşım sayesinde müşteriler daha düşük maliyetle mekân ve zamandan bağımsız reklam, hizmet ve ürün deneyiminden faydalanarak, ilgili ürün ve hizmetlere daha hızlı şekilde erişme şansına sahip olurlar (Yasmin, v.d., 2015: 70).

#### 1.1.2. Dijital Pazarlama Araçları

İşletmeler tüketicilere ulaşmak için bilgisayar, televizyon, tablet ve diğer dijital cihazlar aracılığıyla; web siteleri, çevrimiçi videolar, e-posta, bloglar, sosyal medya platformları, mobil reklamlar ve uygulamalar ve diğer dijital platformlar gibi dijital pazarlama araçlarını kullanmaktadır (Armstrong v.d., 2014). İnternet ve dijital teknolojilerin küresel ölçekte yaygınlaşması hem alıcılar açısından hem de onlara ürün ve hizmet sağlayan işletmeler için önemli bir yere sahiptir (We Are Social 2023). Dijital

pazarlama, etkili pazarlama kampanyaları yürütmek için çeşitli araçlar ve teknikler kullanır. İlgili araç ve teknikler aşağıda ifade edilmiştir.

- **Arama Motoru Optimizasyonu (SEO):** Arama motoru optimizasyonu (SEO), web sitelerini optimize etmek ve arama motoru sonuçlarındaki görünürlüğünü artırmak için işletmeler tarafından tercih edilen kritik bir araçtır (Özgüven Tayfun ve Öçlü, 2018). İşletmeler, ilgili anahtar kelimeleri dahil ederek, yüksek kaliteli içerik oluşturarak ve web sitesi yapısını optimize ederek web arama sıralamalarını yükseltebilir ve hedeflenen web sitesi trafiğini artırma şansına sahip olmaktadır.

- **Pay Per Click (PPC):** Tıklama başına ödeme (PPC) reklamcılığı, işletmelerin hedefi olan reklamlar göstermesini ve yalnızca kullanıcıların ilgili tıklamaya göre ödeme yapılmasını sağlamaktadır (Özgüven Tayfun ve Öçlü, 2018). Google Reklamları ve sosyal medya reklamcılığı gibi platformlar, işletmelerin hedef kitlelerine belirli demografi, ilgi alanları ve çevrimiçi davranışlara dayalı olarak ulaşmalarına imkân sağlamaktadır.

- **Sosyal Medya Pazarlaması (SEE):** Sosyal medya pazarlaması (SMM), dijital pazarlamada hedef kitleyle etkileşim kurmak, marka farkındalığı oluşturmak ve müşteri ilişkilerini geliştirmek için sosyal medya platformlarından istifade edilen popüler bir araçtır (Hayes, 2020: 46). Facebook, Instagram, TikTok, Pinterest, Twitter ve LinkedIn gibi platformlar, işletmelerin geniş bir kitleye ulaşmasına, ilgi çekici içerik oluşturmasına ve müşterilerle gerçek zamanlı olarak etkileşim kurmasına olanak tanır.

- **E-posta Pazarlaması:** Şirketlerin kişiselleştirilmiş e-posta kampanyaları yoluyla müşteri kazanmasını sağlayan başka bir etkili araç olarak ifade edilmektedir. Müşteri ilişkilerini beslemeye, hedeflenen mesajları iletmeye ve müşteri sadakatini artırmaya yardımcı olmaktadır (Desai, 2016).

- **İçerik Pazarlaması:** Hedef kitleyi ve ilgisini çekmek için değer sunan, alakalı içerik oluşturmaya ve dağıtmaya odaklanan bir kavram olup, dijital pazarlamanın önemli bir aracıdır. İçerik pazarlamanın temel amaçları; ilgili markanın bilinirliğini arttırmak, yeni müşteriler elde etmek, müşteriyle kurulan bağ güçlendirmek, ürün düşüncelerini test etmek, hedef kitleyle güvene dayalı bir ilişki kurmak amaçlanmaktadır (Baltes, 2015: 112). İşletmeler, bilgilendirici blog yazıları, videolar, infografikler ve diğer türde içerikler sağlayarak kendilerini endüstri düşünce liderleri haline getirebilir ve hedef kitlelerinin nazarında güven inşa etme şansına sahip olabilirler.

- **Influencer Pazarlama:** Son yıllarda öne çıkan bir başka araç olarak ifade edilmektedir. Şirketler, belirli bir spesifik alan içinde önemli bir takipçi ve etkiye sahip çevrimiçi kullanıcılarla ortaklık kurarak; ürünlerini ve hizmetlerini son derece ilgi gösteren bir kitleye tanıtmaya faaliyetinde bulunurlar (Femenia-Serra ve Gretzel, 2020: 65). Bu faaliyetlerin gerçekleştiği ortam ise dijital medya platformları olarak ifade edilmektedir.

### 1.1.3. Dijital Pazarlamanın İşletmelerde Önemi

Dijital pazarlama, modern dünyamızda işletmeler açısından vazgeçilmez bir hale gelmiştir. Dijital pazarlama, geleneksel pazarlama yöntemlerinin karşılayamayacağı birtakım avantajlar sunmaktadır. İlk olarak dijital pazarlama, işletmelere dünya çapındaki potansiyel müşterilerle bağlantı kurmalarını sağlayarak küresel bir erişim sağlamaktadır (İştvanic v.d., 2017). İnternetin küresel ölçekte yaygınlaşması neticesinde, coğrafi engeller ortadan kalkmış, işletmeler bu sayede müşteri tabanlarını fiziksel konumlarının ötesine genişletme olanağını sağlamıştır. İkinci olarak, dijital pazarlama, işletmelerin pazarlama mesajlarını belirli demografiye, ilgi alanlarına, davranış ve tutumlarına göre uyarlamasına olanak tanıyan kesin hedefleme yetenekleri sunmaktadır (Veleva ve Tsvetanova, 2020). Hedefleme yeteneği, esasında müşteriler açısından kişiselleştirilmiş müşteri deneyimini ifade etmektedir. Bu hedefe yönelik yaklaşım, pazarlama çabalarının en alakalı kitleye yönlendirilmesini sağlayarak dönüşüm olasılığını artırır. Üçüncü olarak dijital pazarlama, işletmelerin pazarlama kampanyalarının etkinliğini ölçmelerine ve veriye dayalı optimizasyon kararları almalarına olanak sağlayan gerçek zamanlı analitik ve izleme sağlamaktadır (Akgün ve Arslan, 2017: 8).

### 1.1.4. Dijital Pazarlamanın Avantajları ve Dezavantajları

Dijital pazarlama, işletmeler için sayısız rekabet avantajı sunarken birtakım dezavantajlara da sahiptir. Başlıca avantajlarından birisi, geleneksel pazarlama yöntemlerinin aksine dijital pazarlamanın maliyet etkinliği olarak ifade edilmektedir (Veleva ve Tsvetanova, 2020). Dijital pazarlama, işletmelerin basılı veya televizyon gibi geleneksel reklam kanallarıyla ilişkili maliyetin çok altında daha geniş bir kitleye ulaşmasını sağlar. İlave olarak, dijital pazarlama, şirketlerin hedef kitleleriyle daha kişiselleştirilmiş ve etkileşimli bir şekilde etkileşime girerek daha güçlü müşteri ilişkileri ve sadakati geliştirmelerini sağlar (Desai, 2016).

Bununla birlikte, dijital pazarlama aynı zamanda işletmeler için birtakım zorluklar da sunmaktadır. Dijital ortam son derece rekabetçidir, bu durum da ilgili işletmenin rekabet içerisinde bulunduğu sektördeki rakipleriyle çekişme yaşamasına neden olmasına yol açar ve hedef kitlesinin dikkatini çekmesini zorlaştırmasına yol açmaktadır (Veleva ve Tsvetanova, 2020). Bir diğer unsur müşterilerin mahremiyetle ilgili yaşadığı endişelerdir, kişisel verilerin hedefli reklamcılık için toplanması ve kullanılması nedeniyle mahremiyet hakkında endişeler ortaya çıkarak, işletmelerin etik hususlara dikkat etmesini ve kişisel verilerin korunması düzenlemelerine uyması son derece önem arz etmektedir (Hayes, 2023: 52).

Sonuç olarak dijital pazarlama, işletmelerin ürünlerini tanıtmaya ve dijital çağda müşterilerle etkileşim kurma biçiminde olmasıyla devrim yaratmıştır. Teknolojik gelişmeler, değişen tüketici davranışları; dijital pazarlamanın gelişimini ve kavramsal çerçevesini şekillendirmiştir. İşletmeler, ellerinde bulunan birtakım araçlarla erişimlerini genişletmek, belirli kitleleri hedeflemek ve kampanyalarının etkinliğini ölçmek için dijital pazarlamadan yararlanabilir. Dijital pazarlamanın sunduğu avantajlara rağmen şirketler, aşırı bilgi yüklemesi, mahremiyet endişeleri ve sürekli uyum sağlama ihtiyacı gibi zorluklarla da başa çıkmak zorundadır. İşletmeler, dijital pazarlamanın avantajlarını ve dezavantajlarını anlayarak, büyümeyi teşvik etme ve rekabet avantajını sürdürme potansiyelinden yararlanabilir.



### 1.1.5. Dijital Pazarlama ve İhracat

Ekonomik büyüme konusu hem mikro hem de makro açıdan çok önemli olan iktisadın temel konularından biridir. Sürdürülebilir büyümenin sağlanması için en temel değişkenlerden biri olan ihracatın döviz girdisi sağladığı ve büyümenin önünü açtığı bir sır değildir. Optimum ihracat için iyi bir pazar payına sahip olmalısınız. Bu sebeple 21. Yüzyılda hızla gelişen dijital pazarlama, pazarı genişletmek için en yaygın kullanılan araçlardan biridir (Mehdipour ve Shirini, 2021). Kotler'e göre (Akt: Butković v.d., 2014: 505) işletmeler uluslararasılaşma şekilleri farklılık gösterse de temelde 5 şekilde dış pazarlara girmektedirler. Bunlar; dolaylı ihracat, doğrudan ihracat, lisans verme, ortak yatırım ve doğrudan yatırımdır Uluslararasılaşmanın en temel yolu ihracattır ve ihracat yapabilmek için işletmeler bunlardan başka birçok farklı yönteme de başvurmuşlardır.

Bunların başında da dijital (internette) pazarlama gelmektedir. İşletmeler, ticari aktiviteler için interneti gün geçtikçe daha fazla kullanmaktadır (Metin, 2016). İnternetin yaygın doğası ve küresel oluşu işletmeler ve müşterileri arasında iletişimi daha verimli hale getirmiştir (Teo, 2005: 203). İnternet World Stats verilerine göre (2023), 2021 yılında dünyada internet kullanıcı sayısı yaklaşık 5,4 milyar kişi iken, Türkiye'de internet kullanıcı sayısı 72,5 milyon kişi olmuştur.

Dijitalleşmenin boyutu ve etkinliği artıkça piyasa ekonomisinde faaliyet gösteren işletmelerin de tüketici beklentilerine göre kendilerini geliştirmeleri gerektiği olağan bir gerçektir. Dolayısıyla, işletmeler açısından en uygun pazarlama stratejisi, işletmeyi belirli bir durumda pazarlama unsurları ile çevresel değişimler arasındaki etkileşimi oluşturan strateji olarak açıklanabilir. Çünkü işletmeler çevresel değişime uyum sağladığı ölçüde varlıklarını sürdürebilmektedirler (Tuzcu, 2023). İlk olarak M. Porter'ın 1985 yılında ortaya attığı değer zinciri kavramına göre işletme, kendi değerini oluştururken somut kavramlardan sıyrılıp sistematik analiz yapılması mantığına dayanmaktadır. Değer zincirleri küresel ve dijital hale geldikçe, dijital süreçleri uygulamaya hazır olma, küresel dijitalleştirilmiş değer zincirlerine tedarikçi olarak katılmaları (Chen v.d., 2018), entegre iş ağlarına bağlanma ve kişiselleştirilmiş tekliflerle küresel müşterileri hedefleme küçük firmalar için anahtar olacaktır. Bu büyüme yolları, sürdürülebilir ise gelişmeyi ve küresel refahı sağlayabilir.

### 1.2. Literatür Taraması

Dijital pazarlama, modern çağda özellikle uluslararası ticaret ve ihracat alanında iş operasyonlarını önemli ölçüde dönüştürmüştür. Bu literatür incelemesi, dijital teknolojilerin ve pazarlama stratejilerinin ihracatçı firmaların performansı üzerindeki etkisini analiz ederek dijital pazarlama ve ihracat arasındaki ilişkiyi eleştirel bir şekilde incelemektedir. Alandaki çeşitli çalışmalar gözden geçirilen bu bölümde, uluslararası pazarlama yeteneklerini geliştirmede ve ihracat performansını artırmada dijital pazarlamanın önemine ışık tutmayı amaçlamaktadır.

Tablo 1'de görüldüğü gibi Web of Science veri tabanından "Digital Marketing" kavramı aranarak 1245 makaleye ulaşılmıştır. "Digital Marketing" and "Export" aramalarında 12 makaleye erişim sağlanmıştır. "Digital Marketing"and "Furniture" aramalarında 4 makaleye rastlanmıştır. "Digital Media Marketing" and "Export" and "Furniture" terimlerinde ise 1 makaleye rastlanılmıştır. Yine aynı tabloda görüldüğü gibi Scopus veritabanından "Digital Marketing" kavramı aranarak 3100 makaleye ulaşılmıştır. "Digital Marketing" and "Export" aramalarında 23 makaleye erişim sağlanmıştır. "Digital Marketing"and "Furniture" aramalarında 9 makaleye rastlanmıştır. "Digital Media Marketing" and "Export" and "Furniture" aramsında ise 1 makaleye erişim sağlanmıştır.

Tablo 1. Veritabanı Taraması Sonuçları (Table 1. Database Search Results)

Sorgu	Web of Science Toplam Makale Sayısı	Scopus Toplam Makale Sayısı
"Digital Marketing"	1326	1669
"Digital Marketing" and "Export"	13	15
"Digital Marketing"and "Furniture"	4	4
"Digital Marketing" and "Export" and "Furniture"	1	1

Tablo 2'te detaylı olarak verilen literatür taraması, ihracat başlığı bağlamında dijital pazarlamanın öneminin altını çizmektedir. İncelenen çalışmalar, dijital pazarlama stratejilerinin uluslararası pazarlama yetenekleri, ihracat performansı ve kariyer gelişimi üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Dijital teknolojiler, başta KOBİ'ler olmak üzere firmalara pazar zorluklarının üstesinden gelme, küresel bir varlık oluşturma ve müşteri tabanlarını genişletme fırsatları sunuyor. Bununla birlikte, işletmelerin dijital pazarlamanın faydalarını en üst düzeye çıkarmak için dijital araçlardan ve platformlardan yararlanan etkili ihracat pazarlama stratejileri geliştirmeleri çok önemlidir. Dijital pazarlamanın ihracat başarısı için optimize edilebileceği belirli mekanizmaları keşfetmek için bu alanda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Aşağıda detaylı olarak verilen literatür taraması, ihracat bağlamında dijital pazarlamanın öneminin altını çizmektedir. İncelenen çalışmalar, dijital pazarlama stratejilerinin uluslararası pazarlama yetenekleri, ihracat performansı ve kariyer gelişimi üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Dijital teknolojiler, başta KOBİ'ler olmak üzere firmalara pazar zorluklarının üstesinden gelme, küresel bir varlık oluşturma ve müşteri tabanlarını genişletme fırsatları sunuyor. Bununla birlikte, işletmelerin dijital pazarlamanın faydalarını en üst düzeye çıkarmak için dijital araçlardan ve platformlardan yararlanan etkili ihracat pazarlama stratejileri geliştirmeleri çok önemlidir. Dijital pazarlamanın ihracat başarısı için optimize edilebileceği belirli mekanizmaları keşfetmek için bu alanda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.



Tablo 2. Literatür Taraması (Table 2. Literature Review)

Yayın	Makale İsmi	Bulgular
Tavakoli ve Sanij (2011)	Main Factors on Export Development in Textile Industry (The Case of Yazd Province Textile Industry)	Bu araştırmada, tekstil sektöründe ihracat faaliyetlerine etki eden faktörler tespit edilmiştir. Daha sonra Yazd tekstil sektörü yöneticilerinin görüşleri anketler kullanılarak toplanmış ve t-öğrenci testi ile analiz edilmiştir. Bulgular, ürünlerin kalitelerinin yanı sıra firmaların küresel pazarlarda gelişmeye yönelik stratejik yönlerinin tekstil sektörü ihracatını etkileyen en önemli faktörler arasında olduğunu göstermektedir.
Barreda v.d. (2015)	Generating brand awareness in Online Social Networks. Computers in Human Behavior	Barreda v.d. (2015), çevrimiçi sosyal ağlarda marka farkındalığı yaratma konusunu incelemişlerdir. Bu ağlar, sahip oldukları iletişim ve etkileşim kapasiteleri sayesinde, kurumların müşteriler nezdinde marka bilinirliğini artırmalarına yardımcı olmaktadır. Yazarlar, sosyal ağlarda marka farkındalığını artırmak için, kullanıcıların diğerlerine güncel bilgiler sunmasını sağlayacak bir konuşma ortamının oluşturulmasını önermektedir.
Alarcón-del-Amo v.d. (2016)	Social media adoption by exporters: The export-dependence moderating role	Alarcón-del-Amo v.d. (2016), İspanyol firmaları arasında ihracat performansının desteklenmesinde dijital pazarlamanın rolünü araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yöneticilerin bakış açısından, sosyal ağların reklamlıkta uygulanmasının ihracat artışı üzerinde olumlu ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.
Ocansey (2017)	Digital Marketing and the Performance of Cashew Exporting Firms in Ghana	Ocansey'in çalışması (2017) Gana'daki kaju ihracatçısı firmaların performansına odaklanmakta ve dijital pazarlamanın rolünü vurgulamaktadır. Bulgular, arama motoru optimizasyonu ve sosyal medya pazarlaması gibi dijital pazarlama stratejilerini etkin bir şekilde kullanan firmaların, ihracat performansının arttığını ifade etmektedir. Dolayısıyla bu durum, dijital pazarlamanın firmalara pazar erişimlerini genişletme ve küresel ölçekte rekabet etme fırsatları sunduğunu göstermektedir.
Mollanezhad Ashlaghi v.d. (2018)	The Study of the Effect of Internet Marketing Strategies on Development of the Export Market (Case Study: Pars Wagon Company)	Mollanezhad Ashlaghi v.d. (2018), Pars Wagon Company örnek olayını kullanarak internet pazarlama stratejilerinin ihracat pazarının gelişimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Araştırma, web sitesi optimizasyonu, çevrimiçi reklamlık ve sosyal medya katılımı dahil üzere dijital pazarlama stratejilerinin etkili bir şekilde uygulanmasının ihracat pazarının gelişimini olumlu yönde etkilediğini vurgulamaktadır. Yazarlar, ihracat performansını en üst düzeye çıkarmak ve müşteri tabanını genişletmek için kapsamlı bir dijital pazarlama yaklaşımının benimsenmesinin önemini vurgulamaktadır.
Stefano v.d. (2021)	Resources and digital export: An RBV perspective on the role of digital technologies and capabilities in cross-border e-commerce	Firmanın ve firmaların rekabet yeteneklerinin kaynak tabanlı bakış açısı (RBV) perspektifine dayanan bu çalışma, firmaların B2C dijital pazarlama faaliyetlerinde dijital teknolojilerin getirdiği fırsatlardan yararlanma aracı olarak dijital ihracat etmenlerini incelemektedir. Üç farklı sektörde (tasarım ve mobilya, moda ve yiyecek ve içecek) faaliyet gösteren farklı boyutlarda (küçük, orta ve büyük) 102 İtalya merkezli firmayı kapsayan benzersiz bir veri setinden yararlanan bu çalışma, firma kaynaklarının rolünü inceliyor. dijital kanallar aracılığıyla uluslararasılaşmayı desteklemek. Şunları bulduk: (1) KOBİ'ler, kaynak kısıtlamalarına rağmen dijital ihracatla ilişki kurma konusunda daha zayıf bir eğilimden muzdarip değiller; (2) dijital teknolojilerden yararlanan firmaların, firma büyüklüğünden bağımsız olarak dijital ihracatlarını artırma olasılığı daha yüksektir; (3) bir e-ticaret yöneticisi istihdam eden firmaların, firma büyüklüğünden bağımsız olarak, geleneksel bir ihracat müdürüne güvenen firmalara göre dijital ihracat yapma eğilimi daha yüksek olduğundan, dijital yetenekler kritik öneme sahiptir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Bu araştırmanın evrenini, Türkiye'de dijital pazarlamayı ihracat süreçlerinde kullanan mobilya sektöründe faaliyette bulunan işletmelerin yöneticileri oluşturmaktadır. Araştırmanın örnekleme ise, İnegöl'de dijital pazarlamayı ihracat süreçlerinde kullanan ve ihracatı 1.000.000 \$ üzerinde olan 5 işletmenin yöneticisi oluşturmaktadır.

### 2.2. Araştırmanın Yöntemi

Çalışmanın teorik çerçevesinde ilk olarak literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması yapılırken, kitap, makale, tez ve elektronik kaynaklar gibi ikincil veri kaynaklarından istifade edilmiş, kalitatif aşama için gerekli altyapı oluşturulmuştur. Teorik e-ISSN: 2148-2683

çerçeveyi takiben, 2023 Nisan ayında Bursa İnegöl'de bulunan mobilya sanayii bölgesinde dijital pazarlamayı ihracat sürecinde kullanan 5 işletmenin yöneticileri ile derinlemesine mülakat gerçekleştirilmiştir. Derinlemesine mülakatta elde edilen birincil veriler çalışmanın bulgular ve sonuç kısmında değerlendirilmiştir.

Derinlemesine mülakat kapsamında seçilen beş işletme yöneticisine işletmede dijital pazarlama ve ihracatın rolü hakkında bilgi toplama amaçlayan 10 adet soru sorulmuştur. Bu sorular dışında ilgili işletme hakkında bilgi toplama amaçlayan bir bilgi formu da kullanılmıştır.

Derinlemesine mülakat, önceden belirlenen kişilerle bir amaç kapsamında gerçekleştirilen, araştırılan konunun detaylarını taşıyan, açık uçlu soruların yöneltilerek detaylı cevapların istendiği, yüz yüze ve birebir görüşülerek bilgi toplanmasına olanak sağlayan nitel bir veri toplama yöntemidir (Tekin ve Tekin, 2006:101). Nitel araştırmalarda oldukça tercih edilen derinlemesine mülakat, görüşülen şahısların kendilerini doğrudan ifade edebilme fırsatını tanıırken, araştırmacı kişiye de görüşmede bulunduğu kişilerin zihin dünyalarını, farklı perspektife sahip kişilerin fikirlerini değerlendirmesine, araştırma yaptığı konu hakkında insanların karar mekanizmalarında ne tür mantıkla hareket ettiğini anlamalarına imkân sağlamaktadır (McCracken 1988:9). Derinlemesine görüşme yöntemiyle oluşturulan sorular; Ballı (2022), Demishkevich (2015), Abdullah (2022), Mollanezhad Ashlaghil v.d. (2016) ve Mohamud (2022) çalışmalarından yararlanarak hazırlanmıştır. Derinlemesine görüşme esnasında yöneltilen sorular aşağıda verilmiştir.

1. İnternet üzerinde nasıl bir varlık oluşturuyorsunuz? Web siteniz, sosyal medya hesaplarınız ve diğer dijital platformlardaki etkinlikleriniz hakkında bilgi alabilir miyim?
2. İhracat faaliyetlerinizi desteklemek için hangi dijital pazarlama stratejilerini kullanıyorsunuz?
3. Dijital pazarlama, uluslararası pazarlara giriş sürecinizde nasıl bir rol oynuyor? Hangi kanalları kullanarak hedeflediğiniz pazarlara ulaşıyorsunuz?
4. Dijital pazarlama stratejilerinizde hedef kitle tespiti nasıl yapılıyor? Uluslararası pazarlarda farklı hedef kitlelerle nasıl etkileşim kuruyorsunuz?
5. Uluslararası pazarlarda dijital reklamcılık yapıyor musunuz? Hangi platformlarda reklamlarınızı yayınlıyorsunuz ve hangi metrikleri kullanarak reklam performansınızı ölçüyorsunuz?
6. İhracat faaliyetlerinizde içerik pazarlamasını nasıl kullanıyorsunuz? Hangi içerik türlerini üretiyor ve hangi kanallarda paylaşıyorsunuz?
7. Sosyal medya platformlarını nasıl kullanarak uluslararası müşterilere ulaşıyorsunuz? Hangi platformlarda aktif olarak yer alıyorsunuz ve nasıl bir içerik stratejisi izliyorsunuz?
8. Uluslararası müşterilere ürünlerinizi nasıl satıyorsunuz? E-ticaret platformlarından yararlanıyor musunuz ve bu platformlarda hangi stratejileri uyguluyorsunuz?
9. Dijital pazarlama stratejilerinizin ihracatınızı nasıl etkilediğini görmek için hangi başarı ölçütlerini kullanıyorsunuz? İhracat performansınızda dijital pazarlamanın önemli bir rolü olduğunu düşünüyor musunuz?
10. Zorluklar ve öneriler: Dijital pazarlama sürecinde karşılaştığınız zorluklar nelerdir? Bu zorlukların üstesinden nasıl geliyorsunuz ve diğer firmalara ne gibi önerilerde bulunursunuz?

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Katılımcılara sorulan sorular kapsamında toplanan bilgiler aşağıdaki başlıklar altında gruplanarak özetlenmiştir

#### 3.1. İhracat Faaliyetlerinde Kullanılan Dijital Pazarlama Araçlarına Yönelik Bulgular

Katılımcılara ilk olarak, ihracat faaliyetlerinde kullandıkları dijital pazarlama araçlarının hangileri olduğu sorulmuştur.

A firmasında işletme yöneticisi olan M.N., ihracat faaliyetlerinde en yoğun sosyal medya pazarlaması olan Instagram ve Meta Marketing yoluyla reklam vermeyi kullandığını belirtmiştir. Bu durumun sebebini şöyle özetlemiştir: *“Bizim mağaza varlığımız daha yeni oluştu zaten. Daha öncelerinde zaten bizim var olduğumuz sektör Instagram ve web siteydi. Ağırlıklı o platformlardaki çalışmalarla yürüyorduk çünkü satışlarımızın %98'i internet üzerinden gerçekleşiyor. Kalan %2'lik kısım, eş, dost, akraba, işte mağazaya gelen müşteriler oluyor.”* A firmasında satışlar, yüz yüze veya fiziki kanallarla gerçekleşmektedir. Dijital kanallar yoluyla reklam vererek hedef kitleye ulaşma ve mevcut müşterilerle etkileşim kurma yolunu izlediklerini belirtmiştir.

B firmasında işletme yöneticisi olan H.K., dijital pazarlamayı hem yurtiçi faaliyetlerde hem de ihracat faaliyetlerinde yoğun bir şekilde gerçekleştirdiğini ifade etmiştir. Ayrıca kendi e-ticaret sitesini değil, e-ticaret anlamında öncü olan kanalları kullandığını ifade etmiştir.

C firmasında işletme yöneticisi olan A.T., *“Instagram'da aktif olarak kullandığımız Avrupa'ya perakende satış ağıımız vardır. Ayrıyeten Instagram dışında internet sitemiz var.”* Dijital pazarlamanın sosyal medya pazarlamasını yoğun olarak kullandıklarını, web sitesi üzerinden de pazarlamaya önem verdiklerini ifade etmiştir. Sosyal medya pazarlama aracı olarak ise Instagram'da, içerik pazarlamasını kullandıklarını belirtmiştir.

D firmasında üst düzey yönetici ve sistem mühendisi olan O.Y., ihracat faaliyetlerinde daha çok B2B modeli benimsediklerini ve toptan satış yaptıklarını belirtmiştir. Bu sebeple e-posta pazarlamasını yoğun olarak kullandıklarını belirtmiştir.

E firmasından A.R., kendilerinin web sitesi üzerinden e-ticareti ve sosyal medya pazarlamasını yoğun olarak kullandıklarını şu sözlerle ifade etmiştir; “...Tabii ki web sitemiz var, sitemizden bütün fiyat ve ürün detaylarına ulaşılabilir. Fakat insanlara asıl dokunduğumuz nokta, ulaştığımız nokta sosyal medya. Çünkü maalesef insanların yoğunlukla vakitlerini geçirdikleri alan şu an sosyal medya. Bunun için de Tiktok, YouTube, Instagram, Facebook (artık Google diyebiliriz) gibi biz de bu mecralarda özellikle YouTube, Instagram ve Facebook'ta aktif içerik üretiyoruz. Bu şekilde de insanlara ulaşıyoruz. Ulaştığımız insanlarla da satışa yönelik çabalarımız var. Bu şekilde müşteriye ürün satmaya çalışıyoruz. Hem yurt içinde hem yurt dışında...” şeklinde ifade etmiştir.

### 3.2. Dijital Pazarlamada Yararlanılan İçerik Türlerine Yönelik Bulgular

A firması, içerik türü olarak sosyal medya üzerinden yeni çıkan ürünlerini, hedef kitleye göre filtreleyerek ürün bazlı reklam verdiğini belirtmiştir. “Evet, şimdi biz bu konuda yine dediğim gibi Instagram'a çektiğimiz videolarla bilgi vererek, mesela kadife kumaşlar nasıl temizlenmeli veya koltuktaki bir leke nasıl çıkar gibi örneklerle hem hikayelerle hem Reels videolarıyla bunu destekleyerek biz burada varız diyoruz. Bilgi ticareti de yaparak satış gerçekleştiriyoruz aslında.” Ayrıca yine hedef kitleye yönelik özel gün ve bayramlarda “Meta Marketing” yoluyla içerik ürettiklerini söylemiştir. C firması da A firmasıyla aynı yolu izlediklerini belirtmiştir.

Sehpa üretimi ve ihracatını yapan B firmasında, içerik olarak sosyal medya hesaplarında güncel olarak ürünlerini sergilediklerini belirtmişlerdir. Bunun sebebi olarak ürün gamlarının çok geniş olduğunu ve bunları kategorize edip hedef pazara göre sunmanın maliyetsiz olduğunu belirtmişlerdir.

D firması, daha önce de bahsedildiği gibi e-posta pazarlamasını yoğun olarak kullanmaktadır. “Yani şöyle bizim içerik pazarlaması biraz daha katalog üzerinden pazarlama yapıyoruz. Biz yani bir ürün piyasaya sunulduğu zaman bir yatak odasından gidecek olursak, dolabın 4 kapılı versiyonu, 5 kapılı versiyonu, 6 kapılı versiyonu dolabın içi, karyola, kullandığımız baza sistemi açılır kapanır hali... Bunların detaylarıyla birlikte tüketicinin detayı öğrenebileceği şekilde biz bunu paylaşıyoruz. Hem e-katalogumuzda hem sosyal medya üzerinden yaptığımız detay fotoğraf paylaşımlarıyla bunları müşterilerle paylaşıyoruz.” O.Y., perakende satıştan ziyade B2B modeli benimseyip konteyner bazlı satış yapan firmada müşteri portföyünün de ürünleri tüm detaylarıyla bilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Çünkü toptan alım yapan müşterinin risk faktörünün perakendeye göre çok daha fazla olduğu bilinen bir gerçektir. E-posta listesi oluşturularak güncel katalogları ve fiyatları mevcut müşterilere ulaştırabilmektedirler. Ayrıca fuar ve büyük B2B etkinliklerinde mevcut müşterilerini ve İnegöl Mobilya Sanayicileri Derneğinden aldıkları e-posta listelerini de kullanarak potansiyel müşterileri standı davet etmek için e-posta pazarlamasını yoğun olarak kullanmaktadırlar.

E firması, içeriğe çok fazla önem verdiklerini belirtmiştir. “Sosyal medyada biz tabii ürün de paylaşıyoruz ama özellikle içerik üretmeye çalışıyoruz. Yani koltuk takımı alırken mesela nelere dikkat etmek gerekir? Köşe koltuk alırken nelere dikkat edilir? Müşteri yatak odası alırken nelere dikkat eder? Kumaş seçiminde nelere dikkat edilir? İnsanların faydalanabileceği içerikler, bilgi alabileceği içerikler üretiyoruz. Bizim sosyal medya hesaplarımız standart paylaşımlardan uzak, buna dikkat ediyoruz ve bu şekilde de başarılı olduğumuza inanıyoruz. İçerik kraldır. Ayrıca bu Google ve SEO altyapısında geçerli, özellikle sosyal medyada içerik özgün değilse müşterilerde karşılığı yok. Sosyal medya kanalları da uygulamaları da zaten özgün içerik olmaması halinde sizi daha fazla insana göstermiyor” şeklinde ifade etmiştir. Sosyal medya pazarlamasını içerik pazarlamasıyla profesyonel olarak yapan E firması, mevcut müşterilerin yanında hedef kitleye ulaşmada ve müşteri portföyünü geliştirmede özgün içeriğin devamlılık suretiyle kullanılmasını son derece önemli bulmaktadır.

### 3.3. Hedef Kitle Tespitinde Dijital Pazarlamanın Kullanımına Yönelik Bulgular

A firması, hedef kitle tespitinde; “Instagram burada dijital pazarlamada en önemli faktör. Girilen reklamlar yani Meta Business reklamları çok belirleyici. Hedef kitleler var ve bu hedef kitle havuzları sürekli değişir. Mesela biz oraya reklam girerken mobilya düşün paketi yazıyoruz ama işte belki seçim zamanı Türkiye ile ilgilenen müşterileri yakalamak için Türkiye partilerin isimlerini a partisi, b partisi gibi isimleri yazıyoruz. Çünkü alışveriş davranışları değişir, seçimlerde çok az satış yapabildik ama seçimlerden önce satışlar iyiydi. Yani hedef kitlenin davranışları değişir. O hedef kitle davranışlarında biz internette girdiğimiz reklamlarla nokta atışı tespit bulmaya çalışıyorum” şeklinde cevap vermiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi dijital pazarlama alanında hedef kitle tespiti, pazarlama faaliyetlerini optimize etmede ve anlamlı sonuçlara ulaşmada çok önemli bir rol oynar. Bu süreç, veri odaklı karar verme ve kişiselleştirilmiş müşteri deneyimleri tarafından yönlendirilen günümüzün dinamik pazarlama ortamında çok önemlidir. İlgili çekiç içerik, izleyicilerde yankı uyandırır, daha yüksek etkileşim oranları sağlar ve marka bilinirliğini artırır.

