



# DÜFED

ISSN: 2146 - 4693  
e-ISSN: 2458 - 9330

**Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**  
Dicle University Journal of the Institute of Natural and Applied Science

<https://derglpark.org.tr/tr/pub/dufed>

**Cilt** [Volume] **10**  
**Sayı** [Issue] **2**  
**Aralık** [December] **2021**



# DÜFED

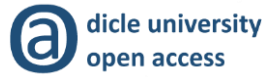
**DİCLE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ**

*DICLE UNIVERSITY JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE*

**CİLT / VOLUME 10 SAYI / ISSUE 2 30 ARALIK / DECEMBER 2021**

**ISSN: 2146 - 4693**  
**e-ISSN: 2458 - 9330**

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



**Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ceylan Enstitüler Binası**  
**21280 - DİYARBAKIR**  
**Tel: +90 412 241 10 00 Dahili: 8450**  
**e-postalar: fbedergi@dicle.edu.tr / dufed@dicle.edu.tr**

**DİCLE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ**  
*DİCLE UNIVERSITY JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE*

**CİLT / VOLUME 10 SAYI / ISSUE 2 30 ARALIK / DECEMBER 2021**

**ISSN: 2146 - 4693**  
**e-ISSN: 2458 - 9330**

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

**Sahibi / Owner**

**Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ**  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.  
Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye  
nesdalkilic@gmail.com / neslidal@dicle.edu.tr

**Baş Editör / Editor-in-Chief**

**Prof. Dr. Ayhan BEKLEYEN**  
Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye  
ayhan.bekleyen@gmail.com / bekleyen@dicle.edu.tr

**Baş Editör Yardımcıları / Co-Editors-in-Chief**

**Dr. Öğr. Üyesi Mesut HÜSEYİNOĞLU**  
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye  
mesuth@dicle.edu.tr

**Dr. Hüseyin ACAR**  
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye  
hacar@dicle.edu.tr

**Basım Yeri / Printing**  
Dicle Üniversitesi Basımevi, Diyarbakır

**Yayın Kurulu / Editorial Board**

**Prof. Dr. Şengül ÖYMEN GÜR**

Beykent Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, senguloymen@beykent.edu.tr

**Prof. Dr. Jamal M. KHATIB**

Beyrut Arap Üniversitesi, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü, Beyrut, Lübnan, j.khatib@bau.edu.lb

**Prof. Dr. Aysu AKALIN**

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye, aysuakalin@gazi.edu.tr

**Prof. Dr. Nicoleta GILLICH**

Babeş-Bolyai Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Resita, Romanya, nicoleta.gillich@ubbcluj.ro

**Prof. Dr. Akın BAYSAL**

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, akinb@dicle.edu.tr

**Dr. Sevinj N. OSMANOVA**

Khazar Üniversitesi, Kimya ve Kimya Mühendisliği Bölümü, Bakü, Azerbaycan, sevinj.osmanova@khazar.org

**Prof. Dr. Yeliz PEKBEBEY**

Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, yeliz.pekbey@ege.edu.tr

**Doç. Dr. Carlo CIULLA**

Epoka Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tiran, Arnavutluk, cciulla@epoka.edu.al

**Doç. Dr. Özlem TONÇER**

Dicle Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toncer@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Muzaffer DENLİ**

Dicle Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, denlim@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. İsmail Naci CANGÜL**

Uludağ Üniversitesi, Matematik Bölümü, Bursa, Türkiye, cangul@uludag.edu.tr

**Prof. Dr. Zekai ŞEN**

İstanbul Medipol Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, zsen@medipol.edu.tr

**Dr. Mohd Sayuti BIN AB KARIM**

Malaya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kuala Lumpur, Malezya, mdsayuti@um.edu.my

**Prof. Dr. Leyla Sezen TANSI**

Çukurova Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye, lsezen@cu.edu.tr

**Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK**

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toprakzf@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. D. Türkan KEJANLI**

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, turkanak@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Kadir TURAN**

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, kturan@dicle.edu.tr

**Danışma Kurulu / Advisory Board**

**Prof. Dr. Şengül ÖYMEN GÜR**

Beykent Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, senguloymen@beykent.edu.tr

**Prof. Dr. İsmail Naci CANGÜL**

Uludağ Üniversitesi, Matematik Bölümü, Bursa, Türkiye, cangul@uludag.edu.tr

**Prof. Dr. Zekai ŞEN**

İstanbul Medipol Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, zsen@medipol.edu.tr

**Prof. Dr. Aysu AKALIN**

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye, aysuakalin@gazi.edu.tr

**Prof. Dr. Ufuk Teoman AKSOY**

Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, taksoy@firat.edu.tr

**Prof. Dr. Abbas GÜNGÖRDÜ**

İnönü Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Malatya, Türkiye, abbas.gungordu@inonu.edu.tr

**Prof. Dr. Yeliz PEKBEBEY**

Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, yeliz.pekbey@ege.edu.tr

**Prof. Dr. Naki ÇOLAK**

Hitit Üniversitesi, Kimya Bölümü, Çorum, Türkiye, nakicolak@hitit.edu.tr

**Prof. Dr. Hikmet GEÇKİL**

İnönü Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Malatya, Türkiye, hikmet.geckil@inonu.edu.tr

**Prof. Dr. Ali SABİR**

Selçuk Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Konya, Türkiye, asabir@selcuk.edu.tr

**Prof. Dr. Leyla Sezen TANSI**

Çukurova Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye, lsezen@cu.edu.tr

**Prof. Dr. Kamil KARUT**

Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye, karuti@cu.edu.tr

**Prof. Dr. Serdar SATAR**

Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye, hserhat@cu.edu.tr

**Prof. Dr. Şengül KARAMAN**

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, sengulk@ksu.edu.tr

*Alan Editörleri / Field Editors*

**Prof. Dr. Süreyya NAMLI**

Dicle Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, snamli@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Hülya KARADEDE AKIN**

Dicle Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, hkdede@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. Nurettin PİRİNÇÇİOĞLU**

Dicle Üniversitesi, Fizik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, npirinc@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Akın BAYSAL**

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, akinb@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Fırat AYDIN**

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, faydin@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. Ersin KILINÇ**

Dicle Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, kilincersin@gmail.com

**Prof. Dr. Bilal ŞEKER**

Dicle Üniversitesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, bilal.seker@dicle.edu.tr

**Dr. Öğr. Üyesi S. Öykü YURTTAŞ**

Dicle Üniversitesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, oykuyurttas@gmail.com

**Prof. Dr. Veysel TOLAN**

Dicle Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, vtolan@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. Seçil YALAZ**

Dicle Üniversitesi, İstatistik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, syalaz@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. İbrahim KAYA**

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ikaya@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ**

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, bilgumus@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK**

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toprakzf@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Fevzi ÖNEN**

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, fonen@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Mustafa AYHAN**

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, mayhan@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Özgür AKKOYUN**

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, oakkoyun@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Figen BALO**

Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, figenbalo@gmail.com

**Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU**

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, atillad@dicle.edu.tr

**Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN**

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, gurbetorcen@dicle.edu.tr

**Dr. Mohd Sayuti BIN AB KARIM**

Malaya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kuala Lumpur, Malezya, mdsayuti@um.edu.my

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet NERGİZ**

Dicle Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, mnergiz@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. D. Türkan KEJANLI**

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, turkanak@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. C. Tuncay AKIN**

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ctakin@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR**

Dicle Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, gozdemir@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Selime ÖLMEZ BAYHAN**

Dicle Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, solmezbayhan@gmail.com

**Prof. Dr. Behiye Tuba BİÇER**

Dicle Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, tbicer@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. Özlem TONÇER**

Dicle Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toncer@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Abdullah SESSİZ**

Dicle Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, asessiz@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN**

Dicle Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, konuralp.elicin@dicle.edu.tr

**Prof. Dr. Muzaffer DENLİ**

Dicle Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, denlim@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. Nihat TEKEL**

Dicle Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ntekel@dicle.edu.tr

**Doç. Dr. Abdurrahman KARA**

Dicle Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, abdurrahman.kara@dicle.edu.tr

**Mizanpaj Editörü / Page-Setting Editor**

**Arş. Gör. Latife ÖLKER**

Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye, dufed@dicle.edu.tr

**Yayın Sekreterliği / Secretary**


**Arş. Gör. Latife ÖLKER**

Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye, dufed@dicle.edu.tr


**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

**Araştırma Makaleleri / Research Articles**

**Kimya / Chemistry**

- Asetonla Muamele Edilmiş Docetaxelin PC3 ve PNT1A Hücreleri Üzerindeki Sitotoksik Etkisi**   
*Cytotoxic Effect of Acetone-Treated Docetaxel on PC3 and PNT1A Cells*  
Muhammed GÜNGÖREN, Ersin KILINÇ, Zübeyde BAYSAL..... 109


**Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering**

- Characterization of Thermo-Physical Properties of Nanoparticle Reinforced the Polyester Nanocomposite**   
*Nanopartikül Takviyeli Polyester Nanokompozitin Termo-Fiziksel Özelliklerinin Karakterizasyonu*  
Cenk YANEN, Ercan AYDOĞMUŞ..... 121

**Mimarlık / Architecture**

- Geleneksel Urfa Evlerinin Ahşap Tavan Yapım Teknikleri ve Süslemeleri**   
*Wooden Ceiling Construction Techniques and Decorations of Traditinal Urfa Houses*  
Şeyda İNCE GAYBERİ, Neslihan DALKILIÇ..... 133


**Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering**

- Çekirdek Malzemesi Ergiyik Biriktirme Yöntemi ile Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Eğilme Dayanımlarının İncelenmesi**   
*Investigation of the Bending Strength of Honeycomb Sandwich Composites Produced by Fused Deposition Modeling*  
Can YANEN, Eyüp ÇELİK, Murat Yavuz SOLMAZ..... 147


**İstatistik / Statistics**

- Quality Improvement in Routine Inspection and Control of Healthcare Products Using Statistical Intervention of Long-Term Data Trend**   
*Uzun Vadeli Veri Trendinin İstatistiksel Müdahalesi Kullanılarak Sağlık Ürünlerinin Rutin Muayenesi ve Kontrolünde Kalite İyileştirme*  
Mostafa Essam EISSA, Engy Refaat RASHED, Dalia Essam EISSA..... 163


## İstatistik / Statistics

- A Comparative Study: Analysis of Factors Affecting Happiness After the Covid-19 Pandemic**   
*Karşılaştırmalı Bir Çalışma: Covid-19 Pandemisinden Sonra Mutluluğu Etkileyen Faktörler Analizi*  
Gülcan GENCER, Kerem GENCER..... 185


## Kimya / Chemistry

- The Investigation on Antioxidant Activities of *Nasturtium officinale* Extracts and Its Mineral Content**   
*Nasturtium officinale Ekstraktlarının Antioksidan Aktiviteleri ve Mineral İçeriğinin Araştırılması*  
Leyla ERCAN, Mehmet DOĞRU..... 197

## Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

- Theoretical Nitrous Oxide, Methane, Carbon Dioxide Emissions Calculations to the Atmosphere in Niğde, Turkey**   
*Niğde, Türkiye’de Atmosfere Salınan Nitröz Oksit, Metan, Karbondioksitin Teorik Hesaplamaları*  
Kazım KUMAŞ, Ali Özhan AKYÜZ..... 209


## Bitki Koruma / Plant Protection

- Bitlis ve Çevresindeki Yem Bitkileri Ekiliş Alanlarında Bulunan Zararlı ve Yararlı Böcek Türlerinin Saptanması**   
*The Determination of Harmful and Beneficial Insect Species in Forage Crops Planting Areas of Bitlis and Its Surroundings*  
Hasan MARAL, Mehmet Salih ÖZGÖKÇE..... 221

## Elektrik ve Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

- 2D Konvolüsyonun İşleminin Düşük Maliyetli IP Çekirdek Olarak FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi**   
*FPGA Based Implementation of 2D Convolution Processing as a Low-Cost IP Core*  
Mehmet Ali ÇAVUŞLU..... 235


## Mimarlık / Architecture

- Diyarbakır Parlı (Safa) Medresesi’nin Mekânsal Analizi ve Restorasyon Sonrası Değerlendirme**   
*Spatial Analysis and Post Restoration Evaluation of Diyarbakır Parlı (Safa) Madrasa*  
Nurtekin ÖZEN..... 247



## Derleme Makaleleri / Review Articles

### Mimarlık / Architecture

- Esnek Mekân Anlayışı ile Mekânın Konfora Dönüşümünde Pandemi Hatırlatması**   
*Reminder of the Pandemic in the Conversion of Space to Comfort with a Flexible Space Concept*  
Elif DURMUŞ, Bedriye ASIMGİL..... 263

### Mimarlık / Architecture

- An Overview of Hygrothermal Simulation Tools**   
*Higrotermal Simülasyon Araçlarına Genel Bir Bakış*  
Yusuf YILDIZ..... 273



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Asetonla Muamele Edilmiş Docetaxelin PC3 ve PNT1A Hücreleri Üzerindeki Sitotoksik Etkisi

### *Cytotoxic Effect of Acetone-Treated Docetaxel on PC3 and PNT1A Cells*

Muhammed GÜNGÖREN<sup>1,3,\*</sup>, Ersin KILINÇ<sup>2</sup>, Zübeyde BAYSAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, 47200, Mardin, Türkiye

<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

<sup>3</sup> Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihi

Alınış, 18 Haziran 2021

Revize, 24 Haziran 2021

Kabul, 25 Haziran 2021

Online Yayınlama, 01 Ekim 2021

##### Anahtar Kelimeler

Docetaxel, MTT testi, Prostat kanseri, Sitotoksikite-doza ilişkisi

#### ARTICLE INFO

##### Article History

Received, 18 June 2021

Revised, 24 June 2021

Accepted, 25 June 2021

Available Online, 01 October 2021

##### Keywords

Docetaxel, MTT assay, Prostate cancer, Cytotoxicity-dose correlation

#### ÖZ

Bu çalışmada, prostat kanserinin tedavisinde önemli bir kemoterapötik ajan olarak kullanılan docetaxelin, insan sağlam prostat hücresi (PNT1A) ve insan kanserli prostat hücresi (PC3) üzerindeki sitotoksik etkileri araştırılmıştır. Çalışmada ticari docetaxelin saf ve asetonda bekletilmiş formu kullanılmıştır. MTT [3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil-2H-tetrazolyum bromid] testi kullanılarak 24, 48 ve 72 saatlik inkübasyon sonrası yapılan analizlerde farklı docetaxel formlarının kullanımı arasında anlamlı bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir ( $p < 0.01$ ). Elde edilen bulgular, docetaxel formlarının PC3 ve PNT1A hücreleri üzerinde doza bağımlı sitotoksik etkilerinin varlığını ortaya koymaktadır. Sitotoksik etkinin doza bağımlılığının özellikle ilk 24 saatte oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (PC3 için  $p < 0.05$ , PNT1A için  $p < 0.01$ ). 48. saatte saf docetaxelin PC3 hücresi için IC50 değeri 0.0116  $\mu\text{g/mL}$ , PNT1A hücresi için IC50 değeri 3.5462  $\mu\text{g/mL}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerler docetaxelin PNT1A hücrelerinde, PC3 hücrelerine kıyasla daha düşük olsada, sitotoksik etki oluşturduğunu göstermektedir. Direnç geliştirmiş prostat kanseri hücrelerinde de terapötik etkileri olan docetaxelin ilaç taşıma sistemleri ile beraber kullanılarak sağlam hücrelerdeki hasarının azaltılması uygun bir yaklaşım olarak düşünülmektedir.

#### ABSTRACT

In this study, the cytotoxic effects of docetaxel, which is used as an important chemotherapeutic agent in the treatment of prostate cancer, on human intact prostate cell (PNT1A) and human cancerous prostate cell (PC3) were investigated. In the study, pure and acetone-soaked form of

#### \*Sorumlu Yazar

**E-posta Adresleri:** [gungoren23@gmail.com](mailto:gungoren23@gmail.com) (Muhammed GÜNGÖREN), [kilincersin@gmail.com](mailto:kilincersin@gmail.com) (Ersin

KILINÇ), [zbaysal@dicle.edu.tr](mailto:zbaysal@dicle.edu.tr) (Zübeyde BAYSAL)

commercial docetaxel was used. It was determined that there was no significant difference between the use of different forms of docetaxel in the analyzes performed after 24, 48 and 72 hours of incubation using the MTT[3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium bromide] test ( $p<0.01$ ). It was found that docetaxel forms have dose dependent cytotoxic effects on PC3 and PNT1A cells. It was determined that the dose dependence of the cytotoxic effect was quite high, especially in the first 24 hours ( $p<0.05$  for PC3,  $p<0.01$  for PNT1A). The IC50 value of pure docetaxel for PC3 cell was calculated as 0.0116  $\mu\text{g/mL}$  and for PNT1A cell as 3.5462  $\mu\text{g/mL}$  at 48. h. These values show that docetaxel produces a cytotoxic effect in PNT1A cells, although it is lower than in PC3 cells. Using docetaxel, which has therapeutic effects in resistant prostate cancer cells, together with drug delivery systems is considered as an appropriate approach for reducing the damage in healthy cells.

## 1. GİRİŞ

Bir hastalıklar grubu olan kanser, hücrelerin kontrolsüz şekilde çoğalması ve farklı dokulara yayılarak yeni bölgelerde bu neoplaziyi devam ettirmesi ile karakterize edilen bir vakadır. Bu kontrolsüz çoğalma sonucunda oluşan tümör dokularının gelişimi çok aşamalıdır. Bu süreçte hücre çoğalmasını aktif tutma, hücre çoğalmasını engelleyici sistemlerden kaçınma, tümör hücre ölümlerine karşı koyma, kendini kopyalama ile ölümsüzlüğe ulaşma, anjiyogenez oluşturma ve yayılım sağlama gibi tehlikeli sonuçlar oluşur [1].

Kanser, ekonomik olarak gelişmiş ve gelişmemiş ülkelerde önde gelen ölüm nedenidir ve kanser insidansı da dünya çapında artmaktadır [2-4]. Sadece 2020 yılında dünya genelinde kadın ve erkeklerde toplam 19 292 789 yeni vaka tahmin edilmiştir. Bu vakaların içerisinde göğüs kanseri 2 261 419 kişiyle birinci, akciğer kanseri 2 206 771 kişiyle ikinci, prostat kanseri 1 414 259 kişiyle üçüncü sırada yer almaktadır. Dünya geneli için insidansı 30,7 olan prostat kanseri erkeklerde akciğer kanserinden sonra en sık rastlanan ikinci kanser türüdür [5]. Prostat kanserinin başlangıç noktası ve kaynağı prostat bezidir. Tümör, prostat bezini tamamen kapladıktan sonra, üretra, rektum, mesane, kalça gibi yakın bölgelere metastaz gerçekleştirir. Aniden ivme kazanabilir ve tedavi edilmezse ölümcül olabilir [6]. Prostat bezinin farklı ve birden fazla yerinde eş zamanlı oluşabilen prostat kanseri, gelişme safhasını tamamladıktan sonra aktif olarak büyür ve prostat sınırlarını aşarak yayılma gösterir. Bunun devamında vücuttaki organlarla tedavi edilemez etkileşimlere girer [7]. Kemoterapi, cerrahi rezeksiyon ve radyoterapi bu korkunç hastalıkla mücadelede başlıca yöntemlerdir. Süreçte ilk olarak tümör boyutunu küçültmek için kemoterapi kullanılır, sonrasında cerrahi olarak müdahale edilir ve son olarak radyoterapi uygulanır [8, 9]. Kemoterapi bu sebepten ötürü hastalığın tedavisinde oldukça önemlidir.

Docetaxel (Dtxl) ( $\text{C}_{43}\text{H}_{53}\text{NO}_{14}$ ; 807.9 g/mol), *Taxus baccata* ağacından elde edilen, taxan grubu yarı sentetik bir alkaloiddir. Prostat, meme, akciğer, mide, yumurtalık, baş ve boyun kanserlerinde sıkça

kullanılan bir antitümör ajanıdır [10, 11]. Prostat kanseri hastalarının önemli bir kısmı, ilk pozitif yanıtta sonra nüks yaşar ve kastrasyona dirençli prostat kanseri (CRPC) adı verilen ikinci bir aşamaya ilerler. 2010'dan beri, docetaxel CRPC için de diğer tedavi edicilerle kombine edilerek, sıklıkla kullanılmaktadır [12, 13].

İlacın uygulanış şekilleri ve kendi yapısından ileri gelen lokal ve sistemik toksisiteler klinik kullanımının başlıca dezavantajlarıdır [14]. Ayrıca, ilacın karaciğerde ve kanserli hücrelerde yoğun metabolizması, kemoterapötik etkinliğinin azalmasına yol açar [10]. İlacın hızlı eliminasyonundan ötürü, vücuttaki minimum terapötik dozuna ulaşabilmek için yüksek dozlarda kullanılması gerekir. Son otuz yıldan bu yana yapılan araştırmalar, sitotoksik ajanı dolaşımında tutmak, kanda kontrollü salım ve normal hücrelere daha az etki ile daha seçici dağıtım adına alternatif taşıyıcılar konusunda önemli bir gereklilik ortaya çıkmıştır [15-18].

Bununla birlikte kemoterapik etkinliğin korunmasını desteklemek amacıyla taşınım sistemlerinin sitotoksik özelliklerinin de hücre kültürü düzeyinde araştırılması gerekmektedir. Hücrenin Yaşayabilirliği Testi (MTT) etkili, doğru ve yaygın kullanılan bir spektrofotometrik yöntem olarak uluslararası kabul görmüştür. Hücrenin yaşayabilirliği testi, kullanılan malzemenin sitotoksik olup olmadığını veya hangi dozlarda sitotoksik özellik gösterebileceğini belirlemeye yarayan kantitatif bir testtir.

Bu amaçla çalışmamızda aseton içinde bir süre bekletilmiş ve saf olarak kullanılmış iki ayrı docetaxel örneğini, insan prostat kanseri hücre hatları (PC3) ve insan sağlıklı prostat hücre hatları (PNT1A) hücreleri üzerinde araştırdık. Bu sayede hem asetonun Dtxl üzerindeki etkisini hem de Dtxl'in PC3 ve PNT1A hücreleri üzerindeki sitotoksik etkilerini doza ve zamana bağlı olarak inceledik.

## **2. MATERYAL VE METOT**

### **2.1 Reaktifler ve Standartlar**

İnsan prostat kanseri hücre hatları (PC3) ve insan sağlıklı prostat hücre hatları (PNT1A) Amerikan tip kültür koleksiyonundan satın alındı (ATCC, Rockville, MD). Docetaxel, DMEM/F-12, Fetal Bovine Serum (10%-FBS), Streptomycin-Penicillin (1000 U/mL penicillin ve 100 µg/mL streptomycin), RPMI-1640, MTT [3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium bromide], fosfat tamponu (PBS, 0.01M), trypan blue, dimetil sülfoksit (DMSO), nutrient broth (NB), Aseton (Ace) ve Trypsin EDTA Sigma-Aldrich (Germany)' den temin edildi. Annexin V-FITC/PI Det. Kit I (556547-BD Pharmingen) BD Bioscience'dan satın alındı (Germany). Tüm kimyasallar analitik saflıkta olup, deneysel aşamalarda ultra saf su kullanıldı.

## 2.2 Kullanılan Cihazlar

Hücreler, New Brunswick Galaxy 170s içerisinde inkübe edildi ve hücre kültürü çalışmaları Telstar-Class II Tip laminar kabinde gerçekleştirildi. Hücrenin yaşayabilirliği testi spektrofotometrik ölçümleri SpektramaxM5 microplate okuyucu ile alındı.

## 2.3 Docetaxel Örneklerinin Hazırlanması

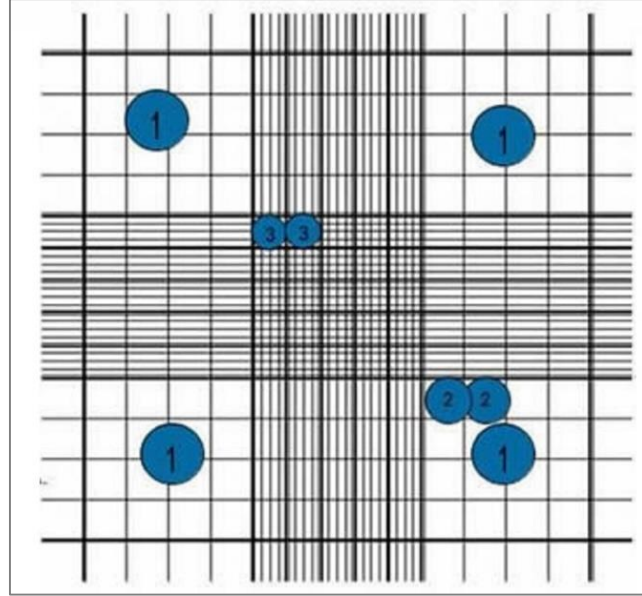
Literatürde docetaxel saf olarak kullanılır ancak asetonda çözünerek kullanılmasına dair örnekler de bulunmaktadır [19]. Bu iki uygulanmanın karşılaştırılması açısından çalışmamızda 24 saat 250 µL aseton içerisinde bekletilip ardından asetonu uçurulmuş (Dtxl.A) ve herhangi bir ön hazırlık yapılmamış (Dtxl) iki farklı docetaxel örneği kullanıldı. Daha sonra DMSO içerisinde 0, 0.5, 1, 2, 2.5, 5, 10 ve 25 µg/mL derişimlerinde numuneler hazırlandı.

## 2.4 Hücre Kültürü Çalışmaları ve Hücre Sayımı

PC3 ve PNT1A hücre hatları, sırasıyla DMEM/F-12 (Dulbecco's Modified Eagle Medium: Nutrient Mixture F-12) ve RPMI-1640 (Roswell Park Memorial Institute) ortamında kültürlendi. DMEM/F-12 ve RPMI-1640, %5 CO<sub>2</sub> içeren nemli ortam koşullarında 37°C'de inaktive edilmiş fetal sıgır serumu (%10 - FBS) ve streptomisin-penisilin ile desteklenmiştir.

Flasklarda çoğaltılan canlı hücre sayısı yeterli seviyelere geldiğinde hücre ile ilgili deneylere başlandı. Hücreler CO<sub>2</sub> inkübatöründen çıkarıldı ve besiyeri kısmı alındı. Şişe PBS (fosfat tampon, 0.01 M, pH=7.4) ile yıkandı ve ardından Trypsin-EDTA ile hücreler yüzeyden ayrıldı. Sonrasında besiyeri ilavesi yapılan şişelerdeki hücreler tüpe alındı. Sayım için tüpteki hücrelerden 10 µL alınıp 90 µL trypan blue eklendi ve dispers edildi. Oluşan karışımın 10 µL'si ile Neubauer sayım bölmesi kullanılarak prosedüre uygun şekilde sayım yapıldı (Şekil 1). Hücre sayısı, prosedürde yer alan, aşağıdaki formül ile hesaplandı [20].

$$\frac{\text{Hücre sayısı}}{\text{mL}} = \frac{\text{Sayılan hücre sayısı}}{\text{Sayılan kare sayısı}} \times 10000 \times \text{Seyreltme oranı}$$



Şekil 1. Neubauer sayım bölmesi detayı [20]

## 2.5 Hücrenin Yaşayabilirliği Testi

Dtx1.A ve Dtx1'nin sitotoksikite çalışmaları, 24, 48 ve 72. saatlerde MTT testi kullanılarak incelendi [21]. Hücredeki mitokondriyal enzimlerin, çalışma sırasında hücreye eklenen, sarı renkli tetrazolyum boyasını mor renkli formazan kristallerine indüklemesinin ölçümü metodun özet halidir. Yaklaşık 5000 hücre içeren 95 µL süspansiyon, 96 oyuklu plakaya yerleştirildi. 24, 48 ve 72. saatlerde ölçülecek her hücre hattı için toplam 3 plaka hazırlandı. Dtx1.A ve Dtx1 numuneleri 0, 0.5, 1, 2, 2.5, 5, 10 ve 25 µg/mL konsantrasyonlarında hazırlandı ve kuyucuklara 5'er µL eklendi. Plakalar 37 °C'de %5 CO<sub>2</sub> içinde inkübe edildi.

Plakalardaki hücrelerin ortamı 24, 48 ve 72. saatlerde dikkatlice çıkarıldı ve her bir oyuğa 10 µL MTT (5mg/mL) ilave edildi. Plakalar 37°C'de %5 CO<sub>2</sub> içinde 4 saat inkübe edildikten sonra süpernatant içeriği çıkarıldı ve kuyucuklara 100 µL DMSO ilave edildi. Karanlıkta 15 dakika bekledikten sonra 570 nm'de mikropilaka okuyucu ile absorbans değerleri okundu. Elde edilen absorbans değerleri ile hücrenin yaşayabilirliği (%) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı:

$$\text{Hücrenin yaşayabilirliği (\%)} = \frac{\text{Örneğin Absorbansı}}{\text{Kontrolün Absorbansı}} \times 100$$

TT testi 3 tekrarlı çalışılmış ve istatistik değerler IBM SPSS Statistics 26 yazılımı kullanılarak, ANOVA/Tukey ve korelasyon parametrelerinde hesaplanmıştır.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

MTT çalışmaları PC3 ve PNT1A hücre hatlarına Dtxl ve Dtxl.A uygulanarak yapıldı. 24, 48 ve 72. saatlerde PC3 ve PNT1A hücre hatları ile yapılmış olan çalışmanın sonucunda 570 nm’de okunan absorbanslar ile hesaplanmış olan hücrenin yaşayabilirliği (%) Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** MTT testi sonucunda elde edilen absorbanslardan hesaplanmış hücre yaşayabilirliği (%) değerleri

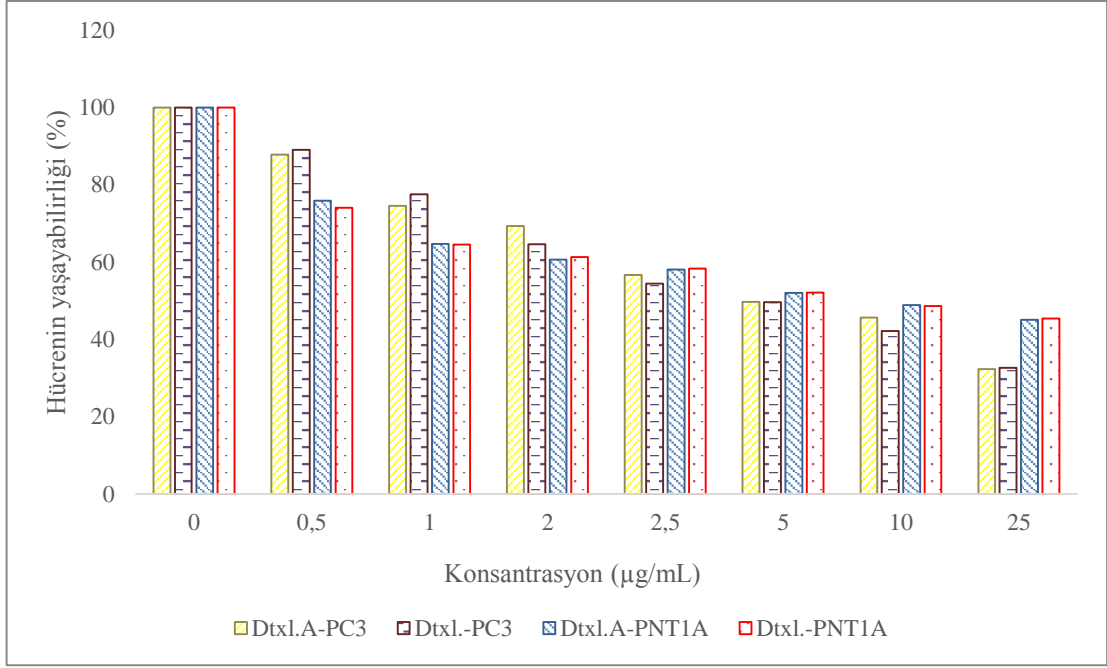
Kons. (µg/mL)	24 saat				48 saat				72 saat			
	Dtxl.A PC3	Dtxl PC3	Dtxl.A PNT	Dtxl PNT	Dtxl.A PC3	Dtxl PC3	Dtxl.A PNT	Dtxl PNT	Dtxl.A PC3	Dtxl PC3	Dtxl.A PNT	Dtxl PNT
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	88	89	76	74	41	42	50	51	27	26	38	36
1	75	78	65	65	29	31	46	46	22	24	31	31
2	69	65	61	61	28	25	44	44	20	22	27	29
2.5	57	54	58	58	24	22	42	44	19	21	25	27
5	50	50	52	52	22	21	40	42	19	20	20	21
10	46	42	49	49	20	20	26	23	15	14	13	12
25	32	33	45	45	13	13	13	13	4	3	7	7

\*PNT1A hücrelerinin adı PNT olarak kısaltılmıştır.

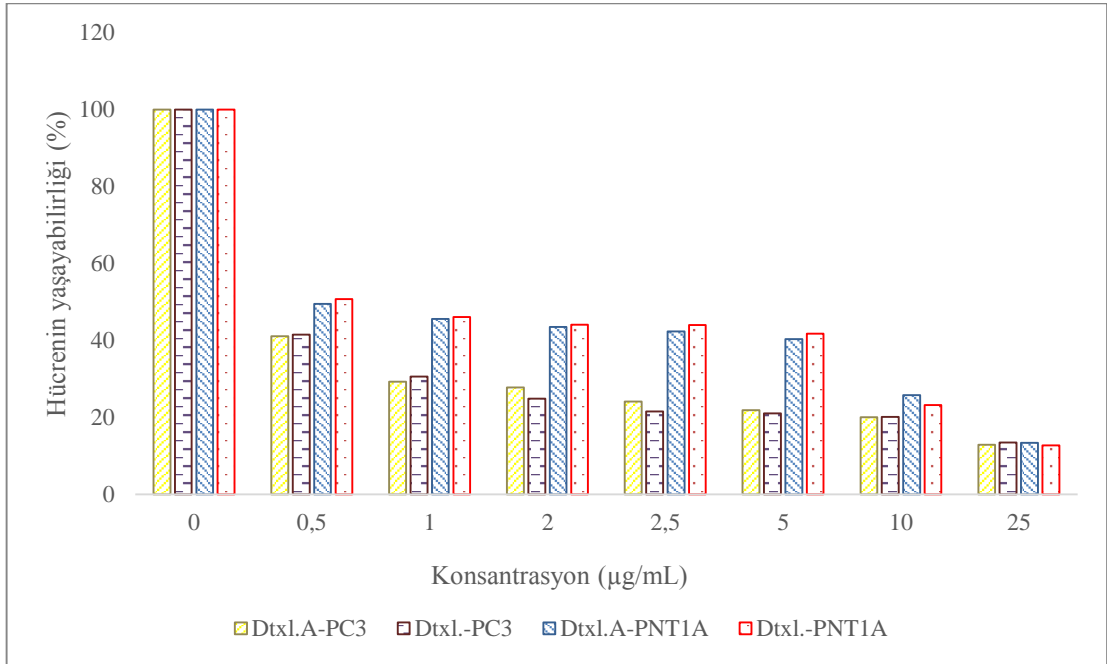
Dtxl ve Dtxl.A formlarının PC3 ve PNT1A hücre hatları üzerindeki hücre yaşayabilirlik yüzdesine etkisinin doza bağımlı olduğu ve 72. saatte en yüksek olduğu (%3) görülmüştür. Hücre yaşayabilirliği değerlerine etkinin en düşük olduğu ölçümler 24. saatte görülmüştür. Bu saatteki en yüksek canlılık %89 değeri ile Dtxl-PC3 kuyucuğunda 0.5 µg/mL derişimde, en düşük canlılık ise %32 değeri ile Dtxl.A-PC3 kuyucuğunda 25 µg/mL derişiminde ölçülmüştür. Hücre yaşayabilirlik yüzdesi, 24. saat uygulanan düşük dozlar dışında, PC3 hücrelerinde genellikle daha düşük görüldü. PC3 ve PNT1A hücrelerine uygulanmış olan Dtxl-A ve Dtxl ilaçlarının derişimine karşı canlı hücre yüzdeleri karşılaştırılarak grafiğe geçirildi (Şekil 2, 3 ve 4).

Trevizan ve ark. [22] yaptıkları çalışmada PC3 hücreindeki 48. saat sitotoksiste ölçümleri sonucunda 5nM üzerindeki Dtxl’in sitotoksik özellik gösterdiğini belirtmiştir ve uygulanan derişim ile birlikte sitotoksitenin de arttığını ortaya koymuştur.

Aynı zaman, derişim ve hücre hattına bakıldığında Dtxl.A ve Dtxl uygulamaları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir ( $p < 0.01$ ). Bu durum, docetaxel uygulamalarında aseton kullanılmasının sonuçları etkilemeyeceğini açık şekilde göstermektedir.

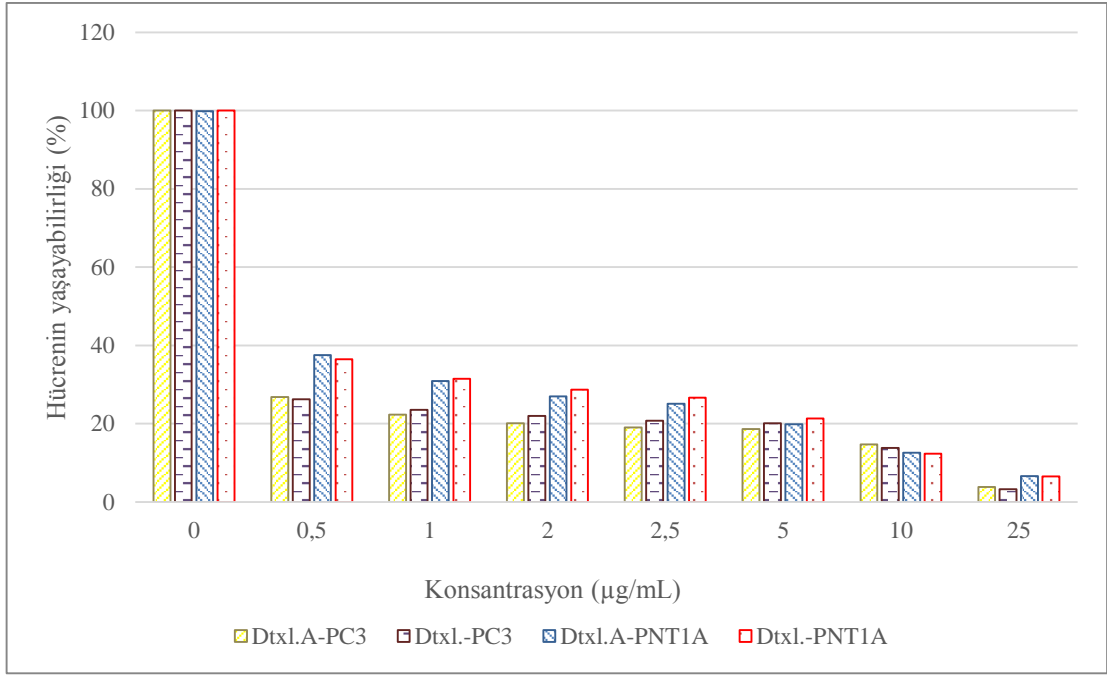


Şekil 2. Dtxl-A ve Dtxl'nin farklı konsantrasyonlarında canlı hücre yüzdelerindeki değişim (24. saat)



Şekil 3. Dtxl-A ve Dtxl'nin farklı konsantrasyonlarında canlı hücre yüzdelerindeki değişim (48. saat)





Şekil 4. Dtxl-A ve Dtxl'nin farklı konsantrasyonlarında canlı hücre yüzdelerindeki değişim (72. saat)

Kemoterapide ilaç derişiminin, terapötik özelliğine etkisi önemlidir. Bu açıdan bulgular değerlendirildiğinde, PC3 hücrelerinde 24 saatlik uygulama sonrasında ( $p < 0.05$ ) PNT1A hücrelerinde ise 24 ve 48 saatlik uygulama sonrasında ( $p < 0.01$ ) hesaplanan hücre canlılığı ile uygulanan ilaç dozları arasında anlamlı ilişki tespit edilmiştir. Bu anlamlı ilişki, ilacın doz ayarlanması konusunda yardımcı olabilecek bir olgudur.

Diğer yandan, ilaçların 24, 48 ve 72. saatlerdeki etkileri birbiriyle karşılaştırılmış ve sadece PC3 hücre hatları üzerinde 24 ve 72. saatler arasında anlamlı fark olduğu görülmüştür ( $p < 0.05$ ).

Ölçülen % canlılık değerlerinin dozlara karşı dağılım grafikleri çizildi ve doğru denklemlerinden IC50 (tümör hücresi proliferasyonunu %50 inhibe etmek için gerekli konsantrasyon değerleri) (Tablo 2) aşağıdaki formüle göre hesaplandı:

$$\text{Doğru denklemi: } y = ax + b \quad ; \quad IC_{50} = \frac{50 - b}{a}$$

Tablo 2. MTT sonuçları ile elde edilen IC50 değerleri (µg/mL)

	PC3 (IC50)			PNT1-A (IC50)		
	24 s	48 s	72 s	24 s	48 s	72 s
Dtxl.A	12.5929	0.0214	0.0007	15.6621	3.3343	0.0277
Dtxl	12.2100	0.0116	0.0016	15.7665	3.5462	0.0410

Dtx1.A ve Dtx1 uygulamaları sonucu elde edilen IC50 değerlerinin birbirleriyle karşılaştırılmaları sonucu anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür ( $p<0.05$ ). Aynı zamanda IC50 değerleri ile zaman arasında da anlamlı bir ilişki olmadığı belirlenmiştir ( $p<0.05$ ).

IC50 değerlerine bakıldığında en yüksek antiproliferatif (çoğalma önleyici) etki PC3 hücre hattında 72. saatte meydana gelmiştir ( $7 \times 10^{-4}$  µg/mL). En düşük antiproliferatif etki PNT1-A hücre hattında 24. saatte meydana gelmiştir (15.7665 µg/mL).

Monteverde ve ark. [23] PC3 hücreleri üzerinde docetaxel ve vandetanib ile yaptığı çalışmada 48. saat için IC50 değerini hesaplamış ve sonucu 0.984 nM olarak tespit etmişlerdir. Fernandes ve ark.'nın [24] doxetaxel ve docetaxelin lipozom vasıtasıyla taşınması ile ilgili çalışmalarında 48. saatte PC3 hücrelerinde docetaxelin IC50 değerinin 0.044 µg/mL olduğunu belirlemişlerdir.

Morikawa ve ark. [25] PC3 ve LNCaP hücreleri üzerinde docetaxel ve rapamisin ile çalışmıştır. Bu çalışmada 72. saatte MTS [(3- (4, 5-dimetiltiazol-2-il) -5- (3-karboksimetoksifenil) -2- (4-sülfffenil) -2H-tetrazolium)] ile yaptıkları yaşayabilirlik testi sonucunda 1nM docetaxelin hücrenin canlılığını % 81.2'ye düşürdüğünü ve IC50 değerinin 0.004 olduğunu bildirmiştir.

Nagesh ve ark. [19] yaptıkları benzer bir çalışmada MTS ile yaşayabilirliği belirlemiş ve 48. saatteki ölçümlerinde docetaxelin PC3 uygulamasındaki IC50 değerini 15,6 nM olarak bulmuştur. Ayrıca docetaxelin sitotoksik özelliğinin doza bağımlı değiştiğini belirtmiştir. Başka bir çalışmada [26] ise docetaxelin 72. saatte PC3 hücrelerinde önemli canlılık düşüşünün 5nM derişimden sonra görüldüğü söylenmiştir ve doza bağımlı bir değişimden söz edilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Çalışmamızdan elde edilen veriler, özellikle ilaç taşıma sistemlerinde docetaxel ile beraber uygulanabilen asetonun ilaç sitotoksitesine anlamlı bir etkisi olmadığı ortaya koyulmuştur ( $p<0.01$ ). Bu da ilaç taşıma sistemlerinde aseton ile docetaxelin bağlanmasını kolaylaştırmanın uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Araştırma bulguları, ilacın doz ayarlamasının tedavide önemli olduğunu da göstermiştir. Doza bağımlı olan docetaxel tedavisi özellikle ilk 24 saatte bu bağımlılığı daha net göstermektedir (PC3 için  $p<0.05$ , PNT1A için  $p<0.01$ ).

Sonuçlar aynı zamanda, kemoterapötik bir ajan olan docetaxelin kanserli dokular yanında sağlam dokulara da zarar verebildiğini göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında, son yıllarda sıklıkla araştırmaları yapılan, ilaç taşıma sistemlerinin hem sağlam dokunun hasarının azaltılması hem de tümör üzerindeki terapötik etkinin artırılması adına kullanışlı bir tedavi yöntemi olduğu söylenebilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir (Proje Numarası: TEKNİK-MYO-19-001 ve FEN.19.015).

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

## YAZARLARIN KATKILARI

Muhammed GÜNGÖREN: Analiz, yazma-orjinal taslak hazırlama, veri toplama, verinin düzenlenmesi, görselleştirme. Zübeyde BAYSAL: Analiz araçlarını sağlama, inceleme, kavramsallaştırma, metodoloji, doğrulama, gözetim. Ersin KILINÇ: Analiz araçlarını sağlama, inceleme, kavramsallaştırma, metodoloji, doğrulama, gözetim.