B firması, hedef kitle tespitinde klasik kanalları kullandığını belirtmiştir. Yani, mevcut müşteri portföyünün geliştirilmesi için dış ticaret uzmanlarının hedef bölgede pazarlama yapmasının ve uzmanlarının görüşlerine göre hedef kitleyi belirledikleri gözlemlenmiştir.

C firması, hedef pazarı, Avrupa'daki gurbetçi Türklerden oluşmaktadır. “Gurbetçiler, bizim memleketimizden göçen vatandaşlık alan, yurt dışında kullanan, yine çifte vatandaş olan Türk arkadaşlarımız... Bu kitlenin milliyetçilik duyguları memleket hasretinden dolayı daha fazla ve Türkiye'den ürün almaya daha olumlu yaklaşıyorlar.” Mobilya sektöründe klasik olarak hedef kitle tespiti, ürün ve pazar analizi yapılarak gerçekleştirilmektedir. Fakat dijital pazarlamanın gelişmesi, hedef kitlenin tespitini ve pazarlamasını daha profesyonel ve geniş çaplı şekilde yapmanın önünü açmıştır. C firması özelinde, hedef kitle tespitinde ve pazar payını genişletmek

için dijital kanalların kullanılmadığı görülmüştür. Bunun yerine C firması mevcut Pazar payı içerisindeki nüfuzunu artırma yoluna gitmiştir.

D firması, hedef pazarını, dış ticaret uzmanlarının görüşleri doğrultusunda ürün ve tüketim alışkanlıkları analizi yaparak oluşturmaktadır. Dijital kanalları, yurtdışındaki tüketim alışkanlıklarını gözlemek için kullanmaktadırlar.

E firması, “Tabii ki ürünümüze hangi müşteri uygunsu o ülkedeki pazar araştırılıyor. Onun yaşı, cinsiyeti, ondan sonra ilgi alanları, neyle ilgileniyor? Dijital pazarlamada bunlara dikkat ediliyor. İlgi alanı çok önemli. Hedef kitle tespitinde buraya gittiğimiz ülkeyi seçiyoruz, bulunduğu şehri seçiyoruz, yaş grubunu seçiyoruz. Bu şekilde hedef kitemizi daraltarak istediğimiz müşteri kitlesine ulaşıyoruz, ulaşmaya çalışıyoruz.” şeklinde yanıt vermiştir. E firmasının hedef kitle tespitinde bu ifadeden de anlaşıldığı gibi sosyal medya pazarlamasını yoğun olarak kullandıkları gözlemlenmiştir.

### 3.4. Uluslararası Pazarlara Giriş Sürecinde Dijital Pazarlama Kullanımına Yönelik Bulgular

A firması, uluslararası pazarlara giriş için öncelikle lojistik sorunu olup olmadığını önemli olduğunu vurgulamıştır. “Öncelikle bir ürünü satmaktan ziyade o ürünü nasıl teslim edeceğin önemli. Burada da lojistik firmaları devreye giriyor. Tabii ki yeni bir pazara girerken o pazara hangi lojistik firmalarının gittiğini biz araştırıyoruz. Bizde (İnegöl mobilya sektöründe) ürünün hangi lojistik firmasıyla gönderileceğini üretici belirler. Evet, her ölçü koltuk yapılı ama burada temel faktör pazara girmeden önce onu kiminle göndereceğin, yani kendi sektörümüz açısından konuşuyorum. Diğer sektörlerde belki farklı olabilir. Lojistiği hallettikten sonra ise evet bence müşteri davranışları burada etkili. Şimdi gurbetçi Almancularla kurduğumuz samimiyeti İngiliz müşterilerle kuramıyoruz. Mesela büyük bir etken. Yani bir de şöyle bir durum var, mesela Almanya'daki bir Ahmet Almanya'da doğmuş büyümüş Hans değil Ahmet'ten bahsediyorum. Hem Türk kültürü hem Alman kültürüyle büyüdüğü için oralarda mesela mobilyayı değiştirme sıklığı bir yıl iken İngiltere'deki Will Smith isimli şahıs mesela dedesinden kalma koltuğu kullandığı için bunu değiştirmemiz bize güvenmesi çok uzun oluyor. Yani İngiltere'ye yaptığımız satışlarda bir güven problemi çok yaşadık, buraya işte kuzenleri geldi. Onlar bize güvenmedi. Onlar komisyon istedi. Ben komisyonu istediklerini nihai müşteriye anlattım. Öyle bir şey mi olur? Ben onlara 300 \$ verdim işte yol paralarını karşıladım. Yani bir ürünü satarken aslında şunu değerlendirmek lazım. Bu ürünü alan kişinin davranışları nasıl? Şimdi Almanya'daki yine biz abi abla diyerek satıyoruz ama İngiltere'deki de işte Mr. Will diyerek satıyoruz.” Bu cevap ölçeğinde uluslararası pazara girişte lojistiğin ve ticaret kültürünün büyük bir öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. Hedef pazarın ticaret kültürünü anlamak ve ona göre strateji geliştirmek; pazara sürdürülebilir giriş sağlamak ve uzun vadeli iş ilişkileri geliştirmek için hayati önem taşır. Kültürel farklılıklar, ticari işlemlerin nasıl yürütüldüğünü, iş ilişkilerine nasıl yaklaşıldığını ve taraflar arasında güvenin nasıl tesis edildiğini önemli ölçüde etkiler. Bir dış pazarın ticaret kültürünün anlaşılması yanlış anlaşılmalara, yanlış yorumlara ve nihayetinde iş ilişkilerinin bozulmasına yol açarak pazara giriş ve büyüme beklentilerini engelleyebilir.

B firması, uluslararası pazara giriş stratejisi olarak e-ticaret firmalarını benimsemiştir. “Yurtiçi Amazon'da çalışırken bu sefer biliyorsunuz bir de yurt dışı Amazon var. Şimdi Amerika'da e-ticaret siteleri var. Hatta şöyle söyleyeyim, o zaman size bir bilgi vereyim. Bu çok sık rastlayabileceğiniz bir bilgi değil. Biz İtalya'ya yani mobilyanın merkezine bile sehpaya sattık. Nasıl oldu bu iş? İtalya'da yaşayan bir Türk oradaki internet sitesinde kendine bir yer edindi. Bizimki gibi, bizden mal alarak kendisi de komisyon koyarak İtalya'da bizim ürünlerimizi sattı. Ama yaklaşık 6-7 sene önce online olarak İtalya'da 6 ay kadar bir satış yapıldı. Bırakmamın nedeni buradan kargolar uçakla gittiği için aksamalar meydana geldi. Aksamalardan dolayı müşteriye zamanında mal gönderemedim.” Buradan da anlaşılacağı gibi, B firması, e-ticaret firmalarındaki müşteri portföyünü kullanarak yeni pazarlara girebilme hedefindedir. Bu durum, maliyet yönünden dış ticaret uzmanının bölgede pazar araştırması yapmasından veya danışmanlık almaktan daha avantajlı olduğu için, ihracat faaliyetlerini geliştirmek isteyen KOBİ'ler tarafından sıkça tercih edilmektedir. Ayrıca ihracat faaliyetlerindeki lojistik sorunlarının önemine de vurgu yapılmıştır.

C firması, E-Bay, Amazon gibi e-ticaret platformlarını kullanarak yeni pazarlara girerken dijital kanalları kullanmanın maliyet yönünden daha avantajlı olduğunu belirtmiştir.

D firması, öncelikle dış ticaret uzmanlarından görüş alınmasının faydalı olacağını belirtmiştir. Bu soruya D firması, “Biz bunları yine reklamla ve sosyal medyayla ulaşıyoruz ama bunu başka bir yolla yapan, toptan çalışan arkadaşlar o ülkelerde pazarı araştırıyor. O ülkelere eğer ürün uygunsu yani ülkedeki tüketici kitlesine uygun bir ürün gamı varsa oraya kendi pazarlamacı arkadaşlarını alıp dünyanın her tarafına uygun gördüğü her yere pazarlama ekibini gönderip birebir insanlarla diyalog kuruyor. Kataloglarını gönderiyor, götürüyor. Tabii daha öncesinde e-posta ile pazarlama yapıyor. Yani ağırlıklı dijital pazarlama şu an ama onun dışında tabii fuarlarımız var. Fuar dönemlerinde fuarlara katıldığımızda insanlar özellikle ciddi ve alıcı müşteri kitlesi de fuarlarda bizlere ulaşıyor. Biz onlara ulaşıyoruz. Bu şekilde hem ürünlerimizi görüyorlar hem katalogla görüyorlar hem de birebir onlarla bir diyaloga girilmiş oluyor. Bu şekilde de çok ciddi kaliteli müşteriye ulaşmış oluyoruz” şeklinde yanıt vermiştir. Uluslararası pazarlara açılmak için koordine bir şekilde tüm kaynaklardan yararlanılmasının verimli sonuçlar doğurabileceği bulgusuna ulaşılmıştır.

### 3.5. Mobilya Sektöründe Dijital Pazarlamanın Kullanımı ve Sınırlılıklarına Yönelik Bulgular

A firması, dijital pazarlamada mobilya sektöründe tüketicinin aldığı riskin farkında olduğunu ve bu sebeple güven problemi olduğundan bahsetmiştir: “Yaşadığımız en büyük zorluk kesinlikle güven problemi, güvenliği verebilmek için gerçekten çok çaba sarf ediyoruz. Görüntülü görüşmede mağazamızın dış cephesini göstermeme rağmen kardeşim ben sana para göndereceğim ama bana güven vermiyorsun diyen müşteriler de oluyor.” Bu sorunu aşmanın yolu ise geleneksel yöntemlere başvurup yüz yüze toplantılar, görüntülü konuşmalar, referanslar yoluyla fiziki kanıt sunmaktan geçmektedir.



B işletmesi ise mobilya sektöründe lojistik sorunların hala çözülmediğini şu sözlerle aktarmıştır: “*Şimdi mobilya sektörüne yönelik cevap veriyorum. Sorulmuş en güzel soru olarak kabul ediyorum. Bütün mobilya sektörünün ortak bir sıkıntısı vardır. En büyük sıkıntımız kargolar. Kırılan parçalar dökülen ürünler. Maalesef Türkiye'nin en büyük -bakın altını çizerek söylüyorum- sorunu budur. Yaklaşık 100.000 TL'lik ya da 150.000 TL'lik gelir sağladığımız bir ayda yaklaşık 30.000 TL'lik SSH (satış sonrası hizmet) maliyetlerinden dolayı karınızdan zarar edebiliyorsunuz. Türkiye'de tek çözülmemeyen sıkıntı bu. Ambalajı nasıl ambalaj yaparsanız yapın... Türkiye'de çözülmemeyen sıkıntı kargolar.*” Burada B firması lojistikte yaşanabilecek sıkıntılara değinmiştir. Bu bilgiden yola çıkarak ambalajlamanın ekstra maliyetle ürünü sorunsuz bir şekilde teslim edilebilmesi mümkündür. Fakat ürün başına ambalajlama maliyetleri çoklu siparişlerde büyük zararlara sebebiyet verebilir. Bu durumda müşteriye ambalajlamanın ekstra bir ödemeyle daha sağlam yapılmasıyla ilgili opsiyon sunulabilir.

C firması, dijital kanallarla ihracatta özellikle perakende alanında satış sonrası hizmetin yapılması gerektiğini fakat bunun için işletmelerin ekstra maliyetlere katlanmak istemediğini belirtmiştir. Firmalar, genellikle mobilyaların yedek parçalarını 2-5 yıl arasında envanterlerinde bulundurup aksamlarda bir problem olması halinde uygun parçayı yurtdışına kargolamaktadırlar. Bunun dışında mobilya sektöründe maliyetlerin çok fazla olmasından ötürü satış sonrası hizmete yönelik ciddi anlamda uzmanlaşan firma sayısı epey azdır.

D firması, mobilya ihracatında rekabetin artmasının tüketici beklentilerinin ve tatmin düzeyinin artmasına vurgu yapmıştır. Ayrıca değişen tasarım alışkanlıklarına adapte olunmasının oldukça güç olduğuna değinmiştir. Çünkü dijitalleşme ile üretilen bir ürünü farklı pazarlarda sunmak ve satmak çok daha kolay hale gelmiştir. Bu ifade ise bulguyu desteklemektedir. “*...Yani dijital pazarlamanın en zor tarafı. Şimdi şöyle, eskiden ürün üretmek zordu satması çok kolaydı. Şimdi çok fazla üretici var. Hemen herkes her ürünü üretebiliyor bir şekilde. Burada özgün ürünü bulmak, özgün ürünü tasarlayabilmek çok önemli. Yani senin yaptığın bir ürünü emin olun bir başkası da yapıyor ama Çin'de ama kendi ülkende ama kendi şehrinde kendi bölgede veya başka bir ülkede yapıyor, bunun bir şekilde diğerlerine öne çıkarak o müşterinin gözüne girmesi lazım. Bu çok zor bir şey. Farklı ürünü bulmak, farklı ürün üretmek ürettikten sonra o ürünü en hızlı şekilde müşteriye gözüne sokabilmek çok önemli. Bu da çok zor bir şey aslında. Farklı ürünleri farklı bir şekilde müşterinin dikkatini çekmesi gerekiyor. Bence pazarlamadaki şey, eğer ürünün standart bir ürünse müşterinin gözüne girmesi çok zor oluyor veya ürünün farklı bir ürünse o müşteriye kadar ulaşması yine çok zor oluyor burada.*”

E firması, dijitalleşmeyle birlikte ürün ve hizmet kalitesine önem veren firmaların mobilya sektöründe bulunmasını zorlaştırdığını düşünmektedir. Şöyle ki; “*Ne gibi zorluklar var, kalitesiz rekabet var. Bir nakliyeciyi bile bugün sosyal medyadan direkt hesap açıp çok kolay reklam çıkabiliyor. Bu da hiçbir yetkinliği ve ürün bilgisi olmadan ya da ticari bir deneyimi olmadan hem kendini hem başkasının üzüyor. Bazı bu şekilde dijitalden ürün satmaya çalışıp daha sonra müşterileri mağdur eden ürünü teslim etmeyen, ürünü alıp gönderemeyen bir sürü olay duyuluyor. Yani dijital pazarlama insanlara çok kolay ulaşılması sayesinde bu insanlar işini iyi yapamayan, işi bilmeyen insanların da müşterileri, insanları mağdur ettiğini görüyoruz. Bunlar da tabii kalitede kaliteyi sunamadığı için müşteri mağduriyeti oluşuyor ve müşteride güven kaybına neden oluyor. Müşteri güven kaybına uğrayınca bu sefer diğer güvenilir insanlardan, sitelerden işini iyi yapanlardan da satın almada tedirginlik yaşıyor ve satın almasını erteliyor veya yapmıyor. Bulduğu ülkeden işini çözüyor. Dolayısıyla ülkemiz. Bu kalitesiz rekabetten müşteri ve ihracatta pazar kaybediyor.*”

Bu başlıkta mobilya sektöründe dijitalleşmenin sağlamış olduğu olumlu özelliklerin yanında olumsuz durumların da oluşabileceğine değindik. Bu tür olumsuz durumların yaşanmaması için öncelikle kurumsal kimlik, entelektüel sermaye ve marka değeri gibi firmayı ileriye taşıyacak değerlere önem verilmesi gerekmektedir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmanın amacı, dijital pazarlamanın İnegöl mobilya sektörü örneğinde ihracattaki rolünü derinlemesine incelemektir. Araştırma, sektördeki dijital dönüşümün ve dijital pazarlama stratejilerinin ihracat performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Dijital pazarlama araçları sayesinde, İnegöl mobilya üreticileri, dünya çapındaki müşterilere daha kolay ve etkili bir şekilde ulaşabilmektedir. İhracatçılar, online mağazalar, sosyal medya platformları ve diğer dijital kanallar aracılığıyla ürünlerini ve markalarını tanıtabilmekte ve hedef kitlelerine erişebilmektedir. Ayrıca, dijital reklamcılık, arama motoru optimizasyonu (SEO), içerik pazarlama ve sosyal medya pazarlaması gibi stratejiler, şirketlerin uluslararası pazarda daha görünür olmasını sağlamakta ve müşteri ilişkilerini güçlendirmektedir. Bu stratejiler, İnegöl mobilya sektörünün ihracat gelirlerini artırarak sektörün büyümesine katkıda bulunmaktadır.

Araştırmanın sonuçlarına göre dijital pazarlamanın ihracattaki rolü, mobilya sektöründeki firmalar için önemli fırsatlar sunmaktadır. İhracatçılar, geleneksel pazarlama yöntemleriyle ulaşamayacakları yeni pazarlara erişebilmekte ve uluslararası rekabette avantaj sağlayabilmektedir. Ayrıca, dijital pazarlama sayesinde müşterilerle daha etkileşimli ve özelleştirilmiş iletişim kurulabilmekte ve marka sadakati oluşturulabilmektedir. Ancak, dijital pazarlamaya geçişin bazı zorlukları da beraberinde getirdiği görülmüştür. İnegöl mobilya sektöründeki bazı firmalar, dijital pazarlama stratejilerini etkili bir şekilde uygulamak için yeterli kaynaklara ve uzmanlığa sahip olmayabilir. Bu nedenle, sektördeki firmaların dijital pazarlama becerilerini geliştirmeleri ve eğitim kaynaklarına erişimlerini artırmaları önemlidir. Literatüre bakıldığında dijital pazarlama araçlarının ihracatı artırmada önemli bir faktör olduğu sonucu yaygın bir şekilde görülmüştür. Fakat mobilya sektöründe dijital pazarlamanın, satışın tamamlanması anlamında yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak tüketicinin mobilya alırken fiyat, kumaş, ölçü, sünger, oturma, mobilya aksamlarının düzgün çalışıp çalışmadığı gibi farklı parametrelere baktığı ve dijital pazarlama araçlarının bu beklentiler karşılık için daha yol kat etmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum için VR (Sanal Gerçeklik) ve AR (Artırılmış Gerçeklik) teknolojilerinin daha etkili kullanılması gerektiği, tüketicinin soru işaretlerini gidermede yardımcı olacağı geleceğe yönelik araştırmalara yardımcı olabilir.



Sonuç olarak, bu makale İnegöl mobilya sektöründeki dijital pazarlamanın ihracattaki rolünü derinlemesine incelemiştir. Dijital pazarlama, firmaların uluslararası pazarda rekabet edebilirliğini artırmakta, müşterilerle etkileşimi güçlendirmekte ve ihracat gelirlerini artırmaktadır. Ancak, dijital pazarlamaya geçişin bazı zorlukları da mevcuttur. 2022 yılı İTİSO (İnegöl Ticaret Sanayi Odası) verilerine göre ihracatta Türkiye’de iller arasında 10. sırada olan İnegöl mobilya sektöründeki firmaların ihracat potansiyeli yıldan yıla artmaktadır. İşletmelerin dijital pazarlama becerilerini geliştirmeleri ve uygun kaynaklara erişim sağlamaları, sektörün dijital dönüşümünü desteklemek ve ihracat performansını geliştirmek için son derece elzemdir. Günümüzün hızla gelişen küresel ekonomisinde dijital pazarlama, erişim alanlarını genişletmek ve uluslararası pazarlardan yararlanmak isteyen işletmeler için güçlü bir araç olarak kullanılabilir. İhracat stratejilerini optimize etmek isteyen bir sektör profesyoneli olarak, dijital pazarlamanın potansiyelinden yararlanmak için bazı temel öneriler aşağıda verilmiştir.

Dijital pazarlama stratejilerini etkili bir şekilde uygulamak için uzman desteği almak önemlidir. Şirketler, dijital pazarlama alanında deneyimli profesyonellerle iş birliği yaparak ihracat faaliyetlerinde dijital pazarlamayı kullanabilirler. Ayrıca İnegöl mobilya sektöründeki firmalar, dijital pazarlama becerilerini geliştirmek için çalışanlarına düzenli olarak eğitimler verebilirler. Dijital pazarlama alanındaki yenilikleri takip ederek, çalışanların dijital pazarlama stratejilerini güncel tutmalarını sağlayabilirler. Tüketiciler, mobilya satın alırken detaylı bilgilere ihtiyaç duyarlar. İçerik pazarlaması, potansiyel müşterilere ürünlerin ve markanın değerini göstermek için etkili bir yöntemdir. Videolar, blog yazıları ve müşteri incelemeleri gibi içeriklerle ürünleri ve hizmetleri açıklayıcı ve ilgi çekici bir şekilde Web sitelerinde ve sosyal medya hesaplarında paylaşılması önemlidir. Fakat dijital pazarlama araçlarının satışın tamamlanması aşamasında eksik kalabileceği yerler vardır. Özellikle mobilya sektöründe kolayda tüketim malları olmadığından tüketici, satın alım kararını zor verebilmektedir. Bu nedenle işletmeler, daha önce de önerildiği üzere, VR ve AR teknolojilerini daha fazla kullanarak, müşterilere ürünleri sanal ortamda deneyimleme imkânı sağlayabilirler. Bu durum, tüketicilerin ürünlere daha yakından bakmalarına ve karar verme süreçlerini kolaylaştırmalarına yardımcı olabilir.

Mobilya sektöründe ihracat yapan işletmeler, pazar paylarını genişletmek için fuarlar ve dış ticaret uzmanlarını yoğun olarak kullanmaktadır. Sosyal medya ve yapay zekanın gelişmesiyle birlikte hedef kitle tespiti ve pazar payının genişletilmesi daha kolay hale gelmiştir. Sanal fuarlar, daha geniş kitlelere ulaşılabilen yardımcı olup maliyet temelli de avantaj sağlamaktadırlar. Ayrıca fiziki fuarlarda AR ve VR teknolojilerinin kullanılabilmesi ürün gamını geniş olan firmaların ürünlerini artırılmış gerçeklik yoluyla müşterilere sergilemelerine olanak tanırken yenilikçi bir marka olduklarının da altını çizecektir.

Sonuç olarak; bu öneriler, İnegöl mobilya sektöründeki firmaların dijital pazarlama stratejilerini geliştirmelerine ve ihracat performanslarını artırmalarına yardımcı olabilir. Dijital dönüşümün ve teknolojinin, ihracatta rekabet avantajı sağlamak için kaçınılmaz bir fırsat olduğu sonucuna bulgulardan da ulaşılabilmektedir. Fakat, dijital kanallara entegre olunurken ihracat alanında iş ilişkisi olunan coğrafyaların ticaret kültürünün yanında dijital alışkanlıklarının da dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin Orta Doğu, Orta Afrika gibi az gelişmiş ülkelerle iş ilişkisi kurulurken bu bölgelerin hangi dijital kanalları kullandıklarının analizi yapılmalıdır. Yani; İnegöl mobilya sektöründe sadece dijital pazarlama yapılmasından klasik kanallar ve dijital kanalların bütünleşmiş bir şekilde yürütülmesi gerektiği aşikardır. Sektör profesyonelleri, bu önerileri benimseyerek, ihracat girişimlerini geliştirmek ve küresel pazarda sürdürülebilir büyüme elde etmek için dijital pazarlamanın tüm potansiyelinden yararlanabilirler.

Araştırmada dijital pazarlamayı, İnegöl mobilya sektöründe faaliyet gösterip ihracat süreçlerinde kullanan 5 işletmenin yöneticisi ile gerçekleştirilmiş olmasından dolayı, elde edilen verilerin, İnegöl mobilya sektöründe faaliyette bulunup ihracat yapan tüm işletmeler açısından genelleyici bir niteliğe sahip olmadığını ifade etmek gerekmektedir. Bunun yanı sıra İnegöl mobilya sektöründe dijital pazarlamayı ihracat sürecinde aktif kullanan firmaların kurumsal anlamda iletişim kanallarının açık olmamasından ötürü, belirli işletmeler mülakat randevusu talebini reddetmiştir, bu durum çalışmanın diğer bir kısıtlılığıdır.

Gelecek çalışmalarda hem bölgesel sınırlar genişletilerek farklı konumlarda faaliyet gösteren firmaları da kapsamına alan hem de elde edilecek sonuçların Türkiye ölçeğine genellenebileceği ölçüde daha geniş bir örneklemeden veri toplanan kantitatif çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu bağlamda alanda çalışan araştırmacıların elde edeceği sonuçlar Türkiye ihracatında önemli payı olan mobilya sektörünün potansiyelini arttıracak dijital pazarlama araçlarının ve sağlayacağı faydaların farkındalığını artırarak sektör uzmanları ve yatırımcılarına yol gösterecektir.

## Kaynakça

- Abdullah, R., A., A., (2022). *Digital marketing success for medium-sized businesses a qualitative study*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Gedik Üniversitesi, Türkiye.
- Akgün, V. Ö., ve Arslan, B. N. (2017). Marketing Mentality Of The Modern Age: Digital Marketing. *In Proceedings of The 5th International Academic Conference on Management and Economics*. (pp. 5-10). Lithuania: Diamond Scientific Publishing.
- Alarcón-del-Amo, M. C., Rialp, A., & Rialp, J. (2016). Social media adoption by exporters: The export-dependence moderating role. *Spanish Journal of Marketing-ESIC*, 20(2), 81-92.
- Armstrong, G., Adam, S., Denize, S., & Kotler, P. (2014). *Principles of marketing*. Pearson Australia.
- Ballı, Ş. M. (2022), *Küçük ve orta ölçekli işletmelerde dijital pazarlama araçlarından sosyal medya kullanımı: Türkiye örneği* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi, Türkiye.
- Baltes, L. P. (2015). Content marketing-the fundamental tool of digital marketing. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series V: Economic Sciences*, 111-118.
- Barreda, A. A., Bilgihan, A., Nusair, K., & Okumus, F. (2015). Generating brand awareness in online social networks. *Computers in human behavior*, 50, 600-609.

- Butković, L. L., Bošković, D., & Katavić, M. (2014). International marketing strategies for Croatian construction companies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 503-509.
- Chaffey, D. (2007). *E-business and E-commerce Management: Strategy, Implementation and Practice*. Pearson Education.
- Chaffey, D., & Ellis-Chadwick, F. (2019). *Digital marketing*. Pearson UK.
- Chen, C. S., Yu, C. C., & Hu, J. S. (2018). Constructing performance measurement indicators to suggested corporate environmental responsibility framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 135, 33-43.
- Demishkevich, M. (2015). *Small business use of internet marketing: Findings from case studies* (Doctoral dissertation), Walden University, USA.
- Desai, V. (2016). Digital marketing: A review. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, Special Issue - Fostering Innovation, Integration and Inclusion Through Interdisciplinary Practices in Management, March 2019, 196-200.
- Femenia-Serra, F., & Gretzel, U. (2020). Influencer marketing for tourism destinations: Lessons from a mature destination. In *Information and Communication Technologies in Tourism 2020: Proceedings of the International Conference in Surrey, United Kingdom, January 08–10, 2020* (pp. 65-78). Springer International Publishing.
- Hayes, A. (2023). Social Media Marketing (SMM): What It Is, How It Works, Pros and Cons. Released on 19th October 2023. Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/s/social-media-marketing-smm.asp#citation-5>
- Ištvančić, M., Crnjac Milić, D., & Krpić, Z. (2017). Digital marketing in the business environment. *International journal of electrical and computer engineering systems*, 8(2.), 67-75.
- Mccracken, G. (1988) *The long interview*. Vol. 13, Sage Publications Inc., Thousand Oaks.
- Mehdipour, H., & Shirini, N. (2021). Investigating the Impact of Digital Marketing and Its Effectiveness on Career Growth through Export Performance (Case Study of Top Commercial Companies in East Azerbaijan Province in Iran). *International journal of Innovation in Marketing Elements*, 1(1), 37-47.
- Metin, İ. (2016). The effect of digital marketing tools on the export of the Turkish SMEs Dijital pazarlama araçlarının KOBİ'lerin ihracatına etkisi. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 4697-4709.
- Mohamud, A.M., (2022), Dijital pazarlamanın küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin uluslararası ticaretlerine etkisi ve Türkiye örneği. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi, Türkiye.
- Mollanezhad Ashlaghi, N., Heydari, M., & Ahadmotlaghi, E. (2015). The study of the effect of internet marketing strategies on development of the export market (case study: Pars Wagon company). *European Online Journal of Natural and Social Sciences: Proceedings*, 4(1 (s)), pp-2299.
- Ocansey, F. (2017). Digital marketing and the performance of cashew exporting firms in Ghana. *International Journal of Marketing and Technology*, 7(6), 29-39.
- Özgüven Tayfun, N. & Öçlü, B. (2018). A review of digital marketing tools. In H. Arapgirlioğlu, A. Atık, S. Hızıroğlu, R. L. Elliott, D. Atık (Eds.), *The most recent studies in science and art*, (pp. 1775 -1785). Ankara: Gece Kitaplığı.
- Tavakoli, A., & Dehghani Sanij, J. (2011). Main factors on export development in textile industry (the case of Yazd province textile industry). *Monetary & Financial Economics*, 17(31).
- Tekin, H. H. & Tekin, H. (2006). Nitel araştırma yönteminin bir veri toplama tekniği olarak derinlemesine görüşme. *İstanbul University Journal of Sociology*, 3(13), 101-116.
- Teo, T. S. (2005). Usage and effectiveness of online marketing tools among Business-to-Consumer (B2C) firms in Singapore. *International journal of information management*, 25(3), 203-213.
- Tuzcu, N. (2023), Pazarlamada dijital dönüşüm: Dijital pazarlama stratejilerinin değerlendirilmesi, In E. Çolakoğlu, N. Çağlar Çetinkaya (Eds.), *Güncel gelişmelerle pazarlama konular ve araştırmalar-I*, (pp. 189-206). Gaziantep: Özgür Yayın-Dağıtım Ltd.
- Veleva, S. S., & Tsvetanova, A. I. (2020). Characteristics of the digital marketing advantages and disadvantages. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 940, No. 1, p. 012065). IOP Publishing.
- Yasmin, A., Tasneem, S., & Fatema, K. (2015). Effectiveness of digital marketing in the challenging age: An empirical study. *International journal of management science and business administration*, 1(5), 69-80.



# Yığma Yapılarda Günümüzde Yapılan Hatıl Uygulamaları

Mehmet Selim Ökten<sup>1\*</sup>, Aynur Yüce<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4689-767X), [selim.okten@msgsu.edu.tr](mailto:selim.okten@msgsu.edu.tr)

<sup>2</sup> Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8813-3128), [mim.aynuryuce@gmail.com](mailto:mim.aynuryuce@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 8 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 23 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439985)

**ATIF/REFERENCE:** Ökten, M.S., Yüce, A. (2023). Yığma Yapılarda Günümüzde Yapılan Hatıl Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 259-271.

## Öz

Yığma yapılarda hatıl kullanımı taşıyıcı sistem bütünlüğünü sağlamak açısından oldukça önemlidir. Depremler sonucunda hasar gören veya zaman içerisinde yok olan taşıyıcı duvarlar içindeki bu elemanlara günümüzde nasıl müdahale edildiği araştırmanın konusunu oluşturmaktadır. Yığma yapılarda yapılan hatıl uygulamalarına tarihi yapıların restorasyon çalışmalarında rastlanıldığı için, uygulama örnekleri geleneksel ve kültürel miras değerleri olan yapılar üzerinden anlatılmıştır. Hatıl uygulamaları sırasında geleneksel malzeme ve yöntemlerin yanında modern malzeme ve yöntemlerin de kullanıldığı üç yapı örnek olarak seçilmiştir. Veriler şantiye gözlemleri, projeler, toplantı notları ve araştırmacıların şantiyedeki uygulamalarından elde edilmiştir. Geleneksel veya modern hatıl uygulamalarının taşıyıcı sisteme yapacağı etki değerlendirme kısmında karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tarihi yapıların ihtiyaçları doğrultusunda yapılacak uygun müdahalelerin, bu yapıların gelecek kuşaklara aktarılmasına büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hatıl, Yığma Yapılar, Güçlendirme.

## Current Applications of Lintels in Masonry Structures

### Abstract

Lintel use in masonry structures is quite important in ensuring the integrity of the structural system. Our research examines the current means of intervention on these elements within the load-bearing walls that are damaged by earthquakes or destroyed over time. Since the lintel applications in masonry structures were found in the restoration works of the historical buildings, the examples of the applications are explained through the structures which have traditional and cultural heritage values. Three buildings were selected as examples where modern materials and methods were used in addition to traditional materials and methods. The data were obtained from site observations, projects, meeting notes, and the researcher's own practices on the site. The effect of traditional or modern lintel applications on the structural system is presented comparatively in the discussion section. It is believed that appropriate interventions in line with the needs of historic buildings will greatly contribute to elongating the lifetime of these buildings.

**Keywords:** Lintel, Masonry Structures, Strengthening.

\* Corresponding Author: [selim.okten@msgsu.edu.tr](mailto:selim.okten@msgsu.edu.tr)

## 1. Giriş

Türkiye’de bulunan tarihi yapılar içinde yığma yapım sistemi önemli bir yer tutmaktadır. Kerpiç, taş veya tuğla blokların üst üste dizilmesiyle oluşan yığma yapım sistemi, bahsedilen malzemelerin kullanıldığı döneme bağlı olarak yerel kaynaklardan temin edilebilmesi veya üretilebilmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmıştır. Kültürel mirasın bir unsuru olan tarihi yapılarda veya sivil mimari örneklerinde de yığma yapım sisteminin ağırlıklı kullanımı bu yapım sistemin önemini korumasını sağlamıştır.

Korunması ve geleceğe aktarılması önemli olan tarihi ve kültürel mirasımız olan yığma yapılar ülkemizde bulunan yoğun sismik hareketlilikten etkilenmekte, yatay ve düşey deprem kuvvetleri sonucunda yapılarda hasar oluşabilmektedir. Bu deprem yükleri altında taşıyıcı yığma duvarların bir bütün olarak çalışmasını sağlayan hatıllar, önemli bir işlev görmektedir. Zaman içinde yok olmuş, atmosferik etkiler veya deprem sonucunda hasar görmüş hatılların onarımı/değiştirilmesi bu yapıların devamlılığını sağlamak için oldukça önemlidir. Bu çalışmada günümüzde yapılan restorasyon uygulamalarında hatılların onarımı ve yenilenmesi sırasında kullanılan geleneksel ve modern yöntemlerden bahsedilmiştir. Ülkemizde yapılan restorasyon uygulamalarından örnekler ile kullanılan yöntemler açıklanmaya çalışılmıştır. Bu yapıların korunması zamanında yapılacak onarım ve güçlendirme müdahaleleriyle mümkündür.

Yığma yapıların önemli bir kısmını oluşturan tarihi yapıların geleceğe aktarılması hususundaki çalışmalar konunun önemi sebebiyle İngiltere, Fransa ve İtalya başta olmak üzere tüm dünyada araştırılmaktadır. Tarihi yığma yapılara uygulanacak müdahalelerin temel prensipleri belirleyen başlıca kaynaklar 1964 yılında kabul edilen “Venedik Tüzüğü” [1] ve Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi Türkiye Milli Komitesi’nin (ICOMOS) [2] yayınladığı mimari mirasın korunması ile ilgili bildirgelerdir. Vakıflar Genel Müdürlüğü [3] tarafından yayınlanan Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu kitabında müdahale yöntemleri bölümünde duvarlara çelik gergi ve kubbe kasnağına çelik kuşaklama elemanlarına değinilmiştir. Tanyeli, Osmanlı İnşaat Teknolojisi Tarihi kitabında tarihi yapı malzemelerini detaylı anlatmış ve hatılların işlevine değinmiştir [4]. Ghıga ve diğ. [5] çalışmasında yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanım yöntemlerinden ve lif takviyeli polimer çeşitlerinden bahsetmiştir. Valluzzi ve diğ. [6] tarihi yapıların onarımında kullanılan kompozit malzemelerin kullanımının hızla yayılması, doğru kullanımının yapıya katkıları ve restorasyon prensiplerine uygunluğu üzerine çalışmıştır. Quagliarini ve diğ. [7] cam, karbon ve aramid fiberlere alternatif olarak bazalt fiber çubukların özelliklerini laboratuvar ortamında test etmiş ve malzemenin tarihi yapıların güçlendirilmesinde iyi bir alternatif olabileceğini belirtmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırma kapsamındaki veriler, araştırmacıların katılım sağladığı şantiyelerden elde edilmiştir. Veriler şantiye gözlemleri, projeler, toplantı notları ve araştırmacıların şantiyedeki uygulamalarından elde edilmiştir.

Verilerin elde edildiği projeler restorasyon çalışmalarının yapıldığı üç şantiyeden elde edilmiştir. İstanbul’da yer alan bu yapıların isimleri sırasıyla; Mısır Çarşısı, Şeyh Murad Tekkesi ve Derince Gar Binası’dır.

## 3. Materyal ve Metot

Tarihi ve yığma yapıların deprem esnasındaki davranışında yığma duvarlar içinde yer alan hatılların önemi büyüktür. Bu hatıllar sayesinde yapının taşıyıcı sistem performansı artmaktadır. Birbirine dik istikametteki duvarları bağlayan, deprem hareketi esnasında meydana gelen çekme gerilmelerini karşılayan ve yapının bir bütün olarak deprem kuvvetlerini karşılamasını sağlayan ahşap, metal veya tuğla hatılların zaman içinde kesitleri azalmakta ve kaybolmaktadır. Yığma yapıların onarımları sırasında, yapının performansını koruması için işlevini yerine getiremeyen hatıllar değiştirilmekte veya yeni elemanlar ile takviye edilmektedir. Geleneksel hatıl sistemin kullanılmadığı noktalarda modern malzemeler ile yeni hatıl sistemleri uygulanmaktadır. Geleneksel yığma yapıların onarım ve güçlendirilmeleri sırasında hatıllar, geleneksel veya modern malzemeler ile yenilenmektedir.

### 3.1. Hatılın Tanımı

Hatıl, yatay ve düşey kuvvetler etkisiyle taşların kaymaması, taş duvarın yarılmaması ve devrilmemesi, böylece duvarın stabil olması ve bütünlüğünü koruması amacıyla, duvarın içine belirli yüksekliklerde (en fazla 150 cm’ de bir) yatay olarak, duvar boyunca yerleştirilen, ahşap, tuğla, betonarme vb. malzemelerden yapılan bağlama elemanıdır [8].

### 3.2. Hatıl Çeşitleri

Hatıllar kullanımları bakımından Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e [9] göre “yatay hatıllar” ve “düşey hatıllar” olarak ikiye ayrılmaktadır. Yönetmelikte sadece betonarme hatıllardan bahsedilmektedir. Tarihi Yapılarda Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu’nda [3] ise ahşap hatıllar da yer almaktadır.

Hatıllar yapıldıkları malzeme bakımından; taş, tuğla, ahşap, demir, çelik, betonarme, lifli polimerler olarak çeşitlendirilebilir. Taş, tuğla, ahşap, demir malzemeyle yapılan hatıllar geleneksel malzeme kullanımına, beton, çelik, lifli polimer gibi malzemelerle uygulanan hatıllar ise modern kullanımlarına örnektir.



### 3.3. Hatılın Kullanım Yerleri

Yığma yapılarda hatıllar, düşey ve yatay yükler karşısında bütünlüğü sağlamak için; duvarlarda, kemer açıklıklarında tonoz ve kubbe eteklerinde, temellerde ve taşıyıcı ayaklarda kullanılabilirlerdir.

Duvarlarda ve temellerde daha çok ahşap, taş duvarlarda tuğla, tuğla duvarlarda taş hatıl kullanılmaktadır. Hatıllar, duvar birleşim ve kesişim noktalarında kullanılarak düşey çatlaklara ve eğilmelere engel olurken duvarın stabilitesini de sağlamaktadır [10] (Şekil 3.3.1, Şekil3.3.2).



Şekil 3.3.1. Ahşap hatıl, Birgi, İzmir (Figure 3.3.1. Timber lintel, Izmir, Birgi)



Şekil 3.3.2. Taş hatıl, St.Jean (Aziz Yahya) Kilisesi, İzmir (Figure 3.3.2. Stone lintel, St.Jean Church Izmir)

Kemer açıklıklarında, üzenği taşı hizasında hem kemerleri birbirine bağlayan hem de kemeri oturduğu duvara veya sütuna mesnetleyen gergiler bulunmaktadır. Böylece kemerlerin bir bütün olarak çalışması sağlanmakta ve mesnet noktalarında oluşan yatay itki karşılanmaktadır (Şekil 3.3.3).



Şekil 3.3.3. Kemerlerde demir hatıl uygulaması, İstanbul (Figure 3.3.3. Application of iron lintel in arches, Istanbul)



Kubbe ve tonoz eteklerinde düşey ve yatay yüklere karşı açılmalarını engellemek için kasnak kısımları ahşap veya metal hatıl elemanlarıyla çevrenmektedir (Şekil 3.3.4).



Şekil 3.3.4. Kubbe altındaki kasnaktaki demir hatıl uygulaması, Hekimoğlu Ali Paşa Camii, İstanbul (Figure 3.3.4. Application of iron lintel in the tensile hoops region of the dome, Hekimoğlu Ali Pasha Mosque, İstanbul)

#### **4. Günümüz Uygulamalarında Kullanılan Hatıl Sistemleri**

Tarihi yapılarda yapılacak müdahalelerin koruma ilkeleri ile uyumlu olması gerekmektedir ve bu noktada rehber olarak ulusal ve uluslararası kılavuzlardan faydalanılmaktadır. Tarihi yığma yapıların onarım/güçlendirme çalışmaları sırasında özgün malzeme ile uyumlu malzeme kullanımına dikkat edilmelidir. Bununla birlikte taşıyıcı sistemin performansının, durabilitenin artırılmasının gerektiği durumlarda modern hatılların kullanımı, taşıyıcı sisteme büyük bir fayda sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerin performans açısından yetersiz kaldığı durumlarda deneysel olarak kanıtlanmış malzeme ve tekniklere başvurulmalıdır.

Yığma yapılar için önemli bir eleman olan hatılların günümüz kullanımına örnek olarak sırasıyla Mısır Çarşısı, Şeyh Murad Tekkesi ve Derince Gar Binası'nda yapılan hatıl uygulamalarından bahsedilmiştir.

##### **4.1. Mısır Çarşısı Restorasyonu Hatıl Sistemleri**

Mısır Çarşısı 17. yy' da Yeni Cami Külliyesi'nin arastası olarak Hatice Turhan Valide Sultan tarafından yaptırılmıştır. Çarşının taşıyıcı duvarlarında moloz taş, almaşık örgü, kesme taş ve tuğla duvarlar kullanılmıştır. Moloz taş duvarlarda ahşap hatıllar almaşık örgü duvarlarda tuğla ve ahşap hatıllar kullanılmıştır. 2013-2018 yıllarında kapsamlı bir restorasyona giren Mısır Çarşısı duvarlarında hatıl kotları belirlenip, geleneksel malzeme kullanılarak ahşap hatıllar değiştirilmiştir. Belirli aralıklarla duvarda çürütmeler yapıp, işlevini yitiren hatıllar temizlenmiştir. Emprenye edilen ahşap elemanlar paslanmaz metal plakalar ile birleştirilmiş, aynı noktalarda duvar içine yerleştirilmiş, sonrasında tuğla örülerek enjeksiyon ile boşluklar doldurulmuştur (Şekil 4.1.1-3).



Şekil 4.1.1. Mısır Çarşısı'nın havadan görünümü, 2018 (Vakıflar 1. Bölge Müdürlüğü) (Figure 4.1.1. Aerial view of Spice Bazaar, 2018)



Şekil 4.1.2. Mısır Çarşısı duvarlarında açılan hatıl kotları ve yeni ahşap hatılların yerleştirilmesi (Figure 4.1.2. Lintel levels on the walls of the Spice Bazaar and replacing timber lintels)



Şekil 4.1.3. Mısır Çarşısı duvarlarında metal plakalarla birleştirilen ahşap hatıllar ve sonrasında tuğla ve enjeksiyon harcı ile boşlukların kapatılması (Figure 4.1.3. Timber lintels joints with metal plates on the walls of the Spice Bazaar and then filling the gaps with bricks and injection mortar)

Mısır Çarşısı'nın Haseki Kapısı üstü odalarının özgün olmayan, betonarme üst örtülerinin geleneksel malzeme ile projeye uygun bir şekilde yeniden yapılması sonucunda üst odalarda zamanla kaybolmuş duvar yeniden üretilmiştir. Yeniden üretilen, taşıyıcı olan duvar, tuğla ile çift cidarlı ve 1 m aralıklarla çift sıralı ve dikey bağlantılı ahşap hatıllar yerleştirilerek örülmüştür. Emprenye edilen meşe hatılların bağlantıları paslanmaz çelik plakalar ile sağlanmıştır (Şekil 4.1.4).



Şekil 4.1.4. Yeni örülen çift cidarlı tuğla duvar ve hatıl uygulaması (Figure 4.1.4. Construction of double-walled brick wall and lintel application)



Haseki Kapısı üstü odalarının betonarme üst örtüleri, tuğla tonoz ve kubbe olarak yeniden yapılırken kasnakları etrafı ahşap hatıllar ile çevrilmiştir. Böylece gelecekteki muhtemel açılmalara karşı önlem alınmıştır (Şekil 4.1.5).



Şekil 4.1.5. Mısır Çarşısı Haseki kapısı üstü odaları kubbe ve tonoz kasnağı çevresine yerleştirilen hatıllar (Figure 4.1.5. Lintels placed around the tensile hoops region of dome and vault in the rooms above the Haseki gate of the Spice Bazaar)

17. yy yapısı olan Mısır Çarşısı'nda geleneksel malzemenin yanında modern malzeme ile güçlendirme yöntemi olarak paslanmaz çelik gergiler kullanılmıştır. Mısır Çarşısı'nın Balıkpazarı Kapısı girişinde yer alan ve restoran olarak kullanılan mekânın dış cephesinde, geçmişte yapılan demir ve kılıçlamalar yeterli gelmemiş ve duvarda ayrılma oluşmuştur. Hasarlı noktalarda taş çürütmesi ve kaplaması yapıldıktan sonra statik projeler doğrultusunda, duvar altı noktadan yapının arka duvarına paslanmaz çelik gergiler ile bağlanmış ve çelik kapaklar ile sabitlenmiştir. Çelik gergiler, çapı 4 cm olan daire kesitli hatıllardır. Gergi temas ettiği yüzey ile aderansının daha iyi olması için nervürlü seçilmiştir (Şekil 4.1.6, 4.1.7).



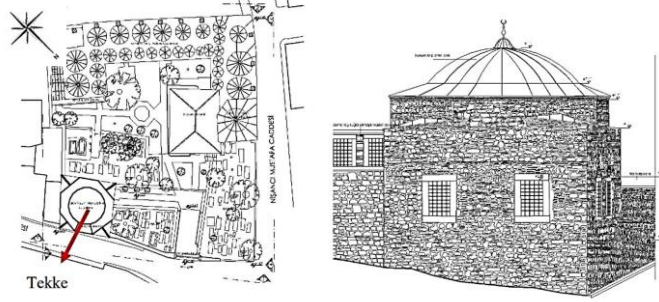
Şekil 4.1.6. Mısır Çarşısı Balıkpazarı Kapısı üstü odalarının paslanmaz çelik gergiler ile güçlendirilmesi (Figure 4.1.6. Strengthening of the rooms above the Spice Bazaar's Balıkpazarı Gate with stainless steel tension rods)



Şekil 4.1.7. Mısır Çarşısı Balıkpazarı Kapısı üstü odalarının paslanmaz çelik gergilerin cepheden görünüşü (Figure 4.1.7. Front view of the stainless steel tension rods of the rooms above the Spice Bazaar Balıkpazarı Gate)

## 4.2. Şeyh Murad Tekkesi Restorasyonu Hatıl Sistemleri

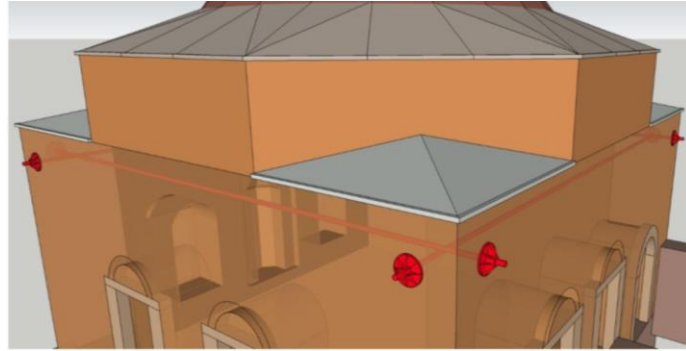
1640 yılında Semerkant'ta doğan Şeyh Murad Hazretleri 1742 yılında İstanbul'a geldiğinde, bu tekke kendisine tahsis edilmiştir [11]. Tekkenin boyutları 9.5 m x 9.5 m kare plan şemasına sahiptir ve kubbe örtüsü sekizgen kasnak üzerine oturtulmuştur.



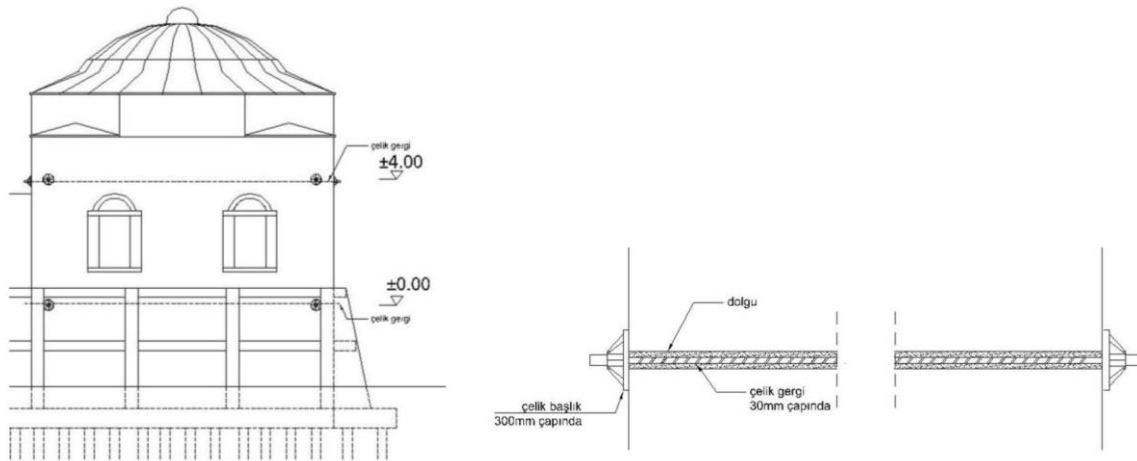
Şekil 4.2.1. Şeyh Murad Tekkesi vaziyet planı ve kot farkını gösteren görünüş (Figure 4.2.1. Sheikh Murad Lodge layout plan and view showing the elevation difference)

İncelemeler sonucunda yapının batı ve kuzey cephelerindeki taşıyıcı duvarlarını ve kubbesini kuzey-güney doğrultusunda kesen, yarık mertebesinde geniş bir çatlak bulunmuştur. Bu hasar, yapının çatlağa dik istikamette hareket ettiğini göstermiştir. İstanbul'daki sismik hareketliliğin yüksek olması ve yapının yaşı düşünüldüğünde yığma yapılarda çatlak oluşumu beklenen bir husustur. Ancak gerek zemin etüdü raporundan gerekse yeraltı radarı ölçüm raporundan yapının bulunduğu zemin ile ilgili bir problem olduğu anlaşılmıştır. Altında galeri boşlukları olan, zaman içerisinde yağmur suyu ve kanalizasyon hatlarının değişmesi veya hasar görmesiyle yer altı su seviyesi değişebilen, dolgu zemin üzerine oturan tekke yapısının temellerinde, oturma veya dönme olması düşünülmüştür. Zeminde meydana gelen hareket sonucu, külliye içinde tekkenin arkasında kalan diğer yapılarda da çatlak olduğu gözlemlenmiştir.

Yapının taşıyıcı duvarlarının depreme karşı bir bütün olarak çalışması için duvarları birbirine bağlayan ve deprem esnasında oluşan çekme gerilmelerini karşılayan çelik gergilerden faydalanılmıştır. Çelik gergiler iki ayrı kotta olmak üzere duvarların içine yerleştirilmiştir (Şekil 4.2.2-4). Ayrıca yapının kubbe kasnağındaki çekme gerilmelerini karşılaması ve açılmayı önlemek için karbon elyaf kumaş ile kuşaklama yapılmıştır (Şekil 4.2.5).



Şekil 4.2.2. Çelik hatılların yapı modelindeki durumu (Figure 4.2.2. The view of steel lintels in the building model)



Şekil 4.2.3. +0.00m ve +4.00 m kotundaki paslanmaz çelik gergiler ve detayları (Figure 4.2.3 Stainless steel tension rods and their details at +0.00m and +4.00 m elevation)





Şekil 4.2.4. İki yönde yapılan gergilerin durumu (Figure 4.2.4. The application of the tension rods in two orthogonal directions)



Şekil 4.2.5. Kubbe kasnağına uygulanan karbon elyaf kuşaklama (Figure 4.2.5. Carbon fiber reinforced polymer application in tension region of the dome)

### **4.3. İzmit Derince Gar Binası Restorasyonu Hatıl Uygulamaları**

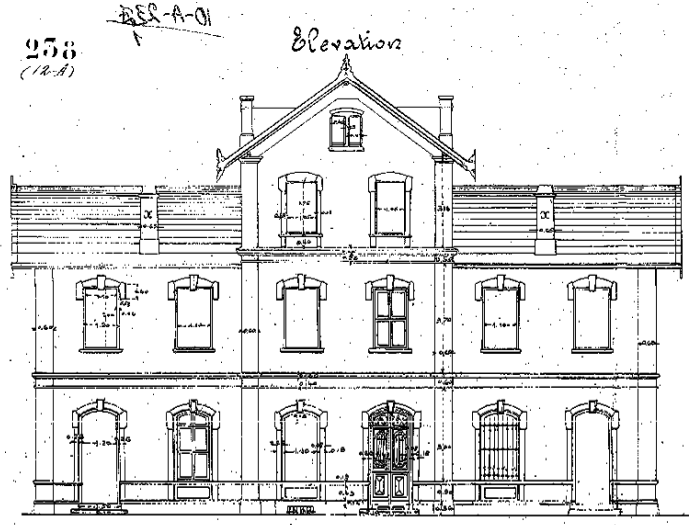
İzmit Derince Gar Binası, 1873 yılında Almanlar tarafından Gebze-İzmit demiryolu projesi kapsamında yapılmıştır. II. Grup eski eser tescilli eser olan yapı, planda yaklaşık 12.0mx21.0m ölçülerinde olup yığma sistemle inşa edilmiş iki katlı bir binadır.

Yapı; kısmi bodrum kat, zemin (giriş katı) kat ve bir normal kattan (birinci kat) oluşmaktadır (Şekil 4.3.1). Yapının üç katlı olarak inşa edildiğini gösteren bir çizim de bulunmaktadır (Şekil 4.3.2).



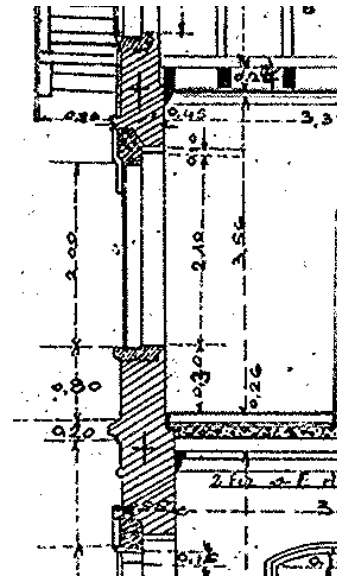
Şekil 4.3.1. Yapının ön cepheden görünüşü (Figure 4.3.1. Front view of the building)





Şekil 4.3.2. Üç katlı çizim (Figure 4.3.2. Drawing three-story building)

Bu çizimlerde taşıyıcı duvarları döşeme hizalarında birbirine bağlayan ve pik demir çubuk olduğu düşünülen, artı şeklinde çizilmiş gergiler görülmektedir (Şekil 4.3.3). Yapının çatısı 1960'lı yıllarda yangın geçirmiştir. Bunun sonucunda birinci katta tavan kotunda taşıyıcı duvarları birbirine bağlayan ve pik gergi olduğu varsayılan hatıl ısı etkisiyle zarar görmüştür. Yapı onarılırken üçüncü kat kaldırılmış fakat ikinci katta taşıyıcı duvarları tavan kotunda birbirine bağlayan bir yatay hatıl oluşturulmamıştır. Yatay hatılın olmaması sebebiyle taşıyıcı duvarlar dönem içinde meydana gelen deprem yüklerine karşı bir bütünlük gösterememiştir.



Şekil 4.3.3. “+” şeklinde çizilen gergiler (Figure 4.3.3. Tension rods drawn as “+”)

Yapıda taşıyıcı sistem müdahalesi olarak mümkün olduğunca birinci kat döşeme kotuna yakın olan ve taşıyıcı duvarları birbirine bağlayan bir kuşaklama oluşturulması kararı alınmıştır. Bunun için taşıyıcı duvarlara zarar vermeden kolay ve hızlı uygulanabilir olan, mukavim, korozyona dayanıklı, yapının dış görünüşünü bozmayan bir güçlendirme tekniği olan lifli polimer uygulaması tercih edilmiştir. Lifli polimerle yapılan uygulamalar bu ihtiyaçları karşılamakta olup son yıllarda bütün dünyada tarihi yapıların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Çok ince tabakalarla büyük gerilmelere karşı koyabilen bu malzemenin, hafif olması ve korozyona uğramaması tercih edilmesindeki diğer bir faktördür.

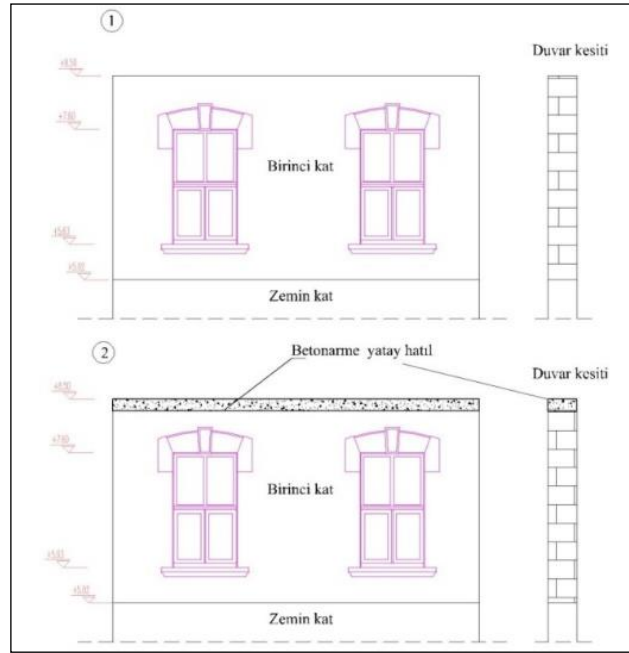
Yapıda çatlamış ve hasar görmüş taşıyıcı duvarlar enjeksiyon ile güçlendirilmiştir. Çatlak bulunan duvarlar, sıva raspasından sonra kâğır malzemeye uygun tamir harçları ile onarılmıştır. Daha sonra yapı, birinci kat parapet hizası ve zemin kat pencere üstünden iki bölgede olmak üzere karbon elyaf (CFRP) bantlarla sarılarak kuşaklanmıştır. Bu bantlar sırasıyla 40cm ve 30cm genişliğinde olmak üzere 3 kat yapılmıştır (Şekil 4.3.4).



Şekil 4.3.4. CFRP kuşaklama (Figure 4.3.4. CFRP application)

CFRP kuşaklama işlemi projede belirtilen detaylarla taşıyıcı duvarların içinden ve dışından yapılmış, kuşaklama 60cm ara ile birbirlerine ankrajlanmıştır. Uygulamadan önce bölgedeki sıva kaldırılıp yüzey temizlenmiştir. CFRP bantların epoksi ile yüzeye yapıştırılmasından sonra uygulama yapılan bölge tekrar sıvanmıştır. Böylece yapının dış görünüşü bozulmamıştır.

Çatının yeniden inşası sırasında, birinci kattaki bütün taşıyıcı duvarlar, tavan kotunda taşıyıcı duvar genişliğince betonarme yatay hatıllarla birbirlerine bağlanmıştır (Şekil 4.3.5). Bu sistem, taşıyıcı duvarları en üst kotta birbirine bağlayan yatay hatıl işlevi görmektedir.



Şekil 4.3.5. Betonarme yatay hatıl oluşturulması (Figure 4.3.5. Application of reinforced concrete lintels)

## 5. Değerlendirme

Hatıllar yığma yapıların, temel yapı elemanlarından birini oluşturmakta ve yapıya birçok yarar sağlamaktadır. Yatay ve düşey yükler karşısında yapının sürekliliğini sağlayarak sistemi monolitik çalıştırmaktadır. Hatıllar, duvarlarda oturmaları ve açılmaları önlemek ve duvarların homojenliğini arttırmaktadır. Yapılarda stabiliteyi sağlayarak gelen yükleri dağıtmaktadır [12]. Duvarların birleşim ve kesişim noktalarında kullanılarak düşey çatlaklara ve eğilmelere engel olmaktadır [10]. Belirli aralıklarla yerleştirilen hatıllar duvarlarda bir ara yüz oluşturarak, yatay deprem yüklerinin oluşturacağı çatlakların ilerlemesini, duvarın dağılıp hem yatay hem de düşey yük taşıma gücünü kaybetmesini önlemektedir [13]. Çift cidarlı veya kalın duvarlarda duvarın iki yüzünü birbirine

bağlanmasını sağlarken aynı zamanda iki cidar arasındaki dolgunun prizini alması geç olduğu için duvarın düzlem dışına doğru eğilmesini engellemektedir [3, 4].

Günümüz yığma yapıların çoğunluğunu geleneksel ve kültürel miras değeri olan yapılar oluşturmaktadır. Özellikle depremler karşısında, taşıyıcı sistem problemleri yaşayan yığma yapılar çeşitli yöntemler ile onarılmakta ve güçlendirilmektedir. Günümüz hatıl uygulamalarında ahşap, tuğla, taş gibi geleneksel malzemeler kullanıldığı gibi geleneksel malzemelerin uygulanmasının mümkün olmadığı durumlarda da modern malzemeler ile yeni hatıl sistemleri uygulanmaktadır.

Ahşap hatılların çürümesi ve yok olması durumunda hatıl yerleri duvar yüzeyine yakınsa ahşap hatıl yerleri açılarak, yeni ahşap elemanlar metal plakalar ile birleştirilerek yerlerine yerleştirilmektedir. Metal plakalı birleşimlerin doğru yapılması ile ahşap, kesit kaybetmeden daha etkili ve sağlıklı bir şekilde çekme kuvvetlerini aktarabilmektedir. Ahşap hatılların kullanılmasının mümkün olmadığı ya da korozyona uğramış ve mukavemetini kaybetmiş demir hatılların değiştirilmesi durumunda ise paslanmaz çelik hatıllar kullanılmaktadır. Taşıyıcı sistem performansının artırılmasının gerektiği durumlarda da yapıyı güçlendirmek için ilave çelik hatıl uygulamaları yapılmaktadır. Gelişen delme teknolojisi ve karot makineleri ile duvar uzunluğu boyunca çelik gergilerin yerleştirilebileceği boşluklar açılabilir. Uygulama yapılacak yapının ağır hasarlı olması durumunda, delme işlemi sırasında oluşacak titreşimlerin yapıya daha da zarar vermesini önlemek için uygulama öncesinde taşıyıcı sistem duvarlarına enjeksiyon yapılması önerilmektedir. Modern delme araçlarının kullanılması sırasında, makinenin çalışma alanına dikkat edilmelidir. Gergi elemanlarının kapakları estetik açıdan farklı alternatifler de sunmaktadır (Şekil 5.1).






Şekil 5.1. Zeyrek Camii, İstanbul (Figure 5.1. Zeyrek Mosque, Istanbul)

Lifli polimerlerin hatıl olarak duvarlarda veya kubbe kasnaklarında kullanımları da günümüzde oldukça yaygındır. Çekme kuvvetini karşılayan lifli polimer hatıllarda yığma duvar bünyesine uygun harç ve lif seçimi yapılmalıdır. Yapının homojenliğinde ya da rijitliğinde değişiklikler oluşturabilecek malzeme seçiminden kaçınılmalıdır. Bununla birlikte özellikle epoksi ile birlikte kullanılan lifli polimerlerin uygulaması hassas bir yüzey hazırlığı gerektirmekte ve ortam şartlarından etkilenmektedir. Uygulama öncesinde uygulanan yüzeyin temiz olması, uygulama sonrasında da lifli polimer katmanının üzerinin muhakkak kapatılması gereklidir. Son yıllarda epoksi yerine kireç esaslı harçların kullanımı özgün malzeme uygulamasına daha yakın olduğu için yaygınlaşmaktadır.

Betonarmenin hatıl olarak kullanımı yığma yapıların onarım ve güçlendirme uygulamalarının ilk örneklerinde kullanılmıştır. Betonarmenin üst kotlarda yoğun olarak kullanımının masif bir kütle etkisi ile yapıyı fazla rijitleştirdiği ve bu etkinin depremde hasara sebebiyet verebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma kapsamındaki ilk örnek olan Mısır Çarşısı hatıl uygulamalarında, yapının mevcut hatılları özgün malzemesine uygun olarak yenilenmiştir. Yapının Balıkpazarı kapısı cephesinde düşey deplasman görülmesi sonucu yapının cephesinin arka duvarlara bağlanması ve mevcut performansının artırılması için yapının duvarlarına paslanmaz çelik hatıllar yerleştirilmiştir. Şeyh Murat Tekkesi örneğinde de birbirinden ayrılan duvarları tutmak için paslanmaz çelik hatıl uygulamaları yapılmıştır. İlk iki örnekte yapının taşıyıcı duvarlarının depreme karşı bir bütün olarak çalışması için duvarları birbirine bağlayan ve deprem esnasında oluşan çekme gerilmelerini karşılayan çelik gergilerden faydalanılmıştır. Çelik gergiler iki ayrı kotta olmak üzere duvarların içine yerleştirilmiştir. Derince Gar Binasında ise yapının zemin kat pencere üstü ve birinci kat pencere alt kotunda hafif ve çekme mukavemeti yüksek olan karbon fiber malzeme ile kuşaklama yapılmıştır. Yapının sıvalı olan duvar yüzeyleri, lifli polimerin siva altında kalarak uygulamanın cephede görünmemesini ve yapının estetik bütünlüğünü bozmamasını mümkün kılmıştır. Ayrıca yapı üst kotundan betonarme yatay hatıl ile bağlanarak duvarda yaşanabilecek ayrılmaların önüne geçilmek istenmiştir. Bahsedilen bu örneklerde yapıyı güçlendirmek ve geleceğe aktarmak için uygulanan hatıl müdahalelerinin geri döndürülebilir olması da önemlidir (Tablo 5.1, Tablo 5.2).

Tablo 5.1. Yapı örneklerinin karşılaştırılmalı değerlendirmesi (Table 5.1. Comparative evaluation of building examples.)