## KAYNAKLAR

- [1] D. Hanahan and R. A. Weinberg, "Hallmarks of cancer: The next generation," *Cell*, vol. 144, pp. 646-674, 2011.
- [2] R. K. Dubey, A. P. Singh and N. Dwivedi, "Triorganotin (IV) derivatives of bidentate schiff bases: Synthesis and spectral studies," *Phosphorus Sulfur.*, vol. 187, no. 9, pp. 1038-1045, 2012.
- [3] P. Kesharwani, L. Xie, S. Banerjee, G. Mao, S. Padhye, F. H. Sarkar and A. K. Iyer, "Hyaluronic acid-conjugated polyamidoamine dendrimers for targeted delivery of 3,4-difluorobenzylidene curcumin to CD44 overexpressing pancreatic cancer cells," *Colloid. Surface. B*, vol. 136, pp. 413-423, 2015.
- [4] A. K. Sharma, A. Gothwal, P. Kesharwani, H. Alsaab, A. K. Iyer and U. Gupta, "Dendrimer nanoarchitectures for cancer diagnosis and anticancer drug delivery," *Drug Discov. Today*, vol. 22, no. 2, pp. 314-326, 2017.
- [5] Globocan, (2020). *Cancer Fact Sheets*. Erişim Tarihi: 10.05.2021. [Online]. <https://gco.iarc.fr/today/fact-sheets-cancers>.
- [6] U. Testa, G. Castelli and E. Pelosi, "Cellular and molecular mechanisms underlying prostate cancer development: Therapeutic implications," *Medicines*, vol. 6, no.3, pp. 82, 2019, doi: 10.3390/medicines6030082.
- [7] S. M. Elmi, "Investigation of Catechol-o-methyl transferase (Comt) gene Val158met polymorphism and its relationship with prostate cancer," M.S. thesis, Dept. Mol. Med., Yeditepe Univ., Istanbul, Turkey, 2020.
- [8] L. Brannon-Peppas and J. O. Blanchette, "Nanoparticle and targeted systems for cancer therapy," *Adv. Drug Deliver. Rev.*, vol. 64, pp. 206-212, 2012.
- [9] S. Jain, P. Kesharwani, R. K. Tekade and N. K. Jain, "One platform comparison of solubilization potential of dendrimer with some solubilizing agents," *Drug Dev. Ind. Pharm.*, vol. 41, no. 5, pp. 722-727, 2015.
- [10] J. J. Hendriks, J. S. Lagas, J. Y. Song, H. Rosing, J. H. M. Schellens, J. H. Beijnen, S. Rottenberg and A. H. Schinkel, "Ritonavir inhibits intratumoral docetaxel metabolism and

- enhances docetaxel antitumor activity in an immunocompetent mouse breast cancer model,” *Int. J. Cancer*, vol.138, no. 3, pp 758-769, 2016.
- [11] E. T. Oh, C.W. Kim, S. J. Kim, J. S. Lee, S. S. Hong and H.J. Park, “Docetaxel induced-JNK2/PHD1 signaling pathway increases degradation of HIF-1 $\alpha$  and causes cancer cell death under hypoxia,” *Sci. Rep-UK.*, vol. 6, 2016, Art no. 27382.
- [12] D. I. Quinn, H.M. Sandler, L.G. Horvath, A. Goldkorn and J.A. Eastham, “The evolution of chemotherapy for the treatment of prostate cancer,” *Ann. Oncol.*, vol. 28, no. 11, pp. 2658–2669, 2017.
- [13] S. Sumanasuriya and J. De Bono, “Treatment of advanced prostate cancer-a review of current therapies and future promise,” *Cold Spring Harb. Persp. Med.*, vol. 8, no. 6, 2018, Art no. 030635, doi: 10.1101/cshperspect.a030635.
- [14] L. Li, F. Tang, H. Liu, T. Liu, N. Hao, D. Chen, X. Teng, J. He, “In vivo delivery of silica nanorattle encapsulated docetaxel for liver cancer therapy with low toxicity and high efficacy,” *ACS Nano*, vol. 4, pp. 6874–6882, 2010, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/nn100918a>.
- [15] R. S. Herbst and F. R. Khuri, “Mode of action of docetaxel—a basis for combination with novel anticancer agents,” *Cancer Treat. Rev.*, vol. 29, pp. 407–415, 2003.
- [16] Y. Liu, K. Li, J. Pan, B. Liu and S. S. Feng, “Folic acid conjugated nanoparticles of mixed lipid monolayer shell and biodegradable polymer core for targeted delivery of Docetaxel,” *Biomaterials*, vol. 31, pp. 330–338, 2010.
- [17] S. Zhao, S. Tan, Y. Guo, J. Huang, M. Chu, H. Liu and Z. Zhang, “pH-sensitive docetaxel-loaded D- $\alpha$ -tocopheryl polyethylene glycol succinate-poly(b-amino ester) copolymer nanoparticles for overcoming multidrug resistance,” *Biomacromolecules*, vol. 14, pp. 2636–2646, 2013.
- [18] H. Zhu, H. Chen, X. Zeng, Z. Wang, X. Zhang, Y. Wu, Y. Gao, J. Zhang, K. Liu, R. Liu, L. Cai, L. Mei and S. S.Feng, “Co-delivery of chemotherapeutic drugs with vitamin E TPGS by porous PLGA nanoparticles for enhanced chemotherapy against multi-drug resistance,” *Biomaterials*, vol. 35, pp. 2391–2400, 2014.
- [19] P. K. B. Nagesh, N. R. Johnson, V. K.N. Boya, P. Chowdhury, S. F. Othman, V. Khalilzad-Sharghi, B. B. Hafeez, A. Ganju, S. Khan, S. W. Behrman, N. Zafar, S. C. Chauhan, M. Jaggi and M. M. Yallapu, “PSMA targeted docetaxel-loaded superparamagnetic iron oxide nanoparticles for prostate cancer,” *Colloid. Surface. B*, vol. 144, pp. 8-20, 2016.
- [20] *Electron Microscopy Sciences*. (2021). Erişim tarihi: 15.05.2021. [Online]. <https://www.emsdiasum.com/microscopy/technical/datasheet/68052-14.aspx>.
- [21] T. Mosmann, “Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays,” *J. Immunol. Methods*, vol. 65, no. 1–2, pp. 55–63, 1983.
- [22] L. N. F. Trevizan, J. O. Eloy, M. T. Luiz, R. Petrilli, S. L. Ramos Junior, J. C. Borges, J. M. Marchetti and M. Chorilli, “Anti-EGFR liquid crystalline nanodispersions for docetaxel delivery: Formulation, characterization and cytotoxicity in cancer cells,” *Colloid. Surface. A*, vol 613, 2021, Art no. 126058.
- [23] M. Monteverde, F. Tonissi, J. L. Fischel, M. C. Etienne-Grimaldi, G. Milano, M. Merlano and C. Lo Nigro, “Combination of docetaxel and vandetanib in docetaxel-sensitive or resistant PC3 cell line,” *Urol. Oncol.*, vol. 31, no. 6, pp. 776-786, 2013.
- [24] M. A. Fernandes, J. O. Eloy, M. T. Luiz, S. L. Ramos Junior, J. C. Borges, L. R. de la Fuente, C. O. de San Luis, J. M. Marchetti, M. J. Santos-Martinez ve M. Chorilli, “Transferrin-functionalized liposomes for docetaxel delivery to prostate cancer cells,” *Colloid. Surface. A*, vol. 611, 2021, Art no. 125806.
- [25] Y. Morikawa, H. Koike, Y. Sekine, H. Matsui, Y. Shibata, K. Ito, K. Suzuki, “Rapamycin enhances docetaxel-induced cytotoxicity in an androgen-independent prostate cancer xenograft model by surviving downregulation,” *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, vol. 419, no. 3, pp. 584-589, 2012.

- [26] H. Sasaki, L. H. Klotz, L. M. Sugar, A. Kiss and V. Venkateswaran, “A combination of desmopressin and docetaxel inhibit cell proliferation and invasion mediated by urokinase-type plasminogen activator (uPA) in human prostate cancer cells,” *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, vol. 464, no. 3, pp. 848-854, 2015.

*Copyright © 2021 Güngören, Kılınç and Baysal. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).*



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Characterization of Thermo-Physical Properties of Nanoparticle Reinforced the Polyester Nanocomposite

### *Nanopartikül Takviyeli Polyester Nanokompozitin Termo-Fiziksel Özelliklerinin Karakterizasyonu*

Cenk YANEN <sup>1,\*</sup>, Ercan AYDOĞMUŞ <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Firat University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 23200, Elazığ, Turkey,

<sup>2</sup> Firat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 23200, Elazığ, Turkey

#### ARTICLE INFO

##### Article History

Received, 27 June 2021

Revised, 06 July 2021

Accepted, 07 July 2021

Available Online, 01 October 2021

##### Keywords

*Polyester nanocomposite, Nanoparticles, Thermal conductivity, Shore D hardness, Thermal stability*

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihi

Alınış, 27 Haziran 2021

Revize, 06 Temmuz 2021

Kabul, 07 Temmuz 2021

Online Yayınlama, 01 Ekim 2021

##### Anahtar Kelimeler

*Polyester nanokompozit, Nanopartikül, Termal iletkenlik, Shore D sertlik, Termal stabilite*

#### ABSTRACT

In this research, some thermal and physical properties of unsaturated polyester (UP) nanocomposite produced using nanoparticles were investigated. Fumed Silica (FS), silicon carbide (SiC) and graphene nanoplate (GNP) were used as nanoparticles. The synthesized polyester nanocomposites were reinforced with 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% and 1.0% nanoparticles by mass. GNP and SiC nanoparticle reinforcements increased the thermal conductivity coefficient of the produced polyester nanocomposite by approximately 64% and 39%, respectively, while FS reinforcement decreased it by 12.5%. SiC nanoparticle increased the Shore D hardness of the polyester nanocomposite by 5.26% in the sample with 0.1% reinforcement. This ratio was 3.85% for 0.1% supplemented FS and 1.9% for 0.4% GNP. In addition, SiC and GNP reinforcement increased the density of the polyester nanocomposite, while FS reinforcement decreased the density of the composite. The thermal stability order of the samples was determined as FS, GNP and SiC reinforced nanocomposites. It was determined that the sample with the lowest thermal stability was UP. According to the results obtained in thermal stability experiments, mass losses of reinforced nanocomposites during thermal decomposition were compared. The thermal decomposition behavior of polyester nanocomposites was modeled by the kinetic equation. Experimental and theoretical model results were compared and correlation numbers were calculated by statistical analysis using nonlinear regression.

#### ÖZ

Bu araştırmada, nanopartiküller kullanılarak üretilen doymamış polyester (UP) nanokompozitin bazı termal ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Nanopartikül olarak Füme Silika (FS), silisyum karbür (SiC) ve grafen nanoplate (GNP) kullanılmıştır. Sentezlenen polyester nanokompozitlere

*\*Corresponding Author*

*E-mail addresses:* [cyanen@firat.edu.tr](mailto:cyanen@firat.edu.tr) (Cenk YANEN), [ercanaydogmus@firat.edu.tr](mailto:ercanaydogmus@firat.edu.tr) (Ercan AYDOĞMUŞ)

kütlece %0.2, %0.4, %0.6, %0.8 ve %1.0 oranlarında nanopartikül takviye edilmiştir. Üretilen polyester nanokompozitin ısı iletkenlik katsayısını GNP ve SiC nanopartikül takviyeleri sırasıyla yaklaşık %64 ve %39 oranında artırırken, FS takviyesi %12.5 oranında azaltmıştır. SiC nanopartikül, polyester nanokompozitin Shore D sertliğini % 0.1 takviye edildiği numunede %5.26 oranında artırmıştır. Bu oran % 0.1 takviyeli FS için %3.85 ve %0.4 GNP için %1.9 olmuştur. Ayrıca, SiC ve GNP takviyesi polyester nanokompozitin yoğunluğunu artırırken, FS takviyesi kompozitin yoğunluğunu azaltmıştır. Numunelerin termal kararlılık sıralaması FS, GNP ve SiC takviyeli nanokompozitler olarak tespit edilmiştir. En düşük termal kararlılığa sahip numunenin UP olduğu belirlenmiştir. Termal kararlılık deneylerinde elde edilen sonuçlara göre, güçlendirilmiş nanokompozitlerin termal bozunma sırasındaki kütle kayıpları karşılaştırılmıştır. Polyester nanokompozitlerin termal bozunma davranışı kinetik denklem ile modellenmiştir. Deneysel ve teorik model sonuçları karşılaştırıldı ve doğrusal olmayan regresyon kullanılarak istatistiksel analiz ile korelasyon sayıları hesaplanmıştır.

## 1. INTRODUCTION

Polymeric composites made with unsaturated polyesters have become very common and popular in recent years. Such composites, which can be applied in the laboratory environment and are easier to process mold, and cure, can be given different properties suitable for them. Especially with nanoparticles, polyester composites can be developed according to the purpose of use.

Many studies have been carried out in the literature to increase the thermal stability of polyester composites. Inorganic additives such as ammonium polyphosphate impart non-flammability to unsaturated polyester and increase its thermal stability [1-5]. When expandable graphite, silica, melamine, some phosphorus, and halogen compounds are used as fillers, both thermal and mechanical properties of polyester have been improved [6-8]. Also, the use of metal particles such as aluminum, copper, zinc, stainless steel, silver, gold, and nickel in the polymer matrix gives the polyester composite flame retardant properties [9, 10].

Physical decomposition in composites obtained from unsaturated polyester continues up to 120 °C. If there are hydrated compounds in the composite structure, the removal of hydrated water can reach 160 °C. At higher temperatures, volatile chemical compounds may be removed from the composite structure. Chemically, the thermal decomposition phase starts after a temperature of about 260 °C and occurs very quickly. Inorganic impurities remaining in the polyester composite without decomposition can remain in the composition of the waste ash above 700 °C [11-13].

Nanoparticles have started to be used thanks to the technological developments that have developed in addition to micro-structure additives and fillers. It has been determined that nanoparticles such as carbon nanotubes and graphene strengthen the mechanical and physical properties of the polyester composite. In the researches, carbon nanotube and graphene reinforcement gave good results

in mechanical tests of the polyester nanocomposite, even at low mass ratios. Also, nanoparticles such as nano-silica and glass fiber improve the mechanical properties of the polyester composite [14-16].

In other studies, on unsaturated polyester, thermal decomposition kinetics of the reinforced composites have been investigated. Using the model equations in the literature, results can be evaluated with thermogravimetric analysis for the polyester composites [17-19].

When the studies in the literature are examined, although there are studies in which GNP, SiC and FS nanoparticles are used separately, there is no study in which all three are used together. In this study, GNP, SiC, and FS were used as reinforced nanoparticles in unsaturated polyester. The effects of these nanoparticles on the thermal conductivity coefficient, Shore D hardness, density, and thermal stability of the produced composite have been evaluated. The reinforcement of these nano-sized particles can improve some desired properties of the polyester composite.

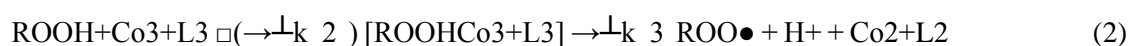
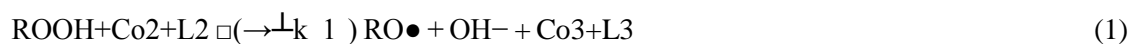
## 2. MATERIAL AND METHOD

### 2.1 Materials

Orthophthalic based unsaturated polyester resin (UP), methyl ethyl ketone peroxide (MEKP), and cobalt octoate (Co. Oc.) used in this study were supplied from Turkuaz Company. Graphene (GNP) is 99.9% pure, 3nm thick, 1.5 µm in diameter, 2267 kg/m<sup>3</sup> density, and has a surface area of 800 m<sup>2</sup>/g. Fumed Silica (Aerosil 300) has a purity of 99.8%, a surface area of 300 m<sup>2</sup>/g, a tamped density of 55 kg/m<sup>3</sup>, and a particle diameter of 7 nm. Silicon Carbide (SiC) has 99.5% purity, 50-70 nm size, 3320 kg/m<sup>3</sup> density, and 40-85 m<sup>2</sup>/g surface area. All nanoparticles have been supplied from Nanography.

### 2.2 Methods

Table 1 shows the utilization rates of nanoparticles in the polyester nanocomposite, and Figure 1 shows the production scheme of the nanocomposite obtained with synthesized unsaturated polyester. Free radical decomposition can occur rapidly by cobalt ions by redox reactions at low temperatures, and free radicals can be formed.

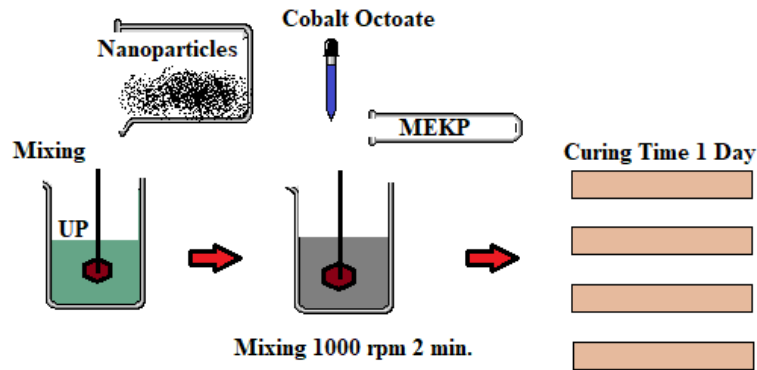


Free radicals (RO• and ROO•) and octoate compound (L) are seen in chemical reactions (1) and (2) [20].



**Table 1.** Experimental study plan of nanoparticles

Sample No	Nanoparticle Ratio (wt.%)	UP (wt.%)	MEKP (wt.%)	Co. Oc. (wt.%)
1	0.0	98.4	1.2	0.4
2	0.2	98.2	1.2	0.4
3	0.4	98.0	1.2	0.4
4	0.6	97.8	1.2	0.4
5	0.8	97.6	1.2	0.4
6	1.0	97.4	1.2	0.4



**Figure 1.** Experimental working scheme of the produced polyester nanocomposite

### 2.3 Thermal Decomposition Kinetic

In the equations below, the conversion rate ( $\alpha$ ) is expressed as initial mass ( $M_i$ ), final residual mass ( $M_f$ ), and time-varying mass ( $M_t$ ). The thermal degradation of polyester nanocomposite has been investigated by chemical reaction kinetics. Here, reaction rate constants ( $k_1$ , and  $k_2$ ), degree of chemical reaction ( $m$ , and  $n$ ), rate of temperature increase ( $\beta$ ), and conversion function ( $f(\alpha)$ ) are used in the equations. The change of conversion with time in a chemical reaction is shown in Eq. 2, and the change of conversion with temperature is shown in Eq. 5. The thermal degradation kinetics of the produced polyester nanocomposites have been modeled according to Equation 6 by performing the necessary integration processes after the equations are arranged. The model equation of the conversion rate ( $\alpha$ ) obtained by making the necessary simplifications, depending on the temperature ( $T$ ),  $K$ ,  $k_1$ , and  $k_2$  are given in Eq. 7.

$$\alpha = \frac{M_t - M_f}{M_i - M_f} \quad (1)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(T) \cdot f(\alpha) \quad (2)$$

$$f(\alpha) = (1-\alpha)^n \quad (3)$$

$$k(T) = (k_1 + k_2 \cdot T)^m \quad (4)$$

$$\frac{d\alpha}{dT} = \frac{1}{\beta} ((k_1 + k_2 \cdot T)^m)(1-\alpha)^n \quad (5)$$

$$\frac{(1-\alpha)^{1-n}}{(n-1)} = \frac{(k_1 + T \cdot k_2)^{m+1}}{\beta \cdot (m+1) \cdot k_2} \quad (6)$$

$$\alpha = 1 - \left[ \frac{(k_1 + T \cdot k_2)^{\frac{(m+1)}{(1-n)}}}{K} \right] \quad (7)$$

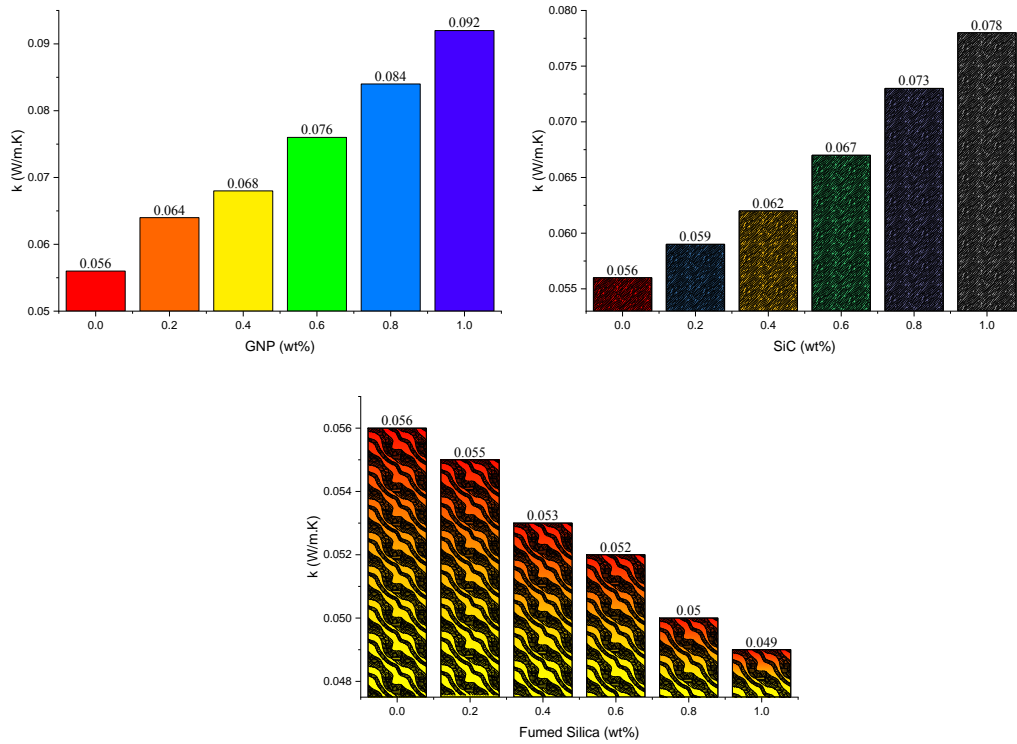
The thermal decomposition behavior of the polyester nanocomposite has been re-improved with the help of kinetic equations in the literature [21-30].

### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

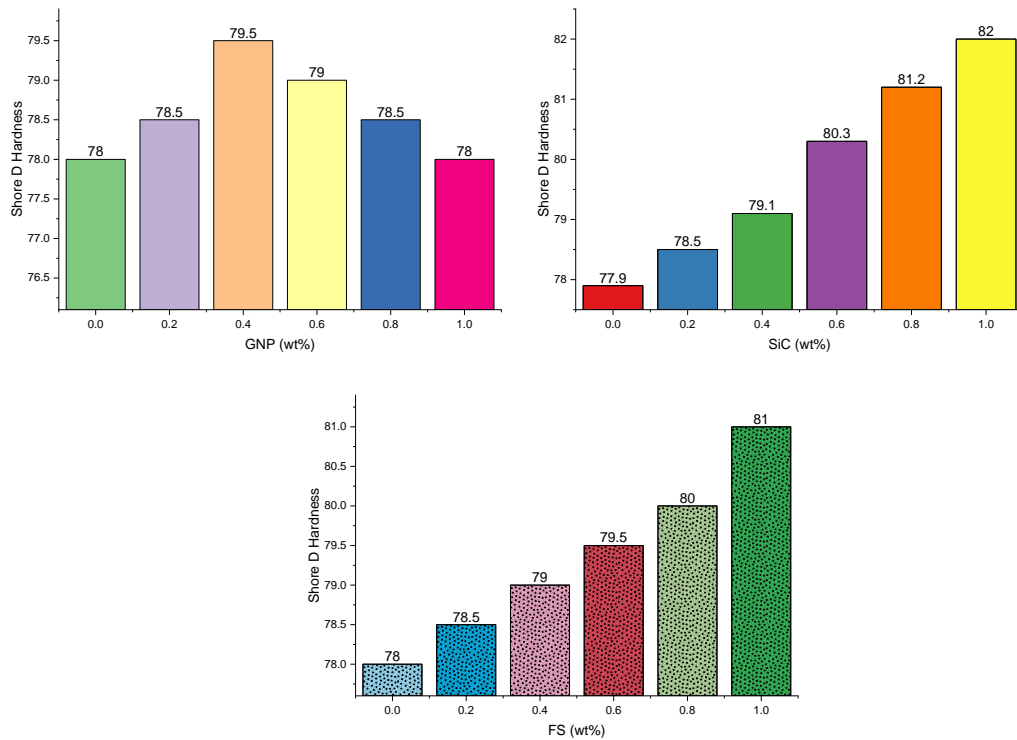
When the results obtained in the experimental studies have been evaluated, it is determined that the thermal conductivity coefficient of the polyester nanocomposite rose as the GNP ratio increased. When Figure 2 has been examined in detail, it is seen that the thermal conductivity coefficient of the obtained polyester nanocomposite is increased by GNP and SiC nanoparticles, while FS decreased it. In other words, FS nanoparticles improved the insulation property of the produced polyester nanocomposite.

In Figure 3, although the Shore D hardness of GNP reinforced polyester nanocomposite tends to increase, it does not change much at high rates. It is seen that the Shore D hardness increases as the SiC nanoparticle ratio (wt%) rise in the polyester nanocomposite. It has been determined that polyester nanocomposite FS reinforcement also increased Shore D hardness.

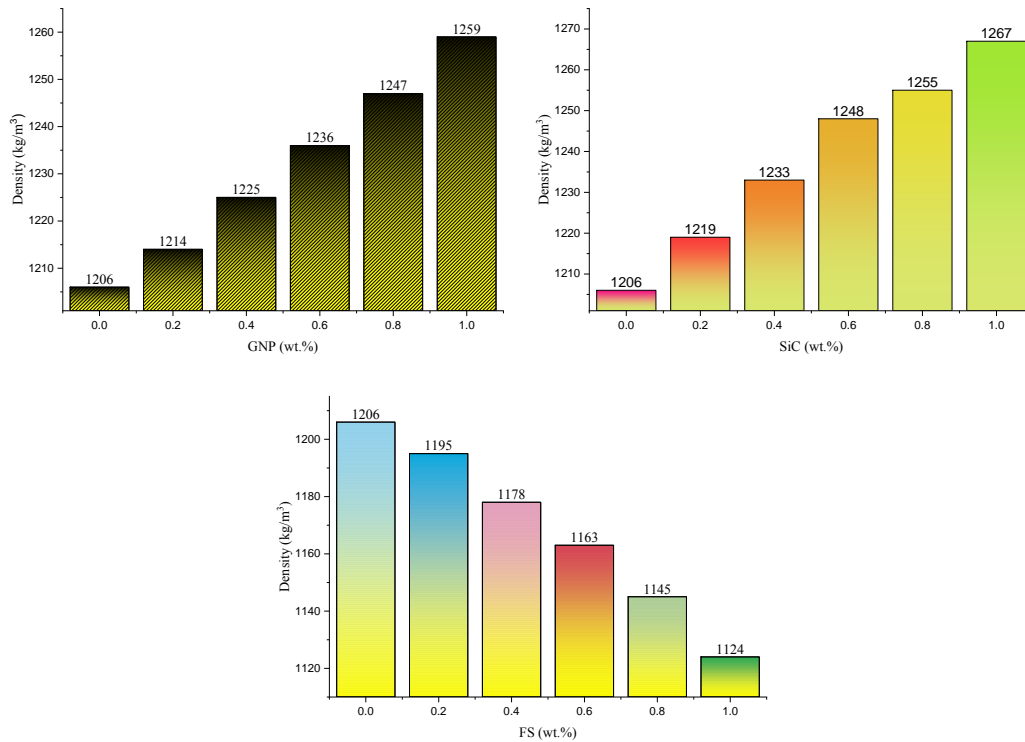
In Figure 4, the effect of the nanoparticle ratio in the polyester on the density of the nanocomposite has been evaluated. Although the density of polyester nanocomposite reinforced with SiC and GNP nanoparticles increased, the addition of FS filler decreased the density of the composite.



**Figure 2.** Effect of GNP, SiC, and FS reinforcement on thermal conductivity of the polyester nanocomposite

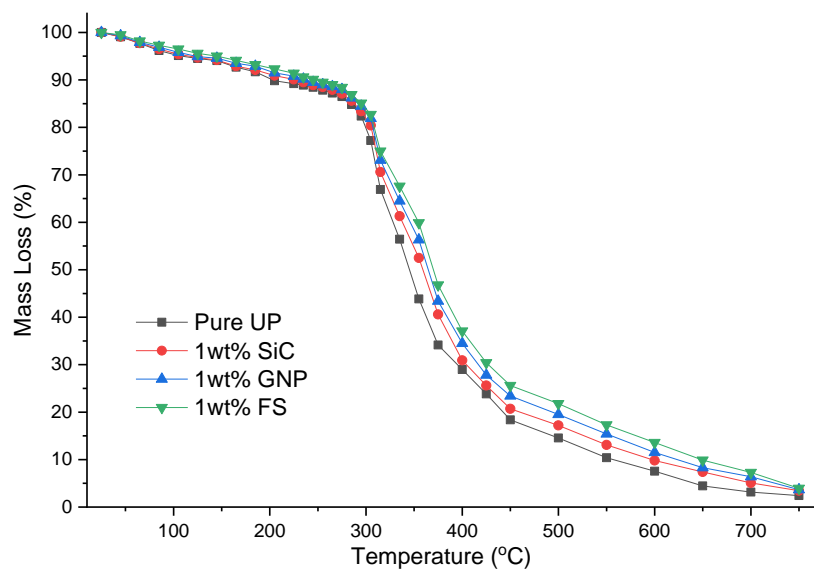


**Figure 3.** Effect of GNP, SiC, and FS reinforcement on Shore D hardness of the polyester nanocomposite



**Figure 4.** Effect of GNP, SiC, and FS reinforcement on the density of the polyester nanocomposite

In Figure 5, the thermal degradation behavior of the nanoparticles has been compared with the temperature increase. The fastest thermal decomposition is observed in pure unsaturated polyester, and the slowest thermal degradation is seen with 1 wt% FS reinforced polyester nanocomposite. The thermal stability of 1% GNP reinforced polyester nanocomposite is found to be better than 1% SiC reinforced nanocomposite.



**Figure 5.** Effect of GNP, SiC, and FS reinforcement on thermal decomposition of the polyester nanocomposite

Thermal decomposition experiments of the polyester nanocomposite have been carried out in the PID-controlled system with a temperature increase of 10 K/min. The thermal degradation behavior of polyester nanocomposite has been evaluated with conventional thermogravimetric analysis. The mass losses of polyester nanocomposites shown in Figure 5 are applied to the kinetic model in Equation 7. The correlation coefficients calculated with the help of statistical analyzes are given in Table 2. In Table 3, the calculated root mean square error (RMSE), a sum of squares total (SST), chi-square ( $\chi^2$ ), and correlation coefficients ( $R^2$ ) values are expressed. The compatibility between the experimental data and the theoretical model has been determined by the minimum error functions and the maximum  $R^2$  values.

**Table 2.** Coefficients of the kinetic model found in Equation 7

Experiments	$k_1$	$k_2$ (1/°C)	m	n	K
Pure UP	-1.51911	0.00519	-0.61686	0.02694	1.17309
1 wt% SiC	-6.39970	0.02136	-0.57548	0.60183	5.32471
1 wt% GNP	-4.85423	0.01625	-0.53986	0.62924	5.45855
1 wt% FS	-7.15376	0.02409	-0.49685	0.60897	6.82943

**Table 3.** Evaluation of the kinetic model with statistical analysis

Experiments	RMSE	SST	$R^2$	$\chi^2$
Pure UP	0.03802	0.64332	0.97581	0.08265
1 wt% SiC	0.06033	0.72420	0.96298	0.08160
1 wt% GNP	0.01521	0.58075	0.98114	0.07374
1 wt% FS	0.02901	0.59884	0.97760	0.08027

#### 4. CONCLUSION

When the experimental results of the produced polyester nanocomposites have been evaluated:

(i) FS reinforced composite had the highest thermal stability, while pure polyester nanocomposite (UP) had the lowest.

(ii) The lowest density and thermal conductivity coefficient have been obtained in FS added polyester nanocomposite [31-33]. The thermal conductivity coefficient of polyester nanocomposite was lowered by 12.5% due to FS reinforcement.

(iii) With SiC filler, polyester nanocomposite has got maximum Shore D hardness [34-36]. SiC nanoparticles increased the Shore D hardness of the polyester nanocomposite by 5.26% in the sample with 0.1% reinforcement. This ratio was 3.85% for 0.1% supplemented FS and 1.9% for 0.4% GNP.

(v) Obtained with the highest density polyester nanocomposite SiC reinforcement.

(iv) Graphene nanoparticle (GNP) increased the thermal conductivity coefficient of polyester nanocomposite the most. The thermal conductivity coefficient of the generated polyester nanocomposite

was improved by roughly 64% and 39%, respectively, with the addition of GNP and SiC nanoparticle reinforcements.

Hence, FS nanoparticles should be preferred to produce a composite with low density, good insulating properties, and high thermal stability. SiC nanoparticles may be used to obtain polyester nanocomposites with high density and hardness. GNP nanoparticles can be preferred to synthesize polyester nanocomposites with high thermal conductivity.

## CONFLICTS OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors.

## AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Cenk YANEN: Visualization, methodology, validation, analysis, data collection, writing-review and editing, supervision. Ercan AYDOĞMUŞ: Writing-original draft preparation, analysis, data collection, data curation, conceptualization.

## REFERENCES

- [1] S. Hörold, "Phosphorus flame retardants in thermoset resins," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 64, no. 3, pp. 427–431, 1999, doi: 10.1016/S0141-3910(98)00163-3.
- [2] T. D. Hapuarachchi and T. Peijs, "Aluminium trihydroxide in combination with ammonium polyphosphate as flame retardants for unsaturated polyester resin," *Express Polym. Lett.*, vol. 3, no. 11, pp. 743–751, 2009, doi: 10.3144/expresspolymlett.2009.92.
- [3] B. K. Kandola, L. Krishnan, and J. R. Ebdon, "Blends of unsaturated polyester and phenolic resins for application as fire-resistant matrices in fibre-reinforced composites: Effects of added flame retardants," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 106, pp. 129–137, 2014, doi: 10.1016/j.polyimdegradstab.2013.12.021.
- [4] Y. Yu *et al.*, "Modified montmorillonite combined with intumescent flame retardants on the flame retardancy and thermal stability properties of unsaturated polyester resins," *Polym. Adv. Technol.*, vol. 30, no. 4, pp. 998–1009, 2019, doi: 10.1002/pat.4533.
- [5] J. Reuter, L. Greiner, F. Schönberger, and M. Döring, "Synergistic flame retardant interplay of phosphorus containing flame retardants with aluminum trihydrate depending on the specific surface area in unsaturated polyester resin," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 136, no. 13, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1002/app.47270.
- [6] S. Nazaré, B. K. Kandola, and A. R. Horrocks, "Flame-retardant unsaturated polyester resin incorporating nanoclays," *Polym. Adv. Technol.*, vol. 17, no. 4, pp. 294–303, 2006, doi: 10.1002/pat.687.

- [7] E. Kuzdzał, B. Cichy, E. Kicko-Walczak, and G. Rymarz, "Rheological and fire properties of a composite of unsaturated polyester resin and halogen-free flame retardants," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 134, no. 2, pp. 1–7, 2017, doi: 10.1002/app.44371.
- [8] J. Sag, D. Goedderz, P. Kukla, L. Greiner, F. Schönberger, and M. Döring, "Phosphorus-containing flame retardants from biobased chemicals and their application in polyesters and epoxy resins," *Molecules*, vol. 24, no. 20, 2019, doi: 10.3390/molecules24203746.
- [9] J. Reuter, L. Greiner, P. Kukla, and M. Döring, "Efficient flame retardant interplay of unsaturated polyester resin formulations based on ammonium polyphosphate," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 178, 2020, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2020.109134.
- [10] R. A. Ilyas *et al.*, "Polymer composites filled with metal derivatives: A review of flame retardants," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 11, 2021, doi: 10.3390/polym13111701.
- [11] K. Wazarkar, M. Kathalewar, and A. Sabnis, "Flammability behavior of unsaturated polyesters modified with novel phosphorous containing flame retardants," *Polym. Compos.*, vol. 38, no. 7, pp. 1483–1491, 2017, doi: 10.1002/pc.23716.
- [12] M. Jiang, Y. Yu, and Z. Chen, "Environmentally Friendly Flame Retardant Systems for Unsaturated Polyester Resin," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 170, no. 3, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/170/3/032116
- [13] E. Kicko-Walczak and G. Rymarz, "Flame-Retardant Unsaturated Polyester Resins: An Overview of Past and Recent Developments," *Polyest. - Prod. Charact. Innov. Appl.*, 2018, doi: 10.5772/intechopen.72536.
- [14] E. S. Al-hassani, "Effect of Nano Carbon Tube on the Mechanical and Physical Properties of Composites Based on Resin Route," *Eng. Technol. J.*, vol. 36, no. 4, 2018, doi: 10.30684/etj.36.4a.7.
- [15] N. S. Particles and G. Fibers, "Some Mechanical Properties of Polymer Matrix Composites Reinforced by Nano Silica Particles and Glass Fibers," *Eng. Technol. J.*, vol. 36, no. 12A, 2018, doi: 10.30684/etj.36.12a.10.
- [16] A. Kurt, H. Andan, and M. Koca, "Synthesis and Characterization of a New Bithiazole-Containing Conjugated Polymer and its Thermal Decomposition Kinetics," *Maced. J. Chem. Chem. Eng.*, vol. 39, no. 2, pp. 227–237, 2020, doi: 10.20450/mjccce.2020.2025.
- [17] Y. S. Yang and L. Suspene, "Curing of unsaturated polyester resins: Viscosity studies and simulations in pre-gel state," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 31, no. 5, pp. 321–332, 1991, doi: 10.1002/pen.760310505.
- [18] M. Malik, V. Choudhary, and I. K. Varma, "Current status of unsaturated polyester resins," *J. Macromol. Sci. - Polym. Rev.*, vol. 40, no. 2–3, pp. 139–165, 2000, doi: 10.1081/MC-100100582.
- [19] L. Xu and L. J. Lee, "Kinetic analysis and mechanical properties of nanoclay reinforced unsaturated polyester (UP) resins cured at low temperatures," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 45, no. 4, pp. 496–509, 2005, doi: 10.1002/pen.20309.
- [20] M. Poorabdollah, M. H. Beheshty, and M. Vafayan, "Kinetic modeling of nanoclay-reinforced unsaturated polyester resin," *Polym. Compos.*, vol. 32, no. 8, pp. 1265–1273, Aug. 2011, doi: <https://doi.org/10.1002/pc.21146>.
- [21] Y. J. Huang and J. S. Leu, "Curing of unsaturated polyester resins. Effects of temperature and initiator: 1. Low temperature reactions," *Polymer (Guildf)*, vol. 34, no. 2, pp. 295–304, 1993, doi: 10.1016/0032-3861(93)90080-T.

- [22] M. G. Lu, M. J. Shim, and S. W. Kim, "Curing behavior of an unsaturated polyester system analyzed by Avrami equation," *Thermochim. Acta*, vol. 323, no. 1–2, pp. 37–42, 1998, doi: 10.1016/s0040-6031(98)00506-1.
- [23] D. J. Suh, Y. T. Lim, and O. O. Park, "The property and formation mechanism of unsaturated polyester-layered silicate nanocomposite depending on the fabrication methods," *Polymer (Guildf)*, vol. 41, no. 24, pp. 8557–8563, 2000, doi: 10.1016/S0032-3861(00)00216-0.
- [24] J. M. Kenny, A. Maffezzoli, and L. Nicolais, "A model for the thermal and chemorheological behavior of thermoset processing: (II) Unsaturated polyester based composites," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 4, pp. 339–358, 1990, doi: 10.1016/0266-3538(90)90020-6.
- [25] M. Lu, M. Shim, and S. Kim, "Reaction mechanism of an unsaturated polyester system containing thickeners," *Eur. Polym. J.*, vol. 37, no. 5, pp. 1075–1078, 2001, doi: 10.1016/S0014-3057(00)00198-1.
- [26] W. Li and L. J. Lee, "Low temperature cure of unsaturated polyester resins with thermoplastic additives: II. Structure formation and shrinkage control mechanism," *Polymer (Guildf)*, vol. 41, no. 2, pp. 697–710, 2000, doi: 10.1016/S0032-3861(99)00178-0.
- [27] X. Ramis and J. M. Salla, "Effect of the inhibitor on the curing of an unsaturated polyester resin," *Polymer (Guildf)*, vol. 36, no. 18, pp. 3511–3521, 1995, doi: 10.1016/0032-3861(95)92023-8.
- [28] X. Ramis and J. M. Salla, "Effect of the initiator content and temperature on the curing of an unsaturated polyester resin," *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, vol. 37, no. 8, pp. 751–768, 1999, doi: 10.1002/(SICI)1099-0488(19990415)37:8<751::AID-POLB2>3.0.CO;2-V.
- [29] Y. J. Huang, T. J. Lu, and W. Hwu, "Curing of unsaturated polyester resins—effects of pressure," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–17, 1993, doi: 10.1002/pen.760330102.
- [30] M. Kinkelaar, B. Wang, and L. J. Lee, "Shrinkage behaviour of low-profile unsaturated polyester resins," *Polymer (Guildf)*, vol. 35, no. 14, pp. 3011–3022, 1994, doi: 10.1016/0032-3861(94)90414-6.
- [31] K. Starost *et al.*, "The effect of nanosilica (SiO<sub>2</sub>) and nanoalumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) reinforced polyester nanocomposites on aerosol nanoparticle emissions into the environment during automated drilling," *Aerosol Sci. Technol.*, vol. 51, no. 9, pp. 1035–1046, Sep. 2017, doi: 10.1080/02786826.2017.1330535.
- [32] S. Rajpoot, R. Malik, and Y. W. Kim, "Effects of polysiloxane on thermal conductivity and compressive strength of porous silica ceramics," *Ceram. Int.*, vol. 45, no. 17, Part A, pp. 21270–21277, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.07.109>.
- [33] E. Aydoğmuş and H. Arslanoğlu, "Kinetics of thermal decomposition of the polyester nanocomposites," *Pet. Sci. Technol.*, pp. 1–17, Jun. 2021, doi: 10.1080/10916466.2021.1937218.
- [34] S. Sivananthan, K. Ravi, and C. Samson Jerold Samuel, "Effect of SiC particles reinforcement on mechanical properties of aluminium 6061 alloy processed using stir casting route," *Mater. Today Proc.*, vol. 21, pp. 968–970, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.068>.
- [35] G. Veerappan, M. Ravichandran, M. Meignanamoorthy, and V. Mohanavel, "Characterization and Properties of Silicon Carbide Reinforced Ni-10Co-5Cr (Superalloy) Matrix Composite Produced Via Powder Metallurgy Route," *Silicon*, vol. 13, no. 4, pp. 973–984, 2021, doi: 10.1007/s12633-020-00455-9.



- [36] P. Raju, K. Raja, K. Lingadurai, T. Maridurai, and S. C. Prasanna, “Mechanical, wear, and drop load impact behavior of glass/Caryota urens hybridized fiber-reinforced nanoclay/SiC toughened epoxy multihybrid composite,” *Polym. Compos.*, vol. 42, no. 3, pp. 1486–1496, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/pc.25918>.

*Copyright © 2021 Yanen and Aydoğmuş. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).*



*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Geleneksel Urfa Evlerinin Ahşap Tavan Yapım Teknikleri ve Süslemeleri**  
*Wooden Ceiling Construction Techniques and Decorations of Traditional Urfa Houses*

Şeyda İNCE GAYBERİ<sup>1,\*</sup> , Neslihan DALKILIÇ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Şanlıurfa, Türkiye

<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

**MAKALE BİLGİSİ**

**Makale Tarihi**

*Alınış, 04 Haziran 2021*

*Revize, 14 Temmuz 2021*

*Kabul, 14 Temmuz 2021*

*Online Yayınlama, 01 Ekim 2021*

**Anahtar Kelimeler**

*Geleneksel Urfa Evleri, Geleneksel yapım teknikleri, Ahşap tavan, Süsleme, Sürdürülebilirlik*

**ARTICLE INFO**

**Article History**

*Received, 04 June 2021*

*Revised, 14 July 2021*

*Accepted, 14 July 2021*

*Available Online, 01 October 2021*

**Keywords**

*Traditional Urfa Houses, Traditional construction techniques, Wooden ceilings, Decoration, Sustainability*

**ÖZ**

Geleneksel Urfa evlerinde ahşap malzeme; tavanlar, duvar kaplamaları, dolap kapakları ile kapı ve pencere doğramalarında yaygın olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında geleneksel Urfa evlerinin ahşap tavan yapım teknikleri ve bezeme özellikleri incelenmiş; ahşap kirişli tavan, düz tavan ve tekne tavan yapım teknikleri ile çıtalı, applike ve kalem işi ahşap tavan süslemeleri detaylı olarak anlatılmıştır. Düz ahşap kaplama tavanlarda süsleme için çıtalı ve applike süsleme ile oyma ve boyama tekniklerinden bir veya birkaçı kullanılırken tekne tavanlarda bunlara ek olarak ahşap malzeme üzerine kalem işi süslemelerin yapıldığı görülmüştür.