GENEL DEĞERLENDİRME						YAPIDA KULLANILAN TAKVİYE HATILAR				KISA DEĞERLENDİRME
YAPININ ADI	Görsel	Yapım Yılı	Strüktür Bilgisi	Mevcut Durum	Mevcut Kullanılan Hatıllar	Ahşap Hatıl	Beton Hatıl	Çelik Hatıl	FRP Hatıl	
Mısır Çarşısı		1665	Tuğla tonoz ve kubbeli, moloz taş, kesme taş karışık almaşık örgülü L palanlı 2 katlı kârgir sistem.	Bakımsızlık, kullanıcı tahribatları ve depremlerden etkilenmiş	Ahşap hatıl ve demir kılıçlar	✓		✓		Yapının özelliğini yitirmiş özgün ahşap hatılları yenilenmiştir. Mevcut performansın artırılması gerekli noktalarda paslanmaz çelik miller takviye olarak eklenmiştir.
Şeyh Murad Tekkesi		17. yy ortaları	9.5m x 9.5m planında tek kubbeli (tuğla) tek katlı moloz taş duvar örgülü kârgir sistem.	Depremler ve alt yapı çalışmaları	Ahşap hatıl			✓	✓	Zemin problemlerine engel olmak için temel güçlendirilmesi yapılmış. Zemin seviyesinde betonarme temel ve payanda kullanılırken üst kotlarda çelik gergi, kubbe kasnağında FRP uygulamaları ile yapının mevcut performansı artırılmıştır.
İzmit Derince Gar Binası		1873	12.0m x 21.0m ölçülerinde, iki katlı yığma sistemle inşa edilmiştir.	Deprem hasarları	Metal hatıl (Demir gergiler)		✓		✓	Deprem hasarı almış yapı zemin kat pencere üstü ve birinci kat pencere altı hizasından karbon elyaf ile kuşaklanmıştır. Böylece yapının kritik kısımları yapının dış görünüşünü etkilemeyecek şekilde güvenli hale getirilmiştir. Duvarların üst kısmında da betonarme hatıl ile yapı duvarları birbirine bağlanmıştır.

Tablo 5.2. Hatılların karşılaştırılmalı değerlendirmesi (Table 5.2. Comparative evaluation of lintels)

HATILARIN KARŞILAŞTIRILMALI DEĞERLENDİRİLMESİ		
Ahşap Hatıl	Metal Hatıl	FRP Hatıl
Geleneksel olduğu için uygulanması güvenli ve kolaydır.	Yapının performansı artırılmak istendiğinde paslanmaz malzeme ile modern bir uygulama sunmaktadır.	Yapı dayanımını arttırmak için sıvalı yüzeylerde kullanılmaktadır.
Yüzeğe yakın noktalarda olanların değiştirilmesi mümkün olurken çok derinlerde bulunan eski hatılların sağlıklı değiştirilmesi zordur.	Teknolojinin gelişimi ile 40 m derinlikler karot makineleriyle kolayca geçilmekte ve bu da kesintisiz uzun hatıllara olanak sağlamaktadır.	FRP uygulamaları yapının hasar durumuna göre kat kat uygulanmaktadır. Uygulama katları maliyetini artırırken son yıllarda malzemenin yaygınlaşması malzemenin maliyetini düşürmektedir.
Güçlendirilmede değiştirilen ahşapların bağlantıları paslanmaz ya da galvaniz metal plakalar ile sağlıklı birleştirilmesi bütünsel çalışması bakımından önemlidir.	Metal gergi yerlerinin delinebilmesi için suyla delme işlemi uygulanmaktadır. Bu da fresk ya da mozaik gibi özel bezemeli duvarların sudan ve titreşimden etkilenmemesi için uygulamada ayrıca özen gerektirmektedir.	FRP malzemelerin uygulaması kolaydır ancak hassas oldukları için uygulama koşullarına çok dikkat edilmeli ve uygulama işçiliğine özen gösterilmelidir.
Ahşap hatıllar genellikle yapı içinde kullanıldığı için cephede estetik kaygılar yaşanmamaktadır.	Metal gergilerin cephede mesnet elemanlarının bulunması bu elemanların yapı cephesinde estetik görünümü önemli kılmaktadır.	FRP lerin sıva altında kalmaları dolayısı ile cephede estetik bir kaygı oluşturmaması büyük avantaj sağlamaktadır.

## 6. Sonuç

Hatıllar, yığma yapıları taşıyıcı sistem bakımından sağlamlaştırırken, deprem yüklerinin oluşturacağı hasarların ilerlemesini de engellemektedir. Basınca çalışan yığma duvarlar, kullanılan hatıllar ile süneklik kazanarak üzerine gelen çekme kuvvetlerini karşılamaktadır, böylece yatay yükler karşısında taşıma gücü artmaktadır.

Yığma yapılarda, yapının bütünlük içinde çalışmasını sağlayan hatıllar geleneksel ve modern malzeme kullanımları ile anlatılmıştır. Günümüz hatıl uygulamalarına, daha çok geleneksel ve kültürel miras yapılarının onarım ve güçlendirilmesi sırasında karşılaşılmaktadır. Ülkemizde kültürel miras değerimiz olan tarihi yığma yapıların onarımlarında Venedik Tüzüğü ve ICOMOS gibi uluslararası koruma bildirelerinden faydalanılmaktadır. Koruma ilkeleri kapsamında, tarihi yığma yapılarda olabildiğince özgün malzeme kullanılması, zorunlu durumlarda da modern malzeme ve yöntemlerin kullanılması beklenmektedir. Ayrıca tarihi yapıya edilecek müdahalenin geri döndürülebilir olmasına özen gösterilmelidir. Bu doğrultuda, özgün hatıl sistemine müdahale edilemediği veya yığma yapının performans seviyesinde artış gerektiği durumlarda modern hatıllar tercih edilmektedir. Taşıyıcı sistem performansı açısından modern hatılların kullanımı daha etkili iken, bu uygulamalar hassas ve özenli bir işçilik gerektirmektedir.

Yığma yapıların taşıyıcı sisteminin önemli bir parçası olan hatılların kullanımına ve doğru uygulanmasına dikkat edilmelidir. Doğru uygulanan hatıllar yapının performansını büyük ölçüde arttıracaktır. Kültürel miras olan tarihi yapıların gelecek kuşaklara aktarılması bu yapılara zamanında ve yerinde yapılacak müdahaleler ile mümkün olacaktır.

## **Kaynakça**

- [1] Venedik Tüzüğü (1664).
- [2] ICOMOS (2013). Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi.
- [3] V. G. Müdürlüğü, Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu. İstanbul, 2017.
- [4] Tanyeli, G. (2018) Hiçbir Üstâd Böyle Kâr Etmemiştir: Osmanlı İnşaat Teknolojisi Tarihi. İstanbul.
- [5] Ghiga, D. A., Tăranu, N., Ențuc, I.-S., Ungureanu, D., & Scutaru, M. C. (2018). Modern Strengthening Techniques For Masonry Structures. Buletinul Institutului Politehnic Din Iași. 64(68).
- [6] Valuzzi, M.R. (2005) "Requirements for the Choice of Mortar and Grouts for Consolidation of Three-Leaf Stone Masonry Walls", RILEM Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry. 26-28 January 2005, Delft, p.382-397.
- [7] Quagliarini, E., Monni, F., Lenci, S., & Bondioli, F. (2012). "Tensile characterization of basalt fiber rods and ropes: A first contribution." Construction and Building Materials. Volume 34, 372-380.
- [8] Gür, N. V., Deniz, Ö. Ş., Ekinci S. (2012). Kâgir Yığma Duvarlarda Taşıyıcı Malzeme Ve Bileşenler, 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12 - 13 Nisan 2012, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi - Görükle Kampüsü - Bursa.
- [9] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018).
- [10] Kara, H. G. (2009). Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı Ve Güçlendirilmesi, (Y.Lisans tezi). İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Torun, A.S. (2010), Şeyh Muhammed Murad-ı Buhâri Tekkesi Hazinesi Üzerine Bir Değerlendirme, Vakıflar Dergisi, sayı: 34, İstanbul, s. 125-161.
- [12] Oymael, S., Ö., Kıran Çakır, Ö., H. Sallı Bideci., (2011). Geleneksel Mimari Uygulamaların Yorumlanması, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey.
- [13] Bayülke, N., (2011) Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği.





# Türkçe Faturaların Sınıflandırılmasında Farklı Öznitelik Seçimi Yöntemleri ile Topluluk Öğrenme Algoritmalarının Etkilerinin İncelenmesi

İlker Yıldız<sup>1</sup>, Ayberk Emin Kotan<sup>2</sup>, Ayşe Berna Altinel Girgin<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ar-Ge Merkezi, NetBT Danışmanlık Hizmetleri A.Ş., İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9167-2774), ilker.yildiz@net-bt.com.tr

<sup>2</sup> Ar-Ge Merkezi, NetBT Danışmanlık Hizmetleri A.Ş., İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5085-2031), ayberk.kotan@net-bt.com.tr

<sup>3\*</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5544-0925), berna.altinel@marmara.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 15 Ağustos 2023 ve Kabul Tarihi 30 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439999)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldız, İ., Kotan, A.B., Altinel Girgin, A.B. (2023). Türkçe Faturaların Sınıflandırılmasında Farklı Öznitelik Seçimi Yöntemleri ile Topluluk Öğrenme Algoritmalarının Etkilerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 272-278.

## Öz

Özellikle Covid-19 pandemisiyle birlikte insanların alışveriş tercihlerinin daha çok dijital ortamlara geçmesiyle birlikte şirketler ve tedarik zincirleri de ciddi manada genişledi. Bu genişleme beraberinde fatura sayılarında da artışı getiriyor. Kanunen fiziki faturaların dijitalleştirilmesi ve saklanması zorunlu hale geldi. Bu zorunlulukla beraber dijitalleşmiş faturaların otomatik olarak sınıflandırılması ve gerekli durumlarda istenilen bilgilerin otomatik olarak çıkartılması çok önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle İngilizce dilindeki ve diğer dillerdeki faturaların otomatik yöntemlerle analiz edilmesi için farklı öğrenme algoritmaları içeren çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ancak Türkçe dilindeki faturaların otomatik olarak analiz edilmesi ve sınıflandırılması için yeterli miktarda çalışma ve kamuya açık veri kümesi olmadığı görülmektedir. Bu motivasyonla yola çıkarak bu çalışmada, farklı özellik seçimi yöntemlerinin Türkçe dilindeki faturaların topluluk öğrenme modelleri ile sınıflandırılması problemi üzerindeki performansını analiz etmeyi amaçladık. Deneylerimizi oluşturduğumuz 15k ve 50k boyutlarındaki 2 adet veri kümesi üzerinde gerçekleştirdik. Bu veri kümeleri üzerinde Bilgi Kazancı, Chi Kare, Kazanç Oranı, Geriye Beslemeli özellik seçimi yöntemlerinin K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (DVM), Naif Bayes (NB), Rassal Orman (RO), Adaboost topluluk öğrenme sınıflandırma algoritmalarının ve Serpme (Sprinkling) tekniğinin performans etkilerini gözlemledik. Deneysel sonuçlara göre en yüksek sınıflandırma başarısı Geriye Beslemeli özellik seçimi yöntemi ve Adaboost topluluk öğrenme algoritmasının birlikte kullanılması ile elde edilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla bu çalışma Serpme (Sprinkling) tekniğinin topluluk öğrenme algoritmalarıyla beraber Türkçe faturaların sınıflandırılması probleminin çözümü üzerine ve bu kapsamda yapılmış ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Türkçe fatura analizi ile ilgili kaynakların yetersiz olmasından ötürü Türkçe fatura analizi üzerine yapılan çalışmalar da oldukça kısıtlı sayıdadır. Dolayısıyla, Türkçe fatura sınıflandırması alanında literatüre katkıda bulunabilmek için bu çalışmada kullanılan veri kümeleri ve geliştirilmiş algoritmalar diğer araştırmacıların erişimine açık hale getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Finansal Analiz, Topluluk Öğrenme Algoritmaları, Özellik Seçimi Yöntemleri, Serpme tekniği, Makine öğrenmesi.

## Analysis of the Effects of Different Feature Selection Methods and Ensemble Learning Algorithms in Classification of Turkish Invoices

### Abstract

Companies and their supply chains have expanded significantly, especially with the Covid-19 pandemic, as people's shopping preferences shift to more digital environments. This expansion brings with it an increase in the number of invoices. By law, it has become mandatory to digitize and store physical invoices. With this necessity, automatic classification of digitalized invoices and automatic extraction of the requested information when necessary has become a very important need. Various studies involving different learning algorithms have been carried out, especially for the automatic analysis of invoices in English and other languages. However, there does not appear to be enough studies and publicly available datasets to automatically analyze and classify Turkish-language

\* Sorumlu Yazar: berna.altinel@marmara.edu.tr

invoices. Based on this motivation, in this study, we aimed to analyze the performance of different feature selection methods on the problem of classification of Turkish language invoices with ensemble learning models. We performed 2 datasets of 15k and 50k sizes, in which we created our experiments. We observed the performance effects of Information Gain, Chi Square, Gain Ratio, Back-Feed feature selection methods on K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machine (SVM), Naive Bayes (NB), Random Forest (RO), Adaboost ensemble learning classification algorithms and Sprinkling technique on these datasets. According to the experimental results, the highest classification success was obtained by using the Back-Feed feature selection method and Adaboost ensemble learning algorithm together. As far as we know, this study is the first study on the solution of the problem of classification of Turkish invoices using the Sprinkling technique with ensemble learning algorithms. Therefore, in order to contribute to the literature in the field of Turkish invoice classification, the datasets and improved algorithms used in this study have been made available to other researchers.

**Keywords:** Financial Analysis, Ensemble Learning Algorithms, Feature Selection Methods, Sprinkling technique, machine learning.

## 1. Giriş

Satın alma süreci, tedarikçi araştırılması sürecinden başlayarak faturalaştırma ve sonrasında ödeme ile sonlanan ve sürekli tekrar eden bir süreçtir. Rekabetin gün geçtikçe arttığı günümüzde şirketlerin fatura sayılarına bağlı olarak muhasebeleşme, gider kontrolü ve maliyet dengeleme konularına odaklandığı gözlemlenmektedir. Bu konuların haricinde faturalar üzerinden elde edilen bilgilerin geçmişe ve geleceğe yönelik finansal analizlerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Fatura, satıcının müşteriye satışın ayrıntılarını sunmak ve ödeme yapıldığını göstermek için kullanılan bir ticari belgedir. Genellikle işletmeler arasındaki ticari işlemlerde kullanılmaktadır. Fatura üzerinde fatura numarası, tarih, satıcı bilgileri, alıcı bilgileri, ürün veya hizmet ayrıntıları, vergiler, ödeme koşulları, işletme logosu ve iletişim bilgileri gibi bilgiler yer almaktadır. Ayrıca fatura; muhasebeleştirme, vergi beyannamesi hazırlama, envanter yönetimi ve finansal raporlama gibi işlemlerde önemli bir rol oynamaktadır. Fatura birden fazla türde oluşturulabilmektedir. Fatura türleri genellikle ülkelere ve işletmelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Türkiye’de e-Arşiv, e-Fatura, e-İrsaliye, e-Serbest Meslek Makbuzu gibi bir çok fatura türü bulunmaktadır. Bu fatura türlerinden bazıları elektronik ortamda oluşturulup elektronik ortamda teslim edilmektedir. Bazı faturalar ise elektronik ortamda oluşturulup müşteriye kağıt olarak ya da elektronik ortamda görüntü formatında teslimi gerçekleştirilmektedir. Teslim alınan faturaların gelir ve gider kaydı, vergi uyumu, mali analiz ve raporlama, denetim ve iç kontrol için tekrardan dijitalleştirilip muhasebeleştirilmesi gerekmektedir.

Bir faturanın muhasebeleştirilmesi sürecinde ilk olarak faturanın doğruluğu, tarihleri, tutarları ve diğer detayları insan gücü kullanılarak kontrol edilmektedir. Kabul edilen fatura muhasebe yazılımı veya muhasebe defterine kayıt altına alınır. Fatura kayıt edilirken faturanın türü, mal alımları veya hizmet alımları uygulanan muhasebeleştirilme adımları farklı olduğu için fatura içeriğinin belirlenmesi ve o alana uygun olarak kayıt edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yetkili çalışanlar tarafından faturanın türlerine ve mal hizmet bilgisine göre ayrıştırılarak kayıt altına alınmaktadır. Faturanın doğru alanlara kaydı yapıldıktan sonra KDV (katma değer vergisi) muhasebe işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu işlem gerçekleştirilirken varsa faturada bulunan farklı KDV değerleri ayrı ayrı incelenmesi ve sisteme işlenmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin tamamında insan gücü kullanılması nedeniyle büyük ölçekli işletmelerde on binlerce faturanın muhasebeleştirilmesi sürecinde uzun çalışma sürelerine ve yoğun insan gücüne ihtiyaç duymaktadır.

Gelir İdaresi Başkanlığı muhasebeleştirme sürecinde yüksek insan gücünün ve hata oranlarının azaltılması için karekod geliştirmelerini zorunlu hale getireceğini duyurmuştur. Bu geliştirmeler incelendiğinde faturanın muhasebeleştirilmesi için yeterli bilgi bulunmadığı için gelecekte yüksek insan gücüne ihtiyacın devam edileceği görülmektedir. Bu nedenle fatura üzerinden mal/hizmet bilgilerin alınması ile otomatik muhasebeleştirilmenin gerçekleştirilmesi ve bu alandaki insan gücünün minimuma indirilmesi daha da önem kazanmıştır. Ayrıca faturalar üzerinden elde edilen veriler kullanılarak yapay zeka destekli finansal analiz araçları ile işletmenin finansal, müşteri, ürün ve tedarik zinciri analizlerinin gerçekleştirilmesi de hem akademik hem de ticari platformlar nezdinde birer cazibe merkezi haline geldiği görülmektedir.

2022 itibariyle ülkemizde 600.000 aşkın e-fatura mükellefi bulunmaktadır. Ülkemiz ticaretinin %93,45’i elektronik faturalama üzerinden oluşmaktadır. Özellikle Avrupa’da pek çok ülke e-fatura sistemini devreye almıştır. İşletmeler arasındaki ticari işlemlerde standart belge formatlarının kullanılması şeffaflığı sağlarken, kamu otoritelerinin denetimini kolaylaştırmaktadır. Türkçe faturalar üzerine analiz ve sınıflandırma çalışmaları oldukça az sayıdadır. Ayrıca yine diğer araştırmacıların erişimine açık hale getirilmiş veri kümesi ve geliştirme ortamı gibi kaynaklar da oldukça kısıtlıdır. Ülkemizde faturalama verilerine odaklanan benzer bir analiz ve otomatik muhasebeleşme ürünü yapılan araştırmalar sonucunda görülmemiştir. Bu çalışma ile Türkçe faturalar üzerine doğal dil işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma yapmak ve ayrıca farklı özellik seçimi yöntemlerinin bu sınıflandırma algoritmaları üzerindeki etkilerini gözlemlemeyi amaçladık.

Bu çalışmamızın literatüre katkıları şu şekildedir:

1) Bildiğimiz kadarıyla Türkçe faturaların sınıflandırılması amacıyla, hem doğal dil işleme hem de makine öğrenmesi tekniklerini topluluk öğrenmesi mimarisi içinde Serpme (Sprinkling) tekniğini de kullanan bu kapsamdaki ilk çalışmadır.

2) Veri kümelerini ve deney ortamını diğer araştırmacıların erişimine açık hale getirilerek bu anlamda literatüre katkı yapılması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekildedir: Bölüm 2’de Türkçe dilindeki faturalar üzerine yapılan çalışmalardan farklı örnekler verilmektedir. Bu çalışmamız kapsamında kullanılan algoritmalar Bölüm 3’te detaylı anlatılmaktadır. Yine, bu çalışmamızda

kullanılan veri kümeleri, deneysel sonuçlar ve tartışmalar Bölüm 4’te listelenmektedir. Sonuç ve gelecek çalışmalar ise Bölüm 5’te sunulmaktadır.

## 2. Literatür Taraması

Özellikle İngilizce dilindeki ve diğer dillerdeki faturaların otomatik yöntemlerle analiz edilmesi için farklı öğrenme algoritmaları içeren çeşitli çalışmalar yapılmıştır[1],[2],[3],[4], [5],[6],[7],[8]. Ancak Türkçe dilindeki faturaların otomatik olarak analiz edilmesi ve sınıflandırılması için yeterli miktarda çalışma ve kamuya açık veri kümesi olmadığı görülmektedir.

Kılınç (2016) yaptığı çalışmada topluluk öğrenme modellerinin Türkçe metin sınıflandırma üzerindeki etkilerini incelemiştir. Dört temel sınıflandırıcı (NB, KNN, DVM, J48) ve üç topluluk öğrenme modeli (Bagging, Boosting, Rotation Forest) kullanarak TTC-3600 veri kümesinde deneysel değerlendirmelerde bulunmuştur. Veri kümesinde ekonomi, kültür, sanat, sağlık vb. alanlarından oluşan 3600 doküman içermektedir. Deneysel sonuçları kolektif öğrenme modellerinin Türkçe metin sınıflandırmada temel sınıflandırıcıların doğruluk sonucunu çoğunlukla artırdığını göstermektedir [5].

Wang vd. metin sınıflandırma doğruluğunu geliştirmek amacıyla metin uzunluğuna duyarlı uyarlanabilir bir Önyükleme Toplama (Bagging) topluluk öğrenme algoritması önermektedir. Önerdikleri algoritma farklı kategorilerin oranlarını korurken uzun ve kısa metin örneklerinin alt kümelerini oluşturmak için uyarlanabilir bir eşik grubuna dayalı rastgele örnekleme yöntemi kullanmaktadır. Temel sınıflandırıcı olmak üzere altı tipik derin öğrenme yöntemi kullanmışlardır: LSTM, TextCNN, RoBERT, LSTM\_AT, DPCNN, FastText. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın F1, duyarlılık ve özgüllük açısından temel yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini doğrulamaktadır [6].

Arslan ve Uymaz (2022) faturaların dijital ortama aktarılmasını otomatikleştirmeyi amaçlamıştır. Bir banka sisteminden alınan dört farklı türde fatura görüntüleriyle orijinal bir fatura veri kümesi hazırlamıştır. Ayrıca orijinal veri kümesine Sıfır Doldurma, Parlaklık Artırımı uygulanarak iki veri kümesi daha elde edilmiştir. LeNet-5, VGG-19 ve MobileNetV2 adlı Evrişimli Sinir Ağları (CNN) mimarileri üç farklı veri kümesi ile eğitilerek fatura sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. Veri büyütme yöntemi kullanılarak elde edilen veri kümesi ile eğitilen modelde %99,83 sınıflandırma başarısına ulaşılmıştır [7].

Tarawneh vd. (2019), elle yazılmış, baskı alınmış ve makbuz olmak üzere üç fatura türünü otomatik bir yaklaşımla sınıflandırmayı önermektedir. Önerilen yöntemde AlexNet derin evrişimli sinir ağı kullanılarak özelliklerin çıkarılması önerilmektedir. RO, KNN ve NB gibi çeşitli makine öğrenme algoritmaları kullanılarak elde edilen özellikler sınıflandırılmaktadır. %98,4 doğruluk oranı ile en iyi sınıflandırma sonucu KNN algoritması ile sağlanmıştır [8].

Literatürdeki bir başka çalışmada [12], geleneksel TF-IDF terim ağırlıklandırma tekniği ve Doc2Vec yöntemi ile sayısallaştırılan 4 farklı Türkçe veri kümesi üzerinde bireysel sınıflandırıcılar ve topluluk öğrenmesi algoritmalarının başarımlarını kıyaslanmıştır. Geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri olan Lojistik Regresyon (LR), KNN, NB, Karar Ağaçları (Decision Trees- DT), DVM, Çok Katmanlı Algılayıcılar (Multi-Layer Perceptrons- MLP) gibi bireysel sınıflandırıcılar ve RO, Adaboost (AB), Bagging (BG) gibi topluluk öğrenmesi metodları da kullanılmıştır. Topluluk öğrenmesi algoritmalarında karar verme aşamasında Çoğunluk oylaması (Majority Voting) tekniği kullanılmıştır. Çalışma içerisinde raporlanan deney sonuçlarına göre, IDF ve Doc2Vec metodları ile elde edilen vektörlerin birleşimine uygulanan sınıflandırma algoritmalarında diğerlerine kıyasla daha yüksek sınıflandırma başarımları elde edildiği gözlemlenmiştir.

## 3. Yöntem

### A. Sınıflandırma Algoritmaları

1) *Destek Vektör Makineleri*: DVM, regresyon ve sınıflandırma problemini çözmek için kullanılan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. DVM hiperdüzlem bulmaya çalışarak veri noktalarını farklı sınıflara ayırır. Bulunan bu hiperdüzlem sınıfların arasında bulunan en büyük mesafeyi maksimize etmeye çalışır. Model eğitimi sonucunda elde edilen hiperdüzlem ile yeni örneklerin hangi sınıflara ait olduğu tahmin edilmeye çalışır [9].

2) *Rassal Orman Algoritması*: RO, birçok karar ağacının bir araya gelerek oluşturulan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Her bir ağaç rastgele özellikler ve örnekler kullanılarak eğitilmektedir. Sınıflandırma için her bir karar ağacı tahminleme işlemi gerçekleştirir ve en yüksek oy alan sınıf etiketi tahmin olarak seçilmektedir. Rassal orman algoritması aşırı uyum eğilimini azaltırken, daha iyi bir tahmin performansı sağlayabilen esnek bir makine öğrenmesi modelidir.

3) *Naif Bayes Algoritması*: NB, Bayes Teoremi’ne dayanan ve temel olarak istatistiksel bir sınıflandırma algoritmasıdır. Algoritma bir örneğin her bir sınıfa ait olma olasılığını hesaplar ve en yüksek olasılığa sahip sınıfı tahmin etmektedir. Ayrıca genel olarak birbirinden bağımsız öznitelikler, sınıf etiketlerine göre veri setindeki dağılımını da incelemektedir.

4) *K-En Yakın Komşu Algoritması*: KNN algoritması, veri kümesindeki örneklerin bir uzayda dağıldığını ve aralarındaki uzaklık mesafelerine göre verileri sınıflandırmaktadır. Sınıflandırma yaparken yeni örneği sınıflandırmak için çevresindeki k en yakın komşuyu incelemektedir. Bu komşular genellikle öklidyen mesafe veya benzeri bir metrik kullanarak hesaplanmaktadır. Hesaplama işleminden sonra k komşunun etkilerine bakarak test örneğinin sınıfını belirlemektedir.

5) *Birleştirici Adaboost Algoritması*: Birleştirici Adaboost algoritması zayıf öğrencileri bir araya getirerek güçlü bir sınıflandırıcı oluşturmayı amaçlayan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Adaboost algoritması zayıf öğrencileri bir araya getirilerek birlikte

çalışmasını sağlamaktadır. Bu çalışma sayesinde yüksek öğrenme seviyesine sahip öğrenciler, zayıf öğrenme seviyesinde öğrenme düzeyine sahip olan öğrencilerin zayıflığını dağıtılan ağırlık oranları ile telafi etmektedir. Bu sayede, daha yüksek bir sınıflandırma potansiyeline sahip bir model elde edilmesini amaçlayan bir algoritmadır.

6) *Serpme (Sprinkling) Tekniği kullanılarak Türkçe Faturaların DVM ve NB Algoritmaları ile Sınıflandırılması:*

Serpme tekniği, belgelerin sınıf etiketlerini, eğitim veri kümesine yeni ek terim olarak ekleyen bir tekniktir [11]. Bu teknik ile, eğitim aşamasında sınıf temelli ilişkileri güçlendirmek amaçlanmaktadır. Genel olarak serpme tekniği,  $d$  adet belge,  $t$  adet terim,  $c$  adet sınıf içeren  $d \times t$  boyutlarındaki bir matrise  $c$  adet yeri öznelik eklenmesi ile  $d \times (t+c)$  boyutlarında yeni bir matris elde edilmesi şeklindedir.

B. *Öznelik Değerlendirme Yöntemleri*

Öznelik değerlendirme yöntemleri, özneliklerin regresyon veya sınıflandırma problemlerinde önem sırasını belirlemek ve katkısını ölçmek için kullanılan yöntemlerdir. Bu çalışmada Kazanç Oranı (*Gain Ratio Attribute Eval*), Ki-Kare Özellik Değerlendirici (*Chi-Squared Attribute Eval*), Bilgi Kazancı (*Info-Gain Attribute Eval*), Geriye Doğru Eleme (*Backward Elimination*) kullanılmıştır [10].

1) *Kazanç Oranı:* Kazanç oranı, bilgi kazancını sınıflandırma problemlerinde normalize etmek için kullanılmaktadır. Kazanç oranı, özneliklerin bölünme yetenekleri ve veri setindeki sınıflar arasında homojenliği artırmadaki etkisini ölçmektedir. Bir özneliğin bilgi kazancı yüksek olsa bile bölünme yeteneğinin düşük olması durumunda kazanç oranı Kazanç oranı yöntemi sınıflandırma algoritmalarında yüksek kazanç oranına sahip olan özneliklerin sınıflandırmadaki etkisinin yüksek olduğunu belirtmektedir. Kazanç oranı formül hesabı Eşitlik (1)'de verilmiştir.

$$\text{Kazanç Oranı} = \text{Bilgi Kazancı} / H_{\text{Özellik}} \quad (1)$$

2) *Ki-Kare Özellik Değerlendirici:* Ki Kare, özellik değerlendirici bir veri kümesindeki özneliklerin sınıflandırma ve regresyon yöntemlerinde önemini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntem özneliklerin hedef değişkenle bağımsız olduğunu varsayarak beklenen frekanslar ve gözlenen frekanslar arasındaki farkları incelemektedir. Yüksek frekans farklılıklarına sahip olan özneliklerin önemli bir bilgi sağladığı varsayılmaktadır.

3) *Bilgi Kazancı:* Bilgi kazancı, özneliklerin veri setindeki sınıflar arasındaki olasılıklarına ve dağılımını incelemektedir. Özneliklerin veri kümesinde ne kadar iyi dağıldığına ve homojenliği ne kadar artırdığına bakarak bilgi kazandı parametresini hesaplamaktadır. Bilgi kazancı değeri yüksek olan öznelikler sınıflandırmada daha fazla bilgi sağlandığı düşünülerek önemli öznelikler olarak değerlendirilmektedir. Bilgi kazancının formül hesabı Eşitlik(2)'de verilmiştir.

$$\text{Bilgi Kazancı} = H_{\text{Sınıf}} - H_{\text{Sınıf}/\text{Özellik}} \quad (2)$$

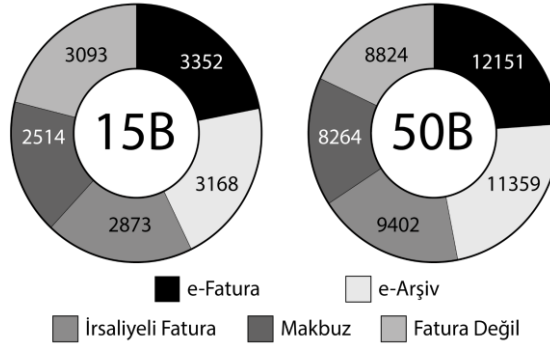
Geriye Doğru Eleme: Geriye doğru eleme, özellik seçiminde kullanılan bir yöntemdir. Belirlenen tüm özneliklerden başlanarak istenmeyen öznelikler adım adım veri kümesinden çıkartılarak eğitim gerçekleştirilmektedir. Eğitilen her modelin doğruluk oranı, performansı ve hata payı değerlendirilerek özneliğin model üzerindeki etkisi gözlemlenmektedir. Bu işlem tüm öznelikler veri kümesinden çıkarılana kadar devam etmektedir.

## 4. Veri Kümesi ve Deneysel Sonuçlar

### 4.1 Veri Kümesi

Birinci model eğitimi için iki farklı veri kümesi hazırlanmıştır. İki veri kümesinde de fatura türlerine göre e-fatura, e-arşiv, irsaliyeli fatura, makbuz ve fatura değil olarak beş farklı sınıf bulunmaktadır. İlk veri kümesi 15,000 adet fatura verisinden oluşmaktadır. Bu fatura verilerinden 3.352 adet e-fatura, 3.168 adet e-arşiv, 2.873 adet irsaliyeli fatura, 2.514 adet makbuz ve 3.093 adet fatura olmayan veri bulunmaktadır.

İkinci veri kümesi ise 50,000 adet fatura verisinden oluşmaktadır. Bu fatura verilerinden 12.152 adet e-fatura, 11.359 adet e-arşiv, 9.402 adet irsaliyeli fatura, 8.264 adet makbuz ve 8.824 adet fatura olmayan veri bulunmaktadır. Her iki veri kümesi için fatura örnekleri tamamen metinsel formattadır. Veri kümeleri için veri dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Veri Dağılımı (Figure 1. Data Distribution)

## 4.2 Veri Kümesi Ön İşleme ve Deney Ortamı

Veri kümesinde, fatura üzerinde bulunan verilerin anlamı daha net hale getirmek, gürültüyü azaltmak ve veri kümesini daha tutarlı hale getirmek amacıyla metin ön işleme yöntemleri kullanılmıştır. Bu metin ön işleme yöntemleri Zemberek kütüphanesindeki fonksiyonlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri kümesi üzerinde boşluklu yapıların kaldırılması, kelime normalizasyon işlemleri, noktalama işaretlerinin kaldırılması, sayıların kaldırılması ve fatura türünün belirlenmesinde etki etmeyecek fakat kelime frekans sayısı çok olan kelimeler kaldırılmıştır. Elde edilen veriler üzerinde son olarak tokenize işlemi, morfolojik operasyonlar, kök bulma ve kök normalizasyon işlemleri uygulanmıştır.