**ABSTRACT**

Wooden material in traditional Urfa houses; It has been widely used in ceilings, wall coverings, cabinet doors, and door and window joinery. Within the scope of this study, wooden ceiling construction techniques and decoration features of traditional Urfa houses were examined; wooden beamed ceiling, wooden ceiling and boat ceiling construction techniques and wooden ceiling decorations with lath, applique and hand drawn are explained in detail. As a result of the research; it has been observed that while one or more of the laths and applique decoration and carving and painting techniques are used for decoration on the flat wooden coated ceilings, in addition to these, hand-carved ornaments on the wooden material were used on the boat ceilings.

**\*Sorumlu Yazar**

**E-posta Adresleri:** [seydagayberi@harran.edu.tr](mailto:seydagayberi@harran.edu.tr) (Şeyda İNCE GAYBERİ), [neslidal@dicle.edu.tr](mailto:neslidal@dicle.edu.tr) (Neslihan

DALKILIÇ)

## 1. GİRİŞ

Kültür mirasımızda önemli bir yeri olan geleneksel Urfa evleri, mimari özellikleri ve yapım detaylarıyla göze çarpar. Evlerin ana yapım malzemesi kireç taşıdır. Sokağa kapalı, içe dönük tasarlanan geleneksel Urfa evlerinin bol süslemeli avlu cephelerinde, taş işçiliğinin en güzel örneklerini görmek mümkündür. Taş malzemededen sonra yoğun olarak kullanılan bir diğer malzeme ise ahşaptır. Evlerin tavanlarında, duvar kaplamalarında, niş ve dolap kapakları ile kapı ve pencere doğramalarında ahşap malzeme kullanılmıştır.

Geleneksel Urfa Evlerinin mimari özellikleri ile ilgili yapılmış çalışmalar sınırlıdır [1-5]. Evlerin ahşap tavanlarının yapım teknikleri ve süslemeleri konusunda ise kapsamlı araştırmalar bugüne kadar yapılmamıştır. Bu konudaki bilgiler, tek yapı ölçeğinde yapılan restorasyon uygulamaları çalışmalarında kısmen anlatılmıştır [3].

Son yıllarda geleneksel yapılarda kullanılan ahşap malzemenin özellikleri, korunması ve onarımı konusunda yapılan bilimsel çalışma, etkinlik ve yayınların artmış olması, tarihi yapılarda kullanılan ahşap malzemenin korunması konusunda bilinç düzeyinin yükselmesini sağlamıştır [6-14]. Koruma çalışmalarının ilk aşamasının bilimsel tespit ve belgeleme çalışması olduğu ilkesinden hareketle; mimari mirasın korunması ve sürdürülebilirliği için geleneksel malzemenin özelliklerinin ve yapım tekniklerinin bilinmesinin gerekliliği, araştırmacıları geleneksel Urfa evlerinin ahşap tavan yapım teknikleri ve süslemeleri konusunda çalışmaya yönlendirmiştir. Bu araştırma sonucunda elde edilen bilgilerin geleneksel Urfa evlerinin korunması ve ahşap yapım tekniklerinin belgelenmesi çalışmalarına katkı sunması hedeflenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Araştırmanın ana konusunu Şanlıurfa tarihi kent merkezinde yer alan ve “geleneksel Urfa evleri” olarak adlandırılan tarihi evler oluşturmaktadır. Geleneksel Urfa evleri avlulu plan düzeninde yapılmıştır. Zemin katında yaşama mekânları olan avlu, oda, eyvan ile servis mekânları olan mutfak (tandırılık), kiler (zerzembe), ahır (develik), hamam (banyo) ve tuvalet (hela) bir arada bulunur. Birinci katta ise daha çok yaşama mekânları yer alır. Oda, eyvan, gezenek gibi kapalı, yarı açık ve açık yaşama mekânlarının yanı sıra bazen tuvalet ve mutfak gibi servis mekânları da üst kattadır [1-2]. Bu mekânların tavanları, genellikle zemin katlarda kireç taşıdan yapılmış beşik tonoz veya çapraz tonoz, üst katlarda ise farklı tekniklerde yapılmış ahşap tavanlardır. İç mekânlar dekore edilirken en çok ahşap tavanlar üzerine yoğunlaşmıştır. Birçok evde odaların ve eyvanların ahşap tavanları süslemeleriyle dikkat çeker. Başodaların ahşap tavanları diğer mekânların ahşap tavanlarından daha gösterişlidir.

Üst örtüsünde ahşap malzemenin kullanıldığı kapalı (oda) ve yarı açık mekânlar (eyvan), kare ya da dikdörtgen formlardadır. Odaların eni genellikle 3 - 4 m, uzunluğu da 4 - 6 m arasında değişir [3]. Bazı ender örneklerde oda boyutları 3,8 x 7,8 m veya 5 x 8 m ölçülmüştür. Boyutları büyük olan odalar evlerin başodalarıdır. Eyvanlar ise genellikle 3,00-3,60 m genişliğinde, 4 - 5 m uzunluğundadır. Daha küçük boyutlu olan örneklere de rastlanılmıştır [1].

Bu çalışma kapsamında, geleneksel Urfa evlerinde ahşap malzeme ile yapılmış tavanlar ve süslemeler incelenmiştir. Evler seçilirken farklı yapım teknikleri ve süslemelerin yer aldığı örnekler seçilmiştir. İncelenen tüm yapıların fotoğrafla belgeleme çalışmaları yapılmış, yıkılan bazı evlerin ise arşivlerde bulunan fotoğraflarından faydalanılmıştır. Bir kısmı yıkılan tavanlar incelenerek yapım detayları belgelenmiştir. Yapım teknikleri konusunda yerinde yapılan inceleme ve gözlemlerin yanında hem literatür taraması yapılmış hem de ahşap ve taş ustalarıyla [15] görüşülerek detaylı bilgi edinilmiştir. Bu bilgiler fotoğraf ve çizimlerle aktarılmıştır.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1 Geleneksel Urfa Evlerinin Ahşap Tavan Yapım Teknikleri

Geleneksel Urfa evlerinde üç tip ahşap tavan yapımı tespit edilmiştir. Ahşap kirişler alttan yalın, kaplamasız bırakılarak “ahşap kirişli tavan (ters tavan)”, ahşap kirişlere alttan ahşap kaplama yapılarak “ahşap kaplama tavan (düz ahşap kaplama tavan)” ve yanlarda kademeli kat kat pervazlar çakılıp tavanın ortası düz bırakılarak “tekne tavan” yapılmıştır [2].

##### 3.1.1 Ahşap Kirişli Tavan (Ters Tavan)

Ahşap kirişli tavan, yuvarlak kesitli ahşap kirişlerin yan yana getirilmesi ve üzerlerine ahşap kaplama tahtalarının çakılması ile oluşturulmuştur (Şekil 1). Tavan kirişlerine üstten çakılan ahşap tavan kaplamaları farklı bağlantı teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Yan yana çakılan kaplama tahtaları ahşap kirişlerin aksine odaların uzun kenarı doğrultusunda yerleştirilmiştir. Bu uygulama türlerinde yuvarlak kesitli ahşap kirişlerin tavanda görünmesi iç mekâna hareket katmıştır.

Taşıyıcı olan ahşap kirişler dut ve kavak ağacından yapılmıştır. Kirişler 15-25 cm çapında olup boyları buldukları odanın ölçülerine göre belirlenmiştir. Bu kirişler odaların kısa kenarları boyunca yaklaşık 20-40 cm aralıklarla dizilmiştir. Ahşap kiriş aralıkları, kirişlerin kesitlerine göre belirlenmiştir. Taşıyıcılığı daha az olan ince kesitli kirişler daha sık atılmıştır (Şekil 1.b). Ahşap kirişlerin her iki ucunun duvarlara oturduğu kısımlar ahşap yastıkla desteklenerek yüzey boşlukları kapatılmış, kirişler duvar içlerine yaklaşık 20-25 cm harç ile yerleştirilip sabitlenmiştir. Bazı uygulamalarda ahşap kirişlerin üzeri boyanmıştır.



a.

b.

Şekil 1. Ahşap kirişli tavanlar

### 3.1.2 Ahşap Kaplama Tavan (Düz Tavan)

Alttan düz ahşap malzeme ile kaplama yapılan ahşap kirişli tavanlara “ahşap kaplama tavan” veya “düz tavan” denilmektedir. Tavanlarda kullanılan kaplama tahtaları üstteki taşıyıcı kirişlere bağlantı elemanları ile alttan uygulandığı için yuvarlak kesitli tavan kirişleri görünmez. Bazı uygulamalarda kaplama işleminden sonra tavan ve duvarın birleştiği yerlerdeki açıklıklar ahşap pervazlar ile kapatılmıştır (Şekil 2-3).

Düz ahşap kaplama tavanlarda farklı yapım teknikleri kullanılmıştır. Yan yana çakılan kaplama tahtaları, enlemesine dizilerek “boy/en birleştirme” ve “düz birleştirme” veya yanlarında boydan boya açılan oluklarla birbirlerine bağlanarak “kirişli birleştirme” teknikleri uygulanarak birleştirilmiştir. Tahtalar, oda kenarından başlayarak karşı kenara doğru yan yana dizilir. 0,5-1,5 cm kalınlığında, 8-12 cm genişliğindeki ahşap malzemenin düz bir tavan oluşturulur.

Ahşap kaplama tavanlarda zengin ahşap işçiliğinin yer aldığı, farklı süsleme teknikleriyle yapılmış tavan örneklerine rastlanmaktadır. Genellikle bu tavanların orta göbeklerinde ve dört kenarında applike süslemeler yapılmıştır (Şekil 2.b).

Geleneksel uygulamalarda tavan kaplama tahtaları yan yana düz birleştirme tekniğinde çakılırken, birleştirme yerlerinde olabilecek açıklıklar çitalar çakılarak kapatılmıştır. Bu uygulamaya “pasalı tavan tekniği”, tavanlara “pasalı tavan” denir [16]. (Şekil 3.b). İki tahta arasındaki açıklığı kapatmak için açıklığın üzerine çakılan çita süsleme, iki tahtanın birbirini daha iyi tutmasını sağlar.



a. Yalın bırakılmış ahşap düz tavan



b. Yüzeyi kaplanmış ahşap düz tavan

Şekil 2. Ahşap kaplama düz tavanlar



a.



b.

Şekil 3. Pasalı ahşap kaplama düz tavanlar

### 3.1.3 Tekne Tavan

Geleneksel Urfa evlerinde uygulanan tekne tavanlar bağdadi tekniğiyle veya ahşap kaplama tekniğiyle yapılmıştır. Günümüze ulaşan örneklerinde süslemelerin çeşitliliği ve zenginliği göze çarpar (Şekil 4-7)

Bağdadi tekniğinde yapılan tekne tavanlarda, öncelikle ahşap kirişli tavan (ters tavan) yapılır. Burada kullanılan ahşap kirişler alttan görülmediği için sade ve özensizdir. Ağaç kirişler üzerine bağdadi çıtalar yanyana çakılarak dizilir. Çıtaların üzerine bağdadi sıvası vurulur, sıva üzerine de düz boya yapılır. Bağdadi çıtaları genellikle 1cm kalınlıkta, 2-3 cm genişliğinde olur. Tavanlarda kenar ile orta bölüm arasında düzey farkının bulunduğu ve tavanın ortasının tekne gibi girgin olduğu görülür (Şekil 4-5). Kenarlardan kavislenen bağdadi sıva ile yapılan pervazdan içeriye doğru tavan daraltılarak [2]. (Şekil 4); ortası kare, dikdörtgen (Şekil 5.a.) veya kubbe (elips) şeklinde bir yüzey oluşturulur (Şekil 5.b.). Tekne tavan uygulamalarında yapılan kavisli pervazlar sac, bağdadi sıva veya ahşap ile yapılmıştır.



Şekil 4. a, b. Bir kısmı yıkılan bağdadi tekniğinde dörtgen tekne tavanlar - Karaçizmeler Evi [17]



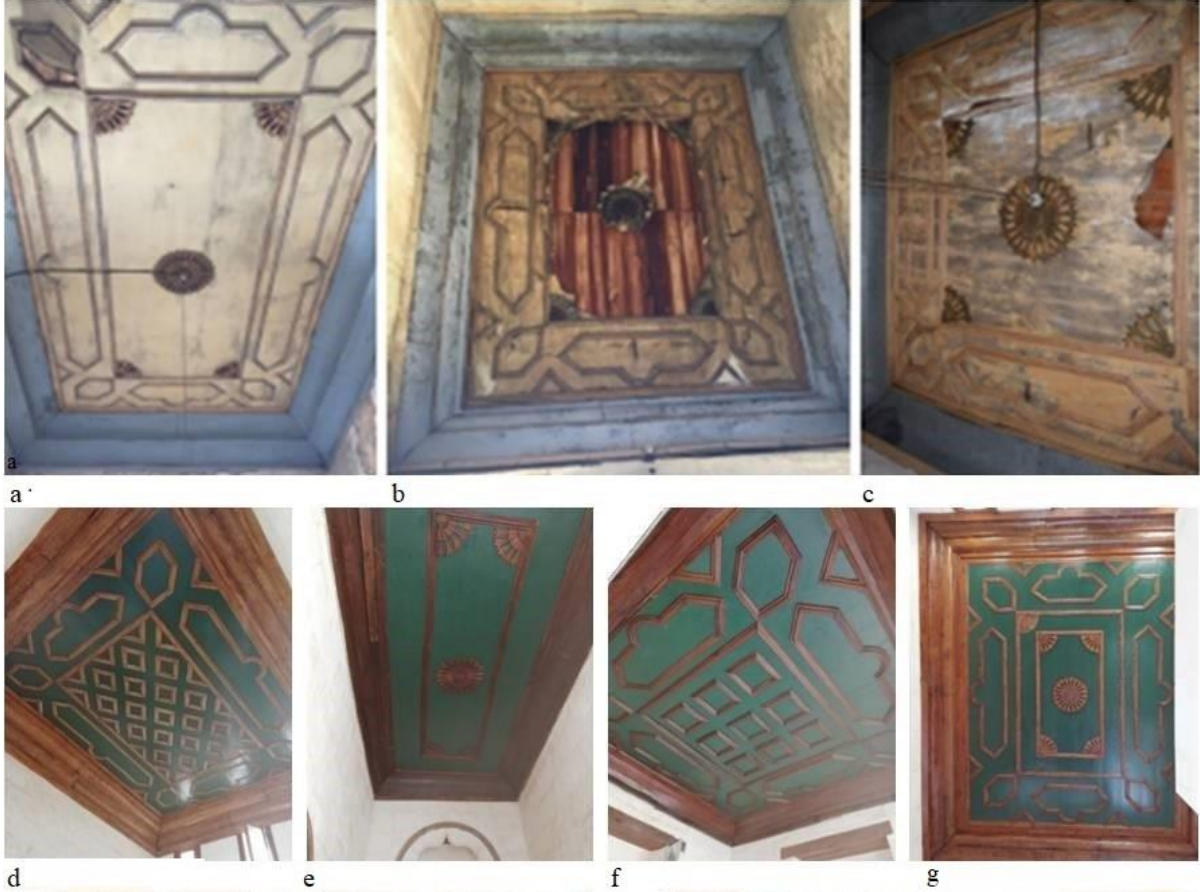
Şekil 5. a, b. Bağdadi tekniğinde yapılan dörtgen ve elips tekne tavanlar - Akyüzler evi [18]

Ahşap kaplama tekniğinde yapılan tekne tavanlarda, ilk aşamada düz ahşap tavan yapım tekniği uygulanarak tavanın zemini, daha sonra da zemin üzerine, yan taraflara kat kat olarak pervazlar çakılıp tavan oluşturulur. Pervaz ile tavanın zemini arasında yaklaşık 15–20 cm kot farkı bulunur [19].



Şekil 6. Yalın bırakılmış ahşap tekne tavanlar

Bazı evlerde ahşap yüzey üzerine, beyaz, krem, kahverengi ve çoğunlukla yeşil renkli boya sürülmüş keten kumaş gerilip ahşap çıtalar çakılmıştır. Böylece uygulanan çıtalı ve applike süslemeler ile ahşap tekne tavanların yapımı tamamlanır (Şekil 7).



Şekil 7. Boyanmış ve/veya kumaş kaplanmış, çıtalı ahşap tekne tavanlar

Tekne tavan yapımı kaliteli işçilik ve maliyet gerektirdiğinden, genellikle iyi gelirli ailelerin evlerinde, başodalarda görülmektedir.

### 3.2 Geleneksel Urfa Evlerinde Tavan Süslemeleri

Geleneksel Urfa evlerinde tavan süslemelerinde çıtakari, applike ve kalem işi süsleme teknikleri uygulanmıştır. Bazı tavanlarda bu tekniklerin ikisi veya üçü birden kullanılmıştır.

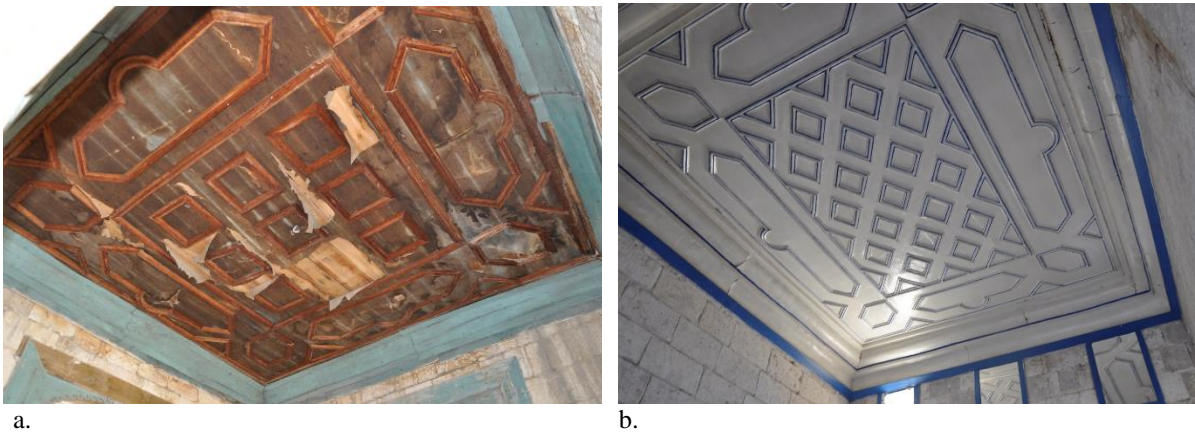
#### 3.2.1 Çıtalı (Çıtakari) Tavan Süslemeleri

Çıtalı tavanlar, ahşap tavan yüzeyine farklı şekillerde çıtalar kullanılarak çeşitli desenlerin yapıldığı bir uygulamadır. Düz ahşap kaplama tavanlarda çıtaların farklı geometrik şekillerde veya yalın olarak kullanılmasıyla yapılan süslemelere “çıtalı süslemeler”, bu süslemelerin yapıldığı tavanlara da “çıtalı tavanlar” denilmektedir [20].

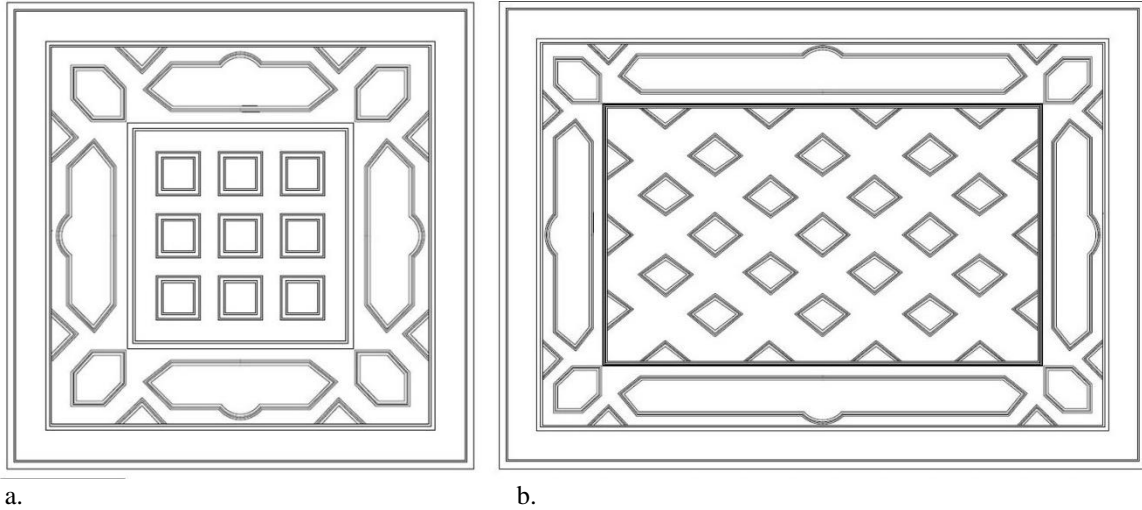


“Çıtakari” tavan süslemesi de denilen çıtalı süslemelere ve tavanlara geleneksel Urfa evlerinde sıklıkla rastlanmaktadır (Şekil 7-9). Genellikle bu çıtalar ahşabın doğal renginde veya kahverengiye boyanmış olarak kullanılmıştır. Bu ahşap çıtaların bir araya getirilmesiyle oluşturulan motifler, zemin üzerine çakılarak veya yapıştırılarak uygulanmıştır. Çıtalarla tavan zemininde üçgen, dörtgen, baklava dilimi, iki veya üç ucunda üçgen motifli dörtgen, ince uzun altıgen vb. formlarda motifler yapılmıştır. Çıtalı tavanlar genellikle ahşap çıtalarla aynı renkte pervazlarla çevrilidir.

Bazı çıtalı tavanların göbeklerinde yoğun işçilikle yapılmış “aplike süslemeler” vardır. Bu yöntemde genellikle tavan ortasına ajur tekniğinde yapılmış göbek, etrafında çıta ve bordür tahtalarından oluşan çıtakari tekniği ile süslemeler uygulanmıştır [19] (Şekil 7a, 7b, 7c, 7e, 7g).



Şekil 8. Kumaş gerilerek kaplanan ve çıtalarla süslemelerin yapıldığı tavanlar



Şekil 9. Çıtalarla çeşitli geometrik şekillerde süslemelerin yapıldığı örnek tavan çizimleri

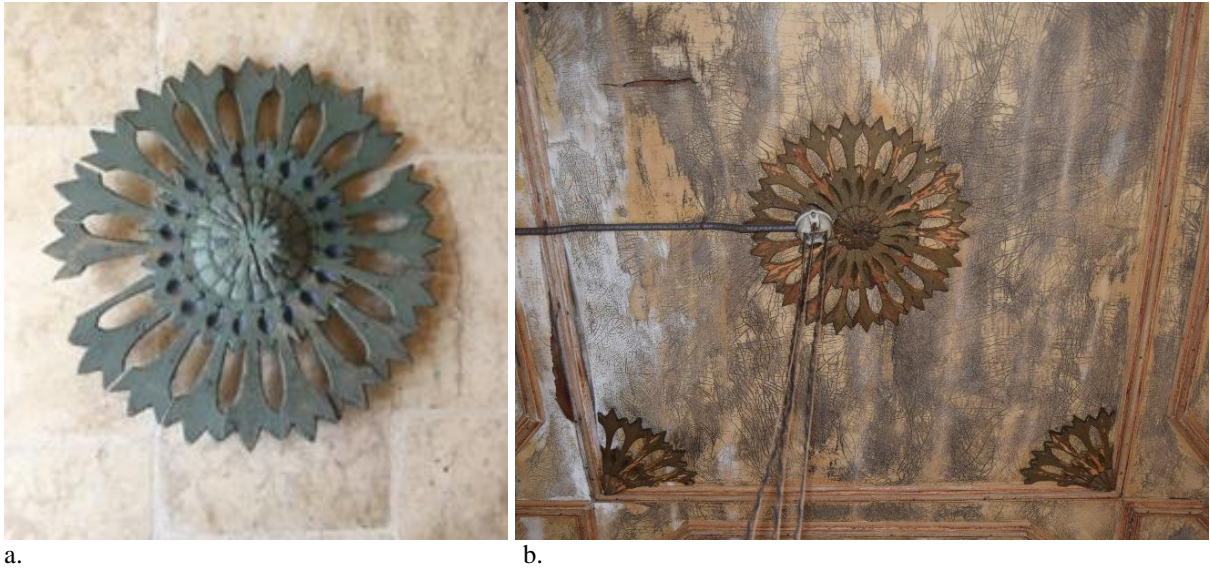
### 3.2.2 Aplike Tavan Süslemeleri

Bir şeklin üzerine çizilen motiflerin çeşitli aletler yardımıyla oyulması sonucu süsleme elemanlarının oluşturulmasına “ajur tekniği”, elde edilen süsleme elemanlarının dış yüzeylerinin motive

uygun olarak yontulup biçimlendirildikten sonra yüzeye yapıştırılması veya çakılması sonucu oluşan süslemelere “aplike süslemeler” denir [19]. Bu teknikle hazırlanan, özenle işlenmiş motifler, geleneksel Urfa evlerindeki özellikle başodaların tavanlarını süslemektedir. Düz ahşap kaplama tavanlarda ve tekne tavanlarda yapılan applike süslemelerin monte edildiği bu tavanlara da “göbekli tavanlar” denilmektedir (Şekil 6, Şekil 7a, 7b, 7c, 7e, 7g, Şekil 10-12).

Aplike süslemeler ile yapılan tavan göbekleri, tavan kaplama tahtaları sabitlendikten sonra tavan yüzeyine, tavanı ortalayarak yerleştirilir. Bazı göbekli tavan süslemelerinde koruyucu malzeme sürülerek doğal haliyle bırakılan ahşap tavan zeminin sadece ortasına yine ahşaptan oyularak yapılan bir göbek (ajur tekniği ile yapılmış süsleme) ile yalın bir süsleme tercih edilirken (Şekil 10), bazılarında ahşap tavan kaplaması üzerine gerilmiş boyalı keten kumaş üzerine süslemeler uygulanmıştır (Şekil 11).

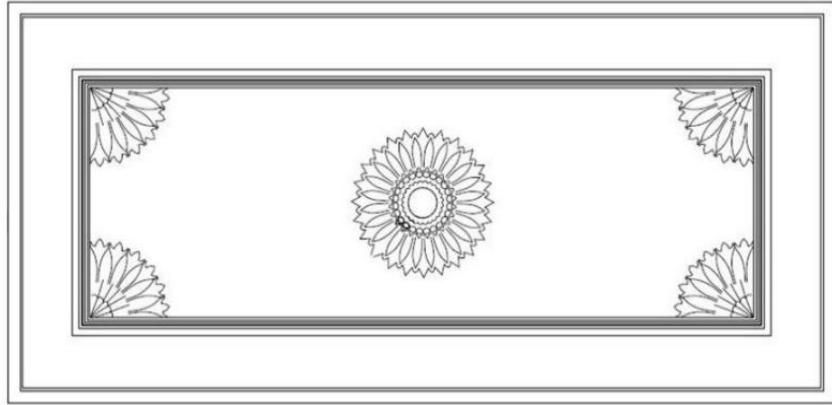
Geleneksel Urfa evlerinde applike tavan süslemeleri yaygın olarak kullanılmıştır. Bu uygulamada süsleme, ortada tam bir dairesel göbek ve dört köşede çeyrek göbekler şeklinde yapılmıştır. Tual malzemesine benzer boyalı keten kumaş, ahşap kaplama malzemesinin üzerine gerildikten sonra üzerine applike süsleme elemanları ve ahşap çitalar çakılarak tavan süslenir. Ahşap işçiliğinin zengin örneklerinin sunulduğu bu tavanlar oldukça özenli olur. Tavandaki applike süslemeler hem kendi içinde hem de diğer çitalı süslemelerle belirli bir geometrik düzen içerisinde yapılmıştır (Şekil 11-13).



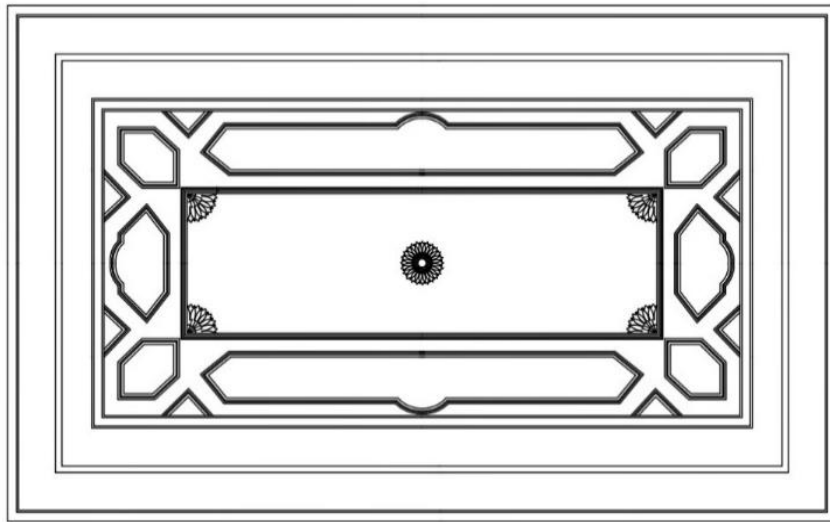
Şekil 10. Ajur tekniği ile yapılmış ahşap göbek süslemesi



Şekil 11. Aplike süslemelerin yapıldığı düz ahşap tavanlar



a.



b.

Şekil 12. Aplike tavan süslemelerinin uygulandığı tavan çizimleri

### 3.2.3 Kalem İşi Tavan Süslemeleri

Geleneksel Urfa evlerinde kalem işi süslemeler fazla yaygın olmayıp daha çok iyi gelimli ailelerin evlerinde, Bağdadi teknikle yapılmış elips ve daire formundaki tekne tavanlarda görülür. Tavanlarda yapılan kalem işi süslemelerde genellikle kıvrım dal, yaprak, çiçek, vazo ve saksı motiflerinin uygulandığı görülmüştür [2,5]. İç mekânlardaki kalem işi süslemeler, tekne tavanların bordürlerinde ve duvarların üst bölümlerinde devam etmiştir (Şekil 13). Tekne tavanlarda kalem işi süslemeler alçı üzerine veya kuru sıva üzerine, doğal olarak elde edilen bir toprak boya olan aşî boyası ile yapılmıştır.

Osmanlı Dönemi'nde Urfa'daki mimarlık sanatı ile birlikte gelişen ve plastik sanatların önemli kollarından biri olan kalem işi süslemelerin çok eski örnekleri günümüze ulaşmamıştır. Mevcut örnekler ve eski fotoğraflardan görülen birçok evin tavanındaki kalem işi örnekler bu sanatın 19. Yüzyılda Urfa'da ulaştığı boyutu göstermesi açısından önemlidir (Şekil 14) [21].



a, b. Hacı Bekir Pabuççu Evi



c. Akyüzler Evi [17]



d. Bağdadi Köşkü'nün tavanı [21]

Şekil 13. Bağdadi tekniğinde yapılan tekne tavanlarında görülen kalem işi süslemeler



**Şekil 14.** Ermeni aileye ait evin tavanında yer alan ve 2009 yılındaki restorasyon sırasında silinen, melek figürlü kalem işi tavan süslemesi [21]

Kalem işi süslemelerin ömrü, üzerine işlendiği yüzeyin ömrüne bağlı olduğu için bu süslemeler dış etkenlerden kolaylıkla zarar görmektedir. Süslemelerin yapıldığı yüzeylerdeki kopmalar/aşınmalar, ortamdaki rutubet/nem gibi bazı faktörler ile uzun süre bakımsız kalması kalem işi süslemelerin zarar görmesine neden olmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmayla, geleneksel Urfa evlerinde ahşap tavan yapım ve süsleme tekniğinin yetkinlik, ustalık, emek ve sabırla elde edilen özgün ve ayrıcalıklı yönleri ortaya çıkarılmıştır.

Geleneksel Urfa Evlerinin en özellikli bölümlerinden biri olan, farklı teknikteki yapım sistemleri ve süslemeleriyle iç mekâna zenginlik katan ahşap tavanlar; ev sahibinin gelir düzeyine, beğenilerine ve taleplerine, tavanın yapıldığı mekânın evin içindeki işlevi ve konumuna, malzemenin kalitesine ve ustanın el becerisine göre şekillenmiştir. İyi gelirlili ailelerin evlerinde bol süslemeli, bağdadi teknikle yapılmış ahşap tekne tavanlar görülürken daha düşük gelirlili ailelerin evlerinde ahşap kirişli tavanlar ve düz ahşap kaplama tavanların yapıldığı tespit edilmiştir.

Geleneksel Urfa evlerinde ahşap tavanların büyük bölümü, düzenli bakım ve onarımları yapılmadığı için zarar görmüş ya da insan eliyle bilinçli olarak yıktırılmıştır. Eski fotoğraflardan görüldüğü üzere, her biri birbirinden nitelikli çok sayıda ahşap tavan günümüze ulaşmamıştır.

Geleneksel Urfa evlerinin ahşap tavan yapım teknikleri ve süslemeleri konusunda kapsamlı ilk araştırma olan bu çalışma sonucunda; ahşap malzemenin özellikleri ve restorasyonu konusunda yetişmiş eleman sıkıntısı yaşanmasının ve ahşap malzemenin özelliklerinin yeterince bilinmemesinin koruma sorunlarının başında geldiği görülmüştür. Evlerde kullanılan ahşap malzemenin kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri ile ahşap malzemenin bozulma türleri ve nedenleri araştırılmalı, koruma yöntemleri geliştirilmelidir.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma; Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ danışmanlığında Şeyda İNCE GAYBERİ tarafından hazırlanan “*Geleneksel Urfa Evlerinin Yapım Teknikleri*” başlıklı yüksek lisans tezi konusundan üretilmiş olup, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü’nce desteklenmiştir (Proje Numarası: MİMARLIK.19.001).

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

## YAZARLARIN KATKILARI

Şeyda İNCE GAYBERİ: Yazma-orijinal taslak hazırlama, veri toplama, görselleştirme.  
Neslihan DALKILIÇ: Yazma-gözden geçirme ve düzenleme, verinin düzenlenmesi, metodoloji, proje yönetimi, görselleştirme.

## KAYNAKLAR

- [1] S. I. Ören, “Traditional Urfa dwellings: An investigation of part of the old town center,” Yüksek lisans tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996.
- [2] Ş. Gayberi, “Geleneksel Urfa evlerinin yapım teknikleri,” Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı, Diyarbakır, 2019.
- [3] M. Çellik, “Şanlıurfa Hacı Bekir Pabuççu evinin restorasyon önerisi,” Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı, Diyarbakır, 2019.
- [4] Z. Akkoyunlu, “Geleneksel Urfa evlerinin mimari özellikleri,” Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1989.
- [5] H. Ürer ve C. Gürbıyık, *Şanlıurfa Evlerinde Görülen Süslemelerden Örnekler. Prof. Dr. Hakkı Önkal’a Armağan Kitabı*, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, 2013.
- [6] Ö. Karakul, “Geleneksel Yapı Ustalarından Öğrenmek,” *Yapı Dergisi*, Ekim (407), s.168-172, 2015.
- [7] *KUDEB Ahşap Eğitim Atölyesi Geleneksel Ahşap Yapı Uygulamaları*. İstanbul, İBB KUDEB Yayınları, 2009.

- [8] D. Sürücü, *Ahşap Eğitim Atölyesi Etkinlikler Kitabı*. İstanbul, İBB KUDEB Yayınları, 2009.
- [9] E. Kudde ve D. Sürücü, *Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu Bildiri Kitabı*. İstanbul, İBB KUDEB Yayınları, 08-09 Ekim 2012.
- [10] E. Kudde ve D. Sürücü, *Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu Bildiri Kitabı-2*. İstanbul, İBB KUDEB Yayınları, 24-25 Aralık 2013.
- [11] D. Sürücü, *Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu Bildiri Kitabı-3*. İstanbul, İBB KUDEB Yayınları, 24-25 Mart 2015.
- [12] D. Sürücü, *Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu Bildiri Kitabı-4*. İstanbul, KUDEB Yayınları, 26-27 Nisan 2016.
- [13] D. Sürücü, *Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu Bildiri Kitabı-5*. İstanbul, İBB KUDEB Yayınları, 25-26 Nisan 2017.
- [14] D. Sürücü, *Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu Bildiri Kitabı-6*. İstanbul, İBB KUDEB Yayınları, 24-25 Nisan 2018.
- [15] Taş Ustası M. H. Küçüköğlü, Şanlıurfa, Kasım 2017-Mayıs 2019.
- [16] D. Hasol, *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*. İstanbul, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 2017.
- [17] Şanlıurfa Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü Fotoğraf Arşivi.
- [18] C. Kürkçüoğlu, Fotoğraf Arşivi.
- [19] K. Yıldırım ve M. L. Hidayetoğlu, “Geleneksel Türk Evi Ahşap Tavan Süsleme Özelliklerinin ve Yapım Tekniklerinin Çeşitliliği Üzerine Bir İnceleme,” *Uluslararası Geleneksel Sanatlar Sempozyumu*, 12-13 Kasım 2015.
- [20] *Ahşap Tavan ve Döşemeler*. Ankara, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Yayını, 2011.
- [21] C. Kürkçüoğlu, *Urfa, Fotoğraflarla Evvel Zaman İçinde*. Ankara, Şanlıurfa Belediyesi Kültür ve Sosyal İşler Müdürlüğü Yayını, 2011.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Çekirdek Malzemesi Ergiyik Biriktirme Yöntemi ile Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Eğilme Dayanımlarının İncelenmesi

### *Investigation of the Bending Strength of Honeycomb Sandwich Composites Produced by Fused Deposition Modeling*

Cenk YANEN <sup>1,\*</sup>, Eyüp ÇELİK <sup>2</sup>, Murat Yavuz SOLMAZ <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23200, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup> ODTÜ MEMS Merkezi, NanoManyetik Bilimsel Cihazlar, 06530, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23200, Elazığ, Türkiye

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihi

Alınış, 23 Haziran 2021

Revize, 09 Temmuz 2021

Kabul, 14 Temmuz 2021

Online Yayınlama, 01 Ekim 2021

##### Anahtar Kelimeler

Balpeteği, Ergiyik biriktirme yöntemi, Üç nokta eğilme, ABS, PLA

#### ARTICLE INFO

##### Article History

Received, 23 June 2021

Revised, 09 July 2021

Accepted, 14 July 2021

Available Online, 01 October 2021

##### Keywords

Honeycomb, Fused deposition modeling, Three-point bending test, ABS, PLA

#### ÖZ

Bu çalışmada, çekirdek yapı malzemesi olarak bitki bazlı ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen polilaktik asit (PLA) ve petrol bazlı üretilen Akrilonitril-butadien-stiren (ABS) seçilmiş ve yüzey kapakları polyester/cam fiber kompozitler kullanılmış ve sandviç levhalar üretilmiştir. Çekirdek yapı malzemesi üretiminde baskı işleminin hızlı ve kolay yapılabilmesi gibi avantajlarından dolayı ergiyik biriktirme yöntemi kullanılmıştır. Çekirdek malzemeleri 3B yazıcı kullanılarak üç farklı hücre boyutu ve üç farklı hücre yüksekliğinde imal edilmiştir. Numunelere 3 nokta eğilme testleri uygulanmış ve kuvvet-yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Üç nokta eğilme deneyleri sonrası hasar tipleri incelenmiş ve baskın hasar tiplerinin katmanlar arası kopma ve kayma hasarı olduğu görülmüştür. Bu durumun önüne geçilebilmesi 3 boyutlu yazıcı kullanılarak ergiyik biriktirme yöntemi ile üretilen PLA termoplastik kullanılarak üretilmiş numunelere ikinci aşamada sıcaklık ve basınç uygulanmıştır. PLA malzemeden üretilen numunelerin ABS malzemeden üretilen numunelere göre daha yüksek eğilme dayanımına sahip oldukları görülmüştür.

#### ABSTRACT

In this study, polylactic acid (PLA) produced from plant-based and renewable resources and Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) produced petroleum-based were selected as core building materials and polyester/glass fiber composites were used for surface covers and sandwich composite sheets were produced. In the production of core building materials, fused deposition modeling has been used due to its advantages such as fast and easy printing. Core materials were fabricated

#### \*Sorumlu Yazar

*E-posta Adresleri:* [cyanen@firat.edu.tr](mailto:cyanen@firat.edu.tr) (Cenk YANEN), [emrecelik258@gmail.com](mailto:emrecelik258@gmail.com) (Eyüp ÇELİK),

[mysolmaz@firat.edu.tr](mailto:mysolmaz@firat.edu.tr) (Murat Yavuz SOLMAZ)



in three different cell sizes and three different cell heights using a 3D printer. Three-point bending tests were applied to the samples and load-displacement graphs were obtained. Obtained results are presented in graphics. After three-point bending tests, damage types were examined and it was seen that the dominant damage types were interlayer rupture and shear damage. In order to prevent this situation, temperature and pressure were applied to the samples produced using a 3D printer in the second stage. It was observed that the samples produced from PLA material had higher flexural strength than the samples produced from ABS material.

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler istenilen özelliklerin elde edilebilmesi için iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulurlar. Sahip oldukları yüksek mukavemet ve düşük kütle oranı gibi özellikleri sayesinde günümüzde mühendislik uygulamalarında kullanılan temel bileşenlerden birisidir [1–4]. Bu uygulamaların kullanıldığı alanların başında havacılık sektörü gelmektedir. Havacılıkta kullanılan malzemelerden beklenen yüksek dayanım ve hafiflik fiber takviyeli kompozit malzemeler ile sağlanmaktadır [5–8]. Bunun yanı sıra kompozit malzemeler, helikopterin rotor yapılarında [9], petrokimya endüstrisindeki borulama ve depolama tanklarında [10], denizcilik endüstrisinde [11–16] kullanılmaktadır. İnşaat endüstrisinde kompozitler, beton direklere [17] ve köprü tabliyelerine [18] takviye olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda savunma sanayinde kompozit malzemeler çok sık kullanılmaktadır [19, 20]. Sandviç kompozitler; aynı veya farklı malzemelerden oluşan iki yüzey kapağı ve bunlara göre nispeten daha kalın bir çekirdek yapının yapıştırıcı ile birleştirilmesiyle elde edilen kompozit malzeme olarak tanımlanabilir [21]. Yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahip olan sandviç kompozitler üzerine yapılan pek çok çalışma vardır [22–26]. Günümüzde hem çekirdek hem de yüzey kapak malzemesi kombinasyonlarının değiştirilerek kullanıldığı pek çok çalışma vardır. Yüzey kapak malzemesi olarak karbon ve cam esaslı kompozit malzemeler, çekirdek malzemesi olarak ise Nomex, alüminyum, kompozit malzemeler ve plastik esaslı ürünler kullanılmaktadır [27–31].

Fiedler ve Öchsner tarafından yapılan bir çalışmada farklı hücre modelindeki sandviç yapıların eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Bu yapılara üç nokta eğilme testleri yapılarak, eğilme dayanımlarını ve numunelerde meydana gelen hasar tiplerini belirlemişlerdir. Sandviç yapılarda hücre malzemesi olarak; petek, alüminyum, köpük ve küre şeklinde boşluklu metal yapılar tercih etmişlerdir [32].

Galleti ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada bal peteği kompozit levhalar eğilmeye maruz bırakılarak, meydana gelen hasar tipleri ve eğilme mukavemetleri incelenmiştir. Numunelerde meydana gelen hasar oluşumunun alt ve üst tabakanın yüzey kapak malzemesinin mekanik dayanımının aşıldığı durumlarda oluştuğunu gözlemlemişlerdir [33].

Banghai ve arkadaşları gerçekleştirdikleri bir çalışmada çekirdek yapının köpükten üretildiği sandviç kompozitlerin hasar tiplerini üç nokta eğilme testi ile analitik metotla incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda yüzey malzemesi hasarı, çekirdek kayma hasarı ve çökme gibi hasar tiplerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Teorik analizlerin sonuçlarını yorumlayabilmek için üç nokta eğilme testlerini de gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak analitik yöntem ile elde edilen hasar tipleri ve maksimum kritik hasar yükünün deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğunu görmüşlerdir [34].

Shi ve arkadaşları gerçekleştirdikleri bir çalışmada bal peteği sandviç kompozitlerin çekirdek yapısına alüminyum takviyeler yapmış ve üç nokta eğilme deneyi ile bu takviyelerin eğilme mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak takviye yapılan numunelerin daha ağır olduğu özgül mukavemet, enerji emme ve hasar yük değerlerinin takviyesiz olanlara göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir [35].

Kowalska ve arkadaşları gerçekleştirdikleri bir çalışmada bal peteği sandviç yapıları numunelerin eğilme davranışlarını üç nokta ve dört nokta eğilme deneyi ile incelemişlerdir. Sonuç olarak bal peteği sandviç yapıların maruz bırakıldığı sehim miktarı arttıkça yük değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir [36].