Ön işleme yöntemleri uygulandıktan sonra veri kümesi üzerinde eğitim gerçekleştirmek amacıyla kelime frekans veri kümesi hazırlanmıştır. Elde edilen veri kümesinin %60'ı eğitim, %20'si test ve %20'si validasyon veri kümesi olarak bölünmüştür. Oluşturulan eğitim veri kümesi üzerinde özellik seçim yöntemleri uygulanarak hiper parametre optimizasyonu uygulanarak KNN, DVM, RO ve Birleşik Adaboost algoritmaları ile eğitim gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma HP Z4-G4 iş istasyonu üzerinde gerçekleştirilmiştir. İş istasyonunda Intel(R) Xeon(R) W-2155 CPU işlemcisi, NVIDIA Quadro RTX 6000 ekran kartı, 4 TB SSD depolama alanı, 32 GB DDR4 (2933Mhz) RAM bulunmaktadır. Çalışma ortamı olarak Ubuntu 20.04 kullanılmıştır. Programlama dili olarak Python, Zemberek, Sklearn kütüphaneleri kullanılmıştır. Hazırlanmış olan veri kümeleri ve deney ortamı <sup>1</sup> diğer araştırmacıların erişimine açık hale getirilmiştir.

## 4.3 Deneysel Sonuçlar

Veri ön işleme çalışmaları uygulanarak birbirinden bağımsız 15,000 ve 50,000 faturadan oluşan iki adet veri kümesi hazırlanmıştır. Bu veri kümeleri üzerinde kazanç oranı, ki-kare, bilgi kazancı ve geri doğru eleme özellik seçim yöntemleri kullanılarak. K-Yakın Komşu Algoritması, Rassal Orman, Naif Bayes, DVM ve Birleşik (*Ensemble*) Adaboost algoritmalarının eğitimleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. 15,000 Fatura ile Algoritmaların Sınıflandırma Başarımları - F1 Puan (%)

(Table 1. Classification Performance of Algorithms with 15,000 Invoices - F1 Score (%))

	Kazanç Oranı	Ki-Kare	Bilgi Kazancı	Geriye Doğru Eleme
KNN	94.52	93.97	92.92	93.47
DVM	94.79	94.58	93.74	92.76
NB	95.42	95.46	94.93	94.86
RO	94.98	95.01	94.82	95.91
Adaboost	94.62	95.32	94.97	<b>96.11</b>



15,000 adet faturadan oluşan veri kümesinde gerçekleştirilen eğitim sonuçları incelendiğinde en yüksek F1 Skor değeri Birleşik Adaboost ve Geriye Doğru Eleme özellik seçimi yöntemi kullanılan modelde %96.11 olarak elde edilmiştir. Bu değeri %95.91 ile Rassel Orman ve Geriye Doğru Eleme yöntemlerinin kullanıldığı model takip etmektedir. KNN ve DVM en iyi sonuçları özellik seçimlerinden Kazanç Oranı ile sağlamıştır. Naif Bayes en iyi sonucu özellik seçimi yöntemlerinden Ki-Kare kullanıldığında sağlamıştır. Rassel Orman ve Adaboost ise en iyi değeri Geriye Doğru Eleme yöntemi ile birlikte kullanıldığında sağlamıştır. Kullanılan diğer modellerin ve algoritmaların sonuçları Tablo 2’ de verilmiştir.

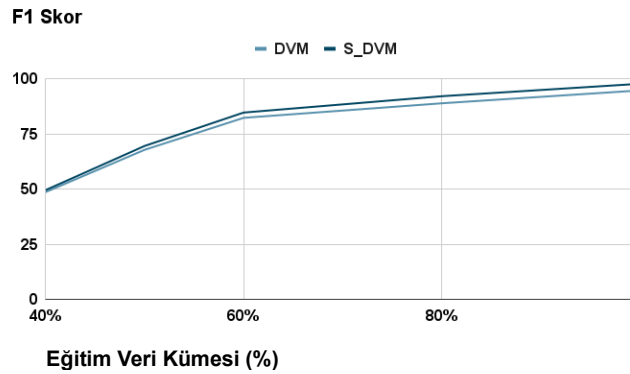
<sup>1</sup> <https://github.com/ayberk-kotan/TRInvoiceClassificationProject>

Tablo 2. 50,000 Fatura ile Algoritmaların Sınıflandırma Başarımları -F1 Puan (%)  
(Table 2. Classification Performance of Algorithms with 50,000 Invoices - F1 Score (%))

	Kazanç Oranı	Ki-Kare	Bilgi Kazancı	Geri Doğru Eleme
KNN	90.91	89.98	90.51	92.58
DVM	91.45	91.04	92.72	93.81
NB	91.94	90.54	93.68	93.79
RO	90.78	91.67	93.91	93.68
Adaboost	92.94	92.04	92.17	<b>94.81</b>

50,000 adet faturadan oluşan veri kümesi üzerinde yapılan eğitim sonucunda en yüksek başarı oranı Geriye Doğru Eleme özellik seçimi yöntemi ve Birleşik Adaboost kullanılarak %94.81 ile elde edilmiştir. Birleşik Adaboost’un fatura sınıflandırma problemi üzerinde diğer bireysel sınıflandırıcılara göre daha yüksek sınıflandırma başarısı vermesi algoritmanın birden çok sınıflandırıcının güçlü yönlerini kullanarak her adımda kendini iyileştiren birleşik bir öğrenme modeli yapısına sahip olması ile açıklanabilir. Genel olarak özellik seçimlerinden Geriye Doğru Eleme yöntemi kullanıldığında modeller en iyi sonuçları vermektedir. Kullanılan diğer model ve yöntemlerin sonuçları Tablo II’de verilmiştir. İki veri kümesinde uygulanan yöntemler incelendiğinde en yüksek doğruluk oranının Birleşik Adaboost ve geriye doğru eleme yöntemi ile olduğu görülmüştür.

Serpme (Sprinkling) tekniği kullanılarak DVM deney sonuçları alındı ve geleneksel DVM deney sonuçları ile kıyaslandı. F1 Skoru açısından incelendiğinde Serpme tekniği kullanılan DVM modelinde geleneksel DVM modeline kıyasla 3,01 artış görülmektedir. Bu kıyaslamalar Şekil 2’de gösterilmektedir. Sınıflandırma başarımındaki bu artışın Serpme (Sprinkling) tekniğinin veri kümesinin vektörleşmesi aşamasında modele kattığı yeni bir etiketin, anlamsal boyutta sınıflandırma pozitif etkisi olmasından ötürü olabilir.



Şekil 2. Algoritmaların Sınıflandırma Başarımları - F1 Puan (%)

Figure 2. Classification Performance of Algorithms - F1 Score (%)

## 5. Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Özellikle pandemi süreciyle beraber dijital alışveriş platformları daha fazla kullanılmaya başlandı. Pandeminin bitmesine karşın birçok kişinin kazandığı bu alışkanlık konforunu terk etmemesi vesilesiyle e-ticaret siteleri çokça fatura üretmeye başladılar. İngilizce fatura analiz çalışmaları incelendiğinde birçok farklı spekturumda farklı içeriklerde faturaları otomatik olarak analiz edebilen çalışmalar olduğu görülmektedir. Türkçe dilindeki faturaların otomatik olarak analiz edilmesi ve sınıflandırılması için yeterli miktarda çalışma ve kamuya açık veri kümesi olmadığı gözlemlenmiştir. Bu motivasyonla yola çıkarak bu çalışmada, farklı özellik seçimi yöntemlerinin Türkçe dilindeki faturaların topluluk öğrenme modelleri ile sınıflandırılması problemi üzerindeki performansını analiz ettik. Oluşturduğumuz 15k ve 50k boyutlarındaki 2 adet veri kümesi üzerinde gerçekleştirdiğimiz deney sonuçlarına göre en yüksek başarımın Geriye Beslemeli özellik seçimi yöntemi ve Adaboost topluluk öğrenme algoritmasının birlikte kullanılması ile elde edildiğini gözlemledik. Bildiğimiz kadarıyla bu çalışma Türkçe faturaları üzerine bu kapsamdaki ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Bu çalışmada oluşturulan veri kümesi ve geliştirilen algoritmalar, talep etmeleri halinde dünyanın her yerindeki tüm araştırmacılarla paylaşılabilir.

Oluşturduğumuz bu deney ortamını farklı öğrenme algoritmalarını entegre ederek daha da geliştirmeyi planlamaktayız. Ayrıca veri kümelerimizi büyütmek te yine gelecek çalışması olarak planladığımız maddeler arasındadır. Bununla birlikte, çizge tabanlı yapay sinir ağı modellerini geliştirerek fatura analiz sistemimizde uygulamayı da düşünmekteyiz. Tüm bunlara ek olarak, elimizde bulunan görüntü formatındaki fatura verisinin oluşturduğumuz modele entegre edilmesi de yine gelecekte yapmayı düşündüğümüz maddeler arasındadır.

## Kaynakça

- [1] M. B. Wattar, "Analysis and Comparison of invoice data extraction methods," Doctoral dissertation, PhD thesis, University of Applied Sciences, 2021.
- [2] Lee, K.-F., *Automatic Speech Recognition: The Development of the SPHINX SYSTEM*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1989.
- [3] A. Khan, "Comparison of machine learning approaches for classification of invoices," Master's thesis, 2020.
- [4] Ö. Arslan, "Evrışimsel sinir ağları ve metin benzerliği kullanılarak fatura görüntülerinde sınıflandırma," Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi, 2021.
- [5] K. M. Yindumathi, S. S. Chaudhari and R. Aparna, "Analysis of Image Classification for Text Extraction from Bills and Invoices," 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), Kharagpur, India, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCCNT49239.2020.9225564.
- [6] D. Kılınç, "The effect of ensemble learning models on Turkish text classification," Celal Bayar University Journal of Science, vol. 12, no. 2, 2016.
- [7] Y. Wang, J. Liu, and L. Feng, "Text length considered adaptive bagging ensemble learning algorithm for text classification," Multimedia Tools and Applications, pp. 1-26, 2023.
- [8] Ö. Arslan and S. A. Uymaz, "Classification of Invoice Images By Using Convolutional Neural Networks", Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, vol. 8, no. 1, pp. 8-25, Mar. 2022, doi:10.28979/jarnas.953634
- [9] A. S. Tarawneh, A. B. Hassanat, D. Chetverikov, I. Lendak and C. Verma, "Invoice Classification Using Deep Features and Machine Learning Techniques", 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT), Amman, Jordan, 2019, pp. 855-859, doi: 10.1109/JEEIT.2019.8717504
- [10] X. Hu and R. Zhang, "Text classification based on machine learning", 2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA), Dalian, China, 2022, pp. 911-916, doi: 10.1109/ICAICA54878.2022.9844556.
- [11] H. Budak, "Özellik seçim yöntemleri ve yeni bir yaklaşım", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt. 22, ss. 21-31, 2018.
- [12] S. Chakraborti, R. Lothian, N. Wiratunga, S. Watt, Sprinkling: Supervised Latent Semantic Indexing. In European Conference on Information Retrieval 2006, 510-514. Springer Berlin Heidelberg.
- [13] D. Kınık & A. Güran, "TF-IDF ve Doc2Vec Tabanlı Türkçe Metin Sınıflandırma Sisteminin Başarım Değerinin Ardışık Kelime Grubu Tespiti ile Arttırılması", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 323-332, 2021.



# ***Agropyron repens* (L.) P. Beauv. Ekstraktlarının Domates ve Bazı Önemli Yabancı Ot Türleri Üzerine Herbisit Etkilerinin Araştırılması**

Kadir Furkan Sargin<sup>1</sup>, Betül Akın<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kütahya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9883-9979, kadir.sargin0@ogr.dpu.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2325-7496), betul.akin@dpu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Eylül 2023 ve Kabul Tarihi 23 Kasım 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10440009)

**ATIF/REFERENCE:** Sargin, K. F., Akın, B. (2023). *Agropyron repens* (L.) P. Beauv. Ekstraktlarının Domates ve Bazı Önemli Yabancı Ot Türleri Üzerine Herbisit Etkilerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 279-288.

## **Öz**

Araştırmamızda, *Agropyron repens* (L.) P. Beauv. (ayrık otu)'in bitki kısımlarından hazırlanan ekstraktların domates ve yabancı ot tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine etkilerine bakılmıştır. *A. repens* bitkisinden 25 °C (ılık) ve 80 °C'de (sıcak) farklı günlerde (1-4-7-15-30) bekletilerek ekstraktlar elde edilip, önemli bir kültür bitkisi olan domates tohumları (H-2274, Ege Pembesi, SC-2121) ve önemli yabancı ot tohumlarına (*Amaranthus caudatus* L., *Papaver rhoeas* L., *Sinapsis arvensis* L.) uygulamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, *A. repens* bitki ekstraktları Ege Pembesi domates çeşidinde ılık suda bekletme uygulamasında en düşük çimlenme yüzdesi (20,00) 15. günde elde edilmiş olup, H-2274 ve SC-2121 domates çeşitlerinde ise 15. gün ekstraktlarının çimlenmeyi tamamen engellediği ve bekleme süresi arttıkça çimlenmenin düştüğü tespit edilmiştir. Sıcakta bekletme uygulamasında ise 7. gün sonunda elde edilen ekstraktlar, domates tohumlarında çimlenmeyi tamamen engellemiş olup, her üç domates çeşitinde de çimlenme görülmemiştir. Bununla birlikte, *A. repens* bitki ekstraktlarının, domates kök-gövde uzunluğu ile yaş ağırlık-kuru ağırlığını da önemli oranda düşürdüğü belirlenmiştir. *A. repens* bitki ekstraktları, yabancı ot türlerinde hem ılık hem de sıcak suda bekletme uygulamalarında, 4. günden itibaren tohumların hiçbirisinde çimlenme görülmemiş olup (% 0,00), en toksik etki 4. gün ve sonrasında bekletilerek elde edilen ekstraktlarda görülmüştür. Bu uygulamalarda fide gelişimi olmadığı tespit edilmiş olup, uygulanan ekstraktların büyümeyi engelleyici etki gösterdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ayrık otu, Herbisit etki, Özüt, Yabancı ot.

## **Investigation of Herbicide Effects of *Agropyron repens* (L.) P. Beauv. Extracts on Tomato and Some Important Weed Species**

### **Abstract**

Our research examined the effects of extracts prepared from plant parts of *Agropyron repens* (L.) P. Beauv. on tomato and weed seed germination and seedling growth. Extracts are obtained from the *A. repens* plant kept at 25 °C (warm) and 80 °C (hot) on different days (1-4-7-15-30) and applied to tomato seeds (H-2274, Ege Pembesi, SC-2121) and important weed seeds (*Amaranthus caudatus* L., *Papaver rhoeas* L., *Sinapsis arvensis* L.). According to the results obtained, the lowest germination percentage (20.00) was obtained on the 15<sup>th</sup> day of *A. repens* extracts in Ege Pembesi tomato variety in warm water soaking treatment, and it was determined that the extracts of the 15<sup>th</sup> day were inhibited completely germination of H-2274 and SC-2121 tomato varieties and germination decreased as the waiting time of the extracts increased. In the hot soaking treatment, it was determined that the extracts obtained at the end of the 7<sup>th</sup> day significantly inhibited germination in tomato seeds, and no germination was observed in any of the tomato varieties. However, it was revealed that *A. repens* plant extracts significantly decreased tomato root stem length, fresh weight, and dry weight. No germination was observed in any seeds after the 4<sup>th</sup> day of treatments (0.00%), in weed species in 25 °C and 80 °C soaking treatments. In addition, the most toxic effect on weed species was observed in the extracts obtained by soaking in both warm and hot water treatments on the 4<sup>th</sup> day and after, and it was determined that there was no seedling growth in these treatments, and it was determined that the applied extracts had a growth inhibitory effect.

**Keywords:** Couch grass, Herbicide effect, Extract, Weed.

\* Sorumlu Yazar: [betul.akin@dpu.edu.tr](mailto:betul.akin@dpu.edu.tr)

## 1. Giriş

Yabancı otlar, istenmeyen ortamlarda yetişen, kültür bitkilerinin gelişimini engelleyerek verim ve kalitesini düşüren ve bitkisel üretimi olumsuz yönde etkileyen, istenmeyen bitkiler olarak tanımlanabilir (Demir vd., 2022; Kaur vd., 2018; Zengin, 2004). Yabancı otlar, bitkisel üretim yapılan tarımsal alanlarda, peyzaj alanları ve park alanlarında, yol kenarları ve sahiller gibi alanlarda, hayatımızın hemen hemen her alanında karşımıza çıkmaktadır (Sullivan vd., 2009). Yabancı ot mücadelesinde sıklıkla kullanılan herbisitler; yabancı ot mücadelesinde kullanılan kimyasallara verilen genel addir. Herbisitlerin kullanımının her geçen gün giderek artmasının sebeplerinden bazıları, yabancı ot mücadelesinde hızlı bir şekilde etki göstermesi, uygulanmasının diğer mücadele yöntemlerine göre kolay ve basit olması ve daha düşük maliyetli olmasıdır (Yıldız vd., 2005). Kimyasal yabancı ot yönetimi önlemleri, uygulama kolaylığı, düşük fiyatlar, zamanlama ve verimlilik nedeniyle yetiştiriciler arasında daha geniş bir kabul görmektedir. Bununla birlikte, yabancı otlarda herbisit direnci vakalarındaki ciddi artış ve herbisitlerin gelişigüzel kullanımı nedeniyle çevre kirliliğine ilişkin ortaya çıkan endişeler, diğer yabancı ot kontrol önlemlerine ve entegre yabancı ot yönetimine geçilmesini gerekli hale getirmiştir (Chauhan ve ark., 2017). Günümüzde üretimin çevresel olarak sürdürülebilirliğini geliştirmek için, kimyasal herbisitlere alternatif ürünler başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Massa vd., 2019). Doğada yaygın olarak yayılışa sahip olan yabancı ot türlerinin, çevre dostu yöntemlerle kontrol altına alınması, daha da önemli hale gelmiştir. Yabancı otlarda mücadele için ilk olarak kullanılan herbisitlerle birlikte, toprak işleme ve yakma yöntemi, su altında bırakma yöntemi, malçlama, allelokimyasal içeren biyoherbisitler, mikrodalgı uygulaması, biçme yöntemi, solarizasyon, mikroorganizma içeren biyoherbisitler, alevleme, allelopatik mücadele ve bitki rotasyonu, örtücü bitki uygulaması ve biyolojik mücadele yöntemleri uygulanmaktadır (Uygur ve Uygur, 2010).

*A. repens* Poaceae (Graminae) familyasına ait çok yıllık bir bitkidir. Bu tür mekanik olarak zarar görmüş çim alanlarında, orta derecede nemli ve ara sıra aşırı kurumaya maruz kalan habitatlarda sıklıkla gelişir (Grzelak ve Gawel, 2019). Çim topluluklarında farklı habitat koşullarında bu tür, bazen bol hatta baskın olarak bulunmaktadır (Amiaud vd., 2008). *A. repens*, hem tohum hem de rizom yoluyla üreyebilen, oldukça rekabetçi bir tür olup, bitkinin sürgünleri ve/veya rizomları allelopatik kimyasal içerir. Çok yıllık dar yapraklı bu yabancı ot türünün allelopatik etkisi çok yüksektir (Ringselle vd., 2020; Friebe vd., 1995). Dünyanın ılıman bölgelerinin çoğunda bulunmakla birlikte, dünyanın en zararlı yabancı otlarından biri olarak listelenmiştir (Ringselle vd., 2020). *A. repens*, asitten alkaline kadar, yüksek tuz içeriğine sahip çok çeşitli topraklarda yaşayabilen önemli bir rekabetçi yabancı ot türüdür (Werner ve Rioux, 1977).

Doğada yaygın olarak yayılış gösteren ve yüksek rekabet gücüne sahip olan yabancı otlarla kimyasal mücadeleye alternatif olarak, çevre dostu mücadele yöntemleriyle kontrol altına alınması günümüzde daha da önem kazanmaktadır. Bu araştırmanın amacı, doğada büyük bir problem olan ayırık otu (*A. repens*)'nun ekstraktları kullanılarak, bazı kültür bitkileri ve yabancı ot tohumları üzerine göstermiş oldukları herbisit etkilerini araştırmaktır. Çalışmamızın sonuçları, yabancı ot türlerinin kontrol altına alınmasında, kimyasal mücadelenin yerini alabilecek alternatif çevre dostu yöntemlerin yaygın olarak kullanımına katkıda bulunacak olup, gelecekte yapılacak biyoherbisit araştırmalarına da ışık tutacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. *A. repens*'in Araziden Toplanması ve Saklanması

Araştırmamızda kullanılan ayırık otu, 2021 yılı Haziran-Ağustos dönemlerinde Kütahya'nın Simav ilçesinde bitkisel üretim yapılan tarım arazilerinden toplanmıştır. Toplanan ayırık otları akan suyun altında yıkanarak topraktan arındırılmış ve plastik poşetlerde paketlenerek, -85 °C derin donduruncaya koyularak, kullanılıncaya kadar bu sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

### 2.2. *A. repens* Ekstraktlarının Elde Edilmesi

Derin dondurucudan çıkarılan ayırık otları oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan ayırık otunun kısımları (kök, gövde, yaprak) tüm bitki olarak 10 gram tartıldı ve 100 ml distile su içerisine konulup 25 °C (ılık) ve 80 °C (sıcak) etüvde 1, 4, 7, 15 ve 30 gün süre ile bekletilmiştir. Referans kontrol olarak da distile su kullanılmıştır. Bitki kısımlarından elde edilen ekstraktlar, üç farklı domates çeşidi (H-2274, SC-2121, Ege Pembesi) ve üç farklı yabancı ot tohumlarına (*A. caudatus*, *P. rhoeas*, *S. arvensis*) uygulanarak çimlenme ve fide büyümesi üzerine olan etkilerine bakılmıştır.

### 2.3. Tohumların Temini, Sterilizasyonu ve İklimlendirme Koşulları

Kütahya merkez ve Simav ilçesinde bulunan bitki koruma ürünleri bayisinden sertifikalı tohum, fide ve fidan satışı yapılan Zirai Bayilerden üç çeşit domates (H-2274, SC-2121, Ege Pembesi) tohumu temin edilmiştir. Deneylerimizde pestisit uygulaması yapılmayan tohumlar tercih edilmiştir. Çalışmamızda kullanılan yabancı ot tohumları (*Amaranthus caudatus*, *Papaver rhoeas*, *Sinapsis arvensis*) Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Herboloji Anabilim dalından temin edilmiştir.

Deneylerde kullanılan tüm malzemeler 121 °C'de 1,1 atmosfer basınç da otoklavda sterilize edilmiştir. Tohumlar, birkaç damla Tween-20 eklenmiş % 10'luk çamaşır suyunda 15 dakika süreyle tutularak steril edilmiş, daha sonra üç kez beşer dakika süreyle otoklavlanmış steril saf su ile durulanmıştır. Tohumların ekimi, her petri kabına 10 adet tohum olacak şekilde, çift katlı kurutma kâğıdı yerleştirilmiş petri kaplarına yapılarak, her petri kabı 7 ml ayırık otu ekstraktı ile ıslatılmıştır. Saf su içeren ortam, kontrol olarak kullanılmıştır. Her uygulama 3 tekrür olarak yapılmıştır. Tohumlar 30 gün boyunca 25/25 °C'de 16/8 saat fotoperiyot da % 70 nem ortamında inkübe edilmiştir. Kökler kurutma kâğıdına değdiği anda çimlenmenin başladığı kabul edilmiştir. Deneme sonunda elde edilen verilerden çimlenme yüzdesi, kök-gövde uzunluğu ve yaş-kuru ağırlığı hesaplanmıştır. Çimlenen her bir tohumun yaş ve kuru

ağırlıkları ayrı ayrı ölçülemeyecek kadar hafif olduğundan, petri kabında çimlenmiş tohumların tamamı tartılmıştır. Kök ve gövde yaş ağırlıkları 70 °C'de 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları kaydedilmiştir.

## 2.4. Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Analizleri

Veriler, JMP 6 SAS istatistiksel analiz programı kullanılarak analiz edildi. Uygulamalar arasındaki farklılıkları ortaya koymak için  $p < 0,05$  seviyesinde F-testi ve t-testi kullanılmıştır. F-testi sonucunda önemli çıkan uygulamalara TUKEY-HSD çoklu karşılaştırılması uygulanmıştır (JMP, 2005).

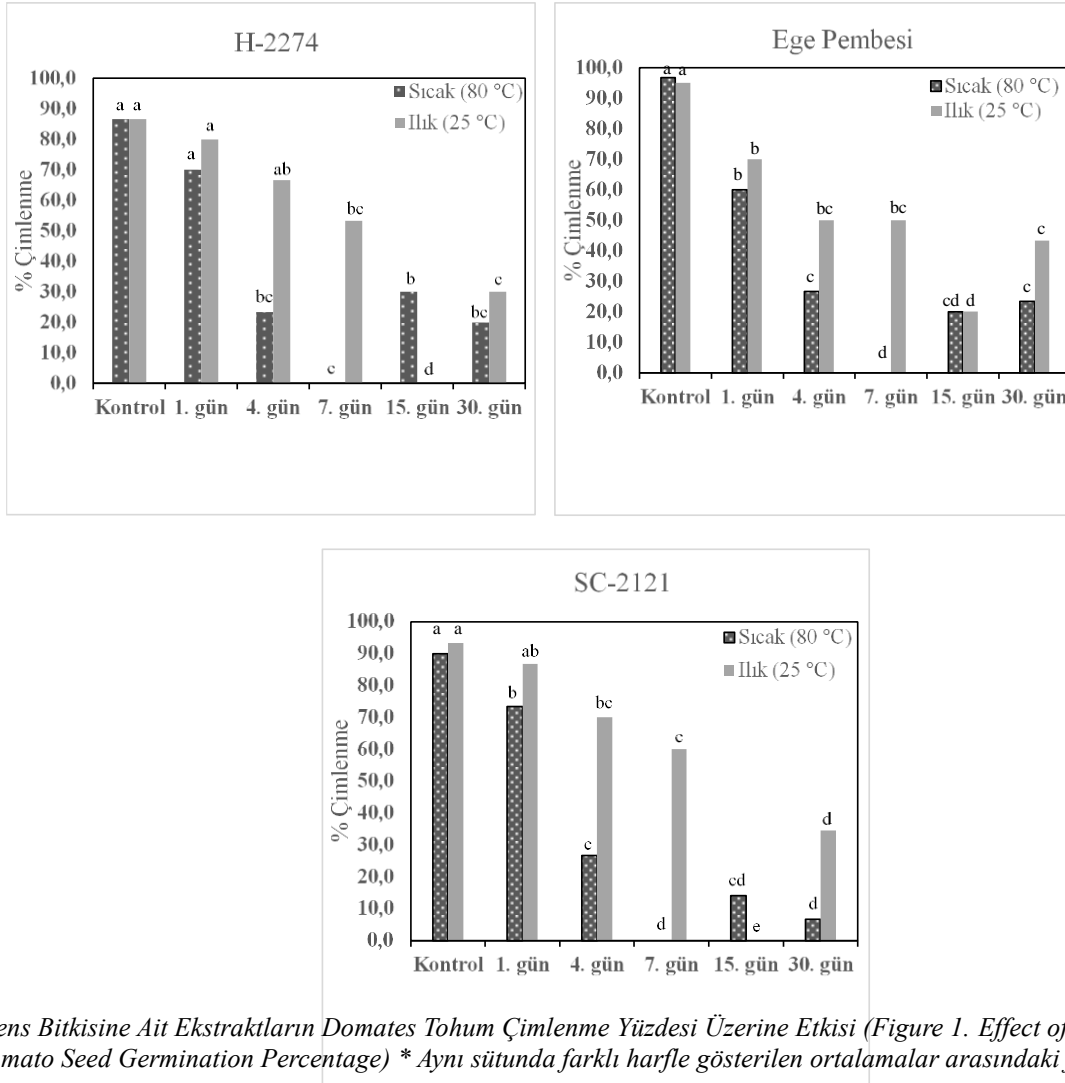
## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. 25 ve 80 °C Sıcaklıkta Bekletilen *A. repens* Sulu Ekstraktlarının Domates Çeşitlerinin Çimlenmesi Üzerine Etkileri

*A. repens* bitki ekstraktlarının, tüm uygulama ve konsantrasyonlarda domates tohumlarının çimlenmesini istatistiki olarak önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir (Şekil 1). 1., 4., 7., 15. ve 30. gün sonunda *A. repens* sulu ekstraktlarının domates çimlenmesi üzerine olumsuz etkisinin olduğu belirlenmiştir. Şekil 1'de elde edilen bulgulara göre, H-2274 domates çeşidinde 25 °C suda bekletme uygulamasında, tohum çimlenme % 'si üzerine en etkili ortamın % 86,67 ile kontrol uygulaması olduğu, bunu % 80,00 ile 1. gün uygulaması takip etmiştir. Bunun aksine 15. gün elde edilen ekstraktların çimlenmeyi tamamen engellediği tespit edilmiştir. 80 °C sıcaklıkta bekletilen *A. repens* ekstraktının H-2274 domates çeşidinin çimlenme % 'si üzerine etkisine baktığımızda, tohum çimlenmesi *A. repens* bitkisinin artan suda bekleme sürelerine bağlı olarak olumsuz etkilenmiştir. Yapılan uygulamada, 7. gün sonunda elde edilen ekstraktların H-2274 domates çeşidinin çimlenmesini tamamen engellemiş olup, bu uygulamada çimlenme görülmemiştir. Ege Pembesi domates çeşidinde ise, farklı günlerde bekletilen ekstraktlar ile tohum çimlenme yüzdesi arasında istatistiki olarak önemli bir fark olduğu ortaya konulmuştur ( $F=32,5070$ ;  $p < 0,05$ ). Ege Pembesi domates çeşidinde 25 °C suda bekletme uygulamasında, en düşük çimlenme yüzdesi (20,00) 15. günde elde edilmiş olup, ekstraktların bekleme süresi arttıkça çimlenmenin kontrol uygulamasına göre düştüğü tespit edilmiştir. 80 °C sıcaklıkta bekletilen *A. repens* ekstraktının Ege Pembesi domates çeşidinin çimlenme yüzdesini günlere göre önemli oranda düşürdüğü tespit edilmiştir. Yapılan sıcakta bekletme uygulamasında, kontrol uygulamasında % 96,67 çimlenme görülürken, 7. gün sonunda elde edilen ekstraktların domates tohumunda çimlenmeyi önemli oranda inhibe ettiği tespit edilmiş olup, bu uygulamada tohumların hiçbirisinde çimlenme görülmemiştir (Şekil 1). Farklı sıcaklıklarda bekletilen *A. repens* sulu ekstraktlarının SC-2121 domates çeşidinin çimlenmesi üzerine etkisini değerlendirdiğimizde, 25 °C suda bekletme uygulamasında kontrolle karşılaştırıldığında, en düşük çimlenme oranı 15. gün elde edilen ekstrakta tespit edilmiş olup bu konsantrasyonda hiç çimlenme görülmemiştir. Bu farkın istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir ( $F=75,4835$ ,  $p < 0,05$ ). 80 °C sıcaklıkta bekletilen *A. repens* ekstraktlarının SC-2121 domates çeşidinin çimlenme % 'si üzerine etkisine baktığımızda ise, tohum çimlenmesi *A. repens* bitkisinin artan suda bekleme sürelerine bağlı olarak olumsuz etkilenmiştir. Yapılan uygulamada, 7. gün sonunda elde edilen ekstraktların SC-2121 domates çeşidinin çimlenmesini tamamen engellemiş olup, domates tohumlarında bu uygulamada hiç çimlenme elde edilmemiştir (Şekil 1). Genel olarak her üç tohum çeşidinde de, 25 °C suda bekletme uygulamasında 15. günde, 80 °C suda bekletme uygulamasında ise 7. günde elde edilen ekstraktların domates tohumlarının çimlenme yüzdesini istatistiki olarak önemli ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir. Günlere göre *A. repens* suda bekletilen ekstraktları değerlendirildiğinde 7. gün ve 15. gün'den itibaren en fazla toksik etkinin görüldüğü ortaya konulmuştur (Şekil 1). Yapılan bu çalışmada, farklı iki sıcaklıkta sıcak (80 °C) ve ılık (25 °C) ortamda ekstraksiyonu yapılan *A. repens* bitkisinin domates çeşitlerinin çimlenmesi üzerine allelopatik potansiyeli karşılaştırılmıştır. Buna göre, ekstraktların bekletilme sıcaklığına bağlı olarak allelopatik aktivitenin etkisinin arttığını göstermektedir. 25 ve 80 °C'de *A. repens* sulu ekstraktlarının domates tohumlarının çimlenmesi üzerine etkisinin istatistiki olarak önemli olduğu ortaya konulmuştur. Her üç domates çeşidinde de 25 °C suda bekletme uygulamasında, en düşük çimlenme yüzdesi 15 gün suda ekletilen ekstraktlardan edilmiş olup, bekleme süresinin arttıkça kontrole göre çimlenmenin düştüğü tespit edilmiştir. 80 °C sıcaklıkta 7 gün bekletilen *A. repens* ekstraktlarının, domates çeşitlerinde çimlenmeyi önemli oranda engellediği tespit edilmiş olup, bu uygulamada tohumların hiçbirisinde çimlenme görülmemiştir. Akın vd. (2019) yaptıkları çalışmada, 24 ve 80 °C'de saf suda bekletilerek elde edilen kırmızı hevhulma ekstraktlarının marul çimlenmesi üzerine etkilerine bakılmış ve 5 g yaprak ekstraktı uygulamasında, her iki sıcaklıkta da marul tohumlarında çimlenme olmadığı bildirilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar Akın vd. (2019) ile paralellik göstermiştir.

Buna karşılık, 25 °C ve 80 °C bekletilerek elde edilen ekstraktları birbiriyle karşılaştırdığımızda, farklı iki sıcaklıkta bekletilerek elde edilen ekstraktlar arasında 3 tohum çeşidinde de istatistiki açıdan önemli bir fark tespit edilmiştir. Ege Pembesi ( $t=2,87$ ,  $p < 0,05$ ), H-2274 ( $t=1,20$ ,  $p < 0,05$ ), SC-2121 ( $t=2,38$ ,  $p < 0,05$ ) tohum çimlenmesi üzerinde 80 °C ekstraktlarının çimlenmeyi engelleyici etkisi tespit edilmiştir (Tablo 1). Bazı araştırmacıların yaptıkları çalışmalara göre, otoklavlama ya da kaynatma işleminin ekstraktın aktivitesini arttırdığı (Guenzi ve McCalla, 1962; Jensen vd., 1984; Roy vd., 2006), buna karşın diğer araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda ise bu işlemlerin ekstrakt aktivitesini düşürdüğü (Jensen vd., 1984; Ahn ve Chung, 2000; Siegel, 1950) ya da herhangi bir etki göstermediği ortaya konulmuştur (Peters, Frost, ve Long, 1986). Akın vd. (2017)'nin yapmış olduğu çalışmada *Lythrum salicaria* çürüme ekstraktlarının marul fide gelişimi üzerine allelopatik etkisi araştırılmış ve 15. ve 30. günlerden elde edilen ekstraktların marul fide gelişimi ve ağırlığı üzerine olumsuz etkisinin olduğu ortaya konulmuştur.





Şekil 1. *A. repens* Bitkisine Ait Ekstraktların Domates Tohum Çimlenme Yüzdesi Üzerine Etkisi (Figure 1. Effect of *A. repens* Plant Extracts on Tomato Seed Germination Percentage) \* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir

Tablo 1. Sıcaklığa Bağlı *A. repens* Ekstraktlarının Domates Çeşitlerinin Çimlenmesi Üzerine olan Etkilerinin Karşılaştırılması (Table 1. Comparison of the Effects of Temperature-Dependent *A. repens* Extracts on the Germination of Tomato Varieties)

Tohum Çeşidi	% Çimlenme	
	Ilık (25 °C)	Sıcak (80 °C)
Ege Pembesi	46, 7±4,7(*)	26,0±5,5
H-2274	46,0±7,8(*)	28, 7±6,3
SC-2121	50,0±8,2(*)	24, 0±7,1

(\*)  $t (p < 0,05)$ , Ort±SE

### 3.2. 25 ve 80 °C Sıcaklıkta Bekletilen *A. repens* Sulu Ekstraktlarının Domates Çeşitlerinin Fide Gelişimi Üzerine Etkileri

Çalışmamızda, *A. repens* bitkisinin 25 ve 80 °C’de saf suda bekletilen ekstraktlarının, bütün uygulamalarda domates tohumlarının fide gelişimi üzerine etkisinin istatistiki olarak önemli olduğu ortaya konulmuştur (Tablo 2, 3). 1., 4., 7., 15. ve 30. gün bekletilerek elde edilen *A. repens* sulu ekstraktlarının, domates fide gelişimi üzerine olumsuz etkisinin olduğu belirlenmiştir. Tablo 2’de elde edilen bulgulara göre, Ege Pembesi domates çeşidinde 25 °C’de farklı sürelerde bekletilen ekstraktlar ile fide gelişimi arasında istatistiki olarak önemli bir fark olduğu ortaya konulmuştur. 15. ve 30. gün sonunda elde edilen ekstraktların domates fidelerinin kök ve gövde uzaması ile yaş ve kuru ağırlık miktarlarını istatistiki olarak önemli ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir (Tablo 2). 80 °C’de saf suda bekletilen

ekstraktların Ege Pembesi domates çeşidinin kök-gövde uzunluğu ile yaş-kuru ağırlığı üzerine etkisini değerlendirdiğimizde, kontrolle karşılaştırıldığında 7. gün ekstraktlarının tohum fide gelişimini tamamen engellediği ve en toksik etkinin bu konsantrasyonda olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). H-2274 domates çeşidi 25 °C suda bekletme uygulamasında, 15 gün bekletilerek elde edilen ekstraktların çimlenmeyi tamamen engelleyerek, bu uygulamada fide gelişimi olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 2). Bunu takiben, kontrolle karşılaştırıldığında, 15. günden sonra en düşük domates kök uzunluğu (1,50), gövde uzunluğu (1,82), yaş ağırlık (0,07) ve kuru ağırlık (0,008) 30. gün ekstraktlarında elde edilmiş olup, istatistiki açıdan önemli bir azalma olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). *A. repens* bitkisinin, 80 °C’de saf suda bekletilerek elde edilen ekstraktları içerisinde, en fazla inhibitör etkiye sahip ekstraktın 7. gün suda bekletilen ekstrakt olduğu tespit edilmiştir. *A. repens* sıcakta bekletilen ekstraktları ise kök ve gövde uzunluğunu önemli oranda düşürerek gelişimi engellemiş ve artan özüt konsantrasyonuna bağlı olarak yaş ve kuru ağırlık bütün uygulamalarda olumsuz etkilenmiştir (Tablo 3). SC-2121 domates çeşidi 25 °C suda bekletme uygulamasında en toksik etki 15. gün bekletilerek elde edilen ekstraktlarda görülmüş olup, bu uygulamada fide gelişimi olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 2). Artan özüt konsantrasyonuna bağlı olarak, kök-gövde gelişimi ile yaş-kuru ağırlık istatistiki olarak önemli oranda düşüş göstermiştir (Tablo 2). 80 °C’de saf suda bekletme uygulamasında, 7 gün bekletilerek elde edilen ekstraktların çimlenmeyi tamamen engelleyerek, bu uygulamada fide gelişimi olmadığı tespit edilmiştir. Bunu takiben, kontrolle karşılaştırıldığında, 7. günden sonra en düşük domates kök-gövde uzunluğu ile yaş-kuru ağırlık 15. ve 30. gün ekstraktlarında elde edilmiş olup, bu farkın istatistiki olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Sonuç olarak, bu çalışmada farklı iki sıcaklıkta (25 °C-80 °C) bekletilen *A. repens* bitki özütlerinin, domates kök ve gövde uzaması ile yaş ve kuru ağırlığını artan konsantrasyona bağlı olarak önemli ölçüde önlediği görülmüş olup, en fazla inhibitör etkiye 80 °C’de saf suda bekletilen özütlerin sebep olduğu tespit edilmiştir. Özbay (2018) tarafından yapılan çalışmada, bazı yabancı otları, tıbbi ve aromatik bitkilerin ekstraktlarının, biber tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Allelopatik etkisi araştırılan bitki ekstraktlarının, biber de çimlenmeyi azalttığı, fide gelişimini ise engellediği tespit edilmiştir (Özbay, 2018). Sotiropoulou vd. (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada, üç farklı sıcaklıkta (25, 80, 100 °C) hazırlanan papatya ve adaçayı sulu ekstraktlarının antioksidan aktivitesi ve potansiyel toksisitesi ve son olarak optimum sıcaklıktaki fenolik profilleri tespit edilmiştir. Buna göre, 80 °C’de hazırlanan su ekstraktında, biyoaktif ve antioksidan bileşiklerin ekstraksiyon sıcaklığındaki artışla birlikte arttığı sonucuna varmışlardır. Yaptığımız çalışmada da, *A. repens* özütlerinin ekstraksiyon sıcaklığının ekstraktların toksisitesini etkilediği tespit edilmiştir.

**Tablo 2.** *A. repens* Bitkisinin 25 °C’de Saf Suda Bekletilen Ekstraktlarının Domates Çeşitlerinin Fide Gelişimi Üzerine Etkisi (Table 2. Effect of *A. repens* Extracts Kept in Distilled Water at 25 °C on Seedling Development of Tomato Varieties. )(Ort±SE, \* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir)

Uygulamalar		Kök	Gövde	Yaş	Kuru	
İlk (25 °C)		uzunluğu (cm)	uzunluğu (cm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (g)	
Ege Pembesi	Kontrol	6,5±1,2 <sup>a*</sup>	4, 6±0,3 <sup>a</sup>	0,37±0,024 <sup>a</sup>	0,019±0,0004 <sup>a</sup>	
	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	4,0±0,5 <sup>b</sup>	4,0±0,3 <sup>a</sup>	0,30±0,008 <sup>b</sup>	0,015±0,0002 <sup>ab</sup>
		4. gün	3,8±0,4 <sup>b</sup>	3,7±0,3 <sup>ab</sup>	0,20±0,012 <sup>c</sup>	0,016±0,0005 <sup>ab</sup>
		7. gün	3,2±0,7 <sup>b</sup>	3,3±0,4 <sup>ab</sup>	0,21±0,024 <sup>c</sup>	0,015±0,0015 <sup>ab</sup>
		15. gün	0,8±0,3 <sup>c</sup>	1,5±0,6 <sup>c</sup>	0,04±0,014 <sup>d</sup>	0,003±0,0011 <sup>c</sup>
		30. gün	2,6±0,2 <sup>bc</sup>	2,3±0,3 <sup>bc</sup>	0,18±0,003 <sup>c</sup>	0,013±0,0012 <sup>b</sup>
Kontrol	6,4±1,0 <sup>a</sup>	4,1±0,7 <sup>a</sup>	0,34±0,033 <sup>a</sup>	0,016±0,0016 <sup>a</sup>		
H-2274	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	2,8±0,4 <sup>b</sup>	3,2±0,5 <sup>ab</sup>	0,24±0,015 <sup>b</sup>	0,013±0,0001 <sup>a</sup>
		4. gün	3,1±0,7 <sup>b</sup>	3,8±0,4 <sup>ab</sup>	0,28±0,019 <sup>ab</sup>	0,014±0,0011 <sup>a</sup>
		7. gün	2,0±0,4 <sup>bc</sup>	2,3±0,5 <sup>ab</sup>	0,15±0,011 <sup>c</sup>	0,013±0,0006 <sup>a</sup>
		15. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,00±0,000 <sup>d</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		30. gün	1,5±0,6 <sup>bc</sup>	1,8±0,5 <sup>b</sup>	0,07±0,016 <sup>d</sup>	0,008±0,0018 <sup>b</sup>
	Kontrol	8,7±1,1 <sup>a</sup>	3,8±0,2 <sup>a</sup>	0,30±0,007 <sup>a</sup>	0,016±0,0005 <sup>a</sup>	
SC-2121	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	3,4±0,2 <sup>b</sup>	3,1±0,3 <sup>ab</sup>	0,24±0,012 <sup>b</sup>	0,013±0,0006 <sup>a</sup>
		4. gün	3,5±0,4 <sup>b</sup>	3,3±0,3 <sup>ab</sup>	0,25±0,010 <sup>ab</sup>	0,013±0,0006 <sup>a</sup>
		7. gün	3,2±0,4 <sup>b</sup>	3,3±0,2 <sup>ab</sup>	0,22±0,010 <sup>b</sup>	0,014±0,0004 <sup>a</sup>
		15. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,00±0,000 <sup>d</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		30. gün	2,2±0,7 <sup>bc</sup>	2,1±0,6 <sup>b</sup>	0,08±0,017 <sup>c</sup>	0,006±0,0014 <sup>b</sup>
	Kontrol	8,7±1,1 <sup>a</sup>	3,8±0,2 <sup>a</sup>	0,30±0,007 <sup>a</sup>	0,016±0,0005 <sup>a</sup>	

**Tablo 3.** *A. repens* Bitkisinin 80 °C’de Saf Suda Bekletilen Ekstraktlarının Domates Çeşitlerinin Fide Gelişimi Üzerine Etkisi (Table 2. Effect of *A. repens* Extracts Kept in Distilled Water at 80 °C on Seedling Development of Tomato Varieties. )(Ort±SE, \* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir)

Uygulamalar Sıcak (80 °C)		Kök Uzunluğu (cm)	Gövde Uzunluğu (cm)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	
Ege Pembesi	Kontrol	8,1±0,7 <sup>a*</sup>	4,9±0,3 <sup>a</sup>	0,34±0,016 <sup>a</sup>	0,018±0,0002 <sup>a</sup>	
	Ekstrakt bekleme süresi	1. gün	3,8±0,3 <sup>b</sup>	3,0±0,3 <sup>b</sup>	0,20±0,005 <sup>b</sup>	0,016±0,0004 <sup>a</sup>
		4. gün	3,5±0,4 <sup>b</sup>	3,1±0,4 <sup>b</sup>	0,18±0,011 <sup>b</sup>	0,012±0,0003 <sup>a</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,1±0,0 <sup>c</sup>	0,6±0,2 <sup>c</sup>	0,02±0,006 <sup>c</sup>	0,007±0,0018 <sup>b</sup>
		30. gün	0,1±0,0 <sup>c</sup>	0,5±0,1 <sup>c</sup>	0,01±0,004 <sup>c</sup>	0,007±0,0020 <sup>b</sup>
H-2274	Kontrol	8,4±1,1 <sup>a</sup>	5,8±0,7 <sup>a</sup>	0,40±0,029 <sup>a</sup>	0,022±0,0016 <sup>a</sup>	
	Ekstrakt bekleme süresi	1. gün	2,0±0,4 <sup>b</sup>	2,0±0,4 <sup>b</sup>	0,19±0,023 <sup>b</sup>	0,014±0,0014 <sup>b</sup>
		4. gün	1,3±0,2 <sup>bc</sup>	1,5±0,2 <sup>bc</sup>	0,12±0,002 <sup>c</sup>	0,011±0,0004 <sup>b</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>d</sup>	0,00±0,000 <sup>d</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,1±0,0 <sup>c</sup>	0,4±0,2 <sup>cd</sup>	0,02±0,005 <sup>d</sup>	0,013±0,0005 <sup>b</sup>
		30. gün	0,1±0,0 <sup>c</sup>	0,3±0,1 <sup>cd</sup>	0,01±0,001 <sup>d</sup>	0,012±0,0007 <sup>b</sup>
SC-2121	Kontrol	8,4±0,1 <sup>a*</sup>	4,0±0,2 <sup>a</sup>	0,31±0,010 <sup>a</sup>	0,018±0,0016 <sup>a</sup>	
	Ekstrakt bekleme süresi	1. gün	2,9±0,7 <sup>b</sup>	2,2±0,4 <sup>b</sup>	0,19±0,026 <sup>b</sup>	0,014±0,0007 <sup>a</sup>
		4. gün	2,0±0,6 <sup>bc</sup>	2,2±0,7 <sup>b</sup>	0,16±0,048 <sup>b</sup>	0,007±0,0020 <sup>b</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,2±0,0 <sup>c</sup>	0,3±0,0 <sup>c</sup>	0,02±0,003 <sup>c</sup>	0,002±0,0002 <sup>bc</sup>
		30. gün	0,1±0,0 <sup>c</sup>	0,1±0,0 <sup>c</sup>	0,01±0,004 <sup>c</sup>	0,001±0,0003 <sup>c</sup>

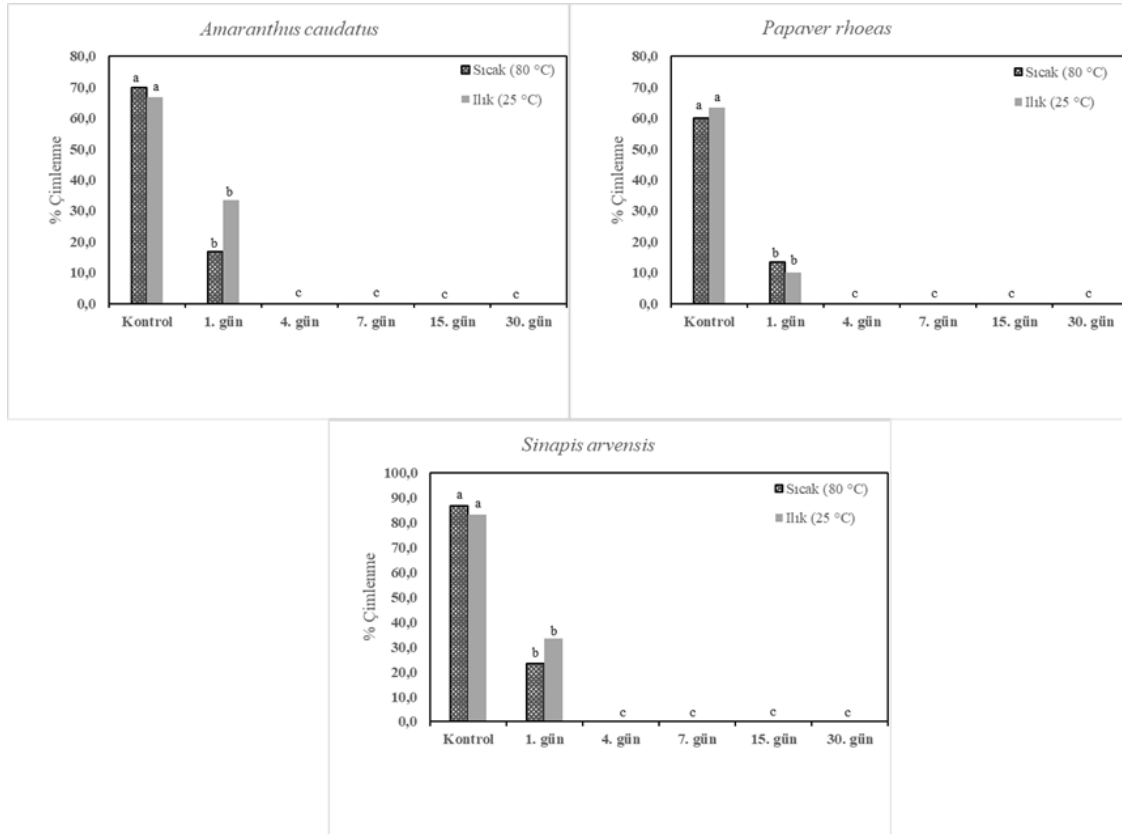
### 3.3. 25 ve 80 °C Sıcaklıkta Bekletilen *A. repens* Sulu Ekstraktlarının Yabancı Ot Türlerinin Çimlenmesi Üzerine Etkileri

*A. repens* bitkisinin tüm bitki ekstraktları, bütün uygulamalarda ve konsantrasyonlarda yabancı ot tohumlarının çimlenmesini istatistiki olarak önemli derecede etkilediği ortaya konulmuştur (Şekil 2). 1., 4., 7., 15. ve 30. gün sonunda elde edilen *A. repens* sulu ekstraktlarının yabancı ot çimlenmesi üzerine inhibitör etkisinin olduğu belirlenmiştir. Şekil 2’de elde edilen bulgulara göre, *A. caudatus* yabancı ot türünde farklı günlerde bekletilen ekstraktlar ile tohum çimlenme yüzdesi arasında istatistiki olarak önemli bir fark olduğu ortaya konulmuştur. *A. caudatus* türünde 25 °C suda bekletme uygulamasında kontrolde % 66,67, 1. gün de ise % 33,33 çimlenme görülürken, 4. günden itibaren tüm uygulamalarda çimlenme görülmemiştir ve ekstraktların *A. caudatus* tohumunda çimlenmeyi önemli oranda inhibe ettiği tespit edilmiştir. 80 °C sıcaklıkta bekletilen *A. repens* ekstraktının *A. caudatus* türünün çimlenme yüzdesini günlere göre önemli oranda düşürdüğü tespit edilmiştir. Yapılan sıcakta bekletme uygulamasında, kontrol uygulamasında % 70,00 çimlenme görülürken, en düşük çimlenme yüzdesi (16,67) 1. günde elde edilmiş olup, 4. gün ve sonrasında elde edilen ekstraktların *A. caudatus* tohumunda çimlenmeyi engellediği tespit edilmiş olup, bu uygulamalarda tohumların hiçbirisinde çimlenme görülmemiştir (Şekil 2). Sıcakta bekletilen sulu ekstraktların, bekleme süresi ile tohum çimlenme yüzdesi arasında istatistiki olarak önemli bir fark olduğu ortaya konulmuştur (Şekil 2) (F=106,00; p<0,05).

*Papaver rhoeas* yabancı ot türünde 25 °C suda bekletme uygulamasında, tohum çimlenme % ’si düşük olup, en etkili ortamın % 63,33 ile kontrol uygulaması olduğu, bunu % 10,00 ile 1. gün uygulaması takip etmiştir. Diğer uygulamaların hiçbirisinde çimlenme görülmemiş olup, *P. rhoeas* yabancı ot türünde, farklı günlerde bekletilen ekstraktlar ile tohum çimlenme yüzdesi arasında istatistiki olarak önemli bir fark olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). 80 °C sıcaklıkta bekletilen *A. repens* ekstraktının *P. rhoeas* türünün çimlenme % ’si üzerine etkisine baktığımızda, tohum çimlenmesi *A. repens* bitkisinin artan suda bekleme sürelerine bağlı olarak olumsuz etkilenmiştir. Yapılan uygulamada, 4. günden itibaren elde edilen ekstraktlar, *P. rhoeas* türünün çimlenmesini tamamen engellemiş olup, bu uygulamalarda çimlenme görülmemiştir (Şekil 2).

*Sinapis arvensis* yabancı ot türünde ise, 25 °C suda bekletme uygulamasında kontrolde % 83,33, 1. gün de ise % 33,33 çimlenme görülürken, 4. günden itibaren tüm uygulamalarda tohumların hiçbirisinde çimlenme görülmemiştir ve ekstraktların *S. arvensis* tohumunda çimlenmeyi önemli oranda inhibe ettiği tespit edilmiştir. 80 °C sıcaklıkta bekletilen *A. repens* ekstraktının, *S. arvensis* çimlenme yüzdesini günlere göre önemli oranda düşürdüğü tespit edilmiştir. Yapılan sıcakta bekletme uygulamasında, kontrol uygulamasında % 86,67 çimlenme görülürken, en düşük çimlenme yüzdesi 23,33 ile 1. günde elde edilmiş olup, 4. gün ve sonrasında

elde edilen ekstraktların *S. arvensis* tohumunda çimlenmeyi önemli oranda engellediği ettiği tespit edilmiş olup, bu uygulamalarda tohumların hiçbirisinde çimlenme görülmemiştir. Sıcakta bekletilen sulu ekstraktların, bekleme süresi ile tohum çimlenme yüzdesi arasında istatistiki olarak önemli bir fark olduğu ortaya konulmuştur ( $F=326,100$ ;  $p<0,05$ ) (Şekil 2). Özdemir (2007) tarafından yapılan araştırmada, beyaz turp, Antep turpu, siyah turp, fındık turpu ve şalgam bitkilerinden farklı dozlarda elde edilen ekstraktların (% 1, % 2, % 4, % 6 ve % 8) kültür bitkilerinde sorun olan *Amaranthus retroflexus*, *Avena sterilis*, *Portulaca oleracea*, *Sinapsis arvensis* ve *Solanum nigrum* yabancı otlarına karşı allelopatik etkileri araştırılmıştır. Elde ettikleri verilere göre, en yüksek doz uygulamasının tohum çimlenmesi, fide gelişimi ve kök gelişimlerini engellediği ortaya konulmuştur. Bu çalışmalarda izlenen yollar ve uygulamalar, çalışmamız ile paralellik göstermektedir. Yılmaz (2022) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, farklı konsantrasyonlarda liken aseton ekstraktlarının, 3 farklı yabancı ot (*Amaranthus retroflexus*, *Setaria verticillata*, *Portulaca oleracea*) ve kültür bitkisi olarak da buğday tohumları üzerine allelopatik etkileri değerlendirilmiştir. Liken aseton ekstraktlarının 200 mikrogram/ml konsantrasyonunun, *P. oleracea* ve *S. verticillata* tohumlarında tohum çimlenmesini önemli oranda düşürdüğünü ve bu ekstraktın *P. oleracea* ve *S. verticillata* türlerinde biyoherbisit olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. *Usnea florida* aseton ekstaktlarının buğday tohum çimlenmesi üzerine olan etkilerini değerlendirdiklerinde ise, düşük konsantrasyonların çimlenmeyi teşvik edici yönde etki gösterdiği tespit edilmiş olup, yüksek konsantrasyonların ise çimlenmeyi geriletlediği ortaya konulmuştur. Terzi (2008) tarafından yapılan çalışmada ise, juglon ve 24 ay distile suda bekletilerek çürütülen ceviz yaprağı suyunun farklı konsantrasyonlarının, kavun (*Cucumis melo* cv. Galia) ve hıyar (*Cucumis sativus* cv. Beith Alpha) tohum çimlenme yüzdesi ve çimlenme sonrası fide büyümesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmada, juglon ve çürümüş ceviz yaprağı suyunun, hıyar kök uzamasını önemli ölçüde engellediği tespit edilmiştir. Bunun aksine, kavun tohumu çimlenmesi, juglonun toksik etkilerinden etkilenmemiş olup, kavun kök ve gövde uzamasında bir miktar azalma meydana gelmiştir. Araştırmacılar tarafından yapılan bu çalışmalar, araştırmamızın bulguları ile benzerlik göstermektedir. Buna karşılık, 25 °C ve 80 °C bekletilerek elde edilen ekstraktlar birbiriyle karşılaştırıldığında, farklı iki sıcaklıkta bekletilerek elde edilen ekstraktlar arasında 3 tohum çeşidinde de istatistiki açıdan önemli bir fark tespit edilmemiştir. *Amaranthus caudatus* ( $t=- 0,102$ ,  $p>0,05$ ), *Papaver rhoeas* ( $t=0,00$ ,  $p>0,05$ ), *Sinapsis arvensis* ( $t=- 0,252$ ,  $p>0,05$ ) türlerinde tohum çimlenmesi üzerine farklı sıcaklıkta elde edilen ekstraktların bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. *A. repens* Bitkisine Ait Ekstraktların Yabancı Ot Tohum Çimlenme Yüzdesi Üzerine Etkisi (Figure 2. Effect of *A. repens* Plant Extracts on Weed Seed Germination Percentage) \* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir

### 3.4. 25 ve 80 °C Sıcaklıkta Bekletilen *A. repens* Sulu Ekstraktlarının Yabancı Ot Türlerinin Fide Gelişimi Üzerine Etkileri

*A. repens* bitkisinin 25 ve 80 °C’de saf suda bekletilen ekstraktlarının, bütün uygulamalarda yabancı ot tohumlarının fide gelişimini istatistiki olarak önemli derecede etkilediği ortaya konulmuştur (Tablo 4, 5). 1., 4., 7., 15. ve 30. gün sonunda *A. repens* sulu ekstraktlarının yabancı ot fide gelişimi üzerine olumsuz etkisinin olduğu belirlenmiştir. Tablo 4’de elde edilen bulgulara göre, *A. caudatus*, *P. rhoeas* ve *Sinapsis arvensis* yabancı ot türlerinde 25 °C’de farklı sürelerde bekletilen ekstraktlar ile fide gelişimi arasında istatistiki olarak önemli bir fark olduğu ortaya konulmuştur. 1. gün sonunda elde edilen ekstraktların her üç türün fidelerinin kök ve

gövde uzaması ile yaş ve kuru ağırlık miktarlarını önemli ölçüde düşürdüğü ve 4. gün ve sonrasında elde edilen ekstraktların çimlenmeyi tamamen engelleyerek, bu uygulamada fide gelişimi olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4). 80 °C’de saf suda bekletme uygulamasında ise, her üç türümüzde de kontrolle karşılaştırıldığında 1. gün ekstraktlarının tohum fide gelişimini istatistiki olarak önemli ölçüde düşürdüğü, 4. günden itibaren elde edilen konsantrasyonlarda ise en toksik etkinin görüldüğü tespit edilmiştir (Tablo 5). Çalışmamızda, sıcak (80 °C) ve ılık (24 °C) ortamda ekstraksiyonu yapılan *A. repens* bitkisinin allelopatik potansiyeli karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, yapılan çalışmada farklı iki sıcaklıkta (25 °C-80 °C) bekletilen ayrık otu bitki ekstraktlarının, *Amaranthus caudatus*, *Papaver rhoeas*, *Sinapsis arvensis* yabancı ot türlerinin fide gelişimlerinin artan konsantrasyona ve süreye bağlı olarak olumsuz etkilendiği ortaya konulmuştur. Alsaadawi (2008) tarafından yapılan araştırmada, buğday artıklarının *Echinochloa crus-galli* büyümesi üzerine allelopatik etkisine bakıldığında, buğday kalıntılarının fitotoksitesi 2 haftalık çürüme sonrasında maksimuma ulaştığı ve bu etkinin 4. hafta sonlarına doğru azalmaya başladığı bildirilmiştir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar arazide çürüme ile ilgili yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Alsaadawi, 2008). *A. repens* bitkisinden çeşitli suda çözünebilir kimyasallar (fenolik asitler, saponinler, flavonoidler, uçucu yağlar) salınmaktadır (Al-Snafi, 2015). Bu allelokimyasallar *A. repens* türünün, sürgünleri ve/veya rizomları tarafından ya da çürüyen bitki parçaları tarafından salınmaktadır (Friebe, vd., 1995) *A. repens* uçucu yağlarının %95’lik kısmını Agropiren maddesi oluşturur ve mantar ve bakteriler üzerinde antibiyotik etkiye sahiptir (Ringselle, vd., 2020). *A. repens* türünden tanımlanan allelokimyasalların başlıcaları arasında DIBOA (2,4-dihidroksi-1,4-benzoksazin-3-1), ferulik asit ve DIMBOA (2,4-dihidroksi-7-metoksi-1,4-benzoxazin-3-1) gelmektedir (Friebe, vd., 1995). Bunlardan DIBOA ve ferulik asidin, özellikle iki çenekli türler üzerinde yüksek konsantrasyonlarda büyümeyi engelleyici etkilere sahip olduğu belirlenmiştir (Glinwood, vd., 2003). Bu sonuçlar allelokimyasalların türe özgü büyüme engelleyici ya da düzenleyici etkilerini göstermektedir. Yaptığımız çalışmada, elde edilen sonuçlar, seçilen yabancı ot türlerinin tohum çimlenmesinin ve fide büyümesinin azalmasını *A. repens*’ten salınan allelokimyasallardan kaynaklanabileceği olasılığına işaret etmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, çeşitli araştırmacılar tarafından daha önce varılan (Ringselle et al., 2020; Friebe, vd., 1995) ayrık otunun allelopatik potansiyele sahip olabileceği yönündeki önceki sonuçlarını desteklemektedir. Araştırmacılar tarafından yapılan bu çalışmanın sınırlamalarından bir tanesi, konsantrasyonun toksik maddelerin miktarının doğada bulunandan daha fazla olması ve içerdiği toksik maddelerin süresi kalıntıları veya bunların ayrışması sonucu açığa çıkan maddeler arazi koşulları altında daha kısa olabilmesidir. Bununla birlikte bu çalışma, potansiyel bir doğal herbisit kaynağı olarak ayrık otu bitkisinde bulunan inhibitör maddelerin, araştırılması gerektiğini göstermektedir.