Sandviç kompozit yapılar ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde, sandviç levhalarda çekirdek yapının mekanik özellikler üzerinde büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında çekirdek malzemesinin incelendiği birçok çalışmaya rastlanılmıştır. Bu çalışmada da çekirdek yapı malzemesine yoğunlaşmış ve üç boyutlu yazıcı kullanılarak PLA ve ABS termoplastik malzemeden üretilen petek hücreler kullanılmıştır. Çalışmada 3 farklı hücre yüksekliği ve 3 farklı hücre boyutunda çekirdek hücreleri kullanılarak bal peteği sandviç kompozit levhalar üretilmiştir. Yüzey kapakları tabakalı kompozit kullanılarak üretilen sandviç kompozitlere üç nokta eğilme testi uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir. Bal peteği hücre yapılarının üretiminde yapışmanın daha iyi sağlanabilmesi için PLA kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen malzemeler fırınlama işlemine tabi tutulmuş ve fırınlamanın etkileri de incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

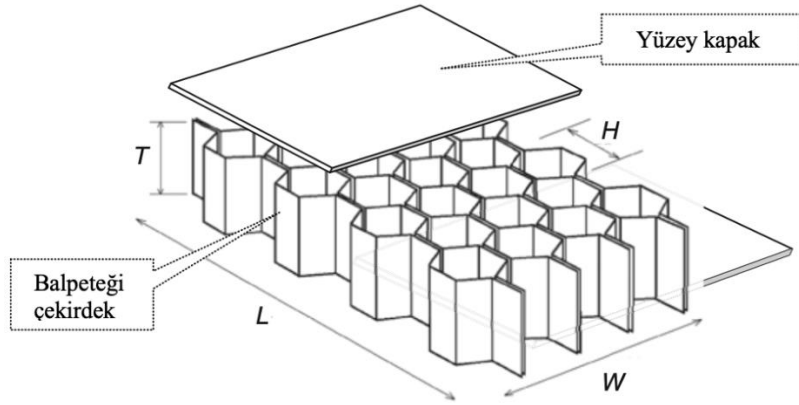
Çekirdek hücre boyutunun ve hücre yüksekliğinin, sandviç kompozit levhaların mekanik özellikleri üzerine olan etkisini incelemek için;  $H = 7$ ,  $H = 14$  ve  $H = 25$  mm olmak üzere üç farklı hücre boyutu ve  $T = 25$ ,  $T = 30$  ve  $T = 40$  mm olmak üzere üç farklı yüksekliğe sahip bal peteği yapıları deney numuneleri üretilmiştir. Üç nokta eğilme deneylerinde mesnetler arası uzunluk numune yüksekliğine bağlı olarak değiştiğinden numunelerin mesnetler arası uzunluğu (1) numaralı denklem kullanılarak

belirlenmiş ve her bir hücre yüksekliğine uygun eğilme numuneleri üretilmiştir. 1 numaralı denklemde; D mandrel çapını, a ise deney numunesinin kalınlığını ifade etmektedir.

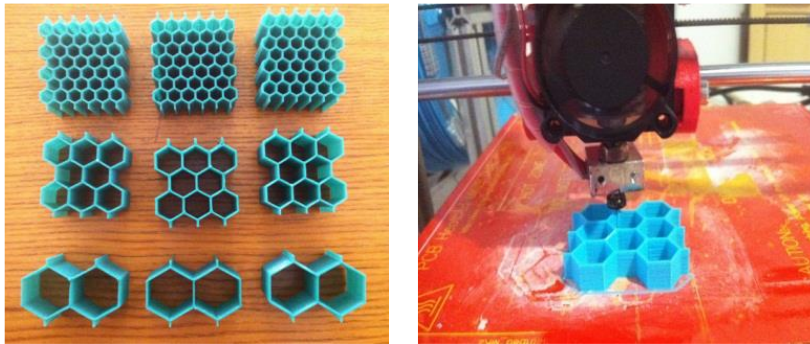
$$D + 3a \mp a/2 \quad (1)$$

Sandviç kompozitlerin imalatı iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak çekirdek yapı ve yüzey kapak malzemesinin üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunun ardından çekirdek yapı ile yüzey kapaklarının birleştirilmesi yapılmaktadır. Sandviç kompozit levha bileşenleri ve çekirdek geometrisi Şekil 1’de gösterilmiştir. Çekirdek yapılarının üretiminde mekanik özellikleri Tablo 1’de verilen 1,75 mm çapında PLA ve ABS seçilmiş ve Şekil 2’de gösterildiği gibi ergiyik biriktirme yöntemi ile imal edilmiştir. Çalışmada yüzey kapak malzemesi üretimi için üretilen kompozitte fiber malzemesi olarak cam fiber kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak ise Erco polyester E-6 döküm tipi polyester reçine ve ona uyumlu olarak üretici firma tarafından tavsiye edilen Erco Mek Peroksit - Ece Perox sertleştirici, hızlandırıcı olarak ise Erco Kobalt Oktaat (%6) - Ece Dryer kullanılmıştır. Karışım oranı olarak önceki çalışmada olduğu gibi 35 gr reçineye karşılık 3 gr sertleştirici ve 3 gr hızlandırıcı seçilmiştir (35:3:3) [27, 38]. Matris malzemesi içerisine cam fiberler iki tabaka olarak rastgele yerleştirilmiş ve ortalama  $t_f = 2,4$  mm kalınlığında kompozit yüzey kapakları üretilmiştir. Kompozit plakaların katılması esnasında petek hücreler plakaların üzerine yerleştirilerek sıvı haldeki matris yardımıyla birleşmesi sağlanmıştır. Bu işlem sayesinde matris malzemesi ile yüzey kapaklarının yük altında en ideal şekilde birleşmesi amaçlanmıştır. Katılma sürecinin tamamlanmasının ardından bal peteği hücrenin diğer yüzeyine de aynı işlemler uygulanmış ve yüzey kapakları ile kapatılmıştır. Oda sıcaklığında katılma sürecini tamamlanmasının ardından sandviç kompozit levhalar tel testere yardımı ile petek hücre boyutlarına uygun olarak kesilmiş ve deney numuneleri hazırlanmıştır. Katılma süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen üç nokta eğilme deney numuneleri Şekil 3’de görülmektedir. Üretimi tamamlanan sandviç kompozit levhaların eğilme dayanımlarının ölçülebilmesi için üç nokta eğilme testleri yapılmıştır. Üç nokta eğilme testleri ASTM D790 standardına uygun olarak Shimadzu marka 100 kN kapasiteli universal çekme-basma test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde basma hızı 0,3 mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Deney hatalarının önüne geçmek için tüm deneyler üçer kez tekrarlanmış ve ortalaması alınarak kullanılmıştır. Üç nokta eğilme deneyinde kullanılan numunelerin boyutları ve deneye ait yükleme koşulları Şekil 4’ de verilmiştir.

Fırınlama yapılacak bal peteği yapıları kompozit levhalar diğer deney numuneleri ile aynı şartlarda üretildikten sonra fırınlama işlemine maruz bırakılmıştır. Bu işlem 40 °C sıcaklıkta numunelerin üzerine 470 gr ağırlık koyularak 20 dakikada gerçekleştirilmiştir. Ağırlık kompozit levhaların tüm yüzeye eşit dağılacak şekilde 60 x 240 mm ebatlarında bir levha kullanılarak uygulanmıştır.



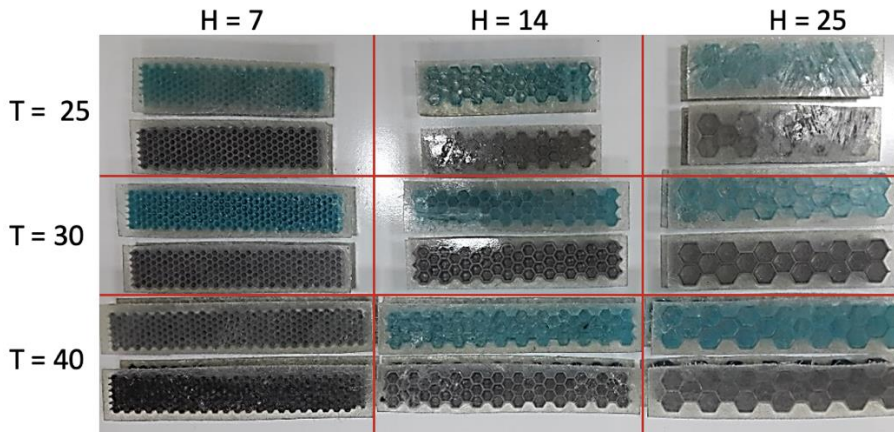
Şekil 1. Sandviç kompozit levha ölçüleri [37]



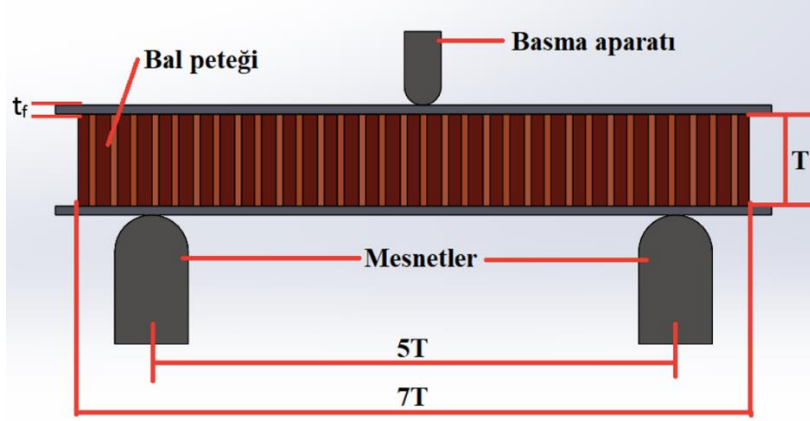
Şekil 2. Ergiyik biriktirme yöntemi ile çekirdek yapı malzemesinin üretilmesi [38]

Tablo 1. PLA ve ABS malzemelerinin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	PLA	ABS
Çekme Mukavemeti (MPa)	65	41
Kopma Uzaması (%)	7,5	8,2
Eğilme Mukavemeti (Mpa)	97	63
Eğilme Modülü (MPa)	3600	2200



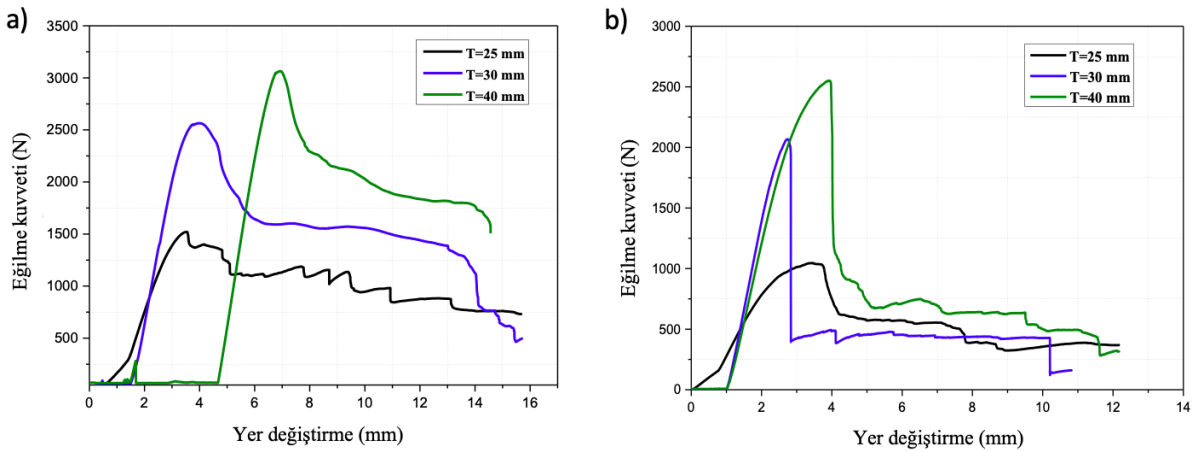
Şekil 3. Üç nokta eğilme deney numuneleri



Şekil 4. Üç nokta eğilme deneyi numune boyutları ve yükleme koşulları

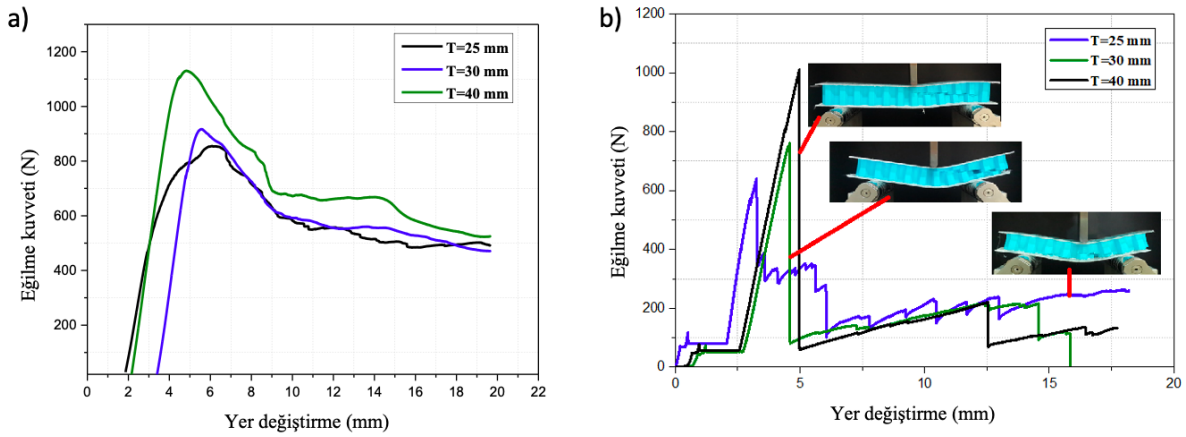
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

$H = 7$  mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 5’ de verilmiştir. PLA için en yüksek eğilme kuvveti  $T = 40$  mm hücre yüksekliğine ve  $L = 200$  mm uzunluğa sahip petek yapılı kompozit levhada 3064 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti  $T = 25$  mm hücre yüksekliğine ve  $L = 125$  mm uzunluğa sahip petek yapılı kompozit levhada 1520 N olarak elde edilmiştir. Şekil 5b’de ABS malzeme ile üretilen numuneler için verilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek eğilme kuvveti  $T = 40$  mm hücre yüksekliğine ve  $L = 200$  mm uzunluğa sahip petek yapılı kompozit levhada 2650 N olarak elde edildiği görülmüştür. En düşük eğilme kuvveti  $T = 25$  mm hücre yüksekliğine ve  $L = 125$  mm uzunluğa sahip petek yapılı kompozit levhada 1050 N olduğu tespit edilmiştir. Her iki malzemeden yapılan numunelerde hücre yüksekliğinin artmasının maksimum eğilme kuvvetini arttırdığı belirlenmiştir.



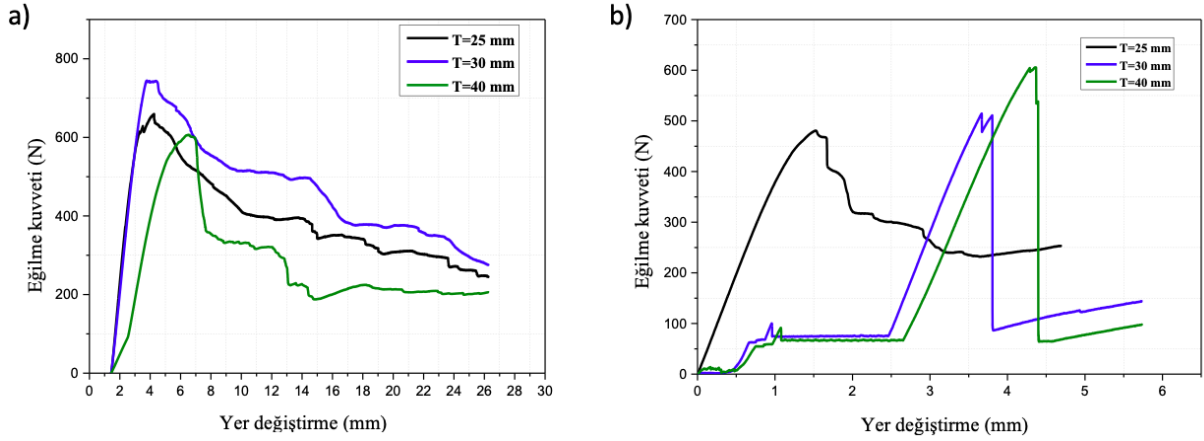
Şekil 5.  $H = 7$  mm hücre boyutuna sahip a) PLA, b) ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası eğilme kuvveti-yer değiştirme grafiği

H = 14 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. PLA malzemeden üretilen numuneler için en yüksek eğilme kuvveti T = 40 mm hücre yüksekliğine ve L = 200 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 1130 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T = 25 mm hücre yüksekliğine ve L = 125 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 855 N olarak elde edilmiştir. ABS malzemeden üretilen ve sonuçları Şekil 6b'de verilen numunelerde en yüksek eğilme kuvveti T = 40 mm hücre yüksekliğine ve L = 200 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 1032 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T = 25 mm hücre yüksekliğine ve L = 125 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 643 N olarak elde edilmiştir. Grafikte görülen dalgalanmaların sebebi Şekil 6b'de de görüleceği gibi petek yapıları kompozit levhada katmanların birbirinden ayrılmasıdır. Hücre boyutunun artması maksimum eğilme kuvvetini azaltmıştır.



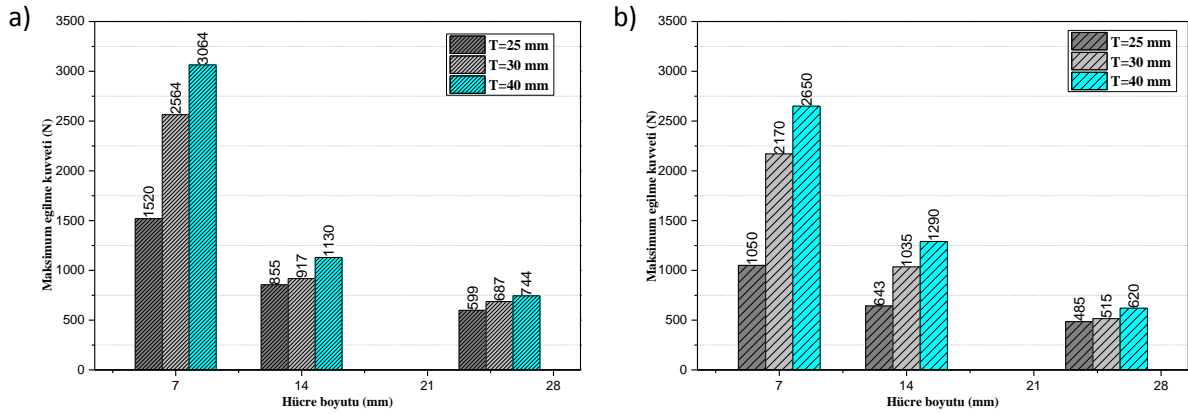
**Şekil 6.** H = 14 mm hücre boyutuna sahip a) PLA, b) ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası eğilme kuvveti-yer değiştirme grafiği

H = 25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7a'da verilen PLA malzemeden üretilmiş numuneler için en yüksek eğilme kuvveti T = 40 mm hücre yüksekliğine ve L = 200 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 744 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T = 25 mm hücre yüksekliğine ve L = 125 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 599 N olarak elde edilmiştir. Hücre boyutunun artması maksimum eğilme kuvvetini azaltırken hücre yüksekliğinin artması maksimum eğilme kuvvetini arttırmıştır. ABS malzemeden üretilen numuneler için ise en yüksek eğilme kuvveti T = 40 mm hücre yüksekliğine ve L = 200 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 620 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T = 25 mm hücre yüksekliğine ve L = 125 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 485 N olarak elde edilmiştir. Artan hücre boyutuna bağlı olarak maksimum eğilme kuvveti azalmıştır.



**Şekil 7.**  $H = 25$  mm hücre boyutuna sahip a) PLA, b) ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası eğilme kuvveti-yer değiştirme grafiği

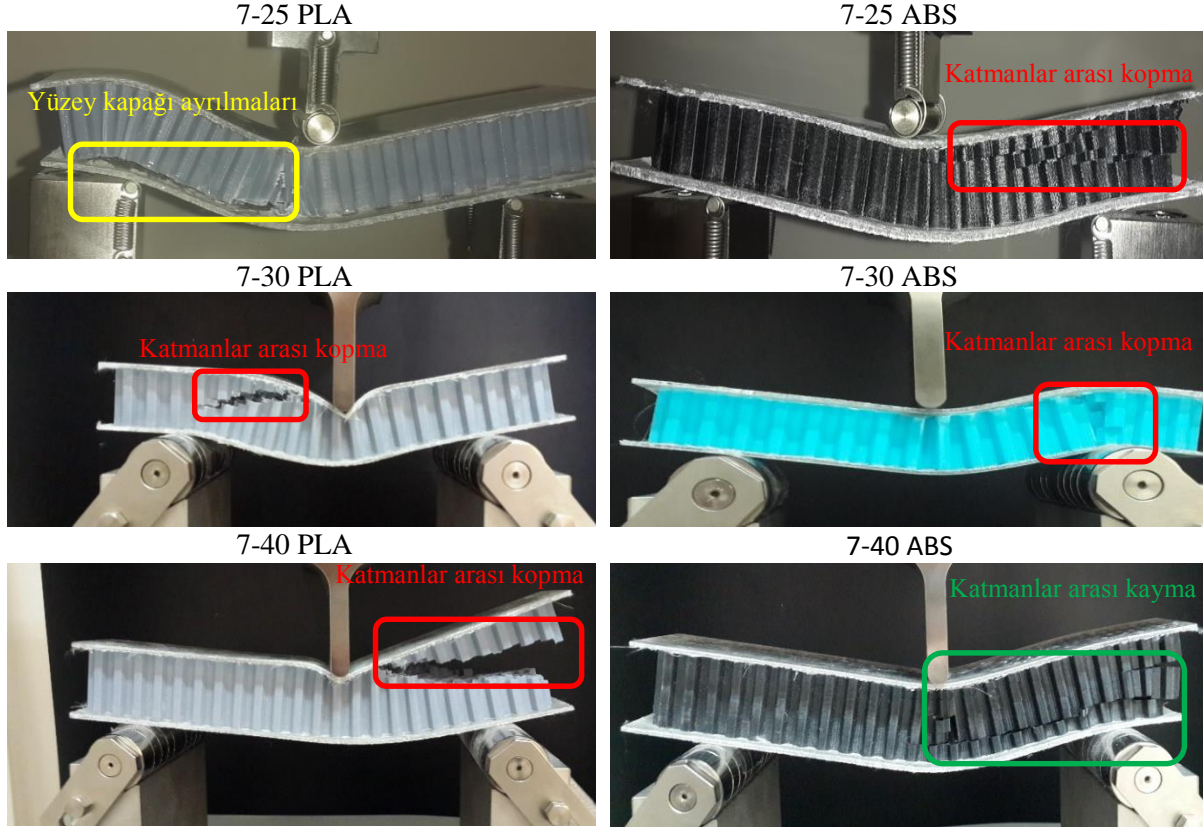
$T = 25$ ,  $T = 30$  ve  $T = 40$  mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen maksimum eğilme kuvvet değerleri Şekil 8’de verilmiştir. Numunelere üç nokta eğilme deneyi yapılmasının ardından meydana gelen hasar tipleri,  $H = 7$  mm hücre boyutuna ve  $T = 25$ ,  $T = 30$  ve  $T = 40$  mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik ile üretilmiş petek yapıli numuneler için Şekil 9’da verilmiştir. Her iki tip numune için meydana gelen hasar tipleri aynı olup katmanlar arası kopma, enine katmanlar arası ayrılma ve yüzey kapaklarının çekirdek yapıdan ayrılması şeklinde olmuştur.



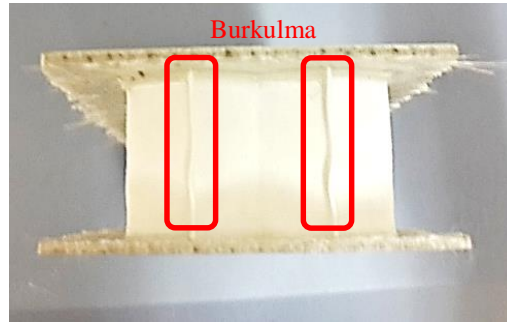
**Şekil 8.**  $H = 7$ ,  $H = 14$ ,  $H = 25$  mm hücre boyutuna sahip a) PLA ve b) ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası maksimum eğilme kuvvetleri

Sandviç kompozit levhalara uygulanan üç nokta eğilme deneyleri sonrası hasar tipleri incelendiğinde düzleme dik doğrultuda herhangi bir hasar meydana gelmediği görülmüştür. Tüm deney numuneleri için genel hasar tipleri enine katmanlar arası meydana gelen hasarlardan oluşmaktadır. Bu durum ergiyik biriktirme yöntemi sırasında üst üste koyularak üretilen filamentlerin tam yapışma meydana gelmeden birleştiğini düşündürmüştür. Bu durumun önüne geçebilmek için PLA ve ABS kullanılarak üretilmiş numuneler ekstra ısıtma işlemine tabi tutularak katmanlar arası yapışmanın iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla üretilen numunelerin fırınlanma sonrası görseli Şekil 10’da

verilmiştir. Sıcaklık ve basınç uygulanması sonucu numunelerde burkulma meydana geldiği görülmüştür.



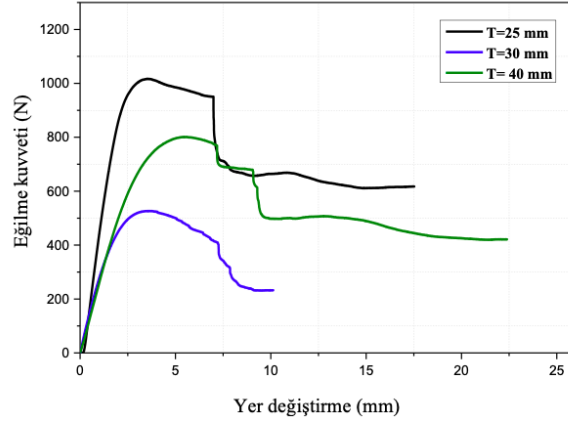
Şekil 9. PLA ve ABS termoplastik petek yapılı numunelerde üç nokta eğilme deneyi sonrası meydana gelen hasar tipleri



Şekil 10. Fırınlama işlemi sonrasında PLA termoplastik kullanılarak üretilen numune görseli

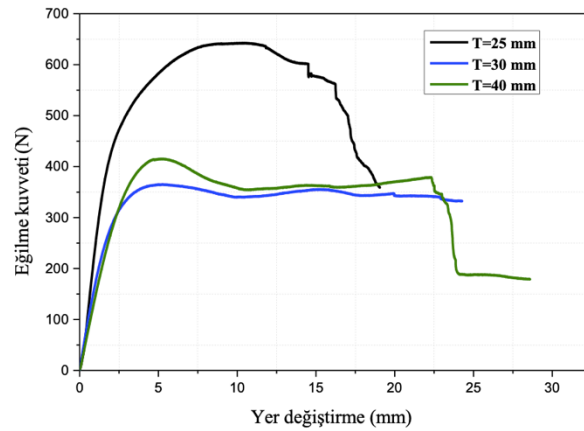
Fırınlama işlemine maruz bırakılmış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafiği Şekil 11’de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti T = 25 mm hücre yüksekliği ve L = 125 mm uzunluğa sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhada 1017 N olarak elde edilmiştir. Artan hücre yüksekliğine bağlı olarak eğilme kuvvet değeri azalmıştır. Daha önce elde edilen sonuçlardan farklı olarak artan hücre yüksekliği ile eğilme kuvvetinin azalmasının nedeni petek hücre duvarlarının ortam sıcaklığından dolayı çarpılması olarak değerlendirilmiştir.





**Şekil 11.** Fırınlama işlemine maruz bırakılmış  $H = 14$  mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların eğilme kuvveti-yer değiştirme grafiği

Fırınlama işlemine maruz bırakılmış  $H = 25$  mm hücre boyutuna PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafiği Şekil 12'de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti  $T = 25$  mm hücre yüksekliğine sahip numunede 642 N olarak elde edilmiştir. Artan hücre yüksekliğine bağlı olarak artması beklenen maksimum eğilme kuvvetinin azalmasının nedeni fırınlama esnasında sıcaklıktan dolayı hücre duvarlarının çarpılması olduğu düşünülmektedir.



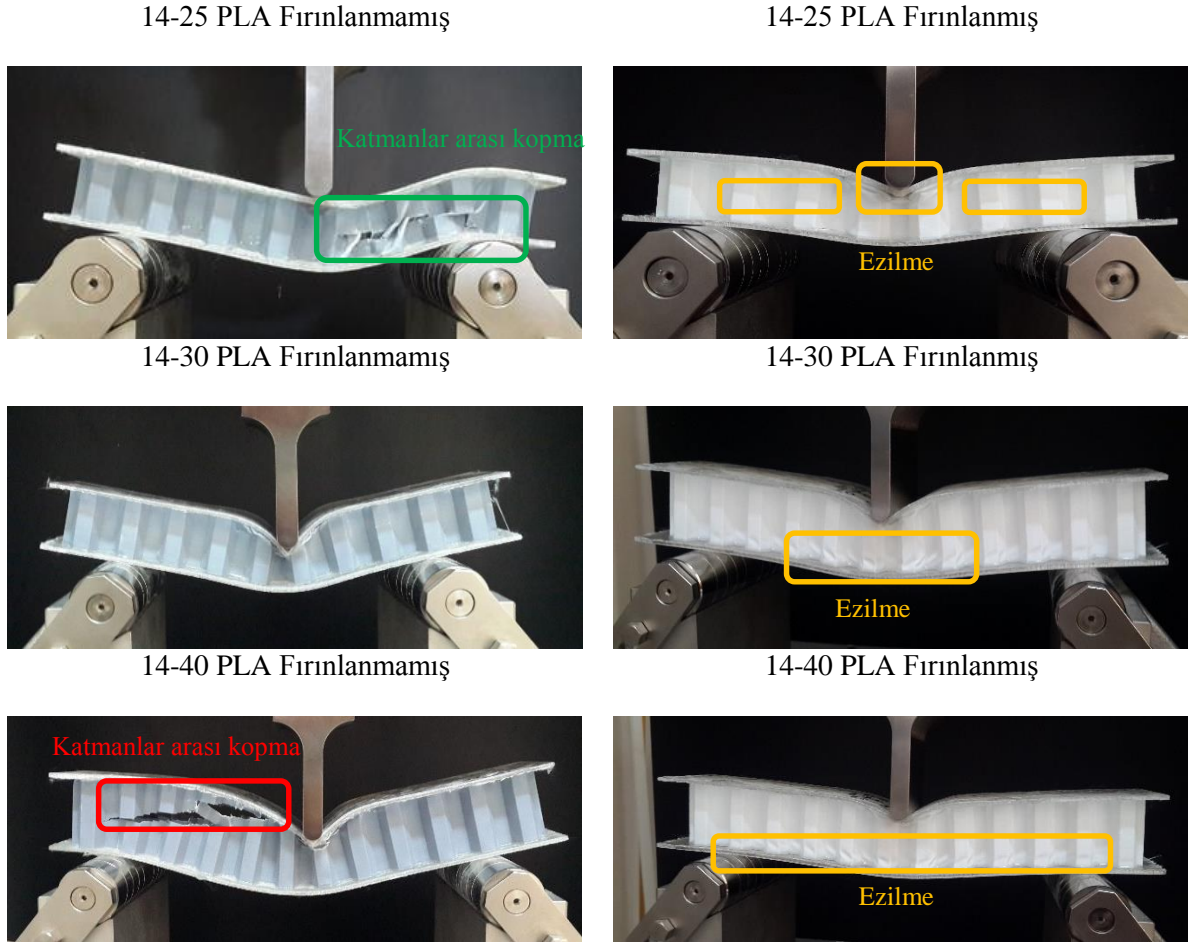
**Şekil 12.** Fırınlama işlemine maruz bırakılmış  $H = 25$  mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların eğilme kuvveti-yer değiştirme grafiği

Fırınlama işlemine maruz bırakılmış  $H = 14$  mm,  $H = 25$  mm hücre boyutu ve  $T = 25$  mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafiği Şekil 13'de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti  $H=14$  mm hücre boyutuna sahip numunede 632 N olarak elde edilmiştir. Eğilme kuvveti hücre boyutuna bağlı olarak azalmıştır. Fırınlama işlemini ABS termoplastik filament üzerinde net bir etkisi olmamıştır.

Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış PLA termoplastik bal peteği yapılı sandviç kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen maksimum eğilme kuvvetleri Tablo 2'de

verilmiştir. Fırınlama işlemi esnasında sıcaklıktan dolayı çarpılan hücre duvarlarının burkulması ile hücre yüksekliği arttıkça maksimum eğilme kuvvet değeri azalmıştır.

Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış  $H = 14$  mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik bal peteği yapıları sandviç kompozit numunelerde üç nokta eğilme deneyleri sonucu meydana gelen hasar tiplerinin incelemesi Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13. Fırınlanmamış ve fırınlanmış  $H=14$  mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları

Şekil 13’de verilen üç nokta eğilme deneyi sonrası hasar görüntüleri incelendiğinde fırınlanmamış numunelerde en çok karşılaşılan hasar tipinin katmanlar arası kayma ve kopma hasarları olduğu görülmektedir. Ergiyik biriktirme yöntemiyle üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen numunelerde imalat sırasında filament tabakaları arasında çeşitli nedenlerden ötürü tam birleşmenin gerçekleşmediği düşünülmektedir. Bu amaçla üretimin 2. aşamasında numunelerin yapışmasının artırılması için sıcaklık ve basınç uygulanmıştır. Verilen hasar fotoğrafları incelendiğinde fırınlanmış numunelerdeki baskın hasar tipinin ezilme hasarı olduğu görülmüştür. Numunelere sıcaklık ve basınç uygulanmasının ardından üretim sırasında filamentler arası yapışmanın tam gerçekleştirilememesinden

kaynaklanan hasarların önüne geçildiği tespit edilmiştir. Buna rağmen fırınlama işlemi sonrası yapılan üç nokta eğilme test sonuçları arasında bir ilişki kurulamamıştır.

**Tablo 2.** Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış PLA termoplastik petek yapılı numunelerin maksimum eğilme kuvveti

Numune kodu	Sıcaklık ve basınca maruz kalmış PLA (N)	PLA (N)
14-25	1017	855
14-30	526	917
14-40	801	1130
25-25	642	599
25-30	365	687
25-40	415	744

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada üç farklı hücre boyutu ve üç farklı hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalar üretilerek üç nokta eğilme deneyi ile eğilme kuvvetleri ve oluşan hasar tipleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- En yüksek maksimum eğilme yükü  $H = 7\text{mm}$  hücre boyutu ve  $T = 40\text{ mm}$  hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı numunede deneysel olarak sırası ile 3064 N ve 6344 N olarak elde edilmiştir.
- En düşük maksimum eğilme kuvveti  $H = 25\text{ mm}$  hücre boyutu ve  $T = 25\text{ mm}$  hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapılı numunede deneysel olarak sırası ile 485 N ve 2306 N olarak elde edilmiştir.
- Hücre boyutu arttıkça eğilme yükü azalmıştır.
- Hücre yüksekliği arttıkça eğilme yükü buna bağlı olarak artmıştır.
- Yapılan üç nokta eğilme deneyleri sonucunda PLA termoplastik petek yapılı numunelerde katmanlar arası kopma gerçekleştiği görülmüştür.
- Yapılan üç nokta eğilme deneyleri sonucunda ABS termoplastik petek yapılı numunelerde katmanlar arası kayma gerçekleştiği belirlenmiştir.
- Fırınlama işleminin ardından üç nokta eğilme deneyleri uygulanan PLA termoplastik malzeme kullanılarak üretilmiş sandviç kompozit levhalarda katmanlar arası kopma ve kayma hasarının giderildiği görülmüştür. Bunun yanı sıra çekirdek malzemesi ile yüzey kapaklarının daha iyi birleştirilmesinin sağlandığı görülmüştür.
- Bitkisel bazlı üretilen PLA malzemesi ile üretilen numunelerin petrol bazlı üretilen ABS kullanılarak üretilen numunelerden daha yüksek eğilme kuvvetine sahip olduğu tespit edilmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen PLA'nın ABS'ye iyi bir alternatif olduğu belirlenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

## YAZARLARIN KATKILARI

Cenk YANEN: Yazma ve düzenleme, test, verilerin düzenlenmesi. Eyüp ÇELİK: Metodoloji, veri toplama, veri düzenleme, test ve kontrol. Murat Yavuz SOLMAZ: Gözetim ve liderlik sorumluluğu, analiz, inceleme ve sonuçların yorumlanması.

## KAYNAKLAR

- [1] W. Nsengiyumva, S. Zhong, J. Lin, Q. Zhang, J. Zhong, and Y. Huang, “Advances, limitations and prospects of nondestructive testing and evaluation of thick composites and sandwich structures: A state-of-the-art review,” *Compos. Struct.*, vol. 256, p. 112951, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112951>.
- [2] C. Garnier, M. L. Pastor, F. Eyma, and B. Lorrain, “The detection of aeronautical defects in situ on composite structures using Non Destructive Testing,” *Compos. Struct.*, vol. 93, no. 5, pp. 1328–1336, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2010.10.017>.
- [3] T. P. Sathishkumar, S. Satheeshkumar, and J. Naveen, “Glass fiber-reinforced polymer composites – a review,” *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 33, no. 13, pp. 1258–1275, Apr. 2014, doi: 10.1177/0731684414530790.
- [4] F. J. Macedo, M. E. Benedet, A. V. Fantin, D. P. Willemann, F. A. A. da Silva, and A. Albertazzi, “Inspection of defects of composite materials in inner cylindrical surfaces using endoscopic shearography,” *Opt. Lasers Eng.*, vol. 104, pp. 100–108, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2017.06.005>.
- [5] S. Laurenzi, A. Grilli, M. Pinna, F. De Nicola, G. Cattaneo, and M. Marchetti, “Process simulation for a large composite aeronautic beam by resin transfer molding,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 57, pp. 47–55, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.09.039>.
- [6] J. Serra *et al.*, “Validation and modeling of aeronautical composite structures subjected to combined loadings: The VERTEX project. Part 2: Load envelopes for the assessment of panels with large notches,” *Compos. Struct.*, vol. 180, pp. 550–567, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.08.055>.
- [7] C. Meola, S. Boccardi, and G. maria Carlomagno, “Chapter 1 - Composite Materials in the Aeronautical Industry,” C. Meola, S. Boccardi, and G. maria B. T.-I. T. in the E. of A. C. M. Carlomagno, Eds. Woodhead Publishing, 2017, pp. 1–24.

- [8] A. Caggiano, F. Napolitano, L. Nele, and R. Teti, “Study on thrust force and torque sensor signals in drilling of Al/CFRP stacks for aeronautical applications,” *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 337–342, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.079>.
- [9] F. Ciampa, P. Mahmoodi, F. Pinto, and M. Meo, “Recent Advances in Active Infrared Thermography for Non-Destructive Testing of Aerospace Components,” *Sensors*, vol. 18, no. 2, 2018, doi: [10.3390/s18020609](https://doi.org/10.3390/s18020609).
- [10] M. E. Ibrahim, “Nondestructive evaluation of thick-section composites and sandwich structures: A review,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 64, pp. 36–48, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.04.010>.
- [11] C. M. Teller and C. M. Fortunko, “NDE Requirements for Thick Marine Composites BT - Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation: Volume 10B,” D. O. Thompson and D. E. Chimenti, Eds. Boston, MA: Springer US, 1991, pp. 1599–1606.
- [12] G. Kotsikos, A. G. Gibson, and J. Mawella, “Assessment of moisture absorption in marine GRP laminates with aid of nuclear magnetic resonance imaging,” *Plast. Rubber Compos.*, vol. 36, no. 9, pp. 413–418, Nov. 2007, doi: [10.1179/174328907X248203](https://doi.org/10.1179/174328907X248203).
- [13] S. Y. Kim, C. S. Shim, C. Sturtevant, D. (Dae-W.) Kim, and H. C. Song, “Mechanical properties and production quality of hand-layup and vacuum infusion processed hybrid composite materials for GFRP marine structures,” *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 723–736, 2014, doi: <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0208>.
- [14] M. E. Ibrahim, “7 - Nondestructive testing and structural health monitoring of marine composite structures,” in *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, J. Graham-Jones and J. B. T.-M. A. of A. F.-R. C. Summerscales, Eds. Woodhead Publishing, 2016, pp. 147–183.
- [15] L. S. Sutherland, “A review of impact testing on marine composite materials: Part I – Marine impacts on marine composites,” *Compos. Struct.*, vol. 188, pp. 197–208, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.12.073>.
- [16] T. Gobikannan *et al.*, “Flexural Properties and Failure Mechanisms of Infusible Thermoplastic- and Thermosetting based Composite Materials for Marine Applications,” *Compos. Struct.*, p. 114276, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114276>.
- [17] S.C. Her and W.-B. Chu, “3D Surface Profile Construction and Flaw Detection in a Composite Structure,” *Strength Mater.*, vol. 51, no. 1, pp. 130–137, 2019, doi: [10.1007/s11223-019-00058-9](https://doi.org/10.1007/s11223-019-00058-9).
- [18] H. Tuwair, J. Drury, and J. Volz, “Testing and evaluation of full scale fiber-reinforced polymer bridge deck panels incorporating a polyurethane foam core,” *Eng. Struct.*, vol. 184, pp. 205–216, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.104>.

- [19] C. Yanen and M. Y. Solmaz, “Ballistic tests of lightweight hybrid composites for body armor,” *Mater. Test.*, vol. 61, no. 5, pp. 425–433, 2019, doi: doi:10.3139/120.111336.
- [20] R. Yadav, M. Naebe, X. Wang, and B. Kandasubramanian, “Body armour materials: from steel to contemporary biomimetic systems,” *RSC Adv.*, vol. 6, no. 116, pp. 115145–115174, 2016, doi: 10.1039/C6RA24016J.
- [21] N. J. Hoff, S. E. Mautner, and A. E. Rev, “Sandwich construction,” 1944.
- [22] F. J. Plantema, “Sandwich construction: the bending and buckling of sandwich beams, plates, and shells,” 1966.
- [23] D. Guedra-Degeorges, P. Thevenet, and S. Maison, “Damage Tolerance of Aeronautical Sandwich Structures BT - Mechanics of Sandwich Structures,” 1998, pp. 29–36.
- [24] J. Jakobsen, E. Bozhevolnaya, and O. T. Thomsen, “New peel stopper concept for sandwich structures,” *Compos. Sci. Technol.*, vol. 67, no. 15, pp. 3378–3385, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.03.033>.
- [25] L. A. Carlsson and G. A. Kardomateas, *Structural and failure mechanics of sandwich composites*, vol. 121. Springer Science & Business Media, 2011.
- [26] C. Wang, M. Chen, K. Yao, X. Zhu, and D. Fang, “Fire protection design for composite lattice sandwich structure,” *Sci. Eng. Compos. Mater.*, vol. 24, no. 6, pp. 919–927, 2017, doi: doi:10.1515/secm-2015-0525.
- [27] M. Y. Solmaz and E. Çelik, “3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yüğü Altındaki Performanslarının Araştırılması,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 30, no. 1, pp. 277–286, 2018.
- [28] B. Kiyak and M. O. Kaman, “Hücre Boşlukları Köpük ile Doldurulmuş Kompozit Sandviç Levhaların Basma ve Eğilme Dayanımlarının İncelenmesi Investigation of Compressive and Bending Strength of Foam Filled Composite Sandwich Plates,” vol. 31, no. 1, pp. 47–52, 2019.
- [29] C. Chen, Y. Li, Y. Gu, M. Li, and Z. Zhang, “Effect of MWCNTs added by electrostatic flocking method on adhesion of carbon fiber prepreg/Nomex honeycomb sandwich composites,” *Mater. Des.*, vol. 127, pp. 15–21, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.04.025>.
- [30] Y. Zhou, Y. Xu, H. Liu, Y. Guo, X. Yi, and Y. Jia, “Debonding identification of Nomex honeycomb sandwich structures based on the increased vibration amplitude of debonded skin,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 200, p. 108233, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108233>.
- [31] M. Jean-St-Laurent, M.-L. Dano, and M.-J. Potvin, “Compression after impact behavior of carbon/epoxy composite sandwich panels with Nomex honeycomb core subjected to low

- velocity impacts at extreme cold temperatures,” *Compos. Struct.*, vol. 261, p. 113516, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113516>.
- [32] T. Fiedler and A. Öchsner, “Experimental analysis of the flexural properties of sandwich panels with cellular core materials,” *Materwiss. Werksttech.*, vol. 39, no. 2, pp. 121–124, Feb. 2008, doi: <https://doi.org/10.1002/mawe.200700269>.
- [33] G. G. Galletti, C. Vinquist, and O. S. Es-Said, “Theoretical design and analysis of a honeycomb panel sandwich structure loaded in pure bending,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 15, no. 5, pp. 555–562, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2007.04.004>.
- [34] J. Banghai, L. Zhibin, and L. Fangyun, “Failure mechanism of sandwich beams subjected to three-point bending,” *Compos. Struct.*, vol. 133, pp. 739–745, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.07.056>.
- [35] S. Shi, Z. Sun, X. Hu, and H. Chen, “Flexural strength and energy absorption of carbon-fiber–aluminum-honeycomb composite sandwich reinforced by aluminum grid,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 84, pp. 416–422, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2014.07.015>.
- [36] M. Chuda-Kowalska, Z. Pozorski, and A. Garstecki, “Experimental determination of shear rigidity of sandwich panels with soft core,” *10th Int. Conf. Mod. Build. Mater. Struct. Tech.*, no. November 2014, pp. 56–63, 2010.
- [37] M. O. Kaman, M. Y. Solmaz, and K. Turan, “Experimental and numerical analysis of critical buckling load of honeycomb sandwich panels,” *J. Compos. Mater.*, vol. 44, no. 24, pp. 2819–2831, 2010, doi: [10.1177/0021998310371541](https://doi.org/10.1177/0021998310371541).
- [38] E. Çelik, “3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Mekanik Performanslarının Araştırılması,” M.S. thesis, Department of Mechanical Engineering, Fırat University, 2019.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Quality Improvement in Routine Inspection and Control of Healthcare Products Using Statistical Intervention of Long-Term Data Trend

*Uzun Vadeli Veri Trendinin İstatistiksel Müdahalesi Kullanılarak Sağlık Ürünlerinin Rutin Muayenesi ve Kontrolünde Kalite İyileştirme*

Mostafa Essam EISSA <sup>1,\*</sup>, Engy Refaat RASHED <sup>2</sup>, Dalia Essam EISSA <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Cairo University, Faculty of Pharmacy (independent Researcher Category), 11562, Cairo, Egypt

<sup>2</sup> National Centre for Radiation Research and Technology, 11787, Cairo, Egypt

<sup>3</sup> Royal Oldham Hospital, OL1 2JH, Oldham, United Kingdom

### ARTICLE INFO

#### Article History

Received, 26 February 2021

Revised, 18 July 2021

Accepted, 26 July 2021

Available Online, 01 October 2021

#### Keywords

Box plot, Histogram,  
Normality test, Matrix plot, Outlier,  
Principal component analysis.

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale Tarihi

Alınış, 26 Şubat 2021

Revize, 18 Temmuz 2021

Kabul, 26 Temmuz 2021

Online Yayınlama, 01 Ekim 2021

#### Anahtar Kelimeler

Kutu grafiği, Histogram,  
Normallik testi, Matris grafiği,  
Aykırı, Temel bileşenler analizi.

### ABSTRACT

Commercial products in markets must meet the regulatory and quality control criteria to be acceptable for the intended use. While it is mandatory that each product batch must meet specification limits, the stability and efficiency over the long term are underestimated. The present study was conducted on the chronological trend of a healthcare product using a statistical software package, including correlation matrix and multivariate analysis. The investigated quality characteristics were the average filling weight, relative density, pH and the relative potency of three active components, in addition to a chemical preservative. The database was processed in an Excel sheet and was subjected to descriptive statistical overview, histogram plot, box plot diagram, time series plot, correlation matrix table and Principal Component Analysis. The investigation showed that despite all batches passed quality control tests successfully yet there were signs of instability, fluctuations or oscillations and drifts in all quality metrics, with outlier values that could be observed. Non-parametric correlation demonstrated some level of association between some inspection characteristic indicators. PCA illustrated the major variability influencer and clustering tendency among studied quality markers that guided the grouping of the dataset. The study pinpointed the improvement needed to ensure product stability, efficiency and quality.

### ÖZ

Piyasalardaki ticari ürünler, kullanım amacına uygun olarak kabul edilebilir olması için düzenleyici ve kalite kontrol kriterlerini karşılamalıdır. Her ürün serisinin spesifikasyon limitlerini karşılaması zorunlu olmakla birlikte, uzun vadede stabilite ve verimlilik hafife alınmaktadır. Bu çalışma, korelasyon matrisi ve çok değişkenli analiz içeren istatistiksel bir yazılım paketi kullanılarak bir sağlık ürününün

*\*Corresponding Author*

**E-mail addresses:** [mostafaessameissa@yahoo.com](mailto:mostafaessameissa@yahoo.com) (Mostafa Essam EISSA), [engyrefaat@yahoo.com](mailto:engyrefaat@yahoo.com) (Engy Refaat RASHED), [daliaessameissa@yahoo.co.uk](mailto:daliaessameissa@yahoo.co.uk) (Dalia Essam EISSA)



kronolojik eğilimi üzerinde yürütülmüştür. Araştırılan kalite özellikleri, bir kimyasal koruyucuya ek olarak, ortalama dolun ağırlığı, bağıl yoğunluk, pH ve üç aktif bileşenin bağıl gücüydü. Veritabanı bir Excel sayfasında işlendi ve tanımlayıcı istatistiksel genel bakışa, histogram grafiğine, kutu grafiğine, zaman serisi grafiğine, korelasyon matrisi tablosuna ve Temel Bileşen Analizine tabi tutuldu. Araştırma, tüm serilerin kalite kontrol testlerini başarıyla geçmesine rağmen, tüm kalite ölçümlerinde gözlemlenebilen aykırı değerlerle birlikte istikrarsızlık, dalgalanmalar veya salınımlar ve sapmalar olduğunu gösterdi. Parametrik olmayan korelasyon, bazı denetim karakteristik göstergeleri arasında bir düzeyde ilişki olduğunu göstermiştir. PCA, veri kümesinin gruplandırılmasına rehberlik eden incelenen kalite belirteçleri arasındaki ana değişkenlik etkileyicisini ve kümelenme eğilimini gösterdi. Çalışma, ürün istikrarını, verimliliğini ve kalitesini sağlamak için gereken iyileştirmeyi belirledi.

## 1. INTRODUCTION

In everyday life, millions of people are frequently get exposed to a fairly huge number of consumable products for application and/or ingestion [1]. A significant fraction of these goods includes healthcare items which must be tested routinely and rigorously for their indicator metrics to be accepted for release from the firm. Then, these products are distributed into the market for consumption by the customers or patients [2]. Safety, efficiency and quality are integral aspects that must be insured to be integrated into the final finished product for use [3]. In the modern business quality concept, acceptable goods that could be dispatched and distributed in the market after satisfying regulatory specifications must not be considered as the sole indicator for a solid long-lasting successful industry [4]. In the first place, it was the quality management concept which should be disseminated in the organization that would pool into the final product [5]. The benefits of ensuring good practices in a specific industry were reflected not only in its image and reputation but also in reproducible, stable and reliable outputs with predictable characteristics.

Every year, many recalls of products must be monitored, recorded and controlled worldwide with various degrees of severity and devastation. For example, Food and Drug Administration (FDA) had reported regularly an appreciable number of recalls for medicines and healthcare products for different causes such as lack of efficacy, safety and quality [6]. These events had happened despite many of these goods were not problematic before. In many cases, thorough investigations usually revealed a gap or problem associated with integrated quality management that is linked to the affected product [7]. Thus, it was understood that although products might meet the intended specification limits, yet challenging issues could be hidden when analysed quantitatively over the long-term which were affected by the processes and operations involved in the product creation life cycle [8]. These defects might eventually lead to unwanted events of out-of-specifications (OOSs), recalls and excursions campaigned with financial loss and distorted company image and reputation.

The present work aimed to establish a quality and safety monitoring system for the market products to provide an early warning system before aberrant goods and recall would occur reflecting hidden and/or minor defects that could spark major excursions in the future through a chronological shift in the inspection quality characteristics of the products. This would be important also for the manufacturer to investigate the unintended factors that contribute to the product manufacturing errors and defects. The study herein focused on long-run analysis and trending of a randomly selected commercial healthcare product in the market. Product analysis and inspection of the quality control characteristic metrics must be inspected for evaluation. Creation of long-term database was ensured, and the collected records should be arranged chronologically for further processing. Statistical investigation of the individual inspection characteristics to determine the quality, stability and dispersion pattern of the recorded observations. Degree of association between measured parameters should follow to assess the influence and the link between inspection properties datasets on data quality and pattern using correlation matrix and multivariate analysis. Identification of the quality of the inspection metrics quantitatively would be crucial to guide and manage the operational steps that lead to the final product excellence. Objective decision-making would be accomplished as either sustain or improve, when the examination procedure showed either efficiency and stability or deficiency and inadequate quality, respectively.

## **2. MATERIAL AND METHOD**

The study subject comprised a chronological series of a liquid healthcare product in the market that was analysed physically and chemically in an independent drug research laboratory. Results were reported and recorded in an electronic storage system that could be converted into other software format for further processing and trending. Datasets of all inspection characteristics were created in form of an Excel sheet [9]. The examined properties were the average filling weight of the product in the primary packaging material, the relative density, pH value, the relative potencies of three active pharmaceutical ingredients (APIs) and a preservative that is used to preserve a multiuse product from the microbial spoilage [10-12]. A quantitative evaluation of the product quality was conducted using a statistical software platform as will be discussed in the following sections.

### **2.1 Graphical Analysis and Descriptive statistics of Long-Term Dataset of the Inspection Properties**

The dispersion pattern of long-term datasets of the individual inspection characteristics columns was studied using both graphical presentation and summary of a statistical description to understand the distribution of the observations for a continuous data-type [13]. This type of analysis was used to study

process stability, trend, pattern and clusters in the readings [14]. In the statistical program, the graphical Summary was used to summarize numeric data with a variety of statistics such as the sample size, mean, median, and standard deviation [15]. Data distribution could be described with graphs, through conducting an Anderson-Darling (AD) normality test and obtain Confidence Intervals (CI) for the mean, standard deviation, and median [15]. Complementary column statistics – including Coefficient of Variation (CV), geometric mean with upper and lower 95% CI, skewness and kurtosis determinations - was performed using GraphPad Prism v6.01 for Windows [16].

## **2.2 Correlation Matrix, Dendrogram and Multivariate Analysis of Product Quality Metrics**

Numerical and graphical presentation of correlation between datasets - as a correlation matrix and matrix plot - were conducted using GraphPad Prism v6.01 and In Minitab® v17.1.0, respectively [17,18]. While multivariate study using Principal Component Analysis (PCA) was conducted using Minitab® v17.1.0. Matrix plots typically implicated the following elements: a matrix of scatterplots, rows and columns of the matrix, each of which represents a separate variable and an internal x- and y-axis scale for each scatterplot. In a matrix of plots, the lower-left graphs are mirror images of the upper right graphs. A matrix plot was used to assess the relationships among several pairs of variables at once. Displays of plots for judging the importance of the different principal components could be generated, along with the scores of the first two principal components to be investigated, and the outliers would be spotted.

The Scree figure (eigenvalue profile plot) included the eigenvalue associated with a principal component versus the number of the component. This plot was used to judge the relative magnitude of eigenvalues [19]. Biplot for the first two components was also selected to plot an overlay of the score and loading plots for the first two components. The PCA would be useful to help you to understand the underlying data structure and/or form a smaller number of uncorrelated variables (for instance, to avoid multicollinearity in regression) [20]. Points were the projected observations; vectors corresponded the projected variables. If the data were well-approximated by the first two principal components, a biplot could enable visualization of high-dimensional data by using a two-dimensional graph [21]. An outlier plot was also selected to plot the Mahalanobis distance for each data point. This diagram identified outliers in multivariate space [19,21]. A point above the Y reference line represented an unusual observation [22]. The dendrogram is a tree diagram that was used to display the groups that were formed by clustering observations at each step and their similarity levels. The similarity level was measured along the vertical axis (alternately, the distance level could be displayed), and the different observations were listed along the horizontal axis [23].

In the dialog box items for PCA, a type of matrix must be selected. The covariance would be chosen to calculate the principal components following covariance matrix selection. The covariance matrix was chosen taking into consideration that standardization was not needed for variables. Otherwise, the correlation must be selected to calculate the principal components using the correlation matrix. Since variables must be standardized to obtain a correct component score, a correlation type of matrix was selected [22,23]. The principal components included the linear combinations of the original variables that account for the variance in the data. The maximum number of components extracted always should equal the number of variables [24]. The eigenvectors, which were comprised of coefficients corresponding to each variable, were used to calculate the principal component scores. The coefficients were used to indicate the relative weight of each variable in the component [23,24]. The bigger the absolute value of the coefficient, the more important the corresponding variable would be in constructing the component.

### **3. RESULTS AND DISCUSSION**

#### **3.1 Graph and Summary Statistics of Data Distribution with Performance Analysis**

Quality control (QC) inspection of the prepared medicinal products have become an indispensable task that provides oversight on the inspection characteristics of the final preparation in the compounding and formulation areas in a healthcare firm [25]. However, the reliance only on the batch-wise direct testing for just pass or fail criteria would not be not enough to judge the dissemination of the comprehensive quality management concept and system through the whole organization [26]. It is the statistical process trend analysis that would reveal the underneath deformities. The necessary adjustments in the system could be accomplished through the study of the inspection properties of the products. In turn, these characteristics were regarded as crucial aspects for the consistency and stability of the quality over fairly long runs [27,28]. All the monitored properties showed no Out-Of-Specification (OOS) with zero expected and the observed Defects-Per-Million-Opportunities (DPMO) or Part-Per-Million (PPM). There is no apparent defect in any of the 838 studied batches.

The tabulated statistics table of Figure 1-5 summarized information about each item and the total for all items: Total count which represented the number of observations, the mean (obtained from the sum of all observations divided by the total count) and the Standard Deviation (St.Dev.) which was used as a measure of dispersion analogous to the average distance (independent of direction) of each observation from the mean [29]. The collected sample data had more than 50 (N = 438 and 838 points for microbiological and non-microbiological analysis) observations, which would provide enough information to represent the dispersion pattern of the dataset. As the sample size would grow a more

precise estimate of the process parameters, such as the mean and standard deviation could be attained [30]. The lower number of microbial enumeration database could be attributed to the applied skipping analysis plan schedule for the verified bioburden quality of the preparation [40]. Observations spreading were shown numerically in the column statistics in Figures 1 to 5, with mean, median and St.Dev. demonstrated at a 95% Confidence Interval (CI).

Outliers could strongly influence the results of any statistical analysis that is performed on the recorded observations [31]. A few of the dataset results were aberrant values, which were regarded as records that do not seem to be consistent with the remaining of the database. Since excursions might robustly lever the outcomes of any statistical study that was performed on the data, Identification of the cause of the unusual nature of these outliers should be investigated [32]. Verification of the sources of special-cause variation should be conducted and the data table in the program should be amended so that any entries in the cell(s) are corrected [33]. When there were no outliers - which are data points that do not appear to belong with the rest of the data – then all observations were considered homogenous and the noises in the time series plot could be attributed to the common-cause variations only which were considered normal statistical variation of the process.

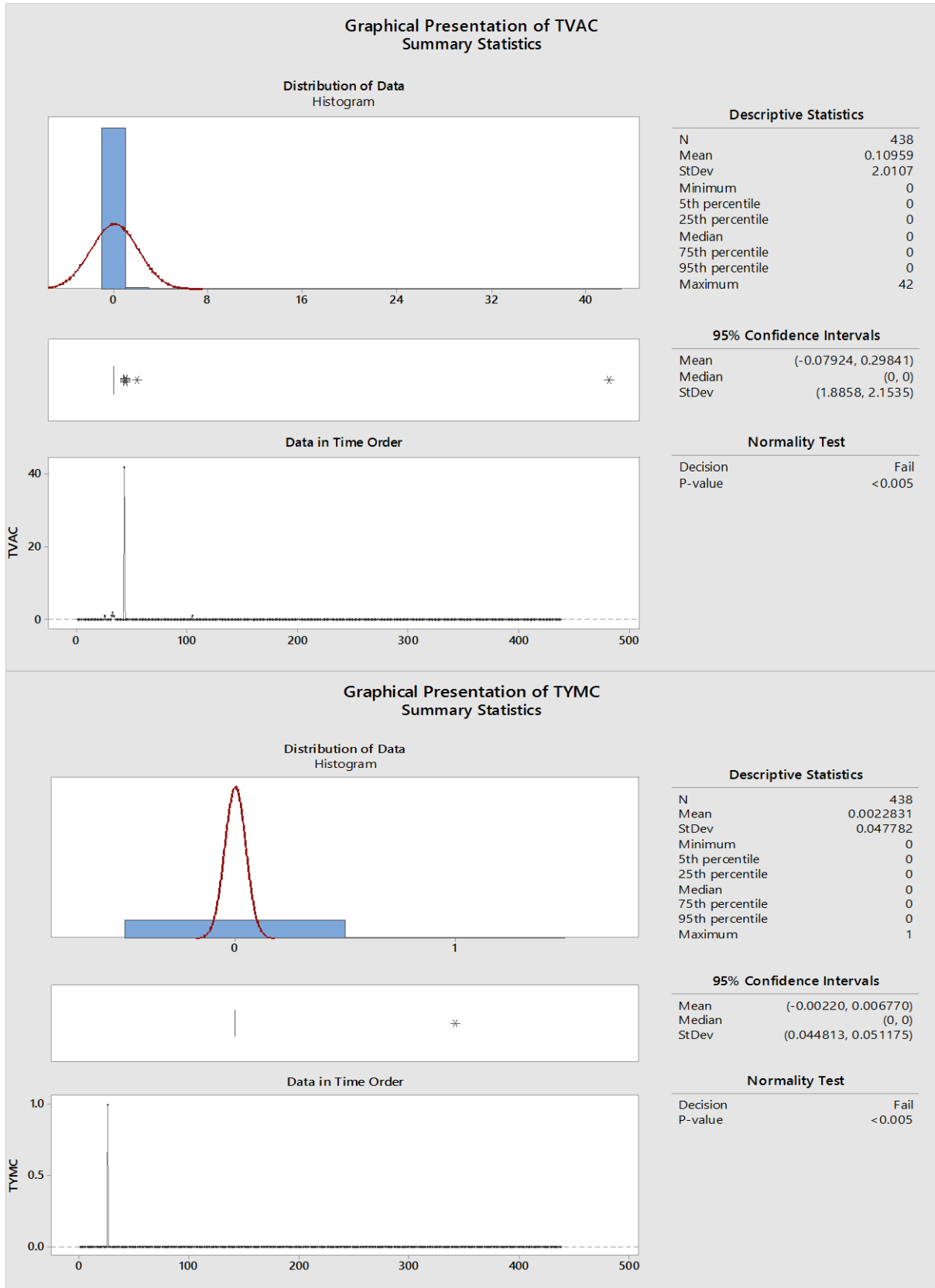
The current study provided an integrative investigation of product goodness through the examination of the quality long-term database of the inspection characteristics of the medicinal dosage form. Graphical and descriptive summary of the statistical analysis of bioburden load (TVAC and TYMC), average filling weight, relative density, pH and the relative potencies of three APIs and antimicrobial preservative were shown in Figures 1 to 5. While data pattern and spreading tended to be simple and consistent in microbial enumeration test – with few aberrant values (indicated by asterisks in the box plot diagram, physical and chemical tests were more complex being two-sided properties around the mean values. The microbial score count dataset demonstrated a clear non-compliance to the bell-shaped of the Gaussian distribution due to limited count number variation which was an expected event in contrast to the continuous data type. This behaviour is common in microbiological count data and had been reported previously [34].

Nevertheless, the variable nature data type of both physical and chemical data properties (illustrated by histograms and box and whisker plot) showed dispersions that approached normality to a certain degree. This factual was observed despite failure of the Anderson-Darling (AD) test due to anomalies in the shape. Instances of unusual incidences included a flattened multimodal pattern in the average filling weight indicating multiple operations affecting one process. In addition, there were events that involved two isolated distributions as one major and one minor peaks with distant observations in the relative density measurement. Also, skewed distribution with distant outlier observations in pH measurements had been spotted. A possible two interfering distributions at the peak

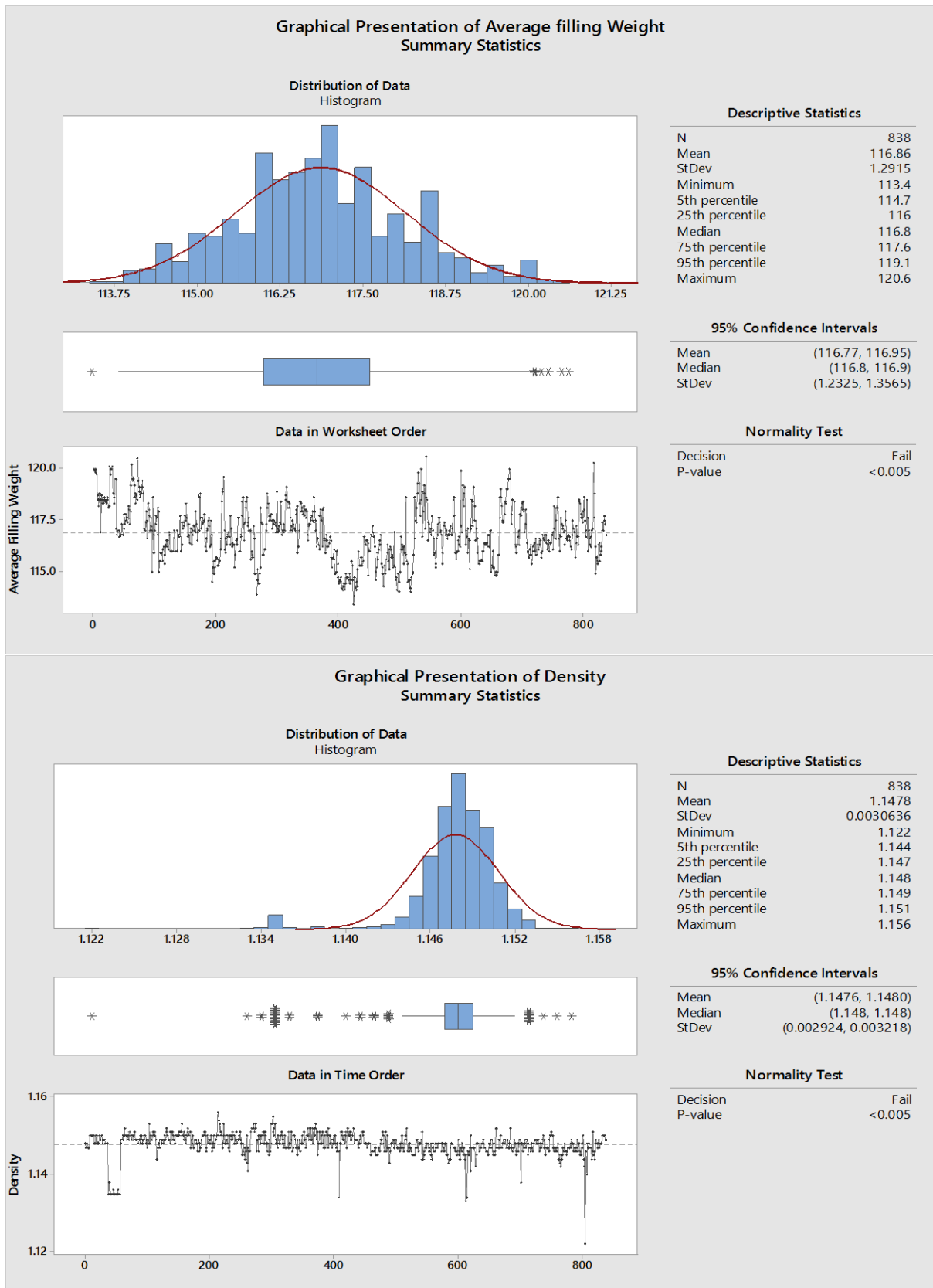
in the relative potency determination of API 1 was another observed phenomenon. The same - as in the average filling weight - could be observed with API 2 assay where an apparent multiple dispersion might interfere. Interestingly, it was the only parameter with no obvious outlier readings. The relative potency analysis dataset of API 3 was the closest in the spreading to the normal distribution despite the presence of some excursions in some readings. Again, the histogram of the relative potency of the preservative demonstrated a departure from normality due to excursions from high readings and single low excursion affecting the Gaussian distribution pattern.

Apart from the intermittent excursion of outlier observations in the time series plot, most inspection characteristics might show mixed and oscillating patterns of data trend. This fact could be attributed to intermittent shifts in the mean value along with some drifts and/or repeated behaviour. Thus, the out-of-control status of the means of inspected properties would be linked to the unstable variations between points in the moving range (MR) sequence. In turn, the instability of the operation could impact the precision of the evaluation of the process capabilities, despite a large number of observations reported [35]. All datasets failed to follow specific dispersion shapes even after transformation, except the average filling weight where it passed the normality test after Box-Cox transformation at  $\lambda = -5.00$ . The distorted distribution shape was affected by the heterogeneity of the reported outcome of the analysis which reflected inconsistent operations that influence the properties. In turn, the potential (within) process capability would be narrower and sharper in shape - if process shifts and drifts were eliminated – than the actual (overall) capability.

Table 1 showed other statistical tests that complement those in Figures 1 - 5 to be more informative about that quantitative nature of data. For example, skewness and kurtosis provided a numerical indication for the magnitude of deviation for the observations from the hypothetical distribution. Both geometric means and arithmetic means were almost identical. Coefficient of Variation (CV) expresses the spreading of data in the observation series around the average values [36]. In the current case, the lowest and the highest dispersions percent were demonstrated by the relative density and the relative potency of the preservative assay, respectively.

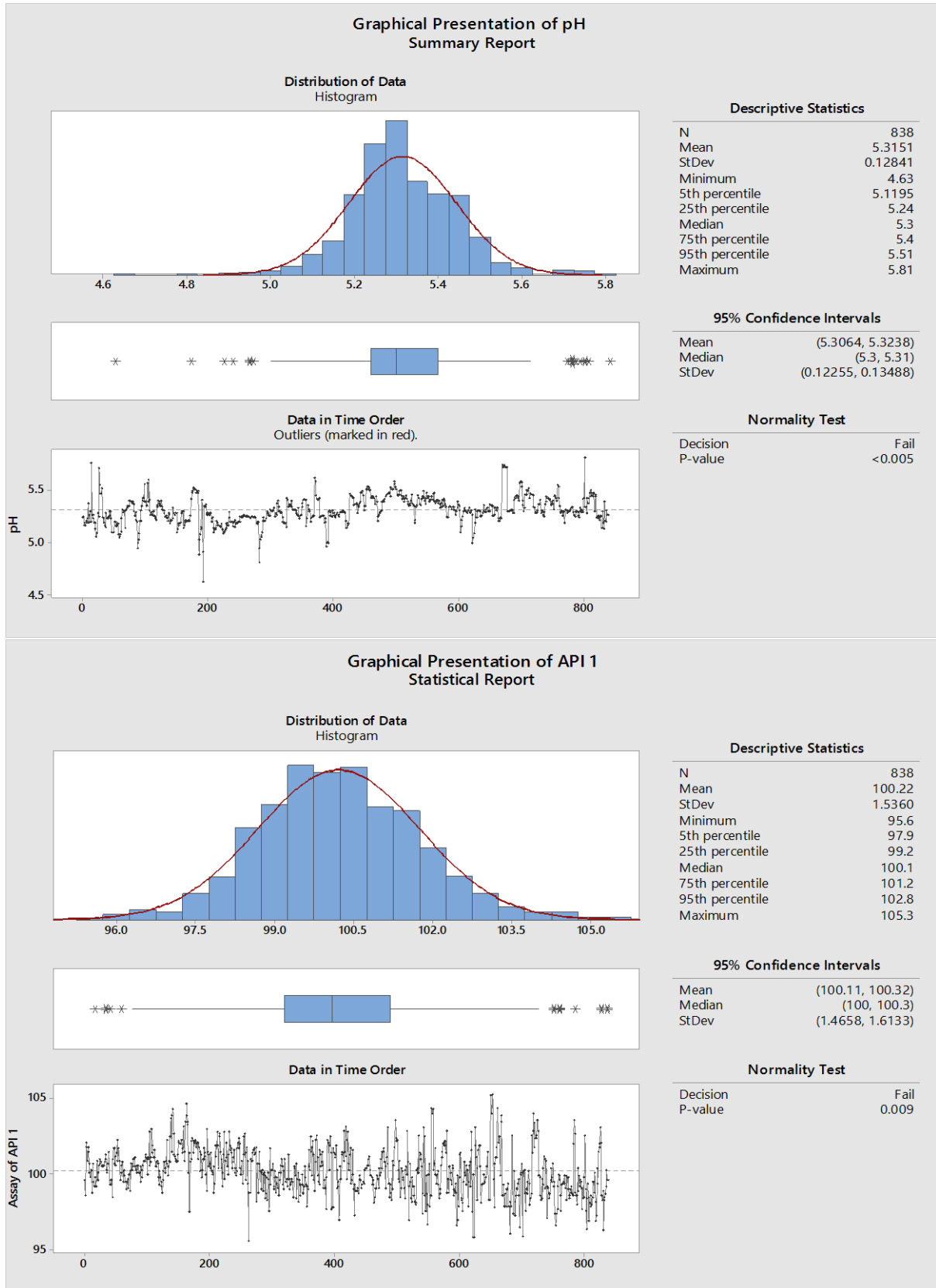


**Figure 1.** Long-term statistical microbiological count assessment of TVAC and TYMC



**Figure 2.** Long-term statistical assessment of the average filling weight and relative density of the product





**Figure 3.** Long-term statistical assessment of the pH and API 1 assay of the product

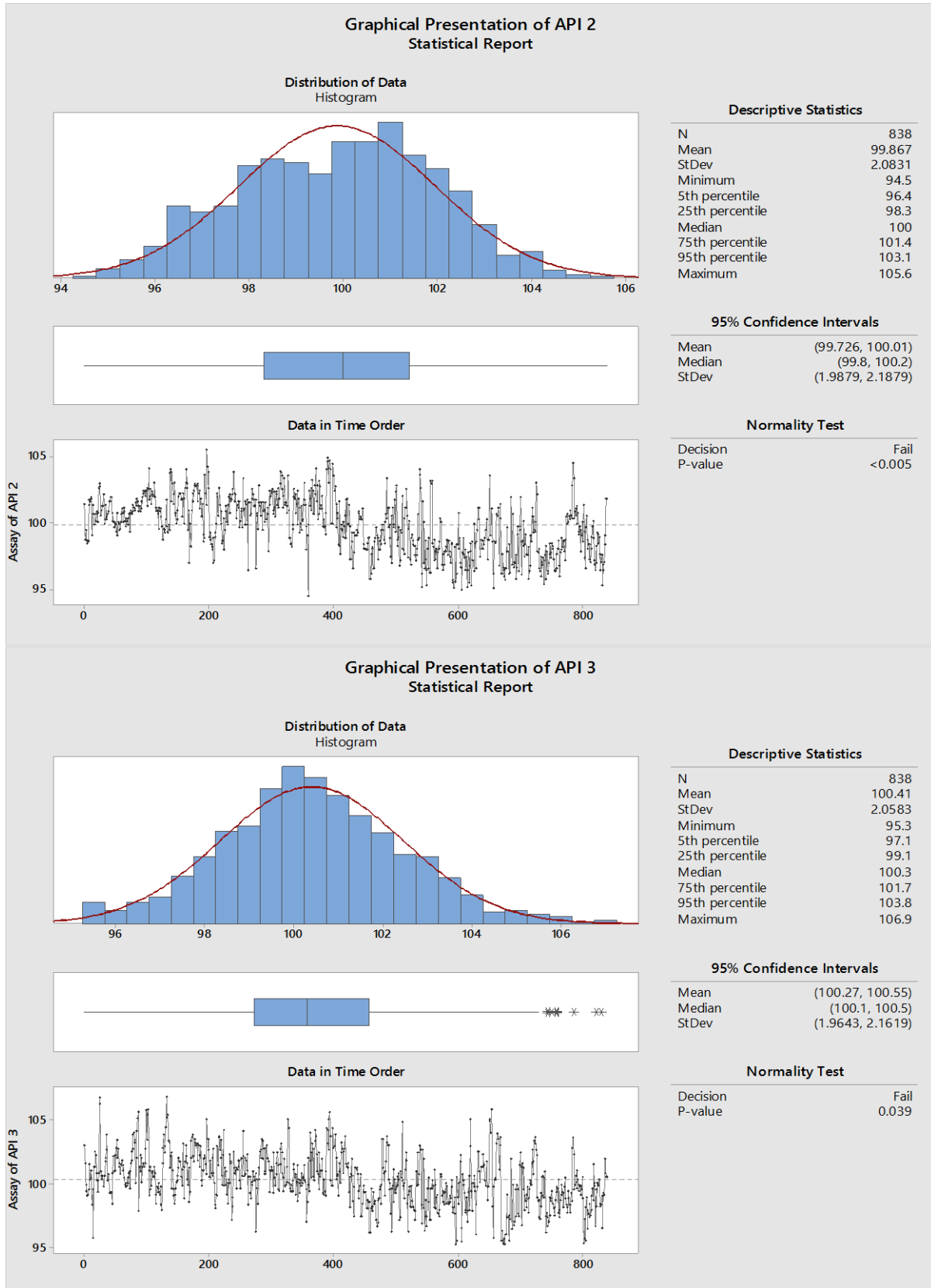


Figure 4. Long-term statistical assessment of the API 2 and API 3 of the product

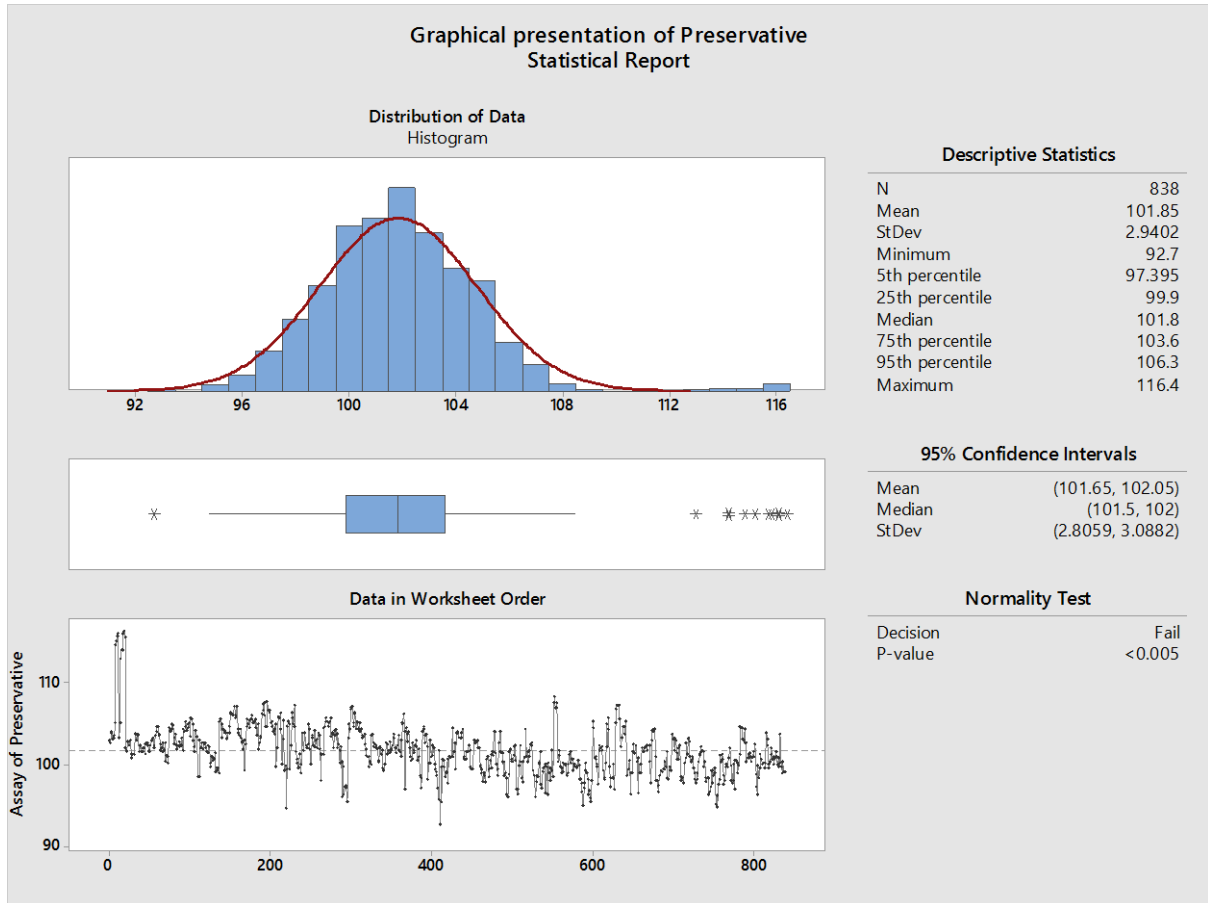


Figure 5. Long-term statistical assessment of the preservative in the product

Table 1. Column statistics of healthcare product inspection characteristics

Descriptive Statistics	Average Filling Weight	pH	Density	Assay of API 1	Assay of API 2	Assay of API 3	Assay of Preservative
Coefficient of variation (%) <sup>a</sup>	1.11	2.42	0.27	1.53	2.09	2.05	2.89
Geometric mean <sup>b</sup>	116.9	5.31	1.148	100.2	99.85	100.4	101.8
Lower 95% CI of geo. mean <sup>c</sup>	116.8	5.31	1.148	100.1	99.7	100.2	101.6
Upper 95% CI of geo. mean <sup>c</sup>	116.9	5.32	1.148	100.3	99.99	100.5	102.0
Skewness <sup>d</sup>	0.000	0.071	0.000	0.211	-0.088	0.144	0.966
Kurtosis <sup>e</sup>	-0.122	2.102	12.140	0.405	-0.614	0.077	3.807

<sup>a</sup> CV also is known as Relative Standard Deviation (RSD) which equals to ratio of the standard deviation to the mean.

<sup>b</sup> Geo. mean is an average value determined by x<sup>th</sup> root of the product of multiplication of x numbers together.

<sup>c</sup> 95% confidence interval is a range of values that with 95% certainty would be expected to contain the true mean of the population.

<sup>d</sup> Quantification technique for the distribution degree of symmetry, where the ideal distribution has a value of zero.

<sup>e</sup> Quantification method of the tailing of certain distribution for matching to the Gaussian dispersion pattern.

### 3.2 Investigation of Degree of Association Between Inspection Properties of the Product

Table 2 showed the degree of correlation between different product markers numerically as coefficient and P values using non-parametric Spearman matrix at 95% confidence interval. The shape, pattern, predominant one-to-one relationship trend and cluster distribution were shown as matrix plot in Figure 6. A low-level correlation was observed between the relative density and the relative potency of the preservative with the assay of chemical components. In general, the other physical properties did not correlate appreciably either with each other or with the chemical potencies of the product. However, a higher level of data association was observed between the three APIs, notably, API 3 with API 1 and API 2. This overview might help in the decision on which variables to include in a model and how to model them when looking at the array of scatterplots to see which variables appeared correlated [37].

**Table 2.** Non-parametric two-tailed Spearman correlation matrix at 95% confidence interval for the indicators

Correlation Coefficient <sup>†</sup> p <sup>c</sup>	Average Filling Weight	pH	Density	Assay of API 1	Assay of API 2	Assay of API 3	Assay of Preservative
Average Filling Weight		-0.08	0.06	-0.08	0.06	0.03	0.14
pH	0.01566		-0.14	-0.17	-0.22	-0.25	-0.18
Density	0.10781	0.00008		0.42	0.47	0.40	0.40
Assay of API 1	0.02578	0.00000	0.00000		0.58	0.61	0.42
Assay of API 2	0.07439	0.00000	0.00000	0.00000		0.63	0.50
Assay of API 3	0.40487	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000		0.41
Assay of Preservative	0.00005	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	

<sup>†</sup> Spearman r(rs) replaced Pearson correlation for non-Gaussian distribution.

<sup>c</sup> If the P value is diminishing, then rejection of the idea that the correlation is due to random sampling and vice versa.

If a predictor variable was not correlated with the response variable, it might be desirable to exclude the predictor from the model. If a relationship was curved, then it might be needed to include higher-order terms to accurately model the curvature (e.g. polynomial regression) [38]. Thus, the correlation matrix was used to assess the strength and direction of the relationship between two items or variables. Items that could measure the same construct should have high, positive correlation values. If the items were not highly correlated, then the items might be ambiguous, difficult to understand or measure different constructs [39]. Often, variables with correlation values greater than 0.7 were considered highly correlated. However, the correlation benchmark values would depend on subject area knowledge and the number of items in the examined data [40]. Nevertheless, the significance of the interconnection level between product properties was not high enough ( $\geq 0.40$  and  $\leq 0.65$ ) to justify

modelling. The scattering patterns of the points around the positive relationship lines were not directive to a promising correlation between pairs of items to produce a satisfactory and reliable quantitative model.

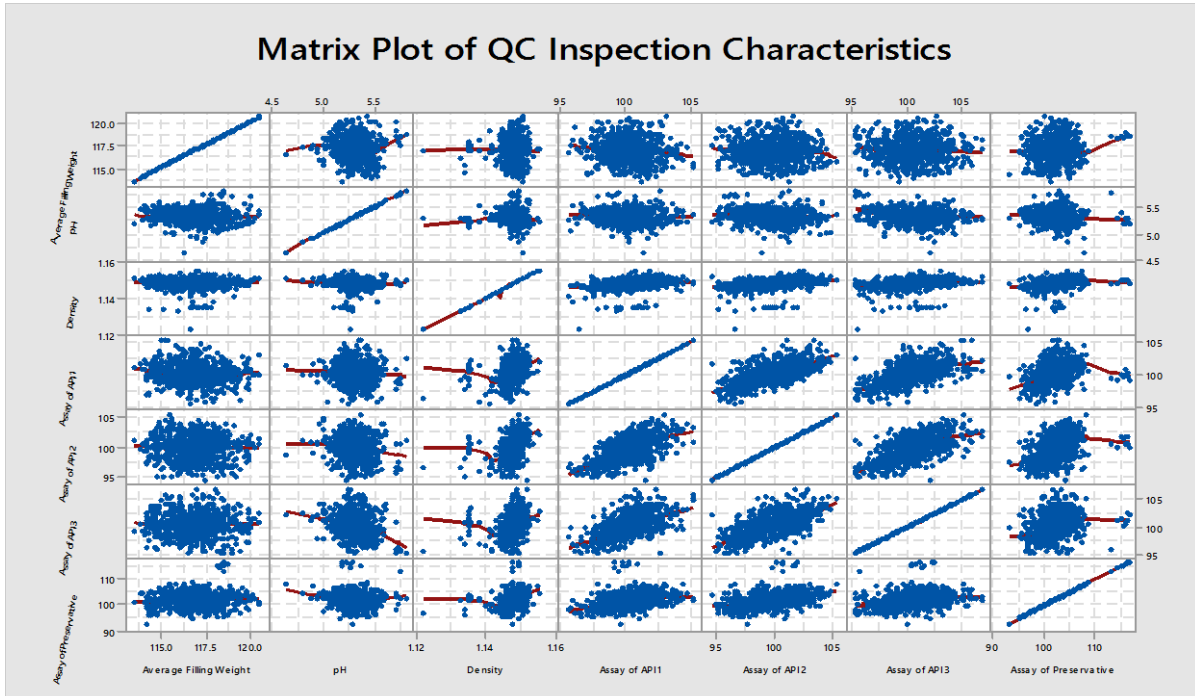


Figure 6. Association pattern matrix between variables of the inspection quality characteristics

### 3.3 Multivariate Analysis for Indicator Test of the Product

Survey analysis of continuous observations included studying the relations between the variables. PCA was used to form a smaller number of uncorrelated variables from a large set of data [41]. The goal of the PCA was to explain the maximum amount of variance with the fewest number of principal components. PCA could be used with large data sets in the study to determine the major metrics of the quality of a specific product. This multivariate methodology was commonly used as one step in a series of analyses [42]. Hence, the PCA was used to reduce the number of variables and avoid multicollinearity, or when too many predictors relative to the number of observations could be observed [43]. In the present case, a healthcare product was analysed for important quality aspects that were needed for its intended purpose. These inspection characteristics involved the average filling weight, relative density, pH and the assay of the three active components, in addition to the preserving compound. A PCA was conducted to see if they can form a smaller number of uncorrelated variables that were easier to interpret and analysed to be used as major indicators for the item quality.

The results suggested the following patterns: Relative density and assay of APIs 1, 2, 3 and the preservative could be categorized under a "product efficiency" component. Average filling weight forms

a "product amount" component. The level of pH value forms a "stability/solubility" component. Figure 7 showed the grouping of the QC examination items for the product. Interpretation of dendrogram illustrated how the clusters were formed at each step and to assess the similarity (or distance) levels of the clusters that were formed. Based on the similarity (or distance) levels, the pattern of how similarity or distance values change from step to step would help to choose the final grouping for the database. The step where the values changed abruptly might identify a good point to define the final grouping [44]. In the present situation the similarity value changed from 36.51 for the overall observations to 48.30 in the left branch, then 63.26, 66.71, 79.72 and 81.82 on the right side. The right branch made the most sense of data grouping. Thus, the product efficiency component as in the biplot was sought as a convenient cluster. This final decision was called "cutting the dendrogram" [45]. The angles between the vectors represented a visual indication to the degree by which characteristics correlate with one another. When two or more vectors were close, forming a small angle, the variables under investigation were positively correlated. If the lines were perpendicular, they were not likely to be correlated. When they diverged and formed a large angle (close to  $180^\circ$ ), they are negatively correlated [23].