**Tablo 4.** *A. repens* Bitkisinin 25 °C’de Saf Suda Bekletilen Ekstraktlarının Yabancı Ot Türlerinin Fide Gelişimi Üzerine Etkisi (Table 4. Effect of *A. repens* Extracts Kept in Distilled Water at 25 °C on Seedling Development of Weed Seeds)(Ort±SE, \* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir)

Uygulamalar		Kök	Gövde	Yaş	Kuru	
İlk (25 °C)		uzunluğu (cm)	uzunluğu (cm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (g)	
<i>Amaranthus caudatus</i>	Kontrol	1,7±0,2 <sup>a*</sup>	2,3±0,5 <sup>a</sup>	0,19±0,007 <sup>a</sup>	0,016±0,0007 <sup>a</sup>	
	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	1,3±0,1 <sup>b</sup>	2,1±0,2 <sup>a</sup>	0,15±0,002 <sup>b</sup>	0,011±0,0007 <sup>b</sup>
		4. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		30. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
<i>Papaver rhoeas</i>	Kontrol	3,2±0,4 <sup>a</sup>	3,2±0,1 <sup>a</sup>	0,20±0,005 <sup>a</sup>	0,012±0,0009 <sup>a</sup>	
	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	2,5±0,2 <sup>a</sup>	3,3±0,3 <sup>a</sup>	0,13±0,006 <sup>b</sup>	0,013±0,0007 <sup>b</sup>
		4. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		30. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
<i>Sinapsis arvensis</i>	Kontrol	2,7±0,1 <sup>a</sup>	2,7±0,5 <sup>a</sup>	0,20±0,015 <sup>a</sup>	0,018±0,0003 <sup>a</sup>	
	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	1,6±0,4 <sup>b</sup>	2,5±0,5 <sup>a</sup>	0,15±0,004 <sup>b</sup>	0,013±0,0010 <sup>a</sup>
		4. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		30. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>



**Tablo 5.** *A. repens* Bitkisinin 80 °C'de Saf Suda Bekletilen Ekstraktlarının Yabancı Ot Türlerinin Fide Gelişimi Üzerine Etkisi (Table 5. Effect of *A. repens* Extracts Kept in Distilled Water at 80 °C on Seedling Development of Weed Seeds)(Ort±SE, \* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir)

		Uygulamalar	Kök	Gövde	Yaş	Kuru
		Sıcak (80 °C)	uzunluğu (cm)	uzunluğu (cm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (g)
		<b>Kontrol</b>	1,5±0,3 <sup>a*</sup>	2,5±0,4 <sup>a</sup>	0,24±0,026 <sup>a</sup>	0,022±0,0009 <sup>a</sup>
<i>Amaranthus caudatus</i>	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	1,2±0,2 <sup>a</sup>	1,9±0,3 <sup>a</sup>	0,15±0,003 <sup>b</sup>	0,011±0,0007 <sup>b</sup>
		4. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		30. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		<b>Kontrol</b>	2,6 ±0,2 <sup>a</sup>	3,1±0,2 <sup>a</sup>	0,21±0,007 <sup>a</sup>	0,020±0,0009 <sup>a</sup>
<i>Papaver rhoeas</i>	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	1,8±0,3 <sup>b</sup>	2,9±0,3 <sup>a</sup>	0,12±0,009 <sup>b</sup>	0,012±0,0009 <sup>b</sup>
		4. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		30. gün	0,0±0,0 <sup>c</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		<b>Kontrol</b>	2,3±0,2 <sup>a</sup>	3,1±0,2 <sup>a</sup>	0,22±0,010 <sup>a</sup>	0,020±0,0006 <sup>a</sup>
<i>Sinapis arvensis</i>	Ekstrakt bekletme süresi	1. gün	2,2±0,0 <sup>a</sup>	2,9±0,3 <sup>a</sup>	0,14±0,008 <sup>b</sup>	0,013±0,0006 <sup>b</sup>
		4. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		7. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		15. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>
		30. gün	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,0±0,0 <sup>b</sup>	0,00±0,000 <sup>c</sup>	0,000±0,0000 <sup>c</sup>

## 4. Sonuç

Araştırmamızın sonuçlarına göre, *A. repens* bitki ekstraktlarının kullanımı ile yabancı ot tohumlarının çimlenmesi tamamen veya kısmen engellenmiş olup, fide gelişimi üzerinde de inhibitör etki gösteren *A. repens* ekstraktlarının, tarımda biyoherbisit olarak kullanılabileceği yaptığımız çalışma ile ortaya konulmuştur. Bu araştırmamızdan elde edilen sonuçlara göre, doğada yayılışı çok büyük problemler yaratan *A. repens* bitkisinin ekstraktlarının, uygulanan yabancı ot ve kültür bitkisi tohumları üzerine biyoherbisit etkisi belirlenmiştir. Çalışmamızın sonuçları, doğada yaygın yayılışa sahip olan bu yabancı ot türlerinin çevre dostu yöntemlerle kontrol altına alınmasına katkıda bulunacak ve gelecekte yapılacak biyoherbisit araştırmalara ışık tutacağı kanaatindeyiz.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Kadir Furkan Sargın'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

## Kaynakça

- Ahn, J. K., & Chung, M. I. (2000). Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. *Agronomy Journal*, 92, 1162-1167.
- Akın, B., Bingöl, N., & Leblebici, S. (2017). *Lythrum salicaria* L. ekstraktlarının marul tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine allelopatik etkisi. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 3(1), 23-30.
- Akın, B., Bingöl, N., & Leblebici, S. (2019). Kırmızı hevhulma (*Lythrum salicaria* L.) ekstraktlarının farklı sıcaklık ve konsantrasyonlarının marul tohumları üzerindeki allelopatik etkisi. *European Journal of Science and Technology*, 17, 290-296.
- Alsaadawi, I. S. (2008). Allelopathic influence of decomposing wheat residues in agroecosystems. *Journal of Crop Production*, 4(2), 185-196.
- Al-Snafi, A. E. (2015). Chemical constituents and pharmacological importance of *Agropyron repens*-*Agropyron* review. *Research Journal of Pharmacology and Toxicology*, 1(2), 37-41.
- Amiaud, B., Touzard, B., Bonis, A., & Bouzillé, J.-B. (2008). After grazing exclusion, is there any modification of strategy for two guerrilla species: *Elymus repens* (L.) Gould and *Agrostis stolonifera* (L.)? *Plant Ecology*, 197(1), 107-117.
- Chauhan, B. S., Matloob, A., Mahajan, G., Aslam, F., Florentine, S. K., & Jha, P. (2017). Emerging challenges and opportunities for education and research in weed science. *Front. Plant Sci.*, 8, 1537. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01537>.
- Demir, O., Özsoy, E., Kızıllırmak, A., Çingay, B., Çetindaş, B., & Cabi, E. (2022). Türkiye'nin tarımsal yabancı ot florası: tahıllar. *Herbarium Turcicum*, 2, 1-18.
- Friebe, A., Schulz, M., Kück, P., & Schnabl, H. (1995). Phytotoxins from shoot extracts and root exudates of *Agropyron repens* seedlings. *Phytochemistry*, 38(5), 1157-1159.

- Glinwood, R., Pettersson, J., Ahmed, E., Ninkovic, V., Birkett, M., Pickett, J. (2003). Change in acceptability of barley plants to aphids after exposure to allelochemicals from couch-grass (*Elytrigia repens*). *J. Chem. Ecol.*, 29, 261–274.
- Grzelak, M., Gaweł, E. (2019). Floristic composition, nature value and productivity of the community with couch grass (*Agropyron repens* = *Elymus repens* (L.) P. Beauv.). *Polish Journal of Agronomy*, 38, 26–30.
- Guenzi, W. D., & McCalla, T. M. (1962). Inhibition of germination and seedling development by crop residues. *Soil Science Society of America Proceedings*, 26(5), 456-458.
- Jensen, E. H., Meyers, K. D., Jones, C. L., & Leedy, C. D. (1984). *Effect of alfalfa foliage and alfalfa soil extracts on alfalfa seedling vigor. Report of The Twenty-Ninth Alfalfa Improvement Conference*. USA: University of Minnesota.
- JMP (2005). *JMP SAS Statistical Analysis System*. USA: Cary, North Carolina.
- Kaur, S., Kaur, R., Chauhan, B. S. (2018). Understanding crop-weed-fertilizer-water interactions and their implications for weed management in agricultural systems. *Crop Protection*, 103, 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.09.011>.
- Massa, D., Benvenuti, S., Cacini, S., Lazzereschi, S., & Burchi, G. (2019). Effect of hydro-compacting organic mulch on weed control and crop performance in the new cultivation of three container-grown ornamental shrubs: old solutions meet insights. *Scientia Horticulturae*, 252, 260-267.
- Özbay, N. (2018). Bazı tıbbi bitki ve yabancı ot ekstraktlarının biberin çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(1), 81-85.
- Özdemir, Ş. (2007). Brassicaceae familyasından bazı bitkilere ait ekstratların yabancı otlarla mücadelede biyo-herbisit olarak kullanılabilme olanaklarının araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya.
- Peters, N. K., Frost, J. W., & Long, S. R. (1986). A plant flavone, luteolin, induces expression of rhizobium meliloti nodulation genes. *Science*, 233(4767), 977-980.
- Ringselle, B., De Cauwer, B., Salonen, J., & Soukup, J. (2020). A review of non-chemical management of couch grass (*Elymus repens*). *Agronomy*, 10(8), 1178. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10081178>
- Roy, B., Alam, M. R., Sarker, B. C., Rahman, M. S., Islam, M. J., Hakim, M. A., & Mahmood, R. I. (2006). Effect of aqueous extracts of some weeds on germination and growth of wheat and jute seeds with emphasis on chemical investigation. *Journal of Biological Sciences*, 6(2), 412-416.
- Sotiropoulou, N. S., Megremi, S. F., Tarantilis, P. (2020) Evaluation of antioxidant activity, toxicity, and phenolic profile of aqueous extracts of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.) prepared at different temperatures. *Applied Sciences*, 10(7), 2270. <https://doi.org/10.3390/app10072270>
- Siegel, S. M. (1950). Germination and growth inhibitors from red kidney bean seed. *Botanical Gazette*, 111(3), 353-356.
- Sullivan J. J., Williams P. A., Timmins S. M., Smale M. C. (2009). Distribution and spread of environmental weeds along New Zealand roadsides. *New Zealand Journal of Ecology*, 33(2), 190-204.
- Terzi, İ. (2008). Allelopathic effects of juglone and decomposed walnut leaf juice on muskmelon and cucumber seed germination and seedling growth. *Afr. J. Biotech*, 7, 1870-1874.
- Uygur, S., & Uygur, F. N. (2010). Yabancı otların biyolojik mücadelesi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 1(1), 79-95.
- Werner, P. A., Rioux, R. (1977). The biology of Canadian weeds. 24. *Agropyron repens* (L.) Beauv. *Can. J. Plant Sci.*, 57, 905–919.
- Yıldız, M., Gürkan, O., Turgut, C., Kaya, Ü., Ünal, G. (2005). Tarımsal Savaşımında Kullanılan Pestisitlerin Yol Açtığı Çevre Sorunları. *VI. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi*. Ankara: TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası.
- Yılmaz, K. (2022). *Usnea florida* (L.) Weber Ex F.H. Wigg total ekstratlarının allelopatik ve genotoksik etkilerinin belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Şeyh Edebalı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Zengin, H. (2004). *Genel herboloji*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi.



# On the Laplacian Spectrum of Desargues and Pappus Configurations

Burçin Usta<sup>1\*</sup>, Ayşe Bayar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Mathematics and Computer, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3183-0619), brenckr2671@gmail.com

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Mathematics and Computer, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2210-5423), akorkmaz@ogu.edu.tr

(First received 13 October 2023 and in final form 30 November 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10442136)

**ATIF/REFERENCE:** Usta, B. & Bayar, A. (2023). On the Laplacian Spectrum of Desargues and Pappus Configurations. *European Journal of Science and Technology*, (52), 289-293.

## Abstract

In this paper, we study the Laplacian spectrum of Desargues and Pappus configurations and present some basic spectral properties of these hypergraphs.

**Keywords:** Hypergraph, Desargues Configuration, Pappus Configuration, Laplacian spectrum

## Dezarg ve Pappus Konfigürasyonlarının Laplasyan Spektrumu Üzerine

### Öz

Bu makalede, Desargues ve Pappus konfigürasyonlarının Laplasyan spektrumlarını inceliyor ve bu hipergrafların bazı temel spektrum özelliklerini sunuyoruz.

**Anahtar Kelimeler:** Hipergraf, Desargue Konfigürasyonu, Pappus Konfigürasyonu, Laplasyan spektrum.

\* Corresponding Author: [akorkmaz@ogu.edu.tr](mailto:akorkmaz@ogu.edu.tr)

## 1. Introduction

Euler was the first to apply a graph technique to address the Seven Bridges of Königsberg puzzle in 1736. Sylvester first used the word "graph" in 1878. Graphs are widely utilized in many fields. Although graphs have undergone many developments in the first half of the 20th century, there is still much to learn about them and do with them in the domains of mathematics, physics, computer science, and many more. In Berge [1970, 1973] the author introduced hypergraphs as a tool to generalize the graph approach. While graphs contain only an edge between two points, hypergraphs can have multiple points on their edges. More details about hypergraphs can be found in most of the references cited throughout this article (Ouvrard, 2020).

A  $k$ -uniform hypergraph  $H$  is a pair  $(X, D)$  such that  $D$  is a subset of  $P_k(X)$ , the set of all  $k$ -subsets of a finite set  $X$ , where  $k$  is an integer and  $k \geq 2$ . Elements of  $X$  are called the vertices, while those of  $D$  are called the edges of  $H$ . A hypergraph  $H$  is said to be linear if every pair of distinct vertices of  $H$  is in at most one edge of  $H$ . The intersection graph of a hypergraph  $H = (X, E)$ , denoted by  $G(H)$ , is the graph where  $V(G(H)) = E$ , and  $E(G(H))$  is the set of all unordered pairs  $\{e, e'\}$  of distinct elements of  $E$  such that  $|e \cap e'| = 1$  in  $H$ , where  $|A|$  for any set  $A$  denotes its cardinality. The intersection graphs of graphs are called line graphs (Naik et.al, 1982).

Steiner systems have close relation with the  $k$ -uniform hypergraphs. Consider integers  $t, k$ , and  $n$  that satisfy the conditions:  $2 \leq t \leq k < n$ . A Steiner system, denoted as  $S(t; k; n)$ , is defined as a  $k$ -uniform hypergraph  $H = (X, D)$  comprising  $n$  vertices. In this hypergraph, for every subset  $T \subseteq X$  consisting of  $t$  elements, there exists precisely one hyperedge  $d \in D$  such that  $T \subseteq d$ . An illustrative example of a Steiner system is the complete graph  $K_n$ . Another noteworthy example is the Fano plane (Bretto, 2013), (Akça, et.al, 2006).

Researchers have explored the intersection of Steiner systems with algebraic geometry and commutative algebra (Braun et.al, 2016), (Ballico, 2020). They have established connections between two ideals in an appropriate polynomial ring, which define a Steiner configuration of points and its complement.

In 1953, Paige and Wexler introduced a form of the incidence matrix of a finite projective plane organized about a point line incident pair. This study is centered around examining the properties of the Laplacian matrix associated with a Steiner system. Laplacian matrices are semidefinite symmetric matrices and all of their eigenvalues are real numbers. The diagonal entries of each row are equal to the sum of the absolute value of the off-diagonal entries. Since each of the row sums of a Laplacian matrix is 0, the smallest eigenvalue of this matrix will always be 0 (Molitierno et al, 2011), (Paige et al, 1953).

The concept of the Laplacian integral hypergraphs get inspiration from Laplacian integral graphs. Research by Fallat et al. (2005) provided insights for describing graphs with distinctive integer eigenvalues in their exploration of the Laplacian spectrum of graphs. Also, it was shown that finite order projective planes are the Laplacian integrals (Zakiyyah, 2021).

In this study, the Laplacian spectrum of Desargues and Pappus configurations, which are examples of 3-uniform hypergraphs, is analyzed. It is shown that these hypergraphs are Laplacian integral, and the connectivity properties of these 3-uniform hypergraphs are provided.

## 2. Material and Method

This research is about the Laplacian spectrum of Desargues and Pappus configurations. First step is to analyze these hypergraphs, define their Laplacian matrices. The Laplacian matrix of a hypergraph provides information about the connectivity and relationships among vertices. Next step is to determine its spectrum. The spectrum of a matrix refers to its eigenvalues. The eigenvalues represent the important structural properties of the hypergraph. If all the eigenvalues of the Laplacian matrix are integers, it implies that the finite projective plane can be characterized as an integral Laplacian hypergraph.

## 3. The Laplacian Spectrum of Desargues Configuration

A Desargues configuration is a specific geometric configuration in projective geometry named after the French mathematician Girard Desargues. Although Desargues configurations and graph theory are two different mathematical concepts, they have connections and similarities, especially concerning the representation of geometric configurations as hypergraphs. A Desargues configuration consists of two triangles, typically labeled the reference triangle, the perspective triangle, and a central perspective point. These triangles are positioned so that certain lines connecting the corresponding vertices of the two triangles all intersect at the central point. In short, two triangles that are perspective from a center are also perspective from an axis. This is also known as Desargues' theorem (Grünbaum, 2009). The use of graph theory in this field has created a bridge between geometry and combinatorics, allowing mathematicians to construct, study and analyze Desargues configurations in a mathematical way.

The Desargues configuration has 10 vertices, 10 hyperedges, and each vertex is incident to 3 hyperedges, with every hyperedge containing 3 vertices, as illustrated in Figure 1. Because of these properties, the Desargues configuration is an example of a 3-uniform hypergraph. The point set of Desargues configuration is

$$P = \{v_1, v_2, \dots, v_{10}\}$$

and the lines are

$$L = \{\{v_1, v_3, v_8\}, \{v_1, v_2, v_9\}, \{v_1, v_4, v_7\}, \{v_6, v_7, v_8\}, \{v_5, v_6, v_{10}\}, \{v_3, v_4, v_6\}, \{v_2, v_4, v_5\}, \{v_5, v_7, v_9\}, \{v_8, v_9, v_{10}\}, \{v_2, v_3, v_{10}\}\},$$

(Figure 1).

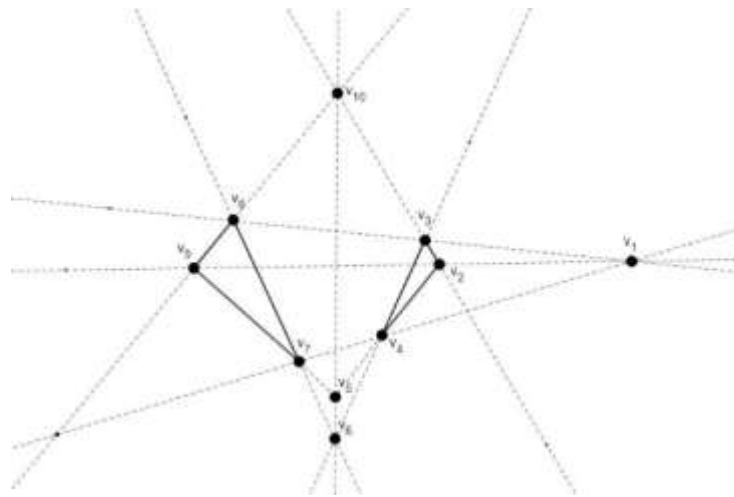


Figure 1. Desargues Configuration

**Theorem 3.1.** The spectrum of Desargues configuration consist of the eigenvalues  $-6$  with multiplicity of 1 and 4 with multiplicity of 9.

**Proof.** The spectrum of the Desargues configuration is obtained from Laplacian matrix  $L(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$ .  $L(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$  is calculated by subtracting the adjacency matrix  $A(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$  from the degree matrix  $Deg(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$ . The matrices  $A(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$  and  $Deg(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$  are

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ and } \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

respectively. From the equality  $L(\mathcal{D}_{\mathcal{H}}) = Deg(\mathcal{D}_{\mathcal{H}}) - A(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$ , the matrix  $L(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$  is determined as

$$\begin{pmatrix} 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 \end{pmatrix}$$

Since the characteristic polynomial of  $L(\mathcal{D}_{\mathcal{H}})$  is  $(x + 6)(x - 4)^9$ , the eigenvalues of this hypergraph are  $\lambda = -6$  with multiplicity of 1 and  $\lambda = 4$  with multiplicity of 9. This completes the proof.

**Corollary 3.1.** The hypergraph of the Desargues configuration is a Laplacian integral.

**Proof.** It is seen that from the previous theorem that the eigenvalues are integers; therefore, the hypergraph of the Desargues configuration is Laplacian integral.

**Theorem 3.2.** The eigenvectors corresponding to the Laplacian spectrum of Desargues configuration spans a linear vector spaces of 1 and 9-dimensions.

**Proof.** From the previous theorem it was proved that Laplacian spectrum of Desargues configuration consists of the eigenvalues  $-6$  and 4. The eigenspace spanned by the eigenvector  $(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)$  corresponding to the eigenvalue  $-6$  is a 1-dimensional linear space. The eigenspace corresponding to eigenvalue 4 is a 9-dimensional linear space spanned by the following the set of eigen vectors  $\{(-1,0,0,0,0,0,0,0,0,1), (-1,0,0,0,0,0,0,0,1,0), (-1,0,0,0,0,0,0,1,0,0), (-1,0,0,0,0,0,1,0,0,0), (-1,0,0,0,1,0,0,0,0,0), (-1,0,0,1,0,0,0,0,0,0), (-1,0,0,1,0,0,0,0,0,0), (-1,1,0,0,0,0,0,0,0,0)\}$ .

Here we can conclude the following: When a graph has a negative eigenvalue, especially for the Laplacian matrix, it means that the hypergraph is not fully connected. In other words, the hypergraph has at least two disjoint components or subgraphs.



### 4. The Laplacian Spectrum of Pappus Configuration

Like the Desargues configuration, the Pappus configuration is a well known geometric configuration in projective geometry, named after the Greek mathematician Pappus of Alexandria. It is a structure containing 9 points and 9 lines in the projective plane (Grünbaum, 2009). If we consider the Pappus configuration as a system of points and lines, we can see that every hyperedge contains 3 points and every point lies on 3 lines, which is an example of a 3-uniform hypergraph. The principles underlying the Pappus configuration, a classical problem in projective geometry, are relevant to a variety of fields including computer graphics, computer vision, engineering, robotics, architecture, CAD, network design and mathematical research. The Pappus configuration has an important place in these applications for understanding perspective, transformations and geometric relationships.

Pappus configuration has 9 vertices, 9 hyperedges, and each vertex is incident on 3 hyperlines and every hyperedge contains 3 vertices, as shown Figure 2. Because of these properties, the Pappus configuration is also an example of a 3-uniform hypergraph. The point set of Pappus configuration is  $P = \{A, B, C, A', B', C', X, Y, Z\}$  and the set of lines  $L$  is  $\{\{A, B, C\}, \{A', B', C'\}, \{X, Y, Z\}, \{A, X, B'\}, \{A, Y, C'\}, \{B, X, A'\}, \{B, Z, C'\}, \{C, Y, A'\}, \{C, Z, B'\}\}$ .

**Theorem 4.1.** The spectrum of Pappus configuration consists of the eigenvalues  $-5$  with multiplicity of 1 and 4 multiplicity of 8.

**Proof.** The spectrum of the Pappus configuration is obtained from Laplacian matrix  $L(\mathcal{P}_H)$ .  $L(\mathcal{P}_H)$  is calculated by subtracting the adjacency matrix  $A(\mathcal{P}_H)$  from the degree matrix  $Deg(\mathcal{P}_H)$ . The matrices  $A(\mathcal{P}_H)$  and  $Deg(\mathcal{P}_H)$  are

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ and } \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

respectively. From the equality  $L(\mathcal{P}_H) = Deg(\mathcal{P}_H) - A(\mathcal{P}_H)$ , the matrix  $L(\mathcal{P}_H)$  is found as

$$\begin{pmatrix} 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 3 \end{pmatrix}$$

Since the characteristic polynomial of  $L(\mathcal{P}_H)$  is  $(x + 5)(x - 4)^8$ , the eigenvalues of this hypergraph are  $\lambda = -5$  with multiplicity of 1 and  $\lambda = 4$  with multiplicity of 8. This completes the proof.

**Theorem 4.2.** The eigenvectors corresponding to the Laplacian spectrum of Pappus configuration spans the linear vector spaces of 1 and 8-dimensions.

**Proof.** From the previous theorem, it was proved that the Laplacian spectrum of Desargues configuration consists of eigenvalues  $-5$  and 4. The eigenspace spanned by the eigenvector  $\{1,1,1,1,1,1,1,1,1\}$  corresponding to eigenvalue  $-5$  is a 1-dimensional linear space. The eigenspace corresponding to eigenvalue 4 is a 8-dimensional linear space spanned by the vectors  $\{-1,0,0,0,0,0,0,0,1\}$ ,  $\{-1,0,0,0,0,0,1,0,0\}$ ,  $\{-1,0,0,0,0,1,0,0,0\}$ ,  $\{-1,0,0,0,1,0,0,0,0\}$ ,  $\{-1,0,0,1,0,0,0,0,0\}$ ,  $\{-1,0,1,0,0,0,0,0,0\}$ ,  $\{-1,1,0,0,0,0,0,0,0\}$ .

While the Pappus and Desargues configurations share some similarities, they differ in their geometric structure, incidence properties and the spaces they span. The Pappus configuration shows the perspective of points on axes, while the Desargues configuration builds a graph model about two perspective triangles. While these configurations are widely used in the field of projective geometry, in graph theory applications they form an example of a 3-uniform hypergraph.

### 5. Conclusions and Recommendations

In this study, the Laplacian spectrum and the properties of Desargues and Pappus configurations are investigated.

As a result, since the Laplacian eigenvalues of these structures are integers, they are Laplacian integral structures. Moreover, for the Desargues configuration, the eigenspace corresponding to the eigenvalue  $-6$  is a 1-dimensional linear vector space, while the eigenspace associated with the eigenvalue 4 is a 9-dimensional linear vector space. Similarly, in the case of a Pappus configuration, our analysis shows that the eigenspace for eigenvalue  $-5$  is 1-dimensional, while the eigenspace corresponding to eigenvalue 4 is a 8-dimensional linear vector space.

Since the eigenvalues of the Laplacian matrices provide information about the connectivity of graph models, it was observed that as the negative eigenvalues grow numerically, the connectivity of the graph model increases. Therefore, Pappus configuration was found to be more connected than Desargues configuration.

These results will contribute to the investigation of spectral properties in areas such as combinatorics, algebraic geometry, and coding theory.

## 6. Acknowledge

The author has declared no conflicts of interest.

## References

- Akça, Z., Günaltılı, I. & Özgür G. (2006 ). On the Fano subplanes of the left semifield plane of order 9. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 35(1), 55–61.
- Ballico, E., Favacchio, G., Guardo, E. & Milazzo, L.(2020). Steiner systems and configurations of points. *Designs, Codes and Cryptography*, 89, 199–219.
- Berge, C. (1970). Graphes et hypergraphes. *Dunod, Paris*.
- Berge, C. (1973). Graphs and hypergraphs. *North-Holland publishing company Amsterdam*, 7.
- Braun, M., Etzion, T., Ostergard, P., Vardy, A. & Wassermann, A. (2016). Existence of  $q$  – analogs of Steiner system. *Forum of Mathematics, Pi*, 4. doi:10.1017/fmp.2016.5
- Bretto, A. (2013). *Hypergraph theory: An introduction*. Mathematical Engineering, Springer.
- Fallat, S.M., Kirkland, S.J., Moliterno, J.J. & Neumann, M. (2005). On graphs whose Laplacian matrices have distinct integer eigenvalues. *Journal of Graph Theory*, 50(2), 162–174.
- Grünbaum, B. (2009). *Configurations of the Points and Lines, Graduate Studies in Mathematics*, American Mathematical Soc., 103.
- Moliterno, J.J., Fallat, M.S., Kirkland, S. & Neumann, M. (2005). On graphs whose Laplacian matrices have distinct integer eigenvalues. *Journal of Graph Theory*, 50(2), 162-174.
- Naik, N.R., Rao, S.B., Shrikhande S.S. & Singhi N.M. (1982). Intersection graphs of  $k$ -uniform linear hypergraphs. *European Journal of Combinatorics*, (3), 159–172.
- Ouvrard, X. (2020). Hypergraphs: an introduction and review. (arXiv:2002.05014). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.05014>
- Paige, L. & Wexler, C. (1953). A canonical form for incidence matrices of finite projective planes and their associated latin squares. *Portugaliae Mathematica*, 12(3), 105–112.
- Zakiyyah, A.Y. (2021). Laplacian integral of particular Steiner system. *Engineering, Mathematics and Computer Science Journal*, 3(1), 31–32.



# Investigation of Pollution Loads of Marmara Sea Discharge Points between Suleymanpaşa (Tekirdag) and Küçükçekmece Lake (İstanbul)

Zeki Ünal Yümün<sup>1\*</sup> Gamze Ekici<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Namık Kemal University, Çorlu Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, 59860 Çorlu, Tekirdağ, Turkey, [zyumun@nku.edu.tr](mailto:zyumun@nku.edu.tr), (ORCID: 0000-0003-0658-0416),

<sup>2</sup> Namık Kemal University, Çorlu Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, 59860 Çorlu, Tekirdağ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3811-6685), [gamze.ekc39@gmail.com](mailto:gamze.ekc39@gmail.com)

(First received 31 August 2023 and in final form 15 October 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10445273)

**ATIF/REFERENCE:** Yümün, Z. Ü. & Ekici, G. (2023). Investigation of Pollution Loads of Marmara Sea Discharge Points between Suleymanpaşa (Tekirdag) and Küçükçekmece Lake (İstanbul). *European Journal of Science and Technology*, (52), 294-301.

## Abstract

In this study, the pollution that may be caused by wastewater discharges into the Marmara Sea between Tekirdağ provincial campus and Küçükçekmece Lake (Istanbul) was investigated. The samples were taken and evaluated from the locations after the discharge points, before and after mixing with the sea. The pH, salinity, conductivity, dissolved oxygen, and inorganic pollutants (Cu, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, P, Hg, Fe, As, Mn, Zn, Al, Na, Mg, K, Ca, B, Bi, Sb) were examined. The parameters measured as a result of these investigations were evaluated according to the regulations of the Republic of Türkiye, Water Pollution Control Regulation, Properties of Domestic/Urban Wastewaters Allowable for Deep Sea Discharge and Characteristics of Industrial Wastewaters for Allowable Deep Sea Discharge. It was observed that most of the parameters did not exceed the limit values specified in the regulation, but the boron element was above the limit values in the samples taken from Büyükçekmece and Küçükçekmece lakes. The reason for this may be laundry bleach, soap, detergent wastes, reactants used in industry, and fertilizers and pesticides used in agricultural areas. In addition, it is thought that the high solubility of boron minerals in water causes the boron concentration to be high at the discharge points of water sources passing through domestic and industrial areas. As can be seen, the first reason for the pollution of the Sea of Marmara is the discharge of industrial and domestic wastewater into the sea without it being sufficiently treated. In addition, it is necessary to constantly monitor the Sea of Marmara, which is dense in terms of maritime traffic, and to prevent negative behaviors that may cause pollution. Furthermore, depending on the intensity of agricultural activities in neighboring land areas, it is seen that agricultural fertilization and agricultural spraying are impacting sea pollution.

**Keywords:** Heavy metal, ICP-OES, Pollution Load, Ship Traffic, Treatment, Streams, Sea of Marmara.

## Süleymanpaşa (Tekirdağ) - Küçükçekmece Gölü (İstanbul) Arası Marmara Denizi Deşarj Noktalarının Kirlilik Yüklerinin Araştırılması

### Öz

Bu çalışmada, Tekirdağ ili ile Küçükçekmece Gölü (İstanbul) arası Marmara Denizi'ne yapılan atıksu deşarjlarının denizde oluşturabileceği kirlenmeler araştırılmıştır. Numuneler, deşarj noktalarının denize karışmadan ve denize karıştıktan sonraki lokasyonlardan alınmıştır ve değerlendirilmiştir. Su numunelerinin pH, tuzluluk, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve inorganik kirleticiler (Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn) yönünden incelenmesi yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda ölçülen parametreler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Derin Deniz Deşarjına İzin Verilebilecek Evsel/Kentsel Atıksuların Özellikleri ve Derin Deniz Deşarjına İzin Verilebilecek Endüstriyel Atıksuların Özellikleri mevzuatlarına göre değerlendirilmiştir. Parametrelerin çoğunun yönetmelikte geçen sınır değerleri aşmadığı ancak Büyükçekmece ve Küçükçekmece göllerinden alınan numunelerde bor elementinin sınır değerlerin üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni evsel atıksulardan gelen çamaşır beyazlatıcı, sabun, deterjan atıkları, sanayide kullanılan reaktanlar ve tarım alanlarında kullanılan gübre ve tarım ilaçları olabilir. Ayrıca bor minerallerinin suda çözünürlüklerinin yüksek olması evsel ve sanayi alanlarından geçen su kaynaklarının deşarj noktalarında bor konsantrasyonunun yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Görüldüğü üzere Marmara Denizi'nin kirlenmesinin birinci nedeni sanayi ve evsel atık suların yeterince arıtılmadan denize deşarj edilmesidir. Bunun yanı sıra deniz trafiği açısından yoğun olan Marmara Denizi'nin sürekli izlenmesi ve kirlilik

\* Corresponding Author: [zyumun@nku.edu.tr](mailto:zyumun@nku.edu.tr)

oluşturabilecek olumsuz davranışların önüne geçilmesi gerekmektedir. Ayrıca komşu kara alanlarda tarımsal faaliyetlerin yoğunluğuna bağlı olarak tarımsal gübreleme ve tarımsal ilaç kullanımının da etkili olduğunu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır Metal, ICP-OES, Kirlilik Yükü, Gemi Trafığı, Arıtma, Akarsular, Marmara Denizi

## 1. Introduction

Due to the intensity of industrial and agricultural activities in the Marmara Region, its population is increasing enormously. The decrease in natural resources as a result of human consumption also brings environmental problems (Yümün and Kam 2021). Among the most important causes of pollution is the uncontrolled and illegal discharge of industrial or domestic waste into rivers, lakes, and seas. The pollution of surface and underground waters is caused by the transportation of domestic and industrial wastes, agricultural fertilizers and pesticides to the water environment (Önce et. al. 2021; Atlas and Büyükgüngör 2008). Many researchers (Yipel and Tekeli 2016; Yümün and Önce 2017; Dereli et. al. 2017) define water pollution as the presence of some organic, inorganic, radioactive or biological substances, to such an extent that it prevents water use or significantly reduces its quality. Polluted water discharged into the seas or other surface water environments poses a problem in the aquatic ecosystem. In particular when toxic elements reach harmful amounts by accumulating (bioaccumulation and/or bioaccumulation) in the tissues and organs of organisms that make up the food chain for many living things (Aktop and Çağatay 2020; Atabeyoğlu and Atamanalp 2010). As a result, the food chain and all other living things can be harmed. There are also many industrial establishments that can cause atmospheric pollution in the Marmara basin. This pollution density around the Marmara Sea leaves it vulnerable to atmospheric pollution loads. It is known that from time to time, industrial establishments in the region directly or indirectly discharge their waste into the environment without treatment, resulting in an increase in the pollution load in the Marmara Sea. The Marmara Sea, which is a waterway between the Aegean Sea and the Black Sea, carries pollutants to other seas with its currents. In particular pollutants suitable for bioaccumulation pose great dangers to the ecosystem (Taşdemir 2002). In recent years, many scientific studies have been carried out in order to detect the pollution in the seas and rivers and to take precautions (Özgür 2006; Yümün 2017; Yümün et. al. 2019; Tao et al. 2012).