The biplot combined the score and loading graphs [46]. The biplot was used to examine the data structure and loadings on one figure. The second principal component scores were plotted versus the first principal component scores [22]. The loadings for these two principal components were plotted on the same graph. This biplot demonstrated the following: the left and bottom axes were for the PCA plot which was used to read PCA scores of the observations (points). The top and right axes belonged to the loading plot which was used to read how strongly each quality property (vector) influences the principal components [23]. Relative potency determinations for the four chemical entities had large positive loadings on component one. Therefore, this component focused on the product's long-term quality stability. On the other hand, pH had large negative loadings on component two. Therefore, this component focused on the product's bygone quality trend.

The outlier graph in Figure 8 demonstrated outlier points beyond the reference line. Any point that was above the reference line was considered an outlier. Outliers could significantly affect the pattern and stability of the trend under examination [22,45]. Therefore, if an outlier was identified in the dataset, investigation of the aberrant observation should be executed to understand why it is unusual to improve process or characteristic stability. Thus, the test pinpoints to the excursions in the pattern to correct any measurement or data entry errors [23,45]. Accordingly, removing data that were associated with special causes and repeating the analysis should be considered. Scree plot displayed the eigenvalues associated with a component or factor in descending order versus the number of the components or factors. It was used in PCA to visually assess which components accounted for most of the variability in the data [47].

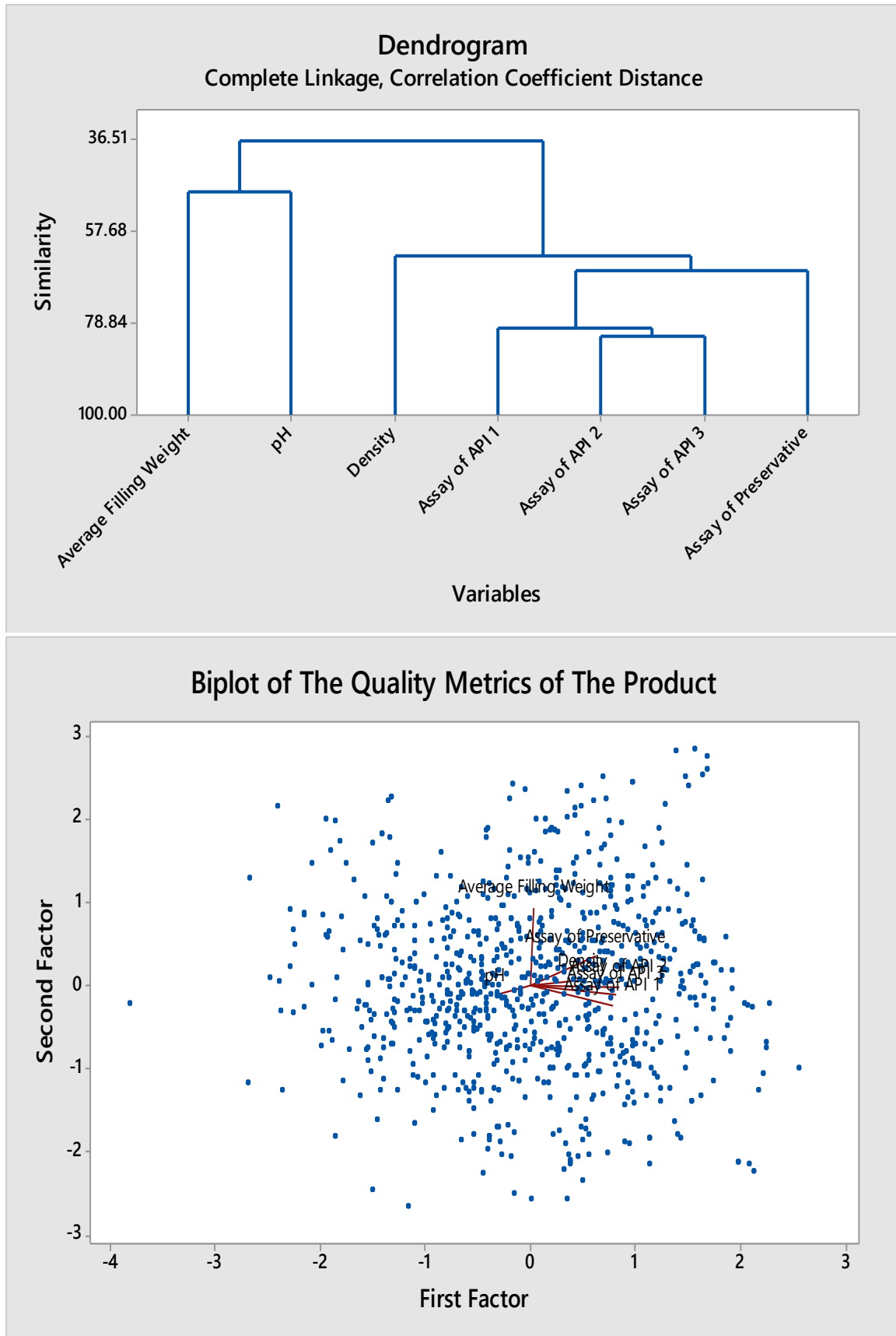
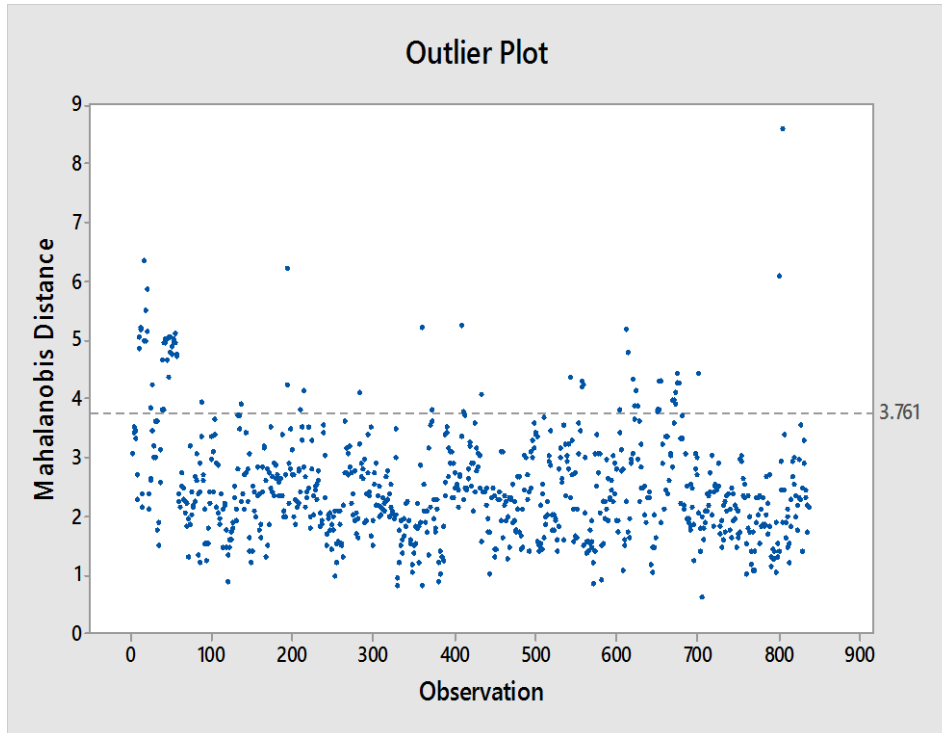


Figure 7: Major components categorization of the product under examination



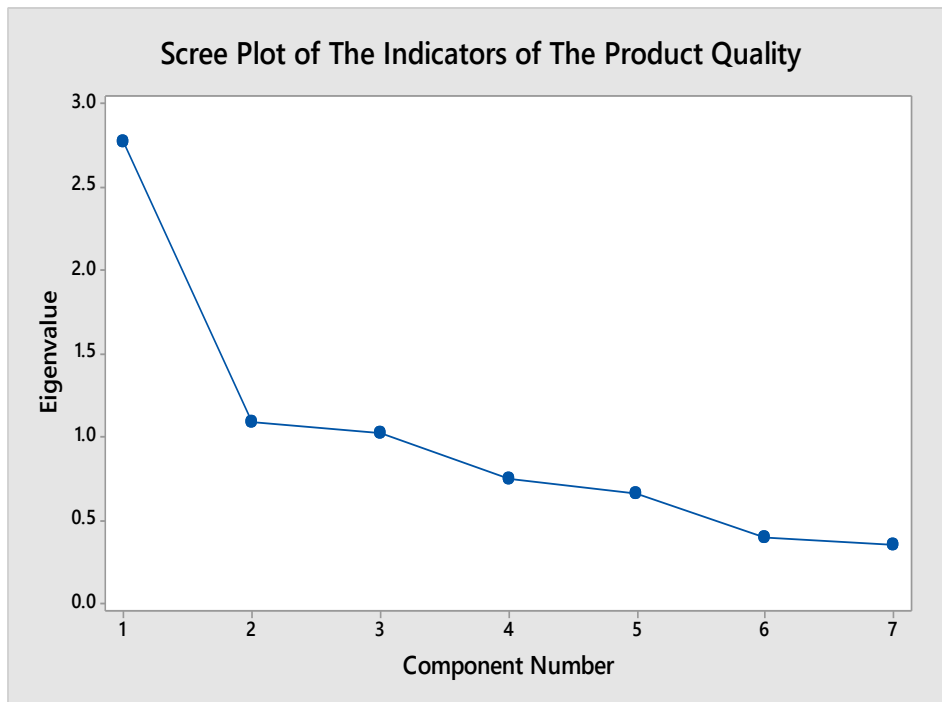
**Figure 8.** Outlier plots of Principal Component Multivariate analysis of the product

The ideal pattern in a scree plot would be observed as a steep curve, followed by a bend and then a flat or horizontal line. Those components or factors in the steep curve - before the first point that started the flat line trend – should be retained [20,48]. Using knowledge of the data and the results from the other methods of selecting components or factors would help to decide the number of important components or factors [20,48]. In these results of Figure 9, the first three principal components had eigenvalues greater than one. These three components explained most of the variation in the data. The scree plot showed that the eigenvalues started to form a straight line after the third principal component. Therefore, the remaining principal components accounted for a very small proportion of the variability (close to zero) and were probably unimportant. Eigen analysis of the Correlation Matrix was as the following: Eigenvalue (2.7696, 1.0836, 1.0160, 0.7398, 0.6572, 0.3906 and 0.3433), as a proportion (0.396, 0.155, 0.145, 0.106, 0.094, 0.056 and 0.049) and as a cumulative (0.396, 0.550, 0.696, 0.801, 0.895, 0.951 and 1.000). For the variables that showed Eigenvalue greater than one from the observation of variables viz (average filling weight, pH, density, relative potency of API 1, API 2, API 3 and preservative), (PC1, PC2, PC3) were as the following: (0.024, 0.897, -0.026), (-0.196, -0.116, -0.826), (0.303, 0.055, -0.524), (0.476, -0.241, -0.060), (0.509, -0.029, -0.002), (0.492, -0.111, 0.152) and (0.377, 0.328, -0.126), respectively.

Commercial products that were released in the market for consumption by the customers were normally expected to meet the rigorous official and regulatory specifications as they may impact their



health and even life. Yet every year, a growing list of the recalled products could be observed due to various issues affecting products' usability. This work highlights the potential risk of the failure of the goods due to drifts in the inspection characteristics of the product that would not be detected using the classical reliance on the specification release criteria. The present study demonstrated the detection of the stability of each quality inspection criteria over the long term. The insight into the product quality could be interpreted easily through dimensionality reduction of the multiple inspection tests. It was evident from this research that the investigated inspection characteristics of the studied product needed further improvement from the manufacturer side in terms of the stability and consistency of the quality criteria.



**Figure 9.** Scree plots of Principal Component Multivariate analysis of the product

#### 4. CONCLUSION

The dissemination of quality concepts through the implementation of good practices in various fields (GxP) in any industry is crucial for a long-lasting successful business. Long-term monitoring of the key quality metrics of any market goods reveals the stability and consistency of the operations and processes performed on the created product. The studied inspection characteristics should be evaluated in terms of correlation, variability and impact on the value of the delivered items to the customers. The applied statistical tools in the present case were simple, effective and time-saving for large database analysis and investigation where safety, efficacy and quality of healthcare products are crucial for the health of the consumers in the challenging world of the ever-increasing ailment conditions that affect

the human being and impact healthcare sector. Also, the study sounds an alarm clearly for the potential risk of the presence of a fairly large number of the products in the market that meet specification limits although they are not showing stable characteristics patterns of long-run operations.

## CONFLICTS OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors.

## AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Mostafa Essam EISSA: Designing and planning of the study, analysis, data collection, statistical interpretation and investigation. Engy Refaat RASHED: Topic suggestion, analysis, data collection, writing- original draft preparation. Dalia Essam EISSA: Topic suggestion, designing and planning of the study, writing- editing.

## REFERENCES

- [1] Y. Christopher, *Inadvertent ingestion exposure in the workplace*. Edimbourg, Royaume-Uni: Health and safety executive, 2007.
- [2] OECD, *Improving Healthcare Quality in Europe: Characteristics, Effectiveness and Implementation of Different Strategies*. OECD Publishing, 2019.
- [3] World Health Organization (WHO), *Quality Assurance of Pharmaceuticals 2016*. Geneva: World Health Organization, 2016.
- [4] C. Yang, *The Evolution of Quality Concepts and the Related Quality Management*, Quality Control and Assurance - An Ancient Greek Term Re-Mastered. London, UK: Intech Open, 2017.
- [5] M. Nguyen, A. Phan and Y. Matsui, "Contribution of Quality Management Practices to Sustainability Performance of Vietnamese Firms", *Sustainability*, vol. 10, no. 2, pp. 375-385, 2018, doi: 10.3390/su10020375.
- [6] M. Eissa, "Rare event control charts in drug recall monitoring and trend analysis of data record: A multidimensional study", *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*, vol. 2, no. 2, pp. 34-39, 2019. Available: 10.4103/jqsh.jqsh\_3\_19.
- [7] Food & Drug Administration, *Guidance for Industry Q9 Quality Risk Management*. (2006). Accessed: Feb. 21, 2021. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/media/71543/download>.
- [8] G. Sonnemann and M. Margni, *Life Cycle Management*. LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment, (2015). Accessed: Feb. 22, 2021. [Online]. Available: 10.1007/978-94-017-7221-1.
- [9] J. Nielsen, *Microsoft Official Academic Course Microsoft Excel 2016*. (2016). Accessed: Feb. 20, 2021. [Online]. Available: [https://www.dit.ie/media/ittraining/msoffice/MOAC\\_Excel\\_2016\\_Core.pdf](https://www.dit.ie/media/ittraining/msoffice/MOAC_Excel_2016_Core.pdf).

- [10] J. Kim, K. Lee, U. Jerng and G. Choi, "Global Comparison of Stability Testing Parameters and Testing Methods for Finished Herbal Products", *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 2019, pp. 1-14, 2019. Available: 10.1155/2019/7348929 [Accessed:22 February 2021].
- [11] SCCS Members & External experts, *The ScCs Notes Of Guidance For The Testing Of Cosmetic Ingredients And Their Safety Evaluation*. (2015). Accessed: Feb. 19, 2021. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consumer\\_safety/docs/scCs\\_o\\_190.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/scCs_o_190.pdf).
- [12] S. Gad, *Pharmaceutical manufacturing handbook: Production & Processes*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2008.
- [13] Natural Resources Biometrics, *Chapter 1: Descriptive Statistics and the Normal Distribution | Natural Resources Biometrics*. (2021). Accessed: Feb. 18, 2021. [Online]. Available: <https://courses.lumenlearning.com/suny-natural-resources-biometrics/chapter/chapter-1-descriptive-statistics-and-the-normal-distribution/>.
- [14] A. Sleeper, *Minitab Demystified*. New York: McGraw-Hill Education, 2011.
- [15] C. Steele, *An Easy Data Set to Summarize with Minitab's Assistant*. (2015). Accessed: Feb. 16, 2021. [Online]. Available: <https://blog.minitab.com/en/statistics-and-quality-improvement/an-easy-data-set-to-summarize-with-minitabs-assistant>.
- [16] H. Motulsky, *GraphPad Prism*. San Diego, Calif.: GraphPad Software, 2003.
- [17] H. Motulsky, *Analyzing data with graphPad prism*. San Diego: GraphPad Software Inc., 1999.
- [18] H. Pham, *Springer Handbook of Engineering Statistics*. New York: Springer, 2007.
- [19] L. Ngo, *How to read PCA biplots and scree plots - BioTuring's Blog*. (2018). Accessed: Feb. 15, 2021. [Online]. Available: <https://blog.bioturing.com/2018/06/18/how-to-read-pca-biplots-and-scree-plots/>.
- [20] R. Wicklin, What are biplots?. (2019). Accessed: Feb. 16, 2021. [Online]. Available: <https://blogs.sas.com/content/iml/2019/11/06/what-are-biplots.html>.
- [21] J. Fish, *Outliers Episode 3: Detecting outliers using the Mahalanobis distance (and T2)*. (2021). Accessed: Feb. 14, 2021. [Online]. Available: <https://community.jmp.com/t5/JMP-Blog/Outliers-Episode-3-Detecting-outliers-using-the-Mahalanobis/ba-p/351183>.
- [22] P. Python, *PCA: Practical Guide to Principal Component Analysis in R & Python*. (2016). Accessed: Feb. 1, 2021. [Online]. Available: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/03/pca-practical-guide-principal-component-analysis-python/>.
- [23] Kassambara, *PCA - Principal Component Analysis Essentials - Articles – STHDA*. (2021). Accessed: Feb. 2, 2021. [Online]. Available: <http://www.sthda.com/english/articles/31-principal-component-methods-in-r-practical-guide/112-pca-principal-component-analysis-essentials/>.
- [24] WHO Technical Report Series, No. 957, *WHO good practices for pharmaceutical quality control laboratories*. (2010). Accessed: Feb. 5, 2021. [Online]. Available: [https://www.who.int/medicines/areas/quality\\_safety/quality\\_assurance/GoodpracticesPharmaceuticalQualityControlLaboratoriesTRS957Annex1.pdf](https://www.who.int/medicines/areas/quality_safety/quality_assurance/GoodpracticesPharmaceuticalQualityControlLaboratoriesTRS957Annex1.pdf).
- [25] S. Kulkarni, *Total Quality Management*. (2021). Accessed: Feb. 6, 2021. [Online]. Available: [http://hsit.ac.in/e-learning/mechanical%20engineering/vi%20semester/total%20quality%20management\(17me664\)/tqm%20notes.pdf](http://hsit.ac.in/e-learning/mechanical%20engineering/vi%20semester/total%20quality%20management(17me664)/tqm%20notes.pdf).

- [26] C. Berardinelli and L. Yerian, *Run Charts: A Simple and Powerful Tool for Process Improvement*. (2021). Accessed: Feb. 7, 2021. [Online]. Available: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/control-charts/run-charts-a-simple-and-powerful-tool-for-process-improvement/>.
- [27] M. Eissa and A. Abid, "Application of statistical process control for spotting compliance to good pharmaceutical practice", *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 54, no. 2, 2018. Available: 10.1590/s2175-97902018000217499.
- [28] J. Bland and D. Altman, "Statistics notes: Measurement error", *BMJ*, vol. 312, no. 7047, pp. 1654-1654, 1996. Available: 10.1136/bmj.312.7047.1654 [Accessed: 25 Feb. 2021].
- [29] A. Bhattacharjee, *Social science research*. Tampa, FL: University of South Florida, 2012.
- [30] M. Essam Eissa, "Investigation of Microbiological Quality of Water from the Feed Source to the Terminal Application in the Healthcare Facility: A Case Study", *Health Research*, vol. 2, no. 1, pp. 16, 2018. Available: 10.31058/j.hr.2018.21002 [Accessed: 25 Feb.2021].
- [31] N. Balakrishnan, V. Barnett and T. Lewis, "Outliers in Statistical Data.", *Biometrics*, vol. 51, no. 1, pp. 381, 1995. Available: 10.2307/2533352.
- [32] J. Frost, *Guidelines for Removing and Handling Outliers in Data - Statistics By Jim*. (2021). Accessed: Feb. 24, 2021. [Online]. Available: <https://statisticsbyjim.com/basics/remove-outliers/>.
- [33] A. Monnappa, *Common Cause Variation vs Special Cause Variation*. (2021). Accessed: Feb. 8, (2021). [Online]. Available: <https://www.simplilearn.com/common-vs-special-cause-of-variance-article>.
- [34] M. Eissa, "Application of Laney control chart in assessment of microbiological quality of oral pharmaceutical filterable products", *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, vol. 52, no. 3, pp. 239-246, 2017. Available: 10.3329/bjsir.v52i3.34160 [Accessed: 25 February 2021].
- [35] S. Wachs, *Process Stability vs. Capability Explained | WinSPC.com*. (2021). Accessed: Feb. 9, 2021. [Online]. Available: <https://www.winspc.com/what-is-the-relationship-between-process-stability-and-process-capability/>.
- [36] İ. K. Keser, İ. D. Kocakoç and A. Şehirlioğlu, "A New Descriptive Statistic for Functional Data: Functional Coefficient of Variation", *Alphanumeric Journal*, vol. 4, no. 2, 2016. Available: 10.17093/aj.2016.4.2.5000185408 [Accessed: 25 February 2021].
- [37] B. Illowsky and S. Dean, *Outliers*. (2021). Accessed: Feb. 10, 2021. [Online]. Available: <https://opentextbc.ca/introstatopenstax/chapter/outliers/>.
- [38] Department of Statistics Online Programs, *7.7 - Polynomial Regression | STAT 462*. (2021). Accessed: Feb. 11, 2021. [Online]. Available: <https://online.stat.psu.edu/stat462/node/158/>.
- [39] S. Nickolas, *What Do Correlation Coefficients Positive, Negative, and Zero Mean?.* (2021). Accessed: Feb. 12, 2021. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/ask/answers/032515/what-does-it-mean-if-correlation-coefficient-positive-negative-or-zero.asp>.
- [40] B. C. Cronk, *How to Use SPSS, Fifth Edition*. (2021). Accessed: Jan. 31, 2021. [Online]. Available: [http://www.xysfxy.cn/wcm.files/upload/null/201604/2016041309440\\_20.pdf](http://www.xysfxy.cn/wcm.files/upload/null/201604/2016041309440_20.pdf).
- [41] D. Bartholomew, *International Encyclopedia of Education | ScienceDirect*. (2010). Accessed: Jan. 30, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780080448947/international-encyclopedia-of-education>.

- [42] I. Jolliffe and J. Cadima, "Principal component analysis: a review and recent developments", *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 374, no. 2065, 2016. Available: 10.1098/rsta.2015.0202 [Accessed: 25 February 2021].
- [43] M. Patel, *PCA*. (2016). Accessed: Jan. 29, 2021. [Online]. Available: [https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/231900\\_91fafc24d70943f19b1c016987c886d9.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/231900_91fafc24d70943f19b1c016987c886d9.html).
- [44] P. Tan, M. Steinbach and V. Kumar, *Introduction to Data Mining - Instructor's Solution Manual*. (2006). Accessed: Jan. 28, 2021. [Online]. Available: <https://www-users.cs.umn.edu/~kumar001/dmbook/sol.pdf>.
- [45] K. Hartmann, J. Krois and B. Waske, *SOGA*. (2018). Accessed: Jan. 26, 2021. [Online]. Available: <https://www.geo.fu-berlin.de/en/v/soga/index.html>.
- [46] S. Serneels and T. Verdonck, "Principal component analysis for data containing outliers and missing elements", *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 52, no. 3, pp. 1712-1727, 2008. Available: 10.1016/j.csda.2007.05.024.
- [47] C. Rao, J. Miller and D. Rao, *Essential statistical methods for medical statistics*. Amsterdam: Elsevier, 2011.
- [48] *screeplot — Scree plot of eigenvalues*. (2021). Accessed: Jan. 25, 2021. [Online]. Available: <https://www.stata.com/manuals/mvscreeplot.pdf>.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## A Comparative Study: Analysis of Factors Affecting Happiness After the Covid-19 Pandemic

*Karşılaştırmalı Bir Çalışma: Covid-19 Pandemisinden Sonra Mutluluğu Etkileyen Faktörlerin Analizi*

Gülcan GENCER <sup>1,\*</sup>, Kerem GENCER <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey University, Quality Management Unit, 70200, Karaman, Turkey.

<sup>2</sup> Karamanoğlu Mehmetbey University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Computer Technologies, 70200, Karaman, Turkey.

### ARTICLE INFO

#### Article History

Received, 16 May 2021

Revised, 18 July 2021

Accepted, 26 July 2021

Available Online, 01 October 2021

#### Keywords

Happiness, World happiness report, Covid-19, Pandemic.

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale Tarihi

Alınış, 16 Mayıs 2021

Revize, 18 Temmuz 2021

Kabul, 26 Temmuz 2021

Online Yayınlama, 01 Ekim 2021

#### Anahtar Kelimeler

Mutluluk, Dünya mutluluk raporu, Covid-19, Salgın.

### ABSTRACT

Happiness has been tried to be explained in many fields such as psychology, philosophy, sociology, biology, and religion. Due to the fact that the concept of happiness is constantly being updated in world, this study was obtained using data from the World Happiness Report (WHR) 2020 and the WHR 2021. By taking the life ladder dependent variable stated in the report, the variables related to the occurrence of happiness were analyzed using regression analysis of 8 variables. The world as it is known is grappling with the Coronavirus disease (Covid-19) pandemic. For all countries, it is inevitable that the restrictions, negativities or impossibilities brought by Covid-19 affect their unhappiness. For this reason, the years 2019 and 2020 were evaluated separately and we evaluated the factors affecting the life ladder of countries with regression analysis within the framework of Covid-19. As a result, it has been determined that the factors that make people happy, according to WHR, vary after the Covid-19 pandemic. The positive effect variable in the model in 2019 was separated from the model in 2020 and replaced by the variable of freedom to make life choices.

### ÖZ

Psikoloji, felsefe, sosyoloji, biyoloji, din gibi birçok alanda mutluluk anlatılmaya çalışılmıştır. Dünyada mutluluk kavramının sürekli güncellenmesi nedeniyle bu çalışma Dünya Mutluluk Raporu (WHR) 2020 ve WHR 2021 verileri kullanılarak elde edilmiştir. Raporda belirtilen yaşam merdiveni bağımlı değişken olarak alınarak, mutluluk oluşumu 8 değişken ile regresyon analizi kullanılarak elde edilmiştir. Bilindiği gibi dünya Koronavirüs hastalığı (Covid-19) salgını ile boğuşmaktadır. Tüm ülkeler için Covid-19'un getirmiş olduğu kısıtlamaların, olumsuzlukların

\*Corresponding Author

E-mail addresses: [gulcangencer@kmu.edu.tr](mailto:gulcangencer@kmu.edu.tr) (Gülcan GENCER), [keremgen@kmu.edu.tr](mailto:keremgen@kmu.edu.tr) (Kerem GENCER)

yada imkansızlıkların mutsuzluğunu etkilemesi kaçınılmazdır. Bu nedenle 2019 ve 2020 yılları ayrı ayrı değerlendirilmiştir ve Covid-19 çerçevesinde regresyon analizi ile ülkelerin yaşam merdivenlerini etkileyen faktörler ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak, Covid-19 pandemisi sonrası WHR'ye göre insanların mutlu eden faktörlerin değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. 2019 yılında modelde yer alan olumlu etki değişkeni 2020 yılında modelden ayrılarak yerine yaşam tercihlerini yapma özgürlüğü değişkeni girmiştir.

## 1. INTRODUCTION

Some changes in the sources of happiness are also observed with the effect of the pandemic. Relationships, health and safety issues are cited as a source of happiness compared to before the pandemic, while Time and Money are less frequently mentioned compared to previous years. On the other hand, within the scope of Ipsos' research; Being healthy and being in good physical condition (55%) ranked first among the sources of happiness [1]. There are many studies in the literature showing how many epidemic diseases affect people's quality of life [2,3]. Baş et al. [4] presented whether the perception of well-being makes a difference with gender. The 2020 WHR investigates how happy its citizens, unaware of the Covid-19 epidemic, which affected the whole world towards the end of the year, perceive themselves as happy [5]. The 2021 WHR focuses on the effects of Covid-19 and what people from all over the world experience [6]. There are many other studies on happiness in the literature. Eralp et al. [7] reveals the polarization and inequality level of life satisfaction and happiness in Turkey. In the study, he examined the determinants of life satisfaction and happiness in the context of religion, income distribution, ideology and trust. Gascoin et al. [8] examined the relationship between preschool teachers' career adaptability and happiness-enhancing strategies they use for children. Helliwell et al. [9] discussed the variables of meaning of work and meaning of life, which are thought to be determinants of happiness in the sample of accounting professionals. Helliwell et al. investigated the effects of participation in sports activities of women who are members of sports centers on their happiness levels according to socio-demographic variables. Limanlı [11] investigated the effect of a tax burden on happiness levels at a provincial level in Turkey through spatial econometric models for 2013 and 2015. Lu et al. [12] examined the relationships between individuals' positive childhood experiences, perceptions of happiness, and psychological resilience. Maruf and Altıntaş [13] examined the relationship between leisure time satisfaction and happiness levels of oil wrestling athletes participating in oil wrestling. Sapsağlam et al. [14] investigated to examine the predictive relationship between emotional intelligence, fear of happiness and humor styles in adolescents. Wood et al. [15] examined the opinions of occupational safety specialists, who are indispensable for working life and working under difficult working conditions, about their work and work and the relationship between life satisfaction, well-being and happiness. Yıldız [16] aimed to analyze the effect of organizational democracy on the organizational happiness levels of employees within the framework of the studies in the field of organizational happiness and organizational democracy in the literature.

For all countries, it is inevitable that the restrictions, negativities or impossibilities brought by Covid-19 affect their unhappiness. In this study, it was tried to determine the reactions of individuals happiness levels to changes. How individuals' perceptions of life satisfaction changed according to certain factors were examined. In addition, it was desired to create a model of happiness with the regression model created. An introduction is given in the first part of this article. The second section includes the material and method. The results of the analysis are given in the section 3, discussion in the section 4 and the conclusions in the last part respectively.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

### **2.1 World Happiness Report**

The United Nations traditionally publishes the WHR every year. In this report, the effects of Covid-19 on the structure and quality of people's lives were researched, and also the struggle of all governments of the world with the pandemic was discussed to define and evaluate how he copes with the pandemic. This report includes life ladder, by asking respondents to imagine a ladder, the top of the ladder represents the best life possible for you, and the lower part of the ladder represents the worst life possible for you. Many variables are used in this report.

For the Log gross domestic product (GDP) per capita variable, GDP per capita statistics in purchasing power parity are taken with international dollar prices. Social support is explained in the following. The national average of the binary responses (either 0 or 1) to the GWP question. If you were in trouble, do you have relatives or friends you can count on to help you whenever you need them, or not? Healthy life expectancy at birth is based on data extracted from the world health organization's global health observatory data pool in 2020.

Freedom to make life choices is explained in the following. Are you satisfied or not satisfied with your freedom to choose what to do with your life? Generosity, Gallup World Poll (GWP) in GDP per capita "Did you donate to a charity last month?" is the remnant of the decline of the national average given to the question.

Perception of Corruption: The measure is the national average of survey responses to two questions in the GWP. Positive affect is defined as the average of three positive impact measures in GWP: happiness, laughter, and pleasure in the Gallup World Survey waves 3-7. These measurements are the answers to the following three questions in order. What did you feel during many days yesterday? how about happiness? ", did you laugh too much yesterday or did you laugh?" and have you experienced the following emotions yesterday many days? what about joy? "

Negative impact is defined as the average of three adverse impact measures in GWP [6]. Negative affect is measured by asking respondents whether they experienced specific negative emotions



during a lot of the day yesterday. Negative affect, for each person, is given by the average of their yes or no answers about three emotions: worry, sadness, and anger. National averages are created in the same way as for positive affect.

As seen in Figure 1, according to the 2021 WHR, for the fourth time, Finland ranked 1st as the happiest country in the world. It was at the top of the list. Denmark, Switzerland, Iceland, the Netherlands, Norway, Sweden, Luxembourg, New Zealand and Austria followed [17]. The United States ranks 19th, and Turkey ranks 104th.

Afghanistan was the least happy country in the report. According to the 2021 WHR, more than a third of the countries experienced a significant increase in negative emotions due to the impact of the epidemic.

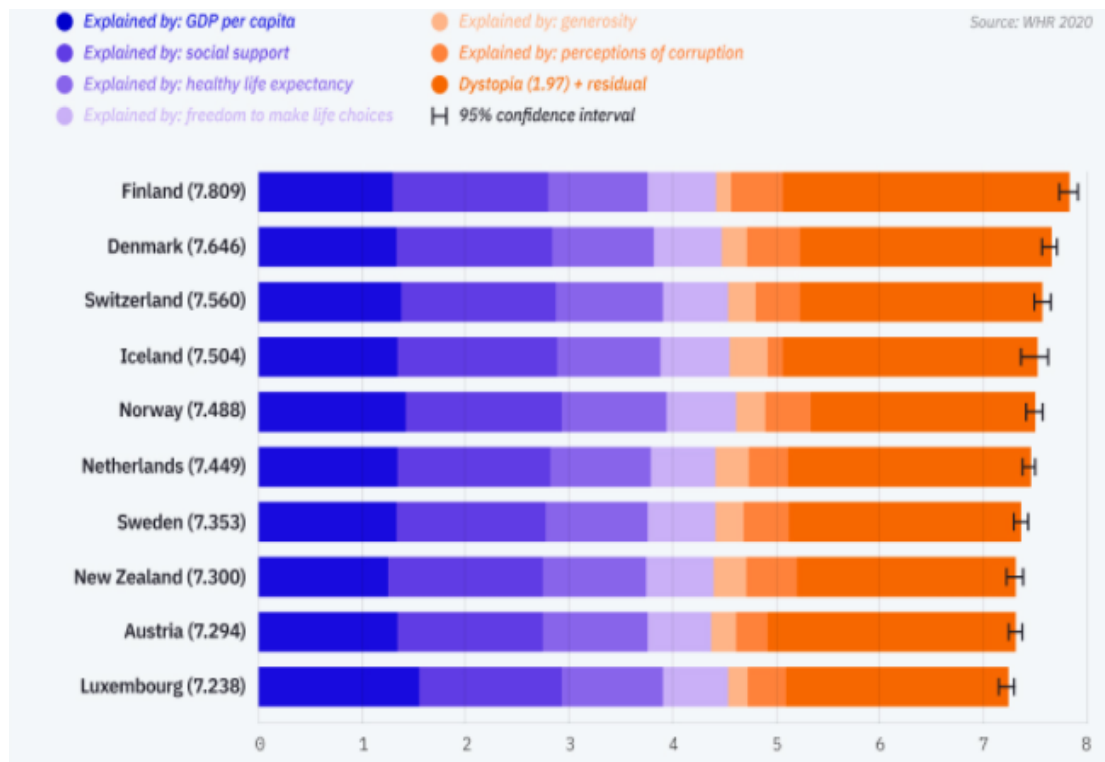


Figure 1. World Happiness Report Global Ranking for 2021 WHR

## 2.2 Datasets

The assessments include 133 countries for the 2020 WHR and 81 countries for the 2021 WHR. Life ladder was taken as a dependent variable. Independent variables are log gdp per capita, social support, healthy life expectancy at birth, freedom to make life choices, generosity, perceptions of corruption, positive affect, negative affect. The data was analyzed by using Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)-26.0 program. Regression Analysis were used.  $p < 0.05$  was considered statistically significant.

### 2.3 Multiple Linear Regression

Multiple regression model,  $\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_{ij}$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$   $j = 1, 2, \dots, k$  is defined as, In equality;  $Y_i$ : the observed  $i$ th value of the dependent variable.,  $X_{ij}$ : The value of the  $j$ th argument at the  $i$ th level,  $\beta_j$ : the  $j$ th regression coefficient,  $\varepsilon_{ij}$ : Error term,  $k$ : indicates the number of independent variables. In order to apply multiple regression analysis (in order to estimate parameters using the least squares estimation method), some assumptions must be valid. These assumptions are; There is no multicollinearity between the independent variables, the distribution of the error term ( $\varepsilon$ ) is normal, the variance of the error term should be constant for all X values, there is no correlation (autocorrelation) between the error term values, the difference between the error term ( $\varepsilon_i$ ) and the independent variables ( $X_i$ ) covariance should be equal to zero, that is, it can be expressed as there is no relationship between  $\varepsilon_i$  and independent variables [18]. In order to determine whether there is a multicollinearity [19], the correlation matrix between the independent variables is used. Variance inflation values (VIF); As these values get larger (VIF values  $\geq 10$ ), it can be said that there is a multicollinearity between the relevant independent variables. In general, when the VIF value is above 10, the presence of multicollinearity between those variables is accepted.

### 3. EXPERIMENT

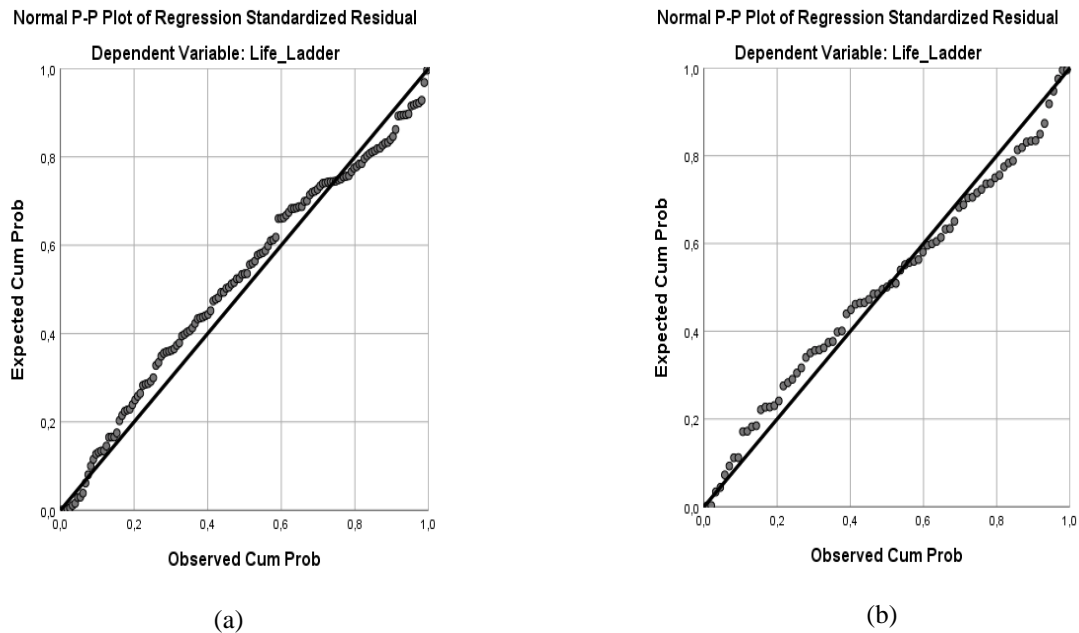
Table 1 contains descriptive statistics for WHR's 2020 and 2021 variables. These variables are life ladder, log GDP per capita, social support, healthy life expectancy at birth, freedom to make life choices, generosity, perceptions of corruption, positive affect, negative affect.

**Table 1.** Descriptive Statistics of demographic attributes in the data set

Variables	2020 WHR			2021 WHR		
	Mean	Std. Deviation	N	Mean	Std. Deviation	N
Life Ladder	5,2917	1,26430	133	5,8736	0,99758	81
Log GDP per capita	8,6321	2,10299	133	9,746	0,94884	81
Social support	1,0914	0,81494	133	0,8437	0,1102	81
Healthy life expectancy at birth	58,2235	19,19366	133	66,9773	6,10818	81
Freedom to make life choices	0,7714	0,13357	133	0,8194	0,09425	81
Generosity	6,1449	17,41822	133	-0,0047	0,13952	81
Perceptions of corruption	0,7235	0,17971	133	0,709	0,20294	81
Positive affect	0,6363	0,25220	133	0,7215	0,08472	81
Negative affect	0,3417	0,17420	133	0,2906	0,0749	81

In the model created for the 2019 WHR, log gdp per capita, freedom to make life choices, generosity, negative impact variables, which is one of the valid criteria for the application of multiple regression analysis, which causes the multicollinearity problem, were removed. The analysis was

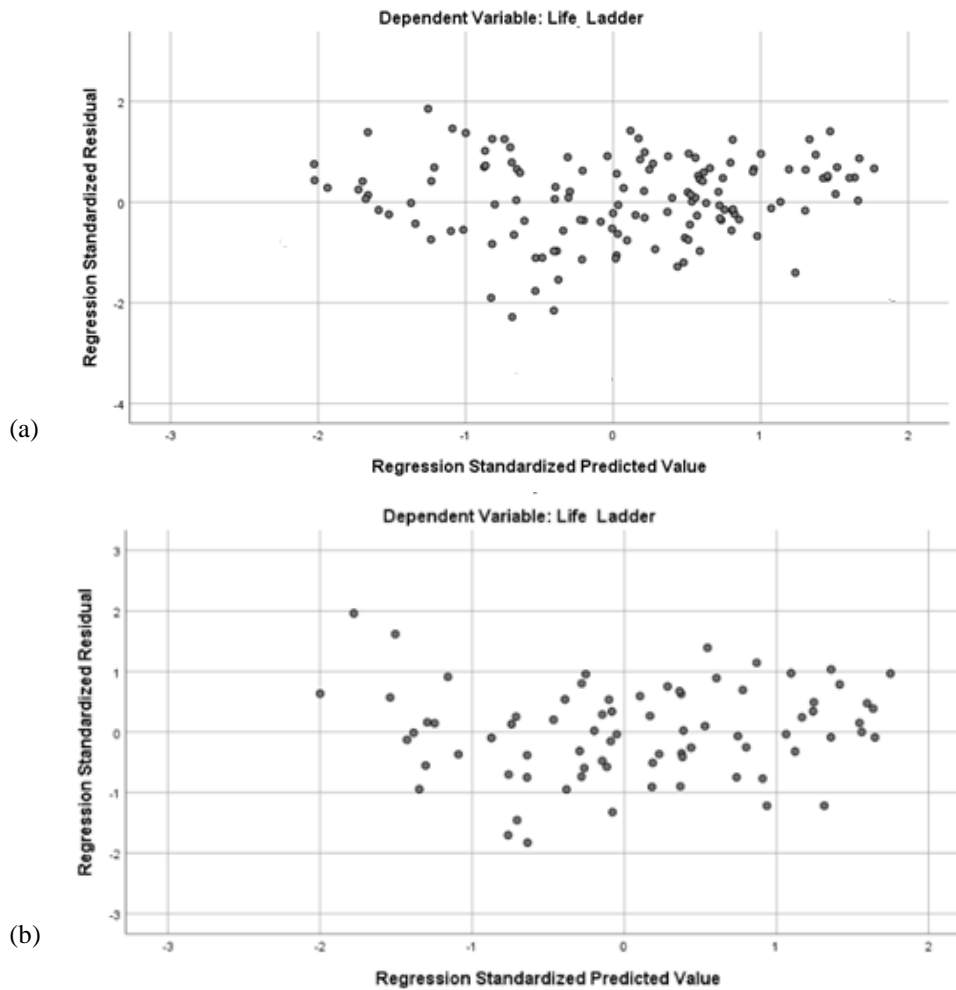
repeated ( $VIF < 10$ ). In addition, the Durbin Watson statistical value was found to be 2.007. There is no autocorrelation in the model. The normality of the distribution of the error term ( $\epsilon$ ) can be seen in Figure 2(a), where the assumption is met.



**Figure 2.** Graph showing normal distribution of errors

Figure 3(a) checked whether there was a heteroscedasticity problem and the extreme values were also calculated by taking into account the Mahalanobis distance. There is no heteroscedasticity problem and extreme value problem in the model.

In the model created for 2020 WHR, the log gdp variable per capita, which has more than 0.80 relationship with other independent variables, was excluded from the model and the analysis was repeated. VIF was found to be  $< 10$ . In addition, the Durbin Watson statistics value was found to be 1.928. There is no autocorrelation in the model. The normality of the distribution of the error term ( $\epsilon$ ) can be seen in Figure 2(b), where the assumption is met. Figure 3(b) checked whether there was a problem of heteroscedasticity, and extreme values were also calculated by taking into account the Mahalanobis distance. There is no heteroscedasticity problem and extreme value problem in the model. For the model obtained after providing the validity criteria for the application of multiple regression analysis; When Table 2 is examined, it is seen that according to the 2020 WHR report, the variables in the model explain the model, at a rate of approximately 79.8%, while according to the 2021 WHR report approximately 78.8%.



**Figure 3.** Heteroscedasticity problem

**Table 2.** Model Summary

Year	R Square	Adjusted R Square
2019	0,798	0,793
2020	0,788	0,768

It can be seen from Table 3 that the models created for the years 2020-2021 are meaningful. ( $p < 0.05$ ).

**Table 3.** ANOVA

		F-statistic	Sig.
2019	Regression		
	Resid	134,719	,000
	Total		
2020	Regression	38,739	,000
	Resid		
	Total		

When Table 4 was examined, it was seen that according to the 2020 WHR report, the variables social support, healthy life expectancy at birth, perceptions of corruption, and positive affect significantly explained the life ladder variable ( $p < 0.05$ ). According to the 2021 WHR report, it was determined that the effect variables Social Support, healthy life expectancy at birth and perceptions of corruption significantly explained, while the other variables were not found to be significant for 2021 in Table 5.

**Table 4.** Coefficients of attributes in the data set for 2020 WHR

Variables	2020 WHR		
	Standardized Coefficients B	Sig.	VIF
Social support	1,094	<b>0,000</b>	5,503
Healthy life expectancy at birth	1,316	<b>0,000</b>	6,349
Perceptions of corruption	-0,142	<b>0,001</b>	1,094
Positive affect	0,401	<b>0,000</b>	4,475

There are no insignificant variables in the model that emerged for the 2020 WHR report ( $p < 0.05$ ). As a result, our multiple regression model is as follows.

$$\text{Life ladder for 2020 WHR} = -2,325 + 1,094X_1 + 1,316X_2 - 0,142X_3 + 0,401X_4$$

**Table 5.** Coefficients of attributes in the data set for 2021 WHR

Variables	2021 WHR		
	Standardized Coefficients B	Sig.	VIF
Social support	0,407	<b>0,000</b>	2,382
Healthy life expectancy at birth	0,314	<b>0,001</b>	2,712
Freedom to make life choices	0,134	0,100	2,219
Generosity	-0,032	0,608	1,297
Perceptions of corruption	-0,192	<b>0,007</b>	1,642
Positive affect	0,031	0,670	1,827
Negative affect	-0,078	0,254	1,584

In multiple linear regression analysis, the contribution of some of the independent variables forming the model to the model may be insignificant. Therefore, it is necessary to determine the independent variables that will explain the dependent variable in the "best fit" way and to exclude unimportant variables from the model.

At this stage, the most accurate model will be obtained by determining the variables that do not contribute to the model by using the backward selection method. In the first step, all variables are included in the model. In the next steps, one at a time, the independent variable with the lowest partial F value is discarded and the process continues.

The contribution of the discarded variable is tested each time. If the contribution of the discarded variable is statistically significant, the discarding process is not performed and the process is stopped there [20].

As seen in Table 6, the following multiple regression model was obtained by removing the nonsignificant variables ( $p>0.05$ ) in the model that emerged for the 2021 WHR report.  $R^2$  value of the final model obtained for the year 2020 was 78.3% and the standard error was 0.47.

**Table 6.** Coefficients of attributes in the data set for 2021 WHR

Variables	2021 WHR	
	Standardized Coefficients B	Sig.
Social support	0,436	<b>0,000</b>
Healthy life expectancy at birth	0,319	<b>0,000</b>
Freedom to make life choices	0,158	<b>0,015</b>
Perceptions of corruption	-0,215	<b>0,001</b>

Our multiple regression model for 2021 WHR is as follows.

$$\text{Life ladder for 2021 WHR} = -1,560 + 0,436X_1 + 0,319X_2 + 0,158X_3 - 0,215X_4$$

Social support, healthy life expectancy at birth, perceptions of corruption, and positive affect were the most influential factors on the life ladder of countries for 2019. The most influencing factors for 2020 are social support, healthy life expectancy at birth, perceptions of corruption, and positive affect freedom to make life choices. The variables that affected the life ladders least were generosity, and negative affect variables.

#### 4. DISCUSSION

In 2019, the variables of social support, healthy life expectancy at birth, perceptions of corruption, and positive affect were the factors that most affected their happiness. However, when we look at the 2020 result, the factors affecting people's happiness have changed. Freedom to make life choices variable was included in the model for 2020. The positive effect variable came out of the model. Freedom to make life choices, as it is known, has become limited with Covid-19. Before Covid-19, such a variable was not included in the model because people were already able to make free choices with their own decisions. With the pandemic, curfews, having to wear masks and taking away their freedom to be wherever they want whenever they want, this variable has become meaningful for the happiness factor. On the other hand, among the reasons for the positive affect variable to leave the model, it can be interpreted as if it left the model, since people's laughter and cheerfulness were very low and its contribution to the model was low.

## 5. CONCLUSION

In this study, it was examined whether the factors affecting happiness vary in the Covid-19 environment. As a result, it has been determined that the variables that make people happy differ between 2019 and 2020, and Covid-19 overshadows the happiness of its people. According to the WHR, more than a third of the countries experienced a significant increase in negative emotions due to the impact of the epidemic. For all countries, it is inevitable that the restrictions, negativities or impossibilities brought by Covid-19 affect their unhappiness. After the Covid-19 pandemic, it has been observed that the factors that make people happy, according to WHR, vary. The variable Freedom to make life choices, which was not seen in 2019, entered the model, while the positive effect variable left the model. So we have seen how much our making free decisions and being cheerful during the day affect our happiness in our lives with the pandemic.

## CONFLICTS OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors.

## AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Gülcan GENCER: Literature review, method design and planning, data collection and analysis, reporting. Kerem GENCER: Literature review, method design and planning, data collection and analysis, reporting.

## REFERENCES

- [1] Ö. Akçakanat and Z. Kılınç, "Muhasebe meslek mensupları mutlu mu? işin anlamı ve yaşamın anlamının mutluluk üzerine etkisi " *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, vol. 14, pp. 665-693, 2021.
- [2] G. atmaca and A. Çeviker, "Sosyo-Demografik değişkenlerine göre spor merkezlerine üye kadınların mutluluk düzeylerinin incelenmesi.," *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, pp. 103–112, 2020.
- [3] S. Aytaç, T. Engin, and E. İmanlı, "İş güvenliği uzmanlarının işe ilişkin duygusal iyi oluş hali, mutluluk ve yaşam tatmini ilişkisi " *Journal of Yaşar University*, vol. 15, pp. 746-758, 2020.
- [4] Z. Baş, A. Baş, A. Kalafat, and B. Dilmaç, "Ergenlerde duygusal zekâ, mutluluk korkusu ve mizah tarzları arasındaki yordayıcı ilişkinin incelenmesi," *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, vol. 17, pp. 154-173, 2021.

- [5] E. D. Çoker. *Pandemiyle birlikte bizi mutlu eden bazı şeyler de değişti.* (2020). Accessed: 15.11.2020. [Online]. Available: <https://www.ipsos.com/tr-tr/pandemiyle-birlikte-bizi-mutlu-eden-bazi-seyler-de-degisti>.
- [6] T. Doğan and K. Yavuz, "Yetişkinlerde psikolojik sağlamlık, olumlu çocukluk deneyimleri ve algılanan mutluluk . Psikiyatride güncel yaklaşımlar ", *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, vol. 2, pp. 312-330, 2020.
- [7] A. Eralp, S. Şahin, and Y. Çağdaş, "Vergi yükü ve mutluluk ilişkisinin mekânsal ekonometrik modellerle analizi " *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, vol. 16, pp. 870-890, 2020.
- [8] H. L. Gascoin, H. Kuhl, and E. Tracey. *Developer happiness index: Global insights.* (2020). Accessed: 2020. [Online]. Available: <https://cult.honeypot.io/developer-happiness-index/global-insights>
- [9] J. Helliwell, R. Layard, J. D. Sachs, and J. E. D. Neve, "World Happiness Report 2020," New York: Sustainable Development Solutions Network 2020.
- [10] J. Helliwell, R. Layard, J. D. Sachs, and J. E. D. Neve, "World Happiness Report 2021," New York: Sustainable Development Solutions Network 2021.
- [11] Ö. Limanlı, "Yaşam memnuniyeti ve mutluluk eşitsizliği: Türkiye'den bulgular," *Journal of Yaşar University*, vol. 16, pp. 455-477, 2021.
- [12] W. Lu, H. Wang, Y. Lin, and L. Li, "Psychological status of medical workforce during the COVID-19 pandemic: A cross-sectional study," *Psychiatry Res*, vol. 288, p. 112936, Jun 2020.
- [13] M. Maruf and M. Altıntaş, "Esam ekonomik ve sosyal araştırmalar dergisi örgütsel demokrasinin örgütsel mutluluğa etkisi: bir kamu üniversitesi örneği", *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2021.
- [14] Ö. Sapsağlam, R. Karabulut, and İ. Ekici, "Okul öncesi öğretmenlerinin kariyer uyumlulukları ve çocuklar için kullandıkları mutluluk artırıcı stratejiler arasındaki ilişkinin incelenmesi", *Erken Çocukluk Çalışmaları Dergisi*, vol. 5, no.1, 2021.
- [15] W. Wood, N. Rhodes, and M. Whelan, "Sex differences in positive well-being: a consideration of emotional style and marital status," *Psychological Bulletin*, vol. 106, pp. 249-264, 1989.
- [16] Y. Yıldız, "Yağlı güreş sporcularının serbest zaman doyumları ile mutluluk düzeyleri ilişkisinin incelenmesi," *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 2020.
- [17] S. X. Zhang, Y. Wang, A. Rauch, and F. Wei, "Unprecedented disruption of lives and work: Health, distress and life satisfaction of working adults in China one month into the COVID-19 outbreak", *Psychiatry Research*, vol. 288, p. 112958, 2020.



- [18] M. Kutner, C. Nachtsheim and, J. Neter, *Applied Linear Regression Models*. Irwin Inc. Boston, 1989.
- [19] W. W. Hines, and D. C. Montgomery, *Probability and Statistics in Engineering and Management Science*. John Wiley & Sons, Inc. 1990.
- [20] E. Efe, Y. Bek and M. Şahin, *SPSS'de Çözümleri ile İstatistik Yöntemler II*. Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Rektörlüğü Yayın No:10, Kahramanmaraş, 2000.

*Copyright © 2021 Gencer and Gencer. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).*



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## The Investigation on Antioxidant Activities of *Nasturtium Officinale* Extracts and Its Mineral Content

### *Nasturtium Officinale* Ekstraktlarının Antioksidan Aktiviteleri ve Mineral İçeriğinin Araştırılması

Leyla ERCAN <sup>1,\*</sup>, Mehmet DOĞRU <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dicle University, Institute of Science, 21280, Diyarbakır, Turkey

<sup>2</sup> Dicle University, Faculty of Ziya Gökalp Education, Department of Chemistry, 21280, Diyarbakır, Turkey

#### ARTICLE INFO

##### Article History

Received, 04 October 2021

Revised, 19 October 2021

Accepted, 25 October 2021

Available Online, 08 November 2021

##### Keywords

Antioxidant, Minerals, *Nasturtium officinale*, DPPH, ABTS.

#### ABSTRACT

Antioxidants prevent many diseases by eliminating the harmful effects of free radicals. In this study, it was aimed to determine the antioxidant capacity of *Nasturtium officinale* extracts prepared by different methods, as well as to determine the Ca, Mg, Zn, Fe, K minerals. Antioxidant activities of methanol and water extracts of *Nasturtium officinale* were determined by different in vitro methods such as DPPH, ABTS, DMPD, CUPRAC, FRAP, and Fe<sup>3+</sup> Fe<sup>2+</sup> reduction assays. The results were compared with the standard antioxidants (BHA, BHT, and Trolox). Both water and methanol extracts presented high antioxidant potential on ABTS free radical scavenging assay. While water extract showed better antioxidant properties in the DMPD experiment, methanol extract showed higher antioxidant properties than water extract in other methods. In addition to the chlorophyll, carotenoid, total phenolic, and total flavonoid analyzes of *Nasturtium officinale*, beneficial minerals of the plant were also revealed in ICP-MS. We determined that *Nasturtium officinale* is an important herb with a good source of minerals.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihi

Alınış, 04 Ekim 2021

Revize, 19 Ekim 2021

Kabul, 25 Ekim 2021

Online Yayınlama, 08 Kasım 2021

##### Anahtar Kelimeler

Antioksidan, Mineraller, *Nasturtium officinale*, DPPH, ABTS.

#### ÖZ

Antioksidanlar, serbest radikallerin zararlı etkilerini yok ederek birçok hastalığı önler. Bu çalışmada, farklı yöntemlerle hazırlanan *Nasturtium officinale* ekstraktlarının antioksidan kapasitesinin belirlenmesinin yanı sıra Ca, Mg, Zn, Fe, K mineralleri içeriğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. *Nasturtium officinale*'nin metanol ve su ekstraktlarının antioksidan aktiviteleri DPPH, ABTS, DMPD, CUPRAC, FRAP ve Fe<sup>3+</sup> Fe<sup>2+</sup> indirgeme deneyleri gibi farklı in vitro yöntemlerle belirlendi. Sonuçlar, standart antioksidanlar (BHA, BHT ve Trolox) ile karşılaştırıldı. Hem su hem de metanol ekstraktları, ABTS serbest radikal süpürme tahlilinde yüksek antioksidan potansiyel gösterdi. DMPD deneyinde su ekstraktı

\*Corresponding Author

E-mail addresses: [leylaercan@artuklu.edu.tr](mailto:leylaercan@artuklu.edu.tr) (Leyla ERCAN), [mehmetdogru21@gmail.com](mailto:mehmetdogru21@gmail.com) (Mehmet DOĞRU)

daha iyi antioksidan özellik gösterirken, metanol ekstraktı diğer yöntemlerde su ekstraktından daha yüksek antioksidan özellik göstermiştir. Ayrıca *Nasturtium officinale*'nin klorofil, karotenoid, toplam fenolik ve toplam flavonoid analizlerinin yanı sıra ICP-MS cihazında bitkinin faydalı mineralleri de ortaya çıkarılmıştır. *Nasturtium officinale*'nin iyi bir mineral kaynağı olan önemli bir bitki olduğunu tespit ettik.

## 1. INTRODUCTION

*Nasturtium officinale*, a member of the Brassicaceae family, is an aquatic plant [1]. *Nasturtium officinale* usually grows in freshwaters, marshes, and wetlands. Plants are natural sources that contain many compounds and minerals that the human body needs. Some of these components show antioxidant properties. Antioxidants protect from many diseases and damage by balancing the free radicals produced during metabolic processes [2]. Dietary natural antioxidants reduce the possibility of diseases such as cancer, cardiovascular diseases, and cataracts [3]. In cases where antioxidant defense systems are insufficient against free radicals, dietary intake of natural antioxidants is required. Therefore, it becomes important to determine the antioxidant capacity of foods and plants. Due to the different chemical properties of antioxidants, different methods have been developed to determine antioxidant capacity. Among these methods, studies are carried out to find the most efficient method, the cheapest, and easily reproducible according to the sample, and the methods are constantly renewed by trying different methods. For this purpose, the antioxidant capacity of *Nasturtium officinale* was determined by using different methods and solutions in this study.

The macrominerals K, Ca, Mg and the microminerals Fe and Zn are involved in various metabolic processes and are important for both humans and other living things. Ca, which is necessary for humans, is involved in many metabolic events such as bone and dental health, the functioning of muscle and nerve tissues, communication between the brain and the body, blood circulation, and the hormonal system [4]. Fe, which is an important mineral for the human body and other living things, is responsible for the energy metabolism in the organism. It takes part in oxygen transport, electron transfer, redox reactions. Iron deficiency negatively affects reproductive health, growth, and cognitive development reduces work capacity, and causes economic losses. It may also cause anemia and mental disorders in pregnant women and children [4-5]. Previous studies have shown that high heme iron intake leads to increased body iron stores and is significantly associated with the risk of developing type 2 diabetes mellitus [6]. However, dietary intake of non-heme iron and iron supplements is not associated with type 2 diabetes [7]. Potassium (K), which is a cofactor for many enzymes, is the most important cation in the cell. High K concentration is necessary for both cell metabolism, cell division, acid-base balance as well as O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> transport, energy transfer, protein, and carbohydrate metabolism [4]. Mg is required for all ATP-utilizing enzymes. Mg also functions as an allosteric activator of enzymes,

including critical enzyme systems such as adenylate cyclase, phospholipase, and Na/K-ATPase [8-9]. Symptoms of Mg deficiency include vertigo, muscle tremors, and fatigue. One study found that a diet that increased Mg intake significantly lowered blood pressure [10]. Zinc is an important trace element for living things, which acts as the active center of many enzymes. Zn also acts as a cofactor for enzymes such as carboxyl peptidase, alcohol dehydrogenase, and carbonic anhydrase [11]. Decreased sense of taste, decreased sperm count, growth retardation, skin abnormalities, anorexia, lethargy, delayed wound healing, dermatitis, diarrhea, baldness, and mental abnormalities may occur in zinc deficiency [12]. In addition to inadequate and wrong nutrition, diseases caused by mineral deficiency can be seen during pregnancy and childhood when the need for these minerals increases. For example, as a result of iron deficiency, weakness, fatigue, decreased cognitive efficiency and difficulty concentrating may be experienced due to low oxygen delivery to body tissues [13]. In addition, a relationship has been suggested between low levels of Zn, Fe, Mg and the occurrence of depressive symptoms in postmenopausal women [14]. Considering the many diseases caused by mineral deficiency and the economic losses caused by these diseases, it is important to determine the mineral content of foods.

It is important to reveal the antioxidant capacity and minerals in plants to find out their valuable aspects. Therefore, in this study, we examined the antioxidant activities of *Nasturtium officinale*, the amount of minerals in terms of Ca, Mg, K, Fe, Zn.

## 2. MATERIAL AND METHOD

### 2.1 Plant Material and Chemicals

The plants used in our study were collected from the natural environment in Kayseri, Turkey. Dried (watercress) *Nasturtium officinale* was used by grinding. The plant samples used in our study were authenticated by Prof. Dr. Hasan AKAN.

Chemicals; ABTS (2, 2-azinobis 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid), trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl chromane-2-carboxylic acid), BHT (butylated hydroxytoluene-supelco), BHA (butylated hydroxyanisole), DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl), TPTZ (2,4,6-tris (2-pyridyl)-s-triazine), neocuproine, DMPD (N,N-Dimethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride), TCA (Trichloroacetic acid-supelco) and CuCl<sub>2</sub> were purchased from Sigma-Aldrich (Germany).

### 2.2 The Determination of Chlorophyll and Carotenoid Amount

0.1 g of fresh plant sample was weighed and 10 ml of acetone (80%) was added and homogenized. The extract (acetone part) was taken and the extraction process was repeated (2 times)

until colorlessness was obtained and the extracts were collected in a tube. The mixture was filtered and the volume made up to 25 ml with acetone. Absorbances were recorded at 663 nm, 652 nm, 645 nm, and 470 nm [15-16].

Chlorophyll amounts were calculated according to the formula below;

$$\text{Chlorophyll}_a = (12.7 \times A_{663} - 2.7 \times A_{645})(v / (1000 \times w))$$

$$\text{Chlorophyll}_b = (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663})(v / (1000 \times w))$$

$$\text{Total Chlorophyll} = (27.8 \times A_{652})(v / (1000 \times w))$$

$$\text{Total Carotenoid} = (1000 \times A_{470} - 1.63 \times \text{Chlorophyll}_a \times 104.96 \times \text{Chlorophyll}_b) / 221$$

( $v / (1000 \times w)$ ) = dilution factor,  $w$  : the amount of sample weighed (g),

$v$  : Final volume of extract prepared with 80% acetone (ml).

### **2.3 Preparation of Samples for Determination of Total Phenolic Amount, Total Flavonoid Amount, and Antioxidant Capacity**

To determine the total phenolic, total flavonoid, and antioxidant capacity, two different extracts of the plant (water and methanol) were prepared. The collected plant samples were dried in the shade and crushed with a shredder. To investigate the antioxidant capacity of both hydrophobic and hydrophilic content of the plant, two separate extractions were prepared in distilled water and methanol. To prepare the lyophilized extract, 200 ml of distilled water was added to 30 grams of plant sample and 200 ml of methanol was added to 30 grams of plant sample to prepare the evaporated sample. It was then stirred at room temperature for 12 hours with a magnetic stirrer. The solutions were then filtered through a filter paper. The prepared aqueous solution was frozen in a deep freezer. The frozen extract was lyophilized in a lyophilizer under the pressure of 50 mm-Hg. The methanol solution was evaporated at a pressure of 150 millibars and 35°C. To prepare a stock solution from lyophilized and evaporated extracts, 20 ml solvent (water and methanol) was added in 20 mg extract.

### **2.4 The Determination of Total Amount of Phenolic**

Total phenolic content was determined using the Folin-Ciocalteu reagent [17-18]. The results were expressed in mg of gallic acid equivalent gallic acid (GAE) per g weight sample. For this 100 µl extracts were taken into a tube. 900 µl of distilled water and 5 ml of FCR (Folin Ciocalteu reagent 10%) were added and mixed in a vortex. 5 ml of sodium carbonate (7.5%) was added and mixed in the vortex for 20 seconds. This mixture was kept in the dark for 2 hours at room temperature. The absorbances were recorded in the spectrophotometer at 765 nm.

## 2.5 The Determination of Total Amount of Flavonoids

0.4 ml of extract was taken to determine the total amount of flavonoids [19-20]. 4 ml of distilled water and 0.3 ml of  $\text{NaNO}_2$  (5%) were added. After 5 minutes, 0.5 ml of  $\text{AlCl}_3$  (10%) was added and mixed. After 6 minutes, 2 ml of  $\text{NaOH}$  (1 M) and 3 ml of distilled water were added. The mixture was mixed and absorbance was recorded at 510 nm. The results were determined as mg equivalent catechin in the g sample.

## 2.6 Antioxidant Capacity Analysis

To the determination of DPPH• (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) radical scavenging activity of water and methanol extracts of *Nasturtium officinale*, 250  $\mu\text{M}$  DPPH• solution was prepared [21]. Extracts at different concentrations were taken and made up to 3 ml with methanol and 1 ml of DPPH• was added. Absorbance was recorded at 517 nm after 30 minutes in the dark. As control solution 1 ml DPPH• solution and 3 ml methanol was used. Antioxidant concentrations ( $\text{IC}_{50}$ ) causing 50% inhibition were calculated.

To determine the radical scavenging activity of ABTS• (2,2-Azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS radical was formed by mixing 50 ml of 2 mM ABTS with 25 ml of 2.45 mM potassium persulfate [22-23]. Before using the  $\text{ABTS}^{+\bullet}$  radical solution, its absorbance at 734 nm was adjusted to a value in the range 0.750 - 0.800 with 0.1 M and pH 7.4 phosphate buffer. The stock solutions at different concentrations were taken into test tubes and 2 ml of ABTS radical solution was added and the total volume was completed to 3 ml with phosphate buffer. After 30 minutes of incubation, absorbances were recorded at 734 nm.

To determine the DMPD radical scavenging activity, 0.4 ml of 0.05 M  $\text{FeCl}_3$  and 2 ml of 0.1 M DMPD solution were added to 100 mL of acetate buffer (pH: 5.3; 0.1 M) to obtain radical cation ( $\text{DMPD}^{+\bullet}$ ) [24]. Before using the  $\text{DMPD}^{+\bullet}$  radical solution, its absorbance was adjusted to  $0.900 \pm 0.100$  at 505 nm. Solutions prepared at different concentrations were transferred to test tubes. Then, 1 ml of  $\text{DMPD}^{+\bullet}$  solution was added to them. After 50 minutes of incubation, absorbances were measured at 505 nm.

To determine the copper ion ( $\text{Cu}^{2+}$ ) reducing capacity, 0.01 M  $\text{CuCl}_2$  solution,  $7.5 \times 10^{-3}$  M methanolic neocuprin solution, and 1 M ammonium acetate buffer (pH= 6.5) were added to the samples taken at different concentrations [25]. After 30 minutes of incubation, absorbance at 450 nm was recorded.

The volumes of the samples taken at different concentrations for the determination of antioxidant capacity by FRAP method were completed to 0.5 ml with buffer solution (pH=3.6 acetate buffer) [26]. Then, 20 mM FeCl<sub>3</sub> solution and FRAP reagent (10 volumes of 0.3 M acetate buffer + 1 volume of 10mM TPTZ solution + 1 volume of 20mM FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O solution) were added to the test tubes. After 10 minutes, absorbances were recorded at 593 nm.

To determine the Fe<sup>3+</sup> Fe<sup>2+</sup> reducing capacity, 1 ml 0.2 M phosphate buffer (pH: 6.6) and 1 ml 1% potassium ferricyanide K<sub>3</sub>Fe (CN)<sub>6</sub> were added to the samples prepared at different concentrations. After incubation at 50°C for 20 minutes, 1 ml of 10% TCA and 0.25 ml of 0.1% FeCl<sub>3</sub> were added and absorbance was recorded at 700 nm [27].

## 2.7 The Determination of Mineral Content Using ICP-MS

Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for mineral analysis in the Bruker aurora M90 model, 0.2 g of plant sample was placed in a microwave tube. 10 ml of nitric acid was added to it. The solution mixture was mixed and pre-burning was carried out in 10 minutes. Later, the tubes were covered and fired in a microwave oven. The firing program in the microwave oven was respectively carried out as follows. Initially, the microwave was heated to 190°C for 20 minutes. Then it was kept at 190°C for 15 minutes. The pressure was set at 800 psi, power at 900-1800 watts. Then it was cooled down from 190°C to room temperature in 15 minutes [28]. Samples taken from the tubes after burning were completed up to 50 ml with ultrapure water. Analysis was performed on the Bruker brand aurora M90 model ICP-MS device. Argon gas was used as plasma gas and Hydrogen gas was used as the purge gas. The hydrogen gas flow rate (milliliters /minute) was set at 80. It was analyzed on ten standard and blank devices. Calibrations plotted. Then, samples were analyzed.

## 3. THE RESEARCH FINDINGS

### 3.1 Total Phenolic, Total Flavonoid, Total Chlorophyll, Total Carotenoid and Antioxidant Capacity Results

Total phenolic and total flavonoid amounts of *Nasturtium officinale* are given in Table 1. The methanol extract is more efficient in phenolic and flavonoid determination analysis than the water extract.

Chlorophyll and carotenoid amounts of *Nasturtium officinale* are given in Table 2 The amount of carotenoid, which has many health benefits, has been determined.

**Table 1.** Total phenolic, total flavonoid amounts of *Nasturtium officinale*

Analysis	Water Extract	Methanol Extract
Total phenolic content (equivalent gallic acid mg/g)	148.5± 10 mg GAE/g sample	211.5±6 mg GAE/g sample
Total flavonoid amount (equivalent catechin mg /g)	13.5±3 mg catechin /g sample	81.83± 8 mg catechin /g sample

**Table 2.** Chlorophyll and carotenoid amounts of *Nasturtium officinale*

Analysis	<i>Nasturtium officinale</i>
Chlorophyll a	2.24 ± 0.01 mg/g
Chlorophyll b	2.25 ± 0.3 mg/g
Total chlorophyll	4.47 ± 0.2 mg/g
Total carotenoid	1.15 ± 0.3 mg/g.

According to Table 2, in the *Nasturtium officinale* is chlorophyll a = 2.24 ± 0.01 mg/g, chlorophyll b = 2.25 ± 0.3 mg/g, total chlorophyll = 4.47 ± 0.2 mg/g. Total carotenoid in *Nasturtium officinale* is 1.15 ± 0.3 mg/g.

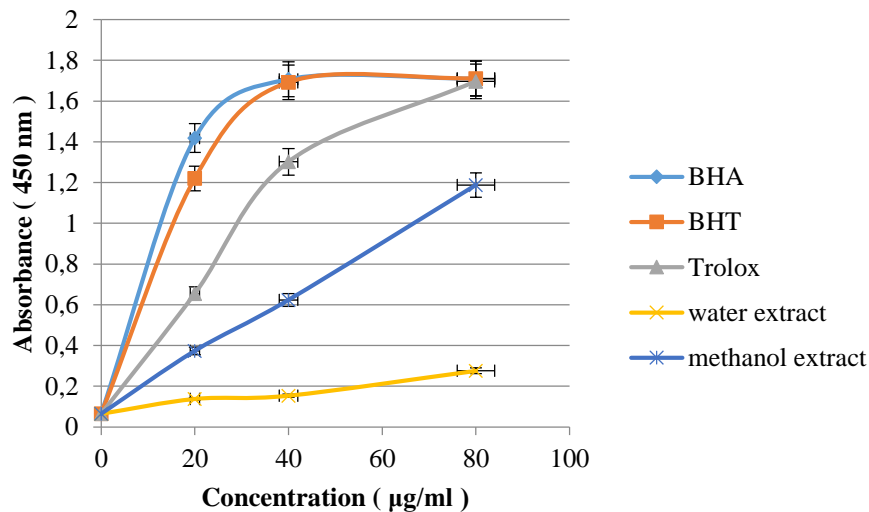
The DPPH free radical scavenging activity of *Nasturtium officinale* extracts and standard antioxidants (BHA, BHT, Trolox) was investigated. According to the results, it was found that the methanol extract of the plant has effective DPPH radical scavenging activity but less than standard antioxidants. DPPH free radical inhibition percentages of the extracts and standard antioxidants at the same concentration (40 µg/ml) were determined as Trolox (90.97%) > BHA (83.65%) > BHT (31.53%) > methanol extract (16.56%) > water extract (6.05%). In addition, the IC<sub>50</sub> values of the methanol and water extract of the plant and the standard antioxidants (concentration of a sample to scavenge 50 % of free radicals) are given in Table 3. ABTS cation radical inhibition percentages of extracts and standard antioxidants at the same concentration (40 µg/ml) decreased in the order of Trolox (99.53%)> BHA (99.44%) > BHT (78.87%) > methanol extract (41.55%) > water extract ( 26.06%). The IC<sub>50</sub> values of the extracts and standards are given in Table 3. DMPD radical inhibition percentages of extracts and standard antioxidants at the same concentration (40 µg/ml) decreased in the order of Trolox (69.29%) > BHA (26.30%) > water extract ( 20.98%) > methanol extract (11.36%). The IC<sub>50</sub> values of the extracts and standards are given in Table 3.

**Table 3.** Radical scavenging IC<sub>50</sub> values of standard antioxidants and *Nasturtium officinale*

Standard Antioxidants and Extracts	DPPH Radical Scavenging	ABTS Radical Scavenging	DMPD Radical Scavenging
BHA	23.07±0.3 µg/ml	13.7±0.1 µg/ml	83.68±6 µg/ml
Trolox	18.79±0.2 µg/ml	18.1±0.1 µg/ml	18.14±2 µg/ml
BHT	63.78±0.1 µg/ml	26.79±0.5 µg/ml	-
Methanol extract	120.92±0.7 µg/ml	46.54±0.3 µg/ml	220.98±30 µg/ml
Water extract	320.16±1.9 µg/ml	92.03±1.5 µg/ml	97.60±6 µg/ml

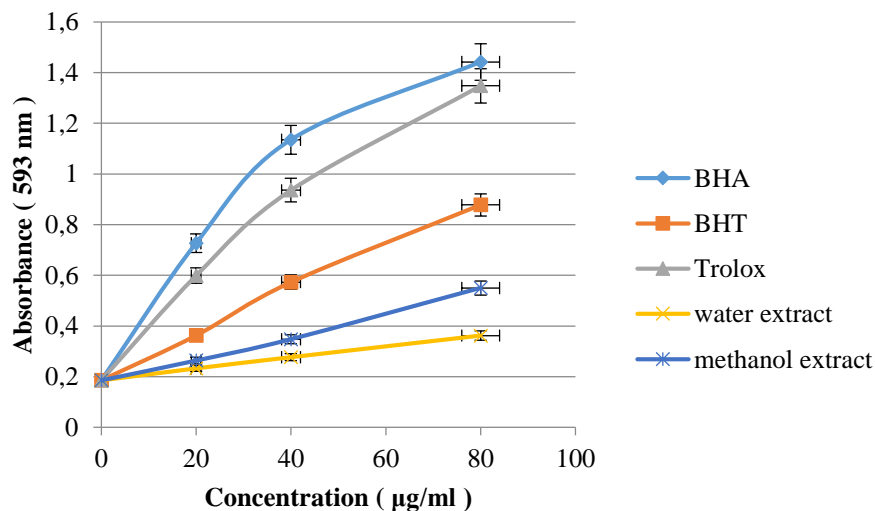


According to Table 3, it is seen that the methanol extract is more efficient than the water extract in the analysis of antioxidant capacity determination.



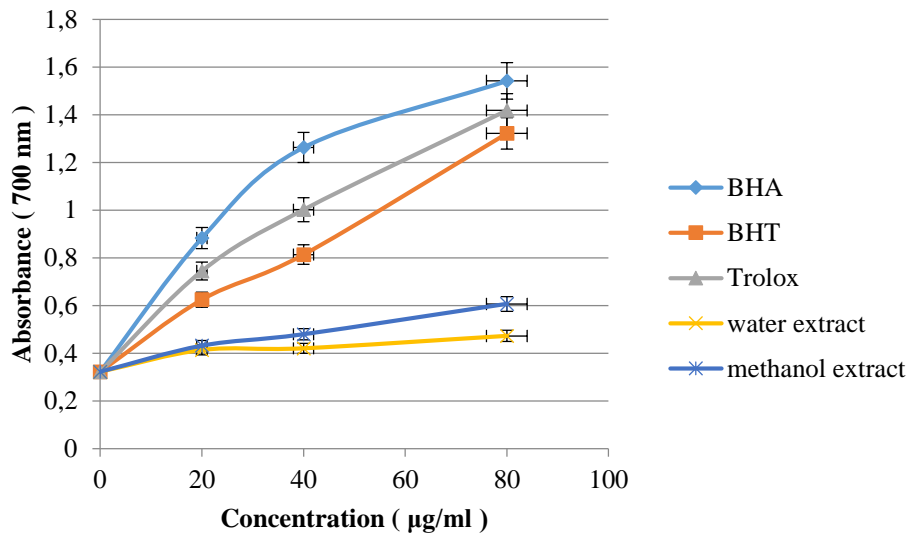
**Figure 1.** Reducing powers of *Nasturtium officinale* extracts and standard antioxidants by CUPRAC method

The copper ions ( $\text{Cu}^{2+}$ ) reduction potential of *Nasturtium officinale* extracts was experimentally determined and compared with BHA, BHT, and Trolox. At the same concentration (40 µg/ml), the cupric ions reduction potential of extracts and standard antioxidants decreased in the order of BHA>BHT>trolox>methanol extract>water extract (Figure 1).



**Figure 2.** Reducing powers of *Nasturtium officinale* extracts and standard antioxidants by FRAP method

The FRAP reducing capacity of *Nasturtium officinale* extracts was determined and compared with BHA, BHT, and Trolox. At the same concentration (40 µg/ml), the FRAP reduction capacities of standard antioxidants and extracts were BHA> trolox> BHT>methanol extract>water extract, respectively (Figure 2).



**Figure 3.** Reducing powers of *Nasturtium officinale* extracts and standard antioxidants by  $Fe^{3+} Fe^{2+}$  reducing capacity

The  $Fe^{3+} Fe^{2+}$  reducing capacity of *Nasturtium officinale* extracts was determined experimentally and compared with BHA, BHT, and Trolox. At the same concentration (40 µg/ml), the  $Fe^{3+} Fe^{2+}$  reducing capacities of standard antioxidants and extracts were BHA > trolox > BHT > methanol extract > water extract, respectively (Figure 3).

Both extracts of *Nasturtium officinale* gave better results, especially in the ABTS assay. In five methods (DPPH, ABTS, CUPRAC, FRAP,  $Fe^{3+} Fe^{2+}$  Reducing), methanol extract gave more efficient results than water extract. But water extract gave more efficient in DMPD radical scavenging method. Considering the results, the antioxidant property of *Nasturtium officinale* has been shown comparatively. The results revealed that *Nasturtium officinale* has radical scavenging activity and antioxidant abilities.

### 3.2 ICP-MS Results

According to the analysis results of *Nasturtium officinale* given in Table 4, the plant 1554.71 ± 1.57 mg/kg Mg, 12628.97 ± 13.34 mg/kg K, 2023.36 ± 9.87 mg/kg Ca, 4387.92 ± 60.4 mg/kg Fe and 629.1 ± 0.93 mg/kg Zn contains.

**Table 4.** Analysis results of *Nasturtium officinale* in terms of Mg, K, Ca, Fe, Zn minerals

Minerals	ppm (mg/kg)	R <sup>2</sup>	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
Mg	1554.71±1.57	0.9999	0.38019	1.254628
K	12628.97±13.34	0.9999	0.042626	0.140664
Ca	2023.36±9.87	0.9993	6.032868	19.90847
Fe	4387.92±60.4	0.9998	0.407001	1.343103
Zn	629.1±0.93	0.9998	0.913527	3.014639

Significance: LOD: Limit of Detection, LOQ: Limit of Quantitation R<sup>2</sup>: Correlation Coefficient

According to the mineral analysis results given in Table 4, *Nasturtium officinale* contains 1554.71 mg/kg Mg, 12628.97 mg/kg K, 2023.36 mg/kg Ca, 4387.92 mg/kg Fe and 629.1 mg/kg Zn. *Nasturtium officinale* plant is an excellent plant to meet the mineral needs compared to the amounts (375 mg for Mg, 2000 mg for K, 800 mg for Ca, 14 mg for Fe, 10 mg for Zn) which the Turkish Food Codex has determined as daily reference intake values for vitamins and minerals [29]. It has been demonstrated that the plant is a good source of minerals. The mineral content of the plant may vary depending on the environment in which it grows.

#### **4. CONCLUSION**

In this study, the antioxidant capacity of two different extracts of *Nasturtium officinale* was investigated from different aspects with six different antioxidant methods, and better results were observed in ABTS and CUPRAC methods. The methanol extract was showed better results compared to water extract. Components that dissolve in methanol and are insoluble in water may have been effective in this. Additionally, the mineral content of the plant, total phenolic amount, total flavonoid amount, and chlorophyll amount were determined and contributed to the literature. It has been proven that *Nasturtium officinale* is a species that can be the subject of much researches in medicine with the valuable components it contains. The benefits of the *Nasturtium officinale* that is collected from its natural environment and not noticed by people are pointed out.

#### **ACKNOWLEDGMENT**

This work was supported by the Dicle University Scientific Research Projects Coordination Unit [With the project no ZGEF.20.001]. We would like to thank Dicle University Scientific Research Projects Coordination Unit for their project support.

#### **CONFLICTS OF INTEREST**

No conflict of interest was declared by the authors.

#### **AUTHORS' CONTRIBUTIONS**

Leyla ERCAN: Writing-original draft preparation, data collection, data curation, visualization, analysis, data interpretation. Mehmet DOĞRU: Conceptualization, methodology, validation, writing-review, and editing, supervision, provision of analysis tools. All authors have accepted responsibility for the entire content of this manuscript and approved its submission.

## REFERENCES

- [1] D. J. Barker, "Pacific Northwest Aquatic Invasive Species Profile: *Nasturtium officinale* (Watercress)," *FSH*, pp. 423, 2009.
- [2] O. E. Ifeanyi, "A Review on Free Radicals and Antioxidants," *International Journal of Current Research in Medical Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 123-133, 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.22192/ijcrms.2018.04.02.019>.
- [3] A. Aras, M. Dogru, and E. Bursal, "Determination of antioxidant potential of *Nepeta nuda* subsp. *lydiae*," *Anal. Chem. Let.*, vol. 6, no. 6, pp. 758-765, 2016, <https://doi.org/10.1080/22297928.2016.1265467>.
- [4] F. Karahan, I. I. Ozyigit, I. A. Saracoglu, I. E. Yalcin, A. H. Ozyigit, and A. Ilcim, "Heavy metal levels and mineral nutrient status in different parts of various medicinal plants collected from eastern mediterranean region of Turkey," *Biological Trace Element Research*, vol. 197, pp. 316–329, 2020, <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01974-2>.
- [5] A. Yiannikourides, and G. O. Latunde-Dada, "A short review of iron metabolism and pathophysiology of iron disorders," *London SE1 IUL, UK Medicines*, vol. 6, no. 3, pp. 85, 2019, DOI: 10.3390/medicines6030085.
- [6] W. Bao, Y. Rong, S. Rong, and L. Liu, "Dietary iron intake, body iron stores, and the risk of type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis," *BMC Med*, vol. 10, no. 1, pp. 119, 2012, <https://doi.org/10.1186/1741-7015-10-119>.
- [7] S. Waldvogel-Abramowski, G. Waeber, C. Gassner, A. Buser, B. M. Frey, B. Favrat, and J. D. Tissot, "Physiology of iron metabolism transfus med hemothe," *Transfus Med Hemothe*, vol. 41, no. 3, pp. 213–221 2014, <https://doi.org/10.1159/000362888>.
- [8] L. Garfinkel, and D. Garfinkel, "Magnesium regulation of the glycolytic pathway and the enzymes involved," *Magnesium*, vol. 4, no. 2-3, pp. 60–72, 1985.
- [9] I. Dorup, and T. Clausen, "Correlation between magnesium and potassium contents in muscle: role of Na1-K1 pump.," *Am J Physiol*, vol. 264, no. 2, pp. 457–463, 1993.
- [10] L. J. Appel, T. J. Moore, E. Obarzanek, W. M. Vollmer, L. P. Svetkey, F. M. Sacks, G. A. Bray, T. M. Vogt, J. A. Cutler, M. M. Windhauser, P. H. Lin, and N. Karanja, "A clinical trial of the effects of dietary patterns on blood pressure," *N Engl J Med*, vol. 336, no. 16, pp. 1117–1124, 1997.
- [11] A. S. Prasad, "Discovery of human zinc deficiency: 50 years later," *J. Trace Elem. Med. Biol*, vol. 26, no. 2-3, pp. 66-69, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2012.04.004>.
- [12] H. Yanagisawa, "Clinical aspects of zinc deficiency," *The Journal of the Japan Medical Association*, vol. 127, no. 2, pp. 261–268, 2002.
- [13] C. Camaschella, "Iron-deficiency anemia," *New England Journal of Medicine*, vol. 372, no. 19, pp. 1832–1843, 2015, DOI: 10.1056/NEJMra1401038.
- [14] M. Szkup, A. Jurczak, A. Brodowska, A. Brodowska, I. Noceń, D. Chlubek, M. Laszczyńska, B. Karakiewicz, and E. Grochans, "Analysis of relations between the level of Mg, Zn, Ca, Cu, and Fe and depressiveness in postmenopausal women," *Biol. Trace Element Res*, vol. 176, no. 1, pp. 56–63, 2016, <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0798-9>.
- [15] E. Manolopoulou, T. Varzakas, and A. Petsalaki, "Chlorophyll Determination in Green Pepper Using Two Different Extraction Methods," *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 52-60, 2016.

- [16] H. H. Jeong, and K. S. Kim, “Effects of Shading on the Growth of Hedera rhombea Bean and Pachysandra terminalis Sieb. et Zucc.,” *KOR. J. HORT. SCI. & TECH.*, vol. 17, no. 1, pp. 29-32, 1999.
- [17] V. L. Singleton, and J. A. Rossi, “Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents,” *American Journal of Enology Viticulture*, vol. 16, pp. 144-158, 1965.
- [18] M. Tomas, J. Beekwilder, R. D. Hall, C. D. Simon, O. Sagdic, and E. Capanoglu, “Effect of dietary fiber (inulin) addition on phenolics and in vitro bioaccessibility of tomato sauce,” *Food Research International*, vol. 106, pp. 129-135, 2018.
- [19] V. Dewanto, X. Wu, K. K. Adom, and R. H. Liu, “Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 50, no. 10, pp. 3010-3014, 2002.
- [20] J. Zhishen, T. Mengcheng, and W. Jianming, “The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals,” *Food Chem.*, vol. 64, no. 4, pp. 555-559, 1999.
- [21] M. S. Blois, “Antioxidant determinations by the use of a stable free radical,” *Nature*, vol. 181, pp. 1199-1200, 1958.
- [22] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans, “Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay,” *Free Radical Biology ve Medicine*, vol. 26, no. 9-10, pp. 1231-1237, 1999.
- [23] E. Bursal, E. Köksal, İ. Gülçin, G. Bilsel, and A. C. Gören, “Antioxidant activity and polyphenol content of cherry stem (*Cerasus avium L.*) determined by LC-MS/MS,” *Food Research International*, vol. 51, no. 1, pp. 66-74, 2013.
- [24] V. Fogliano, V. Verde, G. Randazzo, and A. Ritieni, “Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines,” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 47, no. 3, pp. 1035-1040, 1999.
- [25] R. Apak, K. Güçlü, B. Demirata, M. Ozyürek, S. E. Celik, B. Bektaşođlu, K. I. Berker, and D. Ozyurt, “Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay,” *Molecules*, vol. 12, no. 7, pp. 1496-1547, 2007.
- [26] İ. Gülçin, “Antioxidant activity of food constituents: an overview,” *Archives of Toxicology*, vol. 86, no. 3, pp. 345-391, 2012.
- [27] M. Oyaizu, “Antioxidative activities of browning reaction prepared from glucosamine,” *Japanese Journal of Nutrition*, vol. 44, no. 6, pp. 307-315, 1986.
- [28] CEM, *Mars 6 Microwave acid digestion method note compendium*, (2019). Date of Access: 01.10.2019. [Online]. [https://cem.com/media/contenttype/media/literature/MetNote\\_MARS6\\_Compndium\\_2.pdf](https://cem.com/media/contenttype/media/literature/MetNote_MARS6_Compndium_2.pdf).
- [29] T. R. Presidential Official Gazette, *Turkish Food Codex regulation on nutrition and health declarations annex-8 daily reference intake values for vitamins and minerals*, official gazette no. 29960, (2017). Date of Access: 26.01.2017. [Online]. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/01/20170126M1-5-1.pdf>.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Theoretical Nitrous Oxide, Methane, Carbon Dioxide Emissions Calculations to the Atmosphere in Niğde, Turkey

### Niğde, Türkiye’de Atmosfere Salınan Nitröz Oksit, Metan, Karbondioksitin Teorik Hesaplamaları

Kazım KUMAŞ<sup>1</sup> , Ali Özhan AKYÜZ<sup>2,\*</sup> 

<sup>1,2</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Bucak Emin Gulmez Technical Sciences Vocational School, 15300, Burdur, Turkey

#### ARTICLE INFO

##### Article History

Received, 26 September 2021

Revised, 27 October 2021

Accepted, 01 November 2021

Available Online, 15 November 2021

##### Keywords

Methane, Nitrous oxide, Carbon dioxide, Manure management, Environmental pollution

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihi

Alınış, 26 Eylül 2021

Revize, 27 Ekim 2021

Kabul, 01 Kasım 2021

Online Yayınlanma, 15 November 2021

##### Anahtar Kelimeler

Metan, Nitröz oksit, Karbondioksit, Gübre yönetimi, Çevre kirliliği

#### ABSTRACT

One of the reasons for the formation of emissions in the world and Turkey is the livestock sector. Methane and nitrogen oxide are the two major greenhouse released into the atmosphere due to fertilizer management. If there is no good fertilizer management planning, animal fertilizer formed in animal husbandry enterprises poses a big problem for the environment and human health. Collection of fertilizer from shelters, method of collection, where to store fertilizer, and how to evaluate are among the most important problems. In this study, greenhouse gas emissions from animal husbandry in Niğde, Turkey were examined between 2016-2020. Different animal species were used in the study and the Tier-1 method defined by the IPCC was used to calculate greenhouse gas emissions. In addition, the potential for Global Warming that may occur from greenhouse gas emissions has been determined. As a result of calculations, N<sub>2</sub>O (Nitrous oxide) emission was determined to be 1.1x10<sup>3</sup> tons/year and CH<sub>4</sub> (methane) emission to be 134x10<sup>3</sup> tons/year. The global warming potential created by these two emissions is 3152x10<sup>3</sup> tons of CO<sub>2</sub>.