Researchers have conducted many studies on the transport of pollution from terrestrial areas to the seas (Artüz 2002; Balkıs and Çağatay 2001; Çağatay 1996; Çağatay 2006; Dinçer et al. 2019; Kam and Önce 2016; Mülayim et al. 2011; Yümün and Kam 2021; Yümün and Önce 2017; Yümün 2017; Yümün et al. 2022; Yümün et al. 2023). Artüz (2002) conducted a due diligence by examining the ecology and ecological changes of the Marmara Sea and the straits. In the study conducted by Balkıs and Çağatay (2001) the factors controlling the metal distributions in the surface sediments of Erdek Bay of the Marmara Sea were examined and the precautions to be taken were emphasized. On the other hand, Dincer et al. (2019) examined intracontinental pollution by evaluating the total carbon (Tc), total organic carbon (Toc), inorganic carbon (Ic), total nitrogen (Tn) and Toc/Tn ratios. He stated that organic matter discharged into the seas should be reduced to prevent pollution. Çağatay et.al. (1996) investigated the distribution of carbonate and organic carbon contents in the Late Quaternary sediments of the Southern Marmara Shelf and emphasized its role in marine pollution. Çağatay et.al. (2006) prepared the sedimentary geochemistry map of the Marmara Sea and revealed the distribution of pollution in the sea. The accumulation and pollution potential of heavy metals in the current marine sediments between Bandırma (Balıkesir) and Lâpseki (Çanakkale) in the Marmara Sea were investigated by Kam and Önce (2016). Similar to the previous study, Mülayim et.al. (2011) also focused on the total metal distribution of the surface sediments of Bandırma and Erdek Bays. Yümün (2017) investigated a wide area covering the West of the Marmara Sea and examined the effect of heavy metal pollution of the current marine sedimentary on microorganisms (Foraminifers). In addition, heavy metal pollution in the West Marmara Sea was investigated by sediment evaluation methods. These studies were carried out not only for the Sea of Marmara, but also for other seas. One of these studies is "Monitoring Heavy Metal Pollution in Foraminifera from Edremit Bay (Northeast Aegean Sea)" by Yümün and Önce (2016). The detection of marine pollution and the precautions to be taken by scientists continued with different scientific research techniques. The heavy metal concentrations of the marine sediments of the Yalova Section of the Marmara Sea were measured by Yümün et al. (2022) using the libs method and the pollution was evaluated with the principal component analysis. Increasing pollution in the Sea of Marmara in recent years has led to the formation of mucilage in the sea and thus to significant environmental pollution. The reasons for the formation of mucilage and the solution methods were examined by Yümün and Kam (2021). Later, Yümün et.al. (2023) stated the methods of preventing mucilage by working on the Causes of Sea Saliva Composition in the Light of the Findings of Sea Saliva (Mucilage) Composition and Suggestions for Solutions in the Sea of Marmara. This study was carried out to determine the water quality in the western part of the Marmara Sea and the factors that change this water quality. Moreover, this study has created a scientific awareness to take precautions before marine pollution occurs.

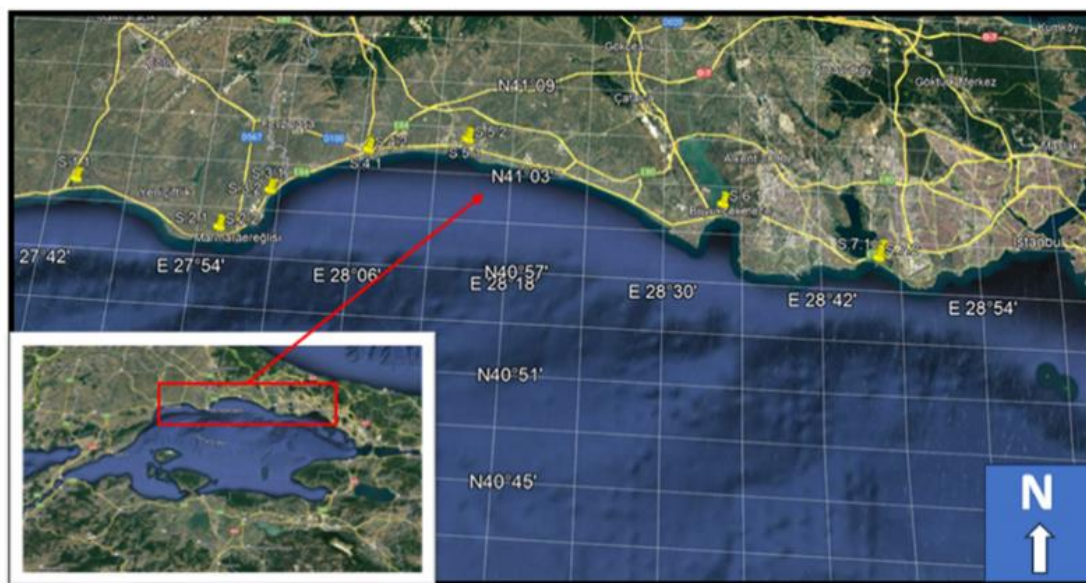
## 2. Material and Method

### 2.1. Collection of Samples

In this study, water samples were taken and analyzed to determine the pollution status of the Marmara Sea, which is between Süleymanpaşa (Tekirdağ) and Küçükçekmece (Istanbul). 14 water samples were taken from the sea water before and after the discharge into the sea (Figure 1). Coordinates of the 14 sampled points are shown in Table 1. Samples were collected using 0.5-1.5L sterile plastic bottles. The sample cup was first washed 2-3 times by shaking with the water in the environment where the water sample was to be taken, and then the sample was taken. Care was taken to avoid any air between the lid and the water sample in the sample container. TS EN ISO 5667-3 March 2007 Standards have been applied in the collection, preservation, and transportation of water samples. According to this standard, water samples were taken by immersing the sample cups approximately 30-40 cm from the water surface. For chemical analysis, sample volumes specified in the TS EN ISO 5667-3 standard and appropriate sample containers were used and the containers were labeled with the sample names. Water samples taken in 1.5L plastic pet bottles were stored at +4°C until measurement. Analysis



of organic and inorganic pollutants (Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn) were made by 'Tekirdağ Namık Kemal University Central Research Laboratory NABİLTEM.



*Figure 1. Study area location map*

*Table 1. Coordinates of the work area*

SAMPLE LOCATION	GEOGRAPHIC COORDINATES	
	X	Y
<b>S 1.1 : Yenice District</b>	41° 0'44.10"K	27°43'44.60"D
<b>S 2.1 : Kum Stream</b>	40°58'11.50"K	27°55'35.00"D
<b>S 2.2 : Kum Stream</b>	40°58'11.15"K	27°55'33.68"D
<b>S 3.1 : Kınıklı Stream</b>	41° 0'38.20"K	27°59'7.70"D
<b>S 3.2 : Kınıklı Stream</b>	41° 0'40.47"K	27°59'9.82"D
<b>S 4.1 : Çeltik Yolu District</b>	41° 3'37.80"K	28° 6'23.60"D
<b>S 4.2 : Çeltik Yolu District</b>	41° 3'37.15"K	28° 6'23.80"D
<b>S 5.1 : Tuzla Stream</b>	41° 4'39.90"K	28°14'8.20"D
<b>S 5.2 : Tuzla Stream</b>	41° 4'38.73"K	28°14'8.70"D
<b>S 6.1 : Büyükçekmece Lake</b>	41° 1'17.90"K	28°34'24.15"D
<b>S 7.1 : Küçükçekmece Lake</b>	40°58'39.90"K	28°46'28.80"D
<b>S 7.2 : Küçükçekmece Lake</b>	40°58'37.80"K	28°46'29.50"D

## 2.2. Sample Analysis

As soon as the samples were taken, their physical properties such as salinity, conductivity, dissolved oxygen, and pH were measured instantly. Other samples taken for organic matter and chemical analysis were preserved in accordance with the standards and brought to Tekirdağ Namık Kemal University Central Research Laboratory. Detection of inorganic contaminants in water samples was carried out using an Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) device (Cu, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, P, Hg, Fe, As, Mn, Zn, Al, Na, Mg, K, Ca, B, Bi, Sb) (Yümün and Önce Nişancıoğlu 2023). The measurement method with the ICP-OES device is based on the measurement of the emission of atoms excited by passing into the gas phase by spraying the sample into the high-temperature plasma (Yümün, 2017, Yümün and Önce, 2017, Yümün et. al. 2021). The sample in the solution state is sprayed into the plasma at a temperature of about 6,000-10,000 °C, and in this process the sample passes into the gas phase. Atoms that pass into the gas



phase enter the excited state in the plasma. The measurement method is based on the principle of determining the amount of elements in the solution by measuring the radiation emitted by the excited atoms in the plasma with a suitable detector (Akdemir 2014).

### 2.3. Legal Framework and Discharge Standards

According to Article 56 of the Constitution of the Republic of Türkiye: “all people have the right to live in a healthy and balanced environment. It is the responsibility of the state and citizens to ensure the development of the natural structure of the environment and to take measures against the pollution of the environment.” The general quality criteria of sea water from the seas have been determined in the Regulation on Water Pollution Control (table 2), and the chemical and physical properties of sea water have been determined and correlated. It has been interpreted by making use of the element concentrations obtained from the samples, General Quality Criteria of Sea Water (Regulation 1, Table-4), Discharge Standards of Mixed Industrial Wastewaters to the Receiving Environment (Regulation 1, Table 19), Wastewater Standards for Discharge of Wastewater to Wastewater Infrastructure Facilities (Regulation 1, Table 22) and " List of Harmful Substances that are Forbidden to be Dumped into Inland Waters and Seas, and Acceptable Values of the Receiving Environment" (Regulation 2, ANNEX-5) given in ANNEX-5 of the Fisheries Regulation (Official Gazette dated 10.03.1995 and numbered 22223).

**Table 2. General Quality Criteria of Sea Water (Regulation 1, Table-4)**

PARAMETER	CRITERIA	DESCRIPTIONS
PH	6.0-9.0	-
COLOR AND TURBENCE	Natural	It should be such that the photosynthetic activity necessary for natural aquatic life does not affect the normal value at measurement depth by more than 90%.
FLOATING MATERIAL	-	Liquids such as oil, tar-like liquids and solids such as garbage cannot be found floating.
SUSPENDED SOLID (MG/L)	30	-
DISSOLVED OXYGEN (MG/L)	More than 90% of saturation	Dissolved oxygen values should be monitored throughout the depth.
DEGRADABLE ORGANIC CONTAMINANTS	-	After dilution, it should not be in an amount that would endanger the presence of dissolved oxygen more than the value predicted above.
CRUDE OIL AND OIL DERIVATIVES (MG/L)	0.003	Water should be evaluated separately in biota and sediment and preferably not found at all.
TOTAL PHENOLS (MG/L)	0.001	It should not be more than the given limit values
VARIOUS HEAVY METALS		It should not be more than the given limit values
COPPER, (MG/L)	0.01	It should not be more than the given limit values
CADMIUM, (MG/L)	0.01	It should not be more than the given limit values
CHROMIUM, (MG/L)	0.1	It should not be more than the given limit values
LEAD, (MG/L)	0.1	It should not be more than the given limit values
NICKEL, (MG/L)	0.1	It should not be more than the given limit values
ZINC, (MG/L)	0.1	It should not be more than the given limit values
MERCURY, (MG/L)	0.004	It should not be more than the given limit values
ARSENIC, (MG/L)	0.1	It should not be more than the given limit values
AMMONIA, (MG/L)	0.02	It should not be more than the given limit values

### 3. Results and Discussion

Table 3 shows the ICP-OES measurement results of the water samples at the locations between Süleymanpaşa (Tekirdağ) and Küçükçekmece Lake (Istanbul) that flow into the Marmara Sea and whose coordinates are given in Table 1. All the results obtained were evaluated according to the limit values of the elements in the aquatic environment specified in the relevant articles of the Turkish Republic Water Pollution Control Regulation and the Fisheries Regulation (given in Table 3). Concentration values of (Cu, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, P, Hg, Fe, As, Mn, Zn, Al, Na, Mg, K, Ca, B, Bi, Sb) elements were analyzed with ICP-OES in the water samples taken. Al, Fe, B, Zn, Mn and Cu values were measured in the analysis, but it was determined that other elements were below the measurement values. Laboratory analysis results were interpreted by comparing the regulations applied in the Republic of Türkiye. In the analysis results given in Table 3, the distributions of each element according to the locations were examined. The Aluminum (Al) concentration of the Küçükçekmece Lake (0.025- 0.031 ppm) samples is lower than the regulation values (0.07 mg/L), and the Al concentrations of the other samples are higher than the regulation values. Boron (B) concentration detected in the Marmara Sea Water sample from Yenice Mevkii (S.1.1.: 0.39 ppm) and Tuzla Stream samples (S.5.1.: 0.53 ppm) are below the regulation values (0.70 ppm). The boron element concentration detected in all samples taken at other locations is higher than the regulation limits. The fact that the boron element is very high in the Marmara Sea samples, and especially in the Büyükçekmece and Küçükçekmece lakes, also indicates the boron accumulation and evaporation in the sea due to industrial waste. Copper (Cu) element was found below the regulation values (3.00 ppm) in all of the Marmara Sea and discharge waters. The Iron (Fe) concentration values of all locations are much higher than the regulation values (0.003 ppm). This shows that it is caused by the waste arising from the

industrial activities and ship traffic around the Marmara Sea. Manganese (Mn) concentration is lower than the regulation values (1.00 mg/L) in all locations. Zinc (Zn) concentrations of Marmara Sea Water (0.009 ppm), Kum Stream (0.001 ppm) and Kum Stream Discharge Point (0.001 ppm) samples from Yenice Mevkii are below the regulation value (0.10-10.00 mg/L). Zinc concentrations from other locations are higher than regulatory values. The high Zn values of the rivers in locations with high Zn concentrations cause us to draw attention to the wastewater discharged into these waters. It also shows that agricultural fertilization and pesticides are effective depending on the intensity of agricultural activities in neighboring land areas. Elements enriched in the soil as a result of agricultural fertilizers and pesticides are transported to rivers and seas through surface runoff.. The analysis results of the study were also visualized and interpreted in the graph given in Figure 2. Here too, although the boron element is high in almost all locations, the fact that the values in sea water are higher than in the discharge waters is a remarkable finding. This situation, which points to the excess of evaporation in Büyükçekmece and Küçükçekmece lakes, indicates that these locations may be boron deposits in the future. This situation shows that the sea is also polluted by other sources than the discharge water.

Table 3. Analysis results of the elements measured with the ICP-OES device

SAMPLE	TYPE	AL	B	CU	FE	MN	ZN
S.1.1. MARMARA SEA WATER IN YENICE LOCATION	1	0.427	0.387	0.114	0.359	0.346	0.009
	2	0.419	0.400	0.326	0.387	0.372	0.085
	<Average>	0.423	0.394	0.220	0.373	0.359	0.086
S.2.1. Kum Stream	1	0.219	0.761	0.000	0.179	0.019	0.000
	2	0.222	0.754	0.000	0.182	0.021	0.000
	<Average>	0.221	0.758	0.000	0.180	0.020	0.000
S.2.2. Kum Stream D.P.	1	0.268	1.299	0.000	0.250	0.032	0.000
	2	0.244	1.312	0.000	0.226	0.032	0.000
	<Average>	0.256	1.305	0.000	0.238	0.032	0.000
S.3.1. Kınıklı Stream	1	0.322	1.837	1.421	0.351	0.063	0.148
	2	0.322	1.964	1.728	0.369	0.071	0.140
	<Average>	0.322	1.901	1.575	0.360	0.067	0.144
S.3.2. Kınıklı Stream D.P.	1	0.281	0.725	0.755	0.311	0.141	0.156
	2	0.281	0.731	0.189	0.318	0.141	0.154
	<Average>	0.281	0.728	0.472	0.314	0.141	0.155
S.4.1. Çeltik Water	1	0.238	1.470	0.000	0.233	0.144	0.147
	2	0.258	1.466	0.000	0.252	0.145	0.145
	<Average>	0.248	1.468	0.000	0.243	0.145	0.146
S.4.2. Çeltik Water D.P.	1	0.213	1.700	0.000	0.214	0.136	0.156
	2	0.233	1.715	0.000	0.233	0.137	0.155
	<Average>	0.223	1.707	0.000	0.223	0.136	0.156
S.5.1. Tuzla Stream	1	0.127	0.533	0.000	1.037	0.252	0.045
	2	0.089	0.524	0.000	0.711	0.236	0.088
	<Average>	0.108	0.528	0.000	0.874	0.244	0.061
S.5.2. Tuzla Stream D.P.	1	0.119	1.235	0.000	1.047	0.202	0.087
	2	0.085	1.236	0.000	0.710	0.195	0.101
	<Average>	0.102	1.236	0.000	0.878	0.199	0.094
S.6.1. Büyükçekmece Lake	1	0.182	2.786	0.636	0.071	0.023	0.058
	2	0.081	2.726	0.780	0.069	0.023	0.071
	<Average>	0.131	2.756	0.708	0.070	0.023	0.065
S.7.1. Küçükçekmece Lake	1	0.026	2.941	0.000	0.023	0.008	0.025
	2	0.024	2.977	0.000	0.020	0.008	0.026
	<Average>	0.025	2.959	0.000	0.021	0.008	0.025
S.7.2. Küçükçekmece Lake	1	0.035	2.901	0.000	0.025	0.008	0.105
	2	0.028	2.910	0.000	0.021	0.008	0.086
	<x>	0.031	2.906	0.000	0.024	0.008	0.096
LOD		0.00048	0.00161	0.00201	0.00106	0.00052	0.00157
LOQ		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
*		-	-	-	0.10	-	0.01
**		0.07	0.70	3.00	0.003	1.00	0.01
***		-	10.00	-	5.00	-	3.00
****		-	-	-	10.00	-	2.00

Limit Of Observation (Lod) = 3 X Standard Deviation Value Limit Of Detection (Loq) = 10 X Standard Deviation Value. (Sda: Below Detectable Values), D.P.: Discharge Point

\* General Quality Criteria of Sea Water (Regulation 1, Table-4)

\*\* Harmful Substances That Are Forbidden To Be Poured Into Inland Waters And Seas And The Acceptable Values Of The Receiving Environment (Regulation 2, Annex-5)

\*\*\* Discharge Standards of Mixed Industrial Wastewaters to the Receiving Environment (Small and Large Organized Industrial Zones and Other Industries whose Sector Cannot Be Determined) (Regulation 1, Table 19)

\*\*\*\* Wastewater Standards For Discharge Of Wastewater To Wastewater Infrastructure Facilities (Regulation 1, Table 22)

The instantaneous pH, dissolved oxygen, salinity, and conductivity values of the water samples belonging to the study area are shown in Table 4. Locations with low dissolved oxygen have low pH values, and locations with high oxygen values have high pH values. It is known that the specific electrical conductivity (standardized electrical conductivity at 25°C), which is an indicator of the total ion content of seawater, varies between 51,750 and 55,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Özyurt et al., 2001). In locations where salinity is high, electrical conductivity is high. The low pH value in locations with high electrical conductivity is striking. Since the electrical conductivity depends on the ion concentration, it also changes the acidity of the environment. Electrical conductivity can be considered as one of the preliminary evaluation parameters for the determination of pollution in aquatic environments.

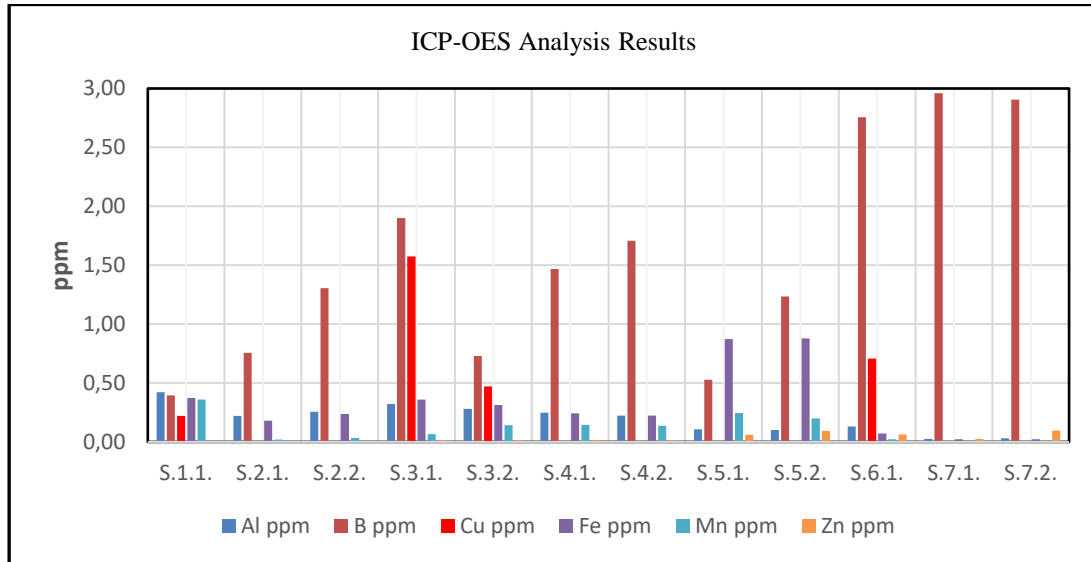


Figure 2. Elemental Analysis Results of Water Samples (ICP-OES Analysis Results)

Table 4. pH, dissolved oxygen, salinity, conductivity values of water samples

SAMPLE LOCATIONS	PH	DISSOLVED OXYGEN (MG/L)	SALINITY (%)	CONDUCTIVITY MS/CM
S 1.1	8.01	5.9	3.01	52350
S 2.1	8.21	8.7	2.75	49850
S 2.2	7.95	5.7	2.96	48550
S 3.1	7.99	7.8	2.81	51500
S 3.2	7.95	5.1	2.80	50960
S 4.1	8.16	8.6	2.75	53500
S 4.2	7.89	6.1	2.98	54120
S 5.1	8.16	7.5	3.13	52300
S 5.2	8.01	6.6	2.86	50850
S 6.1	7.59	6.9	3.07	52050
S 7.1	8.05	6.2	2.89	51200
S 7.2	8.13	6.9	2.88	51850
AVERAGE	8.01	5.94	2.91	51590

Although most of the sea waters have salinity values of 3.0% to 3.7%, the salinity rate of the seas varies around the world. In this study, salinity values in the Northeast of the Sea of Marmara are between 2.75% and 3.13%. The reason for the low salinity here can be shown to a large extent by the surface water flows from the Black Sea to the Marmara Sea. It is known that the pH value of ocean and sea waters varies between 7.5 and 8.4. In this study, pH values are between 7.95 and 8.7. Here, again, the effect of diluted sea water coming from the Black Sea can be seen. Although the saturated dissolved oxygen (DO) values in the Black Sea between 2014-2019 are 6.5-7.5 mg/L, the average value is 6.2 mg/L (Yümün and Önce-Nişancıoğlu 2023). In the Mediterranean, surface water dissolved oxygen concentration values in the summer period are in the range of 4.20-8.33 mg/L, with an average of 7.0 mg/L (Salt and Tanaş 2017). Although the dissolved oxygen (DO) values measured in the coastal and open surface waters of the Aegean Sea vary between 4.1 and 8.0 mg/L during the summer period, the average value is determined as 6.9 mg/L (Salt and Tanaş 2017). In the measurements made in the Marmara Sea during the summer period, the Dissolved Oxygen Ratio is 6.5-8.0 mg/L and the average value is 6.8 mg/L (Salt and Tanaş 2017). Within the scope of this study, while the oxygen values measured in the Northeast of the Marmara Sea ranged between

5.94 and 6.9 mg/L, this value was measured between 7.5-8.7 mg/L in the stream samples pouring into the same locations. Although the water discharged into the sea here is polluted, the high oxygen values are a remarkable result.

#### **4. Conclusions and Recommendations**

Pollution can harm all living creatures in or around the aquatic environment in which it lives, and it also prepares the environment for the extinction of some species and living communities. One of the most important causes of pollution of aquatic environments is the direct or indirect discharge of waste that may have toxic effects on the aquatic environment. Apart from this, the mixing of calcium, sodium, magnesium, iron, and other main and trace elements, which exist in nature and mix with water naturally, into water in higher amounts than the standards are among the causes of pollution. Consumption of dissolved oxygen in water by animal and plant species can also create a situation for pollution in the environment. Depending on the prevalence of the discharge points of the waste waters that may pollute the aquatic environment, the pollutions are considered as point pollution and diffuse pollution. In this study, samples were taken from seven locations in the north of the Marmara Sea in order to investigate whether the pollution is widespread or punctual. For the measurement of pollution, chemical and physical analysis were made and the results were evaluated.

Pollutants cause physical and chemical changes in water. While there are physical changes in color, turbidity, suspended matter, odor and taste, chemical pH, oxygen content, conductivity and chemical substance concentrations change. For this reason, pH, Dissolved Oxygen, Salinity, Conductivity and chemical contents of the water samples were measured and the results were evaluated according to "T.R. Ministry of Agriculture and Rural Affairs, fisheries license permit for real persons, harmful substances that are forbidden to be poured into inland waters and production areas in the seas, and the list of acceptable values pertaining to the receiving environment".

The analysis of the samples taken shows that pollution in the Sea of Marmara is more common than pointwise. Except for Küçükçekmece Lake (0.025- 0.031 ppm) Aluminum (Al) concentration, the Al concentrations of the other samples are higher than the regulation values. Boron (B) concentrations in the waters of the Marmara Sea and Tuzla Stream in Yenice District are below the regulation values (0.70 ppm) and higher than the regulation limits in other locations. The fact that the boron element is very high in the Marmara Sea and in Büyükçekmece and Küçükçekmece lakes indicates evaporation and boron accumulation in the sea. The reason for this increase in boron value is that our country is rich in boron mines and boron mines reach the seas by mixing with water in various ways (Kalafatoğlu et al. 1997). Copper element was found below the standards in all of the Marmara Sea and discharge waters. Iron (Fe) concentration values are higher than the regulation values. The high level of iron is thought to be due to industrial activities in the land areas adjacent to the Marmara Sea, as well as ship traffic and waste. On the other hand, the manganese concentration is below the regulation values in all locations. At the discharge point of Marmara Sea Water, Kum Stream, and Kum Stream in the Yenice Region, Zinc concentration is lower than the regulation value and very high in other locations.

In this study, the salinity values vary between 2.75-3.13‰, and the locations with low salinity values are mostly the discharge points of rivers to the sea. It has been observed that the electrical conductivity is also low in locations where salinity values are low. The quality levels of the surface waters pouring into the sea between Tekirdağ-Küçükçekmece lake are moderate. Further increase in these values will increase the pollution level of the Sea of Marmara, so it would be beneficial to keep it under control. As can be seen, the first reason for the pollution of the Sea of Marmara is the discharge of industrial and domestic wastewater into the sea without it being sufficiently treated. In addition, it is necessary to constantly monitor the Sea of Marmara, which is dense in terms of maritime traffic, and to prevent negative behaviors that may cause pollution.

In addition, the analysis shows that agricultural fertilization and pesticides have an impact depending on the intensity of agricultural activities in neighboring land areas. Elements enriched in the soil as a result of agricultural fertilizers and pesticides are carried to rivers and seas by surface transport. Although the boron element is high in almost all locations, it is a remarkable finding that the values in sea water are higher than in the discharge waters. This situation, which points to the excess of evaporation in Büyükçekmece and Küçükçekmece lakes, indicates that these locations may be boron deposits in the future. This situation shows that the sea is also polluted by other sources than discharge water.

#### **5. Acknowledge**

I would like to thank to Dr.Melike Önce Nişancıoğlu for her efforts during the laboratory investigations of this study.

#### **References**

- Aktop, Y. and Çağatay, İ. T., (2020). Accumulation and Effects of Heavy Metals in Fish. *Menba Kastamonu University Faculty of Fisheries Journal*, 6(1), 37-44. (In Turkish)
- Akdemir, F., (2014). XRF and Trace Element Analysis of Water and Sediment of Lake Van with ICP-OES Techniques. PhD Thesis, Atatürk University, Institute of Science and Technology, Erzurum. (In Turkish)
- Artüz, L. M., (2002). Ecology of Marmara and Straits and Changes. *BU Marine Technology Symposium*, February.
- Atabeyoğlu, K. and Atamanalp M., (2010). Heavy Metal Studies on Molluscs (Molluska). *Ataturk University Journal of Veterinary Sciences*. 5 (1): 35-42.
- Atlas, L. and Büyükgüngör, H., (2008). Heavy Metal Pollution in the Black Sea Shore and offshore of Turkey, *Environmental Geology*, 52, 475.
- Balkis, N. and Çağatay, M.N., (2001). Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey, *Environment International*, vol.27, pp. 1-13.

- Çağatay, M.N., Algan, O., Balkıs, N., Balkıs, M., (1996). Distribution of carbonate and organic carbon contents in Late Quaternary sediments of the Southern Marmara Shelf, Turkish Journal of Marine Sciences, vol.2, pp. 67 –83, 1996.
- Çağatay, M. N., Balkıs N., Sancar Ü., Çakır Z., Yücesoy F., Eryılmaz M., Sarı E., Erel L., Akçer S., and Biltekin D., Sedimentary geochemistry map of the Marmara Sea, Tübitak Project, 103Y053, Istanbul, 2006.
- Diñçer, A.R, Yumun, S., Önce, M., Yümün, Z.Ü., (2019). Investigation Of Inland Pollution Using Total Carbon (Tc), Total Organic Carbon (Toc), Inorganic Carbon (Ic), Total Nitrogen (Tn) And Toc/Tn Ratios. Applied Ecology And Environmental Research.17(6). 14751-14765.
- Kalafatoğlu, E., Örs, N. , Özdem, R.S.S., Koral, M., B-L-R F., (1997). Treatment of Wastewater of Boron Compounds Production Facilities. TÜBİTAK-MKE, Publication No: KM294. (In Turkish)
- Kam, E. and Önce, M., (2016). Pollution potential of heavy metals in the current sea sediments between Bandırma (Balıkesir) and Lapseki (Canakkale) in the Marmara Sea. Journal of Engineering Technology and Applied Sciences. 3(1). 141-148.
- Dereli, M. E., Ertürk, A., Çakmakçı, M., (2017). The Effect Of Heavy Metals In Surface Water And Their Relationship With Eutrophication. Turkish Journal Of Aquatic Sciences. 32(4): 214-230.
- Mülayım, A., Balkıs, N., Balkıs, H. and Aksu A., (2011). Distributions of total metals in the surface Sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey”, Toxicological and Environmental Chemistry , vol.94, no.1, pp. 56-69.
- Önce, M., Balnan, İ. and Kam, N., (2021). Determination of Heavy Metal Distribution of Yenikapı (Istanbul) Sea Sediments Using Libs Method. European Journal of Science and Technology.22, 60-64.
- Özgür, S., (2006). Investigation of Pollution Loads of the Marmara Sea Basin. Degree Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gebze. (In Turkish)
- Özyurt, N.N., Bayarı, C.S., Doğdu, M., Arıkan, A., (2001), Processes affecting physical and chemical properties of sea water in Akkuyu Bay (Mersin). Journal of Earth Sciences, 24, 113-126. (In Turkish)
- Tao, Y., Yua, Z., Xiaona, H., Wei, M., (2012). Distribution and bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment from Taihu lake, China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 81, 55-64.
- Taşdemir, Y., (2002). Sea of Marmara: Pollutants and Measures to be Taken for the Environment. Uludag University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 7: 39-45. (In Turkish)
- Yipel, M., Tekeli, İ.O., (2016). Investigation of Heavy Metal Pollution of Surface Water Resources Spilled into the Sea between İskenderun-Samandağı. Fırat University Journal of Health Sciences and Veterinary Medicine, 30 (2): 107-112.
- Yümün, Z.Ü. and Kam, E. (2021). Mucilage Problem and Solution Methods in The Sea Of Marmara. 163. Ecology of the Marmara Sea: Formation and Interactions of Marine Mucilage, and Recommendations for Solutions. Turkish Academy of Science.
- Yümün, Z.Ü., Kam, E., Diñçer, A.R., Önce, M., Yümün, S., (2021). The Investigation o Toxic Element Pollution and Radioactivity Analyses of Marine Sediments in the Gulf of Gemlik (Bursa, Turkey).
- Yümün, Z. Ü., Ashlyüksek, H., Yentür, M. M., & Önce M., (2022). Measurement of Heavy Metal Concentrations of Marine Sediments in Yalova Section of Marmara Sea By Libs Method And Evaluation Of Pollution By Principal Component Analysis. Journal of Cihannuma Technology Engineering and Natural Sciences Academy, 1(1), 101-117.
- Yümün, Z.Ü. and Önce, M., (2017). Monitoring Heavy Metal Pollution İn Foraminifera From The Gulf Of Edremit (Northeast Aegean Sea) Between İzmir, Balıkesir And Çanakkale (Turkey), Journal of African Earth Sciences, Volume 130, Pages 110-124.
- Yümün, Z. Ü., (2017). The Effect Of Heavy Metal Pollution On Foraminifera In The Western Marmara Sea (Turkey). Journal of African Earth Science. 129, 346-365.
- Yümün, Z. Ü., Kam, E. and Önce, M., (2023). “The Reasons for Salivation and Solution Suggestions in the Light of the Findings of Sea Snail (Mucilage) Composition in the Marmara Sea”. Journal of Environmental Urbanism and Climate.Yıl: 2. Sayı: 3. ss. 98-115. (In Turkish)
- Yümün, Z. U., Kam, E., Önce, M., (2019). Analysis of Toxic Element With Icp-Oes and libs Methods in Marine Sediments Around the Sea of Marmara in Kapıdağ Peninsula. Journal of Engineering Technology and Applied Sciences. 4(1). 43-50.
- Yümün, Z.Ü. and Önce-Nişancıoğlu, M., (2023). The role of organic and inorganic substances in sediment pollution in the Marmara Sea between Gemlik (Bursa) and Bandırma (Balıkesir) and their effect on foraminifera. Applied Ecology And Environmental Research 21(4):3363-3390.
- TS EN ISO 5667-3 Mart 2007 Water Quality-Sampling-Part 3: Guidelines for Conservation, Transport and Storage of Water Samples. (In Turkish)
- Satılmış, M. M. and Tanas, A.R., (2017), Integrated Marine Pollution Monitoring Program 2014-2016 Marmara Sea Summary Report, TÜBİTAK MAM Printing House. Gebze/Kocaeli, 5148704 (ÇTÜE.16.330). (In Turkish)
- T.R. Regulation -1: (Change: RG-17/12/2022-32046). Water Pollution Control Regulation, Characteristics of Domestic/Urban Wastewaters Allowable for Deep Sea Discharge and Characteristics of Industrial Wastewaters for Allowable Deep Sea Discharge. (In Turkish)
- T.R. Regulation -2: Fisheries Regulation # (3) (10.03.1995-22223 Official Gazette): APPENDIX-5: List of Harmful Substances Prohibited to be Poured into Inland Waters and Production Places in the Seas and Acceptable Values of the Receiving Environment, 2- Acceptable Values of the Receiving Environment, A- Chemical Substances, (In Turkish)