#### ÖZ

Dünyada ve Türkiye’de emisyon oluşumunun nedenlerinden birisi de hayvancılık sektörüdür. Metan ve azot oksit, gübre yönetimi nedeniyle atmosfere salınan başlıca iki sera gazıdır. İyi bir gübre yönetim planlaması yoksa hayvancılık işletmelerinde oluşan hayvan gübresi çevre ve insan sağlığı için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Gübrenin barınaklardan toplanması, toplanma yöntemi, gübrenin nerede depolanacağı ve nasıl değerlendirileceği en önemli sorunlar arasındadır. Bu çalışmada, 2016-2020 yılları arasında Niğde ili hayvancılıktan kaynaklı sera gazı emisyonları incelenmiştir. Çalışmada farklı hayvan türleri kullanılmış ve

\*Corresponding Author

E-mail addresses: [kkumas@mehmetakif.edu.tr](mailto:kkumas@mehmetakif.edu.tr) (Kazım KUMAŞ), [aakyuz@mehmetakif.edu.tr](mailto:aakyuz@mehmetakif.edu.tr) (Ali Özhan

AKYÜZ)

sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında IPCC tarafından tanımlanan Tier-1 metodundan yararlanılmıştır. Ayrıca sera gazı emisyonlarından oluşabilecek küresel ısınma potansiyeli belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda N<sub>2</sub>O emisyon 1.1x10<sup>3</sup> ton/yıl, CH<sub>4</sub> emisyonu 134x10<sup>3</sup> ton/yıl olduğu belirlenmiştir. Bu iki emisyonun oluşturduğu küresel ısınma potansiyeli CO<sub>2</sub> ise 3152x10<sup>3</sup> tondur.

## **1. INTRODUCTION**

Fast- growing economic developments are increasing dependence on fossil resources around the world. This leads to energy shortages and environmental pollution crises [1]. Bioenergy, an alternative to fossil resources, is one of the best options for minimizing such negativity [2]. If biomass is discarded or not used properly, these wastes have a negative impact on climate change, not only on soil and water pollution but also on-air quality [3]. As biomass, it contains several organic substances and nutrients that can pollute the water environment if appropriate use of livestock faces [4].

Among agricultural activities, it is the livestock sector that has the most critical impact on the quality of the environment, and fertilizer management causes the main share of pollution. Livestock production is a significant contribution to most economies, and livestock products represent the highest value of agricultural production for most countries [5]. In recent years, the high intensity of livestock production has been accompanied by its separation from crop production, as existing livestock production techniques rely heavily on imported feed for economic profitability. The environmental impact of intensive fattening livestock is often related to fertilizer management systems and practices that do not apply current techniques. Given the intensification of animal husbandry, there is a need to develop technologies and strategies that address relevant environmental concerns [6].

Animal waste storage and evaluation methods, Turkey's water, and soil pollution in terms of treatment, and adverse conditions are mandatory to improve urgently. In developed countries, necessary measures are taken to prevent image, water, and soil pollution by implementing regulatory regulations and certain standards on the conditions for storing and evaluating fertilizer in livestock enterprises [7]. The fact that the conditions for storing and evaluating animal waste in our country, controlled by strict control mechanisms and effective work to eliminate deficiencies, have still not been done to a sufficient extent today, are the most important sources of problems in the livestock sector [8]. In our country, many studies have been conducted by researchers to examine the current state of animal waste storage and evaluation practices in cattle breeding enterprises, and problem-solving recommendations have been developed. These recommendations should be considered in the restructuring of animal waste storage and fertilizer evaluation conditions in enterprises [9].

From animal fertilizers, gases such as water vapor ( $H_2O$ ), carbon dioxide ( $CO_2$ ), ammonia ( $NH_3$ ), hydrogen sulfide ( $H_2S$ ), carbon monoxide ( $CO$ ), and hydrogen ( $H_2$ ) are emitted into the atmosphere. In addition, methane ( $CH_4$ ) gas is released by the degradation of the organic substances contained in these fertilizers by anaerobic bacteria. Livestock production systems, directly and indirectly, contribute to atmospheric anthropogenic greenhouse gases through emissions of carbon dioxide ( $CO_2$ ), methane ( $CH_4$ ), and nitrous oxide ( $N_2O$ ). The most important greenhouse gases caused by the livestock sector are methane and nitrous oxide [10].  $CH_4$ , mainly from enteric fermentation and manure storage, is a gas that has 28 times more impact on global warming than  $CO_2$ .  $N_2O$ , which results from manure storage and use, is 265 times more effective on global warming than carbon dioxide. At a time when global warming is an undeniable danger, greenhouse gas emissions are gases that are effective in creating global climate change [11]. Although the use of nitrogen fertilizers is a necessity in terms of meeting the needs of the growing world population, it is known that the effectiveness of nitrogen use leads to significant environmental problems. The use of nitrogen fertilizers leads to deterioration of soil and water quality, pollution of underground and above-ground water sources, air pollution, and biodiversity reduction, as well as increasing greenhouse gas emissions. For this reason, methods of increasing the effectiveness of nitrogen fertilizers through the use of slow and controlled release fertilizers, nitrification, and the use of urease inhibitors are proposed to reduce nitrogen pollution [12]. Increasing concerns with the increase in  $CH_4$  and  $N_2O$  gas emissions have led scientists to start focusing on emission sources and accelerate their prevention and mitigation work.

Du Toit et al. [13] calculated greenhouse gas  $CH_4$  and  $N_2O$  emissions from South African pigs, ostriches, horses, donkeys, mules, and poultry from 2010 data. They stated that a total of 25.7 Gg  $CH_4$  and 2.25 Gg  $N_2O$  emissions occurred [13]. Moeletsi and Tongwane [14] have estimated greenhouse gas emissions from fertilizer management for South Africa. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidelines on different deceleration levels have also been used in forecasting. As a result, they found that carbon dioxide produced 3104 Gg methane and 2272 Gg nitrous oxide emissions in the equivalent of global warming [14]. Paik et al. [15] determined the emission values of livestock and poultry production in Korea according to the IPCC Tier 1 and Tier 2 approach with comprehensive data on live animal and poultry populations for the years 1990 to 2010. Methane emissions range from 1.85 Gg to 3.99 Gg for non-dairy cattle and 1.36 Gg to 1.72 Gg for dairy cattle. The study also stated that nitrous oxide emissions were 1.17 to 2.48 Gg for non-dairy cattle and 0.79 to 1.2 Gg for dairy cattle [15]. Kara et al. [11] the greenhouse gas emissions produced by livestock activities for Konya, Turkey were calculated according to IPCC 2006 guidelines. In the study, they determined total fertilizer-induced methane emissions as 1110.14 Gg [11]. Ersoy and Uğurlu [16] stated that Turkey's total greenhouse gas emissions from animals are 33 million tons of  $CO_2$  and that the emission value can be reduced by 1.13% as a result of biogas production. It was also stated that 4% of the electricity needs per capita can be met



by the production of biogas [16]. Yaylı and Kılıç [10] have determined the global warming potential caused by enteric fermentation and manure management of dairy cattle enterprises in Turkey and Bursa by Tier-1 method. As a result, the global warming potential in Turkey is 53.5 TG CO<sub>2</sub> and Bursa is 0.70 TG CO<sub>2</sub> [10]. Ceyhan et al. [17] calculated the carbon footprint of a dairy sheep farm in Niğde, Turkey using the Tier 1 method to determine the potential for global warming. The total emissions of this farm from both sources, such as N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>, are 85535.2 CO<sub>2</sub> [17]. Nasiru et al. [18] estimated N<sub>2</sub>O emissions from different livestock using the Tier 1-2-3 approach according to the manure management system for five continents. According to the Tier 1 approach, the emission value dominated by farm animals was 2453 Gg N<sub>2</sub>O emissions [18]. Sarah et al. [19] calculated greenhouse gas emissions from livestock in Central Java, Indonesia, covering 2010-2015 using the IPCC 2006 Tier 1 method. CO<sub>2</sub> emissions were determined as 1546.26, 1658.38, 1775.99, 1708.46, 1,745.37, and 1817.52 Gg respectively according to the years. In the study, approximately 1-6% CH<sub>4</sub> emission per year can be prevented by anaerobic digestion [19]. Tongwane and Moeletsi [20] have investigated the causal factors of cattle emissions for South Africa. Regional CH<sub>4</sub> emissions required for N<sub>2</sub>O emissions generated by cattle manure have been identified. 35.37 million tons of CO<sub>2</sub> equivalent (CO<sub>2e</sub>) was obtained from the total emissions for 2019 [20]. Greenhouse gas emissions can occur in many different ways as a result of animal husbandry activities. Emissions directly generated by livestock activities occur through enteric fermentation and manure management in animals. As a result of enteric fermentation, methane gas (CH<sub>4</sub>) emissions are released, while animal manure emissions are methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) gases [11].

In this study, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> emissions that may occur from livestock activities were determined for Niğde, Turkey between 2016 and 2020. Data in the IPCC 2006 guide was used to calculate greenhouse gas emissions. In addition, the CO<sub>2</sub> equivalence of global warming potentials that can be caused by emissions has been calculated.

## **2. MATERIALS AND METHOD**

Niğde is located in the southeast of Turkey's Central Anatolia Region and the Cappadocia region. Its altitude is 1229 m and its population for 2020 is 362.071. The number of animals belonging to Niğde in 2016-2020 is given in Table 1 [21]. This study aims to estimate the global warming potential of emissions from enteric fermentation and manure management in 2016-2020 decayed from different animals in Niğde, Turkey. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions were calculated using the default emission factors in the guidance published by the IPCC using the Tier-1 method developed by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The CO<sub>2</sub> equivalents of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O gases were examined and the global warming potentials of different animal species were determined.. When calculating N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, and CO<sub>2</sub>

emissions, the global warming potentials of these gases were taken as 310, 21, and 1 as the equivalent of carbon dioxide, respectively [16]. In the calculations, the Turkish Statistical Institute (TUIK) used the number of animals in the province of Niğde in 2020. According to IPCC 2006 guidelines, it was found that animals in Turkey were more appropriate to be evaluated within the Eastern European country category in terms of their physical characteristics, and the emission factor values, which are the most important criteria in calculations, were selected according to this criterion [22].

**Table 1.** Number of animals in Niğde, Turkey

Animal	2016	2017	2018	2019	2020
Dairy Cattle	107680	109490	129422	129703	141354
Other Cattle	34224	38414	43047	42303	45402
Water Buffalo	18	7	8	13	11
Sheep	425675	480906	498827	517343	614809
Goat	74714	70574	74142	72485	81328
Horse	408	449	455	368	378
Donkey+Mule	2292	2084	2134	2075	1807
Turkey	13003	11993	10814	10872	10305
Duck+Goose	11981	12641	12509	13520	16231
Meat Chicken	425000	405000	400400	204000	550000
Egg Chicken	631448	745806	725381	666246	559208

**Table 2.** Formulas and parameters used to determine the theoretical amount of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>

$Ne_{x,t} = 0.365xN_{r,t}xM_t$	(1)
$N_2O_d = 1.5714 x \left[ \sum_s \left[ \sum_t (N_t x Ne_{x,t} x MS_{t,s}) \right] x Ef_{3,s} \right]$	(2)
$N_2O_g = 1.5714x(N_{v-ms} * Ef_4)$	(3)
$N_{v-ms} = \sum_s \left[ \sum_t [N_t x Ne_{x,t} x MS_{t,s} x 0.01(Fg)_{t,s}] \right]$	(4)
$CH_{4ent} = Ef_t x N_t x 10^{-6}$	(5)
$CH_{4man} = \sum_t Ef_t x N_t x 10^{-6}$	(6)
<p>Ne<sub>x,t</sub>: Annual N excretion for t type; kg N /animal year                      N<sub>r,t</sub>: N excretion rate; kg N / (1000 kg mass day)                      M<sub>t</sub>: Animal mass for t type; kg/animal                      N<sub>2</sub>O<sub>d</sub>: Direct N<sub>2</sub>O emission for Turkey; kg N<sub>2</sub>O yr<sup>-1</sup>                      N<sub>v-ms</sub>: Amount of manure nitrogen lost due to evaporation; kgNyr<sup>-1</sup>                      Ef<sub>3</sub>: Direct emission factor from Turkey manure management; N<sub>2</sub>O-N/kgN                      N<sub>2</sub>O<sub>g</sub>: Indirect N<sub>2</sub>O emission for Turkey; kg N<sub>2</sub>O yr<sup>-1</sup>                      N<sub>t</sub>: Number of animals of t type/species                      Ef<sub>4</sub>: Factor for N<sub>2</sub>O emissions from atmospheric nitrogen deposition; kgN<sub>2</sub>O-N                      MS<sub>t,s</sub>: The fraction of total annual nitrogen excretion by type/species in Turkey                      (Fg)<sub>t,s</sub>: % of managed manure nitrogen for type/species evaporated as NH<sub>3</sub> and NO                      CH<sub>4ent</sub>: CH<sub>4</sub> from enteric fermentation; Cg CH<sub>4</sub> yr<sup>-1</sup>                      CH<sub>4man</sub>: CH<sub>4</sub> from manure management; Cg CH<sub>4</sub> yr<sup>-1</sup>                      Ef<sub>t</sub>: Emission factor for animal type; kg CH<sub>4</sub> head<sup>-1</sup></p>	

The amount of direct N<sub>2</sub>O emission was calculated by equations 1 and 2. Indirect N<sub>2</sub>O emissions from volatilization, which are in the forms of NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O, can be calculated theoretically using equations 3-4.

Solid manure storage was chosen as the manure management system for the nitrogen excretion fraction, which differs according to each animal species. The default value for N<sub>2</sub>O emission from atmospheric nitrogen deposition is 0.01 kg N<sub>2</sub>O-N (kg NH<sub>3</sub>-N+NO<sub>x</sub>-N)<sup>-1</sup>, which is given in the IPCC 2006 guideline. Enteric CH<sub>4</sub> emissions were calculated using equation 5. Methane emissions from manure management were found with the help of equation 6. Since temperature is an important criterion for calculating methane gas emissions, the average monthly temperature data of Niğde were obtained from the General Directorate of Meteorology of Turkey [23].

**Table 3.** Parameters used for direct N<sub>2</sub>O calculation

Animal	N <sub>r,t</sub> [kg N.(1000 kg animal) <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> ]	M <sub>i</sub> (kg)	MS <sub>t,s</sub> (%)	Ef <sub>3</sub> [kg N <sub>2</sub> O-N.(kg N) <sup>-1</sup> ]
Dairy Cattle	0.35	550	100	0.02
Other Cattle	0.35	391	100	0.02
Water Buffalo	0.32	380	100	0.02
Sheep	0.9	48.5	100	0.02
Goat	1.28	38.5	100	0.02
Horse	0.3	377	100	0.02
Donkey+Mule	0.3	130	100	0.02
Meat Chicken	1.1	0.9	100	0.001
Egg Chicken	0.82	1.8	100	0.001
Turkey	0.74	6.8	100	0.001
Duck+Goose	0.83	2.7	100	0.001

**Table 4.** Enteric fermentation emission factors

Animal	Ef <sub>4</sub>
Dairy Cattle	99*
Other Cattle	58*
Water Buffalo	55
Sheep	8
Goat	5
Horse	18
Donkey+Mule	10

\*According to IPCC 2006 guidelines

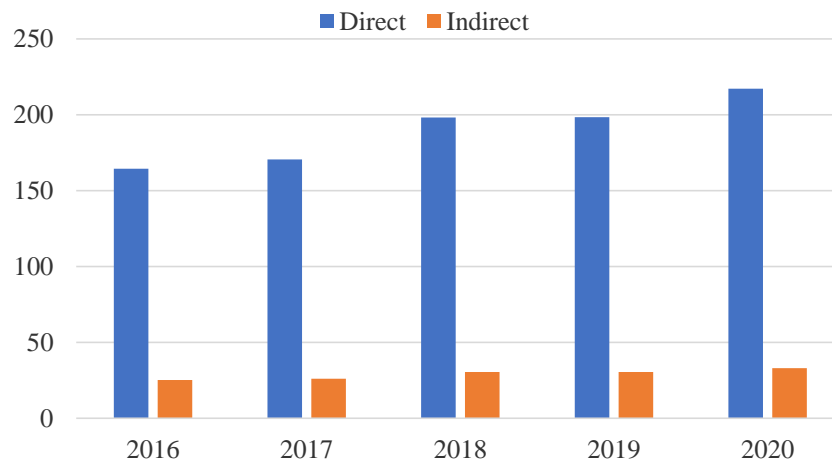
**Table 5.** Manure management methane emission factor varying with temperature values

Animal	Emission Factor		
	kg CH <sub>4</sub> head <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup>		
	<15°C	15°C - 25°C	>25°C
Dairy Cattle *	2	2	3
Other Cattle *	1	1	1
Water buffalo*	4	5	5
Sheep	0.1	0.15	0.2
Goat	0.11	0.17	0.22
Horse	1.09	1.64	2.19
Donkey+Mule	0.6	0.9	1.2
Meat Chicken	0.01	0.02	0.02
Egg Chicken	0.01	0.02	0.02
Turkey	0.01	0.02	0.02
Duck+Goose	0.01	0.02	0.02

\*According to IPCC 2006 guidelines

### 3. THE RESEARCH FINDINGS

In this study, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, and CO<sub>2</sub> emissions from animal husbandry were calculated. According to the physical characteristics of animals, it has been characteristically recognized as an Eastern European country, and all values have been selected and calculated from the relevant tables of the IPCC 2006 guide. Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) values for different animal species covering the years 2016-2020 were calculated in two different ways: direct and indirect emissions. The emissions obtained as a result of the calculation are given in Figure 1. A total of 948.93 tonnes of direct N<sub>2</sub>O emissions were generated between 2016-2020 Dec. When evaluating the percentage changes of direct N<sub>2</sub>O emissions by year, total emissions amounted to 17.3% in 2016, while this figure increased to 22.3% in 2020. The percentage change between 2018 and 2019 is similar. In 2016-2020, the indirect N<sub>2</sub>O emission value is 145.27 tons. Indirect N<sub>2</sub>O increased by 31.9% between 2016-2020 of total emissions. 86.7% of N<sub>2</sub>O emissions from fertilizer management are directly and 13.3% are indirect.

**Figure 1.** Indirect and direct N<sub>2</sub>O emissions

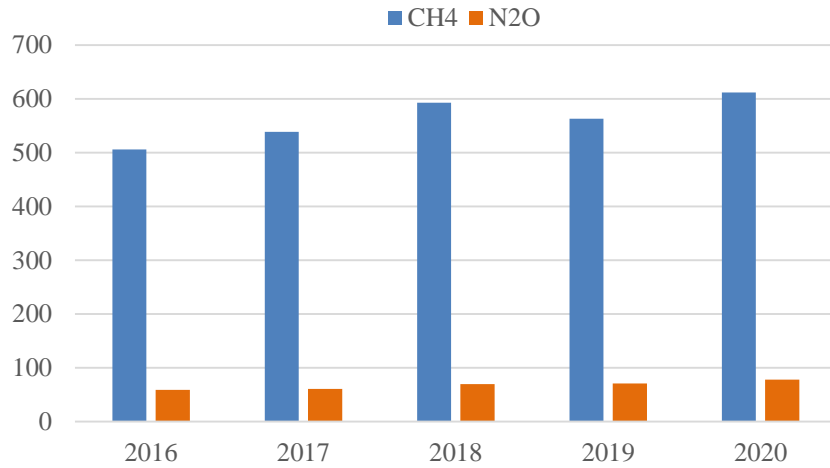
CH<sub>4</sub> emissions related to enteric fermentation and manure management for the years 2016-2020, taking into account animal species, are given in Figure 2. The total enteric fermentation methane value was obtained as 132.26 x 10<sup>3</sup> tons, and the methane value formed by manure management was obtained as 1.79 x 10<sup>3</sup> tons. Enteric fermentation values could not be calculated because there is no data on the factors of enteric emission for chicken, turkey, goose - duck.

According to the years, CH<sub>4</sub> emissions were the highest in 2020 and the lowest in 2016. In 2016, the emission value due to enteric fermentation was 23.79 x 10<sup>3</sup> tons, while in 2020 this value was 28.77 x 10<sup>3</sup> tons. CH<sub>4</sub> emissions from manure management in 2018 and 2019 are almost the same. The total CH<sub>4</sub> emission calculated according to both methods is 134.06 x 10<sup>3</sup> tons. 98.7% of CH<sub>4</sub> emissions are caused by manure management, while enteric fermentation accounts for 1.3%.

The CO<sub>2</sub> potential generated by N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions for 2016-2020 is given in Figure 3. According to Figure 3, a total of 3152000 tons of CO<sub>2</sub> was caused by 2813000 tons of CH<sub>4</sub>, and 339000 tons of N<sub>2</sub>O. Considering the total N<sub>2</sub>O potential, 86.7% is caused by direct N<sub>2</sub>O emissions, while 13.3% is due to indirect N<sub>2</sub>O emissions. 98.6% of the global warming potential due to CH<sub>4</sub> is due to enteric fermentation and 1.4% to the fertilizer management system. When the global warming potential is examined according to years, it has occurred mostly in 2020 and at least in 2016. From 2016 to 2020, the global warming potential due to N<sub>2</sub>O increased by 31.9% and the increase due to CH<sub>4</sub> increased by 21%.



**Figure 2.** CH<sub>4</sub> emission due to enteric fermentation and manure management



**Figure 3.** CO<sub>2</sub> from N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions

#### 4. CONCLUSION

Reducing or preventing the impact of greenhouse gases from the livestock sector is very important in terms of contributing to the slowing down of global warming that threatens our future. Reducing greenhouse gases also provides for an increase in efficiency at enterprises.

In this study, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions that may occur from livestock activities in Niğde, Turkey between 2016 and 2020 were determined.

The Tier 1 approach included in the IPCC 2006 guidelines was used to calculate greenhouse gas emissions. In addition, the CO<sub>2</sub> equivalence of global warming potentials that can be caused by emissions has been calculated.

N<sub>2</sub>O has been calculated as direct and indirect emissions according to different animal species, including the years 2016-2020.

It was found that direct N<sub>2</sub>O emission was 948.93 tons and indirect N<sub>2</sub>O emission was 145.27 tons. Total enteric fermentation CH<sub>4</sub> value was 132.26 x 10<sup>3</sup> tons, and CH<sub>4</sub> value generated by manure management was 1.79 x 10<sup>3</sup> tons. While the total CH<sub>4</sub> emission due to enteric fermentation and manure management system was 24.10x10<sup>3</sup> tons in 2016, this value reached 29.18x10<sup>3</sup> tons in 2020. Enteric fermentation values could not be calculated for meat and laying chicken, turkey, goose, duck because there is no relevant data for enteric emission factor values.

The CO<sub>2</sub> value created by N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions is a total of 3152x10<sup>3</sup> tons. When the global warming potential between the years 2016-2020 has been evaluated, it occurred mostly in 2020 and at

least in 2016. From 2016 to 2020, the global warming potential due to N<sub>2</sub>O increased by 31.9% and the increase due to CH<sub>4</sub> increased by 21%.

## CONFLICTS OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors

## AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Kazım KUMAŞ: Data collection, data curation, investigation. Ali Özhan AKYÜZ: Conceptualization, methodology, validation, analysis, writing-review and editing, supervision.

## REFERENCES

- [1] J. Song, W. Yang, Z. Li, Y. Higano, X. Wang, “Discovering the energy, economic and environmental potentials of urban wastes: an input–output model for a metropolis case”, *Energy Conversion and Management*, vol. 114, pp. 168-179, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.014>.
- [2] B. Wang, J. Song, J. Ren, K. Li, H. Duan, X. Wang, “Selecting sustainable energy conversion technologies for agricultural residues: a fuzzy AHP-VIKOR based prioritization from life cycle perspective”, *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 142, pp. 78-87, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.011>
- [3] A. J. Schlegel, Y. Assefa, H. D. Bond, L. A. Haag, L. R. Stone, “Changes in soil nutrients after 10 years of cattle manure and swine effluent application”, *Soil and Tillage Research*, vol. 172, pp. 48-58, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.05.004>
- [4] J. Xing, J. Song, J. Ren, W. Yang, H. Duan, “Regional integrative benefits of converting livestock excrements to energy in China: An elaborative assessment from life cycle perspective”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 275, pp. 1-14, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122470>.
- [5] C. Alan Rotz, “Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms”, *Journal of Dairy Science*, vol. 101, no. 7, pp. 6675-6690, 2018, <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272>
- [6] Y. Hou, G. L. Velthof, J. P. Lesschen, I. G. Staritsky, O. Oenema, “Nutrient Recovery and Emissions of 476 Ammonia, Nitrous Oxide, and Methane from Animal Manure in Europe: Effects of Manure Treatment Technologies”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 1, pp. 375–383, 2017, <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04524>.

- [7] K. Kumaş, A. Akyüz, “Analysis of pollution load originating from cattle, small ruminant and poultry: A comparative case study for Isparta, Turkey”, *International Journal of Energy Applications and Technologies*, vol. 7, no. 3, pp. 50-53, 2020, <https://doi.org/10.31593/ijeat.764217>
- [8] Z. B. Peypazar, İ. Kılıç, “Evaluation of Waste Management Systems in Dairy Cattle Farms in Terms of Environmental Pollution: Kütahya Case Study”, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, vol. 26, no. 1, pp. 15-28, 2021, <https://doi.org/10.17482/uumfd.811129>
- [9] M. Çayır, A. Atılgan, H. Öz, “Examinations of Manure Condition from Cattle Barns Related to Water Resources”, *University of Suleyman Demirel Journal of Agricultural Faculty*, vol. 7, no. 2, pp. 1-9, 2012, <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduzfd/issue/29595/317524>.
- [10] B. Yaylı, İ. Kılıç, “Estimation of Global Warming Potential by Tier-1 Method of Dairy Cattle Farms,” *International Journal of Biosystems Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 79-86, 2020, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/biyosistemmuhendisligi/issue/59304/837987>.
- [11] G. Kara, İ. Yalınız, M. Sayar, “The Status of GHGS Emissions from Livestock Manure in Konya/Turkey”, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, vol. 2, no. 2, pp. 57-60, 2019, <https://dergipark.org.tr/en/pub/ucbad/issue/47445/599015>.
- [12] G. Şahin, A. Onurbaş Avcıoğlu, “Greenhouse Gases and Carbon Footprint in Agricultural Production,” *Journal of Agricultural Machinery Science*, vol. 12, no. 3, pp. 157-162, 2016, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/35278/391475>
- [13] C. J. L. du Toit, W. A. van Niekerk, H. H. Meissner, “Direct methane and nitrous oxide emissions of monogastric livestock in South Africa”, *South African Journal of Animal Science*, vol. 43, no. 3, pp. 362-375, 2013, <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v43i3.9>
- [14] M. E. Moeletsi, M. I. Tongwane, “2004 Methane and Nitrous Oxide Emissions from Manure Management in South Africa”, *Animals (Basel)*, vol. 5, no. 2, pp. 193–205, 2015, <https://doi.org/10.3390/ani5020193>.
- [15] C. Paik, Y. Chung, H. Kim, Y. J. Kim, “Comparison of emission estimates for non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases from livestock and poultry in Korea from 1990 to 2010,” *Animal Science Journal*, vol. 87, pp. 612-623, 2016, <https://doi.org/10.1111/asj.12456>.
- [16] E. Ersoy, A. Uğurlu, “The potential of Turkey's province-based livestock sector to mitigate GHG emissions through biogas production,” *Journal of Environmental Management*, vol. 255, pp. 1-9, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109858>.
- [17] A. Ceyhan, E. Akyol, A. Unalan, S. Cinar, W. Ali, “Estimation of the Carbon Footprint in Dairy Sheep Farm,” *Iranian Journal of Applied Animal Science*, vol. 10, no. 4, pp. 639-645, 2020.




- [18] A. Nasiru, M. S. Suleiman, A. A. Idris, A. Jinjiri, M. U. Aminu, Z. S. Gilima, M. J. Jibrin, “Nitrous oxide emission from livestock production,” *Nigerian Journal of Animal Production*, vol. 48, no. 4, 165-175, 2021, <https://doi.org/10.51791/njap.v48i4.3007>.
- [19] Sarah, H. L. Susilawati, A. Pramono, “Quantifying the potency of greenhouse gas emission from manure management through anaerobic digester in Central Java,” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 648, 2021, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012111>
- [20] M. I. Tongwane and M. E. Moeletsi, “Provincial cattle carbon emissions from enteric fermentation and manure management in South Africa,” *Environmental Research*, vol. 195, pp. 1-13, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110833>
- [21] TÜİK, *Hayvansal istatistikleri*. (2021). Accessed: 18. 07. 2021. [Online]. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>.
- [22] IPCC, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Emissions From Livestock And Manure Management*. (2006). Accessed: 19. 06. 2021. [Online]. Available: [https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf).
- [23] MGM. *Türkiye’deki İllerin Sıcaklık Ortalamaları*. (2021). Accessed: 18. 07. 2019. [Online]. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>



*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Bitlis ve Çevresindeki Yem Bitkileri Ekiliş Alanlarında Bulunan Zararlı ve Yararlı Böcek Türlerinin Saptanması**

*The Determination of Harmful and Beneficial Insect Species in Forage Crops Planting Areas of Bitlis and Its Surroundings*

Hasan MARAL<sup>1,\*</sup> , Mehmet Salih ÖZGÖKÇE<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Karacadağ Kalkınma Ajansı, 21070, Diyarbakır, Türkiye

<sup>2</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 65090, Van, Türkiye

**MAKALE BİLGİSİ**

**Makale Tarihi**

Alınış, 03 Kasım 2021

Revize, 09 Kasım 2021

Kabul, 12 Kasım 2021

Online Yayınlama, 06 Aralık 2021

**Anahtar Kelimeler**

Bitlis, Yem bitkileri, Fauna, Zararlı türler, Yararlı türler

**ÖZ**

Çalışma 2005–2006 yıllarında Bitlis ilinde yürütülmüştür. Çalışma ile Bitlis'te geniş alanlarda yetiştiriciliği yapılan yem bitkilerindeki zararlı ve yararlı böcek türlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sörvey sonucunda yem bitkilerinde Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, ve Lepidoptera takımlarına bağlı 19 familyadan 46 zararlı tür ile Coleoptera, Hemiptera, Diptera ve Raphidioptera takımlarına bağlı 4 familyaya ait 12 yararlı böcek türü saptanmıştır. Yonca hortumluböceği, *Hypera variabilis* (Herbest, 1975) (Coleoptera: Curculionidae)'in bütün yem bitkileri alanlarında bulunduğu ve ana zararlı olduğu gözlenmiştir. Bu türün mayıs ayı ortası ile haziran ayı sonu arasında en büyük zararı yaptığı tespit edilmiştir. Ayrıca *Sitona concavirostris* Hochhuth, 1851 (Coleoptera: Curculionidae), *Camptopus lateralis* (Germar, 1817) (Hemiptera: Alydidae), *Nezara viridula* (L.), *Dolycoris baccarum* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae), *Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776) ve *Therioaphis trifolii* (Monell, 1882) (Hemiptera: Aphididae) türlerine tüm sörvey alanlarında rastlanmış ve yer yer bu türlerin de ciddi zararlara neden oldukları görülmüştür. Coleoptera takımına bağlı Coccinellidae, Hemiptera takımına bağlı Pentatomidae, Miridae, Nabidae, Hymenoptera takımına bağlı Tenthredinidae ve Diptera takımına bağlı Syrphidae familyalarına Bitlis ili genelinde rastlanmıştır. Doğal dengede önemli etkileri bulunan *Coccinella septempunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae)'nin faydalı türler içinde en yüksek yoğunluğu gösteren tür olduğu tespit edilmiştir. Diğer faydalı türlerden *Adonia variegata* (Goeze, 1777) (Coleoptera: Coccinellidae), *Nabis fesus* (L.) (Hemiptera: Nabidae), *Eupeodes (=Metasyrphus) corollae* (Fabricius, 1794), *Melanostoma mellinum* L. ve *Sphaerophoria rueppellii* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Syrphidae) yaygın ve sık olarak görülmüştür.

**\*Sorumlu Yazar**

**E-posta Adresleri:** [hasanmaral@hotmail.com](mailto:hasanmaral@hotmail.com) (Hasan MARAL), [msozgekce@yyu.edu.tr](mailto:msozgekce@yyu.edu.tr) (Mehmet Salih

ÖZGÖKÇE)

## ARTICLE INFO

### Article History

Received, 03 November 2021

Revised, 09 November 2021

Accepted, 12 November 2021

Available Online 06 December 2021

### Keywords

Bitlis, Forage crops, Fauna,  
Harmful species, Beneficial species

## ABSTRACT

This study was carried out in the forage crops planting areas in Bitlis province, between 2005 and 2006. The aim of this study was to determine the harmful and beneficial insect species in forage crops cultivated in large areas in Bitlis, Turkey. As a result of the surveys 46 harmful species belonging to 19 families from order Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera and 12 beneficial species belonging to 4 families from order Coleoptera, Hemiptera, Diptera and Raphidioptera were determined. *Hypera variabilis* (Herbest, 1975) (Coleoptera: Curculionidae) was found to be the most harmful among all forage crops planting areas. It was also found that this species show the worst harm between in the middle of may and at the end of june. *Sitona concavirostris* Hochhuth, 1851 (Coleoptera: Curculionidae), *Camptopus lateralis* (Germar, 1817) (Hemiptera: Alydidae), *Nezara viridula* (L.), *Dolycoris baccarum* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae), *Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776) and *Therioaphis trifolii* (Monell, 1882) (Hemiptera: Aphididae) were also found in all areas of the survey and determined to cause serious harms at times. *Coccinella septempunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) which play an important role in the natural balance emerged the highest density among the beneficial species. *Adonia variegata* (Goeze, 1777) (Coleoptera: Coccinellidae), *Nabis fesus* (L.) (Hemiptera: Nabidae), *Eupeodes (=Metasyrphus) corollae* (Fabricius, 1794), *Melanostoma mellinum* L. and *Sphaerophoria rueppellii* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Syrphidae) which are other beneficial species were found widespread.

## 1. GİRİŞ

Hayvancılıkta istenilen verime ulaşılabilmesi için kaliteli kaba yemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde yaklaşık 2,2 milyon hektarlık alanda yem bitkisi yetiştirilmektedir [1].

Coğrafi koşulları nedeniyle ülkemizde hayvancılıkta söz sahibi bölgelerden biri olan Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan Bitlis ilinde 59.096 ha alanda yem bitkisi yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu alan Bitlis'teki toplam arazi varlığının yaklaşık %6'sına tekabül etmektedir. Ülkemizde et ithalatının önüne geçilebilmesi ve hedeflenen hayvan sayısına ulaşılabilmesi için mevcut üretim miktarından daha fazla kaba yeme ihtiyaç duyulacaktır [2, 3].

Yıllara göre kaliteli kaba yem açığının kapatılması ve gelecekte ihtiyaç duyulacak olan miktarın karşılanabilmesi, ancak yem kaynaklarının uygun yöntemlerle kontrol edilmesi, her türlü kültürel önlemin alınması ve hastalık ve zararlılarla mücadele ile mümkündür.

Bölgede yem bitkilerindeki zararlılar ve doğal düşmanlar üzerine az sayıda çalışma yürütülmüştür [4, 5, 6, 7, 8].

Günümüz modern tarımsal savaş anlayış ve çalışmalarında, organizmaların diğer organizmalar ve etkenlerle ilişkilerini irdeleyip, aralarındaki ilişki zincirini bozmadan, zararlı popülasyonlarını kültür bitkilerinde ekonomik zarar yapamayacak düzeyde tutmak esastır. Bu durum çerçevesinde, zararlı

türlerin popülasyon değişimlerinde rol oynayan tüm faktörlerin, çevresiyle birlikte düşünülmesi ve zararlı popülasyonlarını ekonomik zarar düzeylerinin altında tutan yararlı türlerin bilinmesi gerekir.

Bu çalışma ile Bitlis ili yem bitkileri alanlarında bulunan yararlı ve zararlı böceklerin saptanarak faunaya ait envanter bilgilerinin çıkarılmasının yanı sıra bunlar içerisinde ekonomik zararlı, potansiyel zararlı türler ve yararlı türler ile yayılış alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma 2005-2006 yıllarında Bitlis ili Merkez, Güroymak, Ahlat, Tatvan, Hizan, Mutki ve Adilcevaz ilçelerindeki yem bitkileri ekiliş alanlarında yürütülmüştür. Örneklemeler mayıs ve eylül ayları arasında iki haftalık periyotlarla yapılmıştır. İl genelinde iki biçim nadiren yapıldığından sadece Güroymak ilçesinde bir sefere mahsus olmak üzere eylül ayında arazi çıkışı yapılmış, diğer ilçelere ise birinci biçim yapıncaya kadar sörvey düzenlenmiştir. Birinci biçimler haziran ayı sonunda tamamlanmıştır. Bölgede korunga alanlarının azlığı ve küçük parçalı oluşu bu alanların tespitini ve bu alanlarda sörvey düzenlenmesini zorlaştırmıştır. Bu yüzden çalışmada sadece Güroymak ilçesinin Kuştaşı ve Sez mevkiinde bulunan korunga tarlalarına sörvey düzenlenmiştir. Bunun dışında örnekleme çalışmalarının tümü yonca alanlarında yapılmıştır.

Çalışmada ilaçlanmamış yem bitkileri alanları seçilmiştir. Her ilçe bir örnekleme bölgesi şeklinde düşünülerek ilçeyi en iyi temsil edebilecek yem bitkileri tarlalarının buldukları yerlerden örnekler alınmıştır. Böylece her örnekleme bölgesinde bulunan yem bitkileri tarlalarından ekolojik olarak farklı özelliklere sahip oldukları görülen dere kenarı, ova, sulak alan veya daha yüksek dağlık alanlar gibi bölgelerde rastlanan tarlalardan örnekleme yapılmıştır. Her ilçede en az beş tarlaya sörvey düzenlenmiştir. Örnekleme atraplama, tarlada köşegenler yönünde gidilerek beş dekardan küçük alanlar için rastgele 100–150, beş dekardan büyük alanlar için 150–200 atrap sallanması şeklinde yapılmıştır. Atraplamanın yanı sıra, tarlada köşegenler istikametinde gidilerek beş dekardan küçük alanlar için 8–10, beş dekardan büyük alanlar için 14–16 nokta seçilmiş ve her noktadan 2–3 bitki kök bölgeleri ile birlikte sökülerek bitkilerin kök, sap, yaprak, çiçek ve tohumları incelenmiştir. Ayrıca sökülen bölgedeki toprak içinde zararlı aranmıştır. Bulunan çeşitli dönemdeki zararlılar ve faydalılardan teşhis için örnekler alınmıştır. Yaprakbiti örnekleri tarlada %70'lik alkolle doldurulmuş ephendorf tüplerine konulmuştur.

Elde edilen örnekler öldürme şişesine alınarak öldürüldükten sonra ağzı tülbentle kaplı plastik kavanozlara aktarılmıştır. Daha sonra etiketleri yazılarak ayırım, sayım ve tasnifleri yapılmış ve laboratuvarında iğnelenerek teşhis edilmek üzere koleksiyonları oluşturulmuştur. Yakalanan böceklerin

tanısı eldeki teşhisli örnekler dikkatlice incelendikten sonra familya düzeyine kadar yapılmış ve tür düzeyinde teşhis edilmek üzere konu uzmanlarına gönderilmiştir.

Coleoptera takımına bağlı Coccinellidae familyasına ait türlerin teşhisi Prof. Dr. Nedim UYGUN (Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü - Adana), Lepidoptera takımına ait türlerin teşhisini Prof. Dr. Ahmet Ömer KOÇAK (Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü - Van), Hemiptera takımına bağlı Cicadellidae familyasına ait türlerin teşhisini Prof. Dr. Hüseyin BAŞPINAR (Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü - Aydın), Diptera takımına bağlı Syrphidae familyasına ait türlerin teşhisini Prof. Dr. Rüstem HAYAT (Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü - Erzurum), Coleoptera takımına bağlı Chrysomelidae familyasına ait türlerin teşhisini Prof. Dr. İrfan ARSLAN (Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü - Erzurum), Hymenoptera takımına bağlı Tenthredinidae ve Apidae familyalarına ait türlerin teşhisini Prof. Dr. Erol YILDIRIM (Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü - Erzurum), Hemiptera takımına bağlı Cercopidae familyasına ait türlerin teşhisini Prof. Dr. Ünal ZEYBEKOĞLU (Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü - Samsun), Hemiptera takımına bağlı türlerin teşhisini Prof. Dr. Ahmet DURSUN (Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü - Amasya), Coleoptera takımına bağlı Curculionidae familyasına ait türlerin teşhisini Prof. Dr. Levent GÜLTEKİN (Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü - Erzurum), Raphidioptera takımına bağlı Raphidiidae familyasına ait türlerin teşhisini Prof. Dr. Ali SATAR (Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü - Diyarbakır), Hemiptera takımına bağlı Aphididae familyasına ait türlerin teşhisini Doç. Dr. Işıl ÖZDEMİR (Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü-Ankara) ve Coleoptera takımına bağlı Chrysomelidae ve Cerambycidae familyasına ait türlerin teşhisini Dr. Semra TURGUT (Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü - Ankara) yapmıştır.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma sonucunda 5 takıma ait 19 familyaya bağlı 46 fitofag tür tespit edilmiştir. Tür sayısı çokluğu dikkate alındığında 19 tür ile Hemiptera takımı ilk sırada yer almış, onu sırasıyla 12 tür ile Coleoptera, 11 tür ile Lepidoptera ve 4 tür ile Hymenoptera takımı izlemiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Araştırma alanındaki yem bitkileri üzerinde 2005–2006 yıllarında saptanan fitofag türler

Tür Adı	Yakalandığı Yer**						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>HEMIPTERA</b>							
<b>ALYDIDAE</b>							
<i>Camptopus lateralis</i> (Germar, 1817)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y

<b>APHIDIDAE</b>							
<i>Acyrtosiphon pisum</i> (Harris, 1776)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Therioaphis trifolii</i> (Monell, 1882)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<b>CERCOPIDAE</b>							
<i>Philaneus spumarius</i> (Linnaeus, 1758)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<b>CICADELLIDAE</b>							
<i>Psammotettix</i> sp.		YK	Y	Y	Y		
<b>LYGAEIDAE</b>							
<i>Peritrechus gracilicornis</i> Puton, 1877*	Y	Y			Y		Y
<b>MIRIDAE</b>							
<i>Adelphocoris vandalicus</i> (Rossi, 1790)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Adelphocoris detritus</i> (Fieber, 1861)*		Y	Y		Y		Y
<i>Grypocoris fieberi</i> Douglas and Scott, 1868*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Grypocoris syriacus</i> Reuter, 1896*		Y		Y		Y	
<i>Liocoris tripustulatus</i> (Fabricius, 1781)*	Y	K		Y	Y		Y
<i>Exolygus gemellatus</i> (Herrich-Schaeffer 1835)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<b>PENTATOMIDAE</b>							
<i>Apodiphus amygdali</i> (Germar, 1817)							Y
<i>Dolycoris baccarum</i> (Linnaeus, 1758)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Nezara viridula</i> (Linnaeus, 1758)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<b>SCUTELLERIDAE</b>							
<i>Odontoscelis fuliginosus</i> (Linnaeus, 1761)		Y			Y	Y	
<i>Eurygaster integriceps</i> (Puton, 1881)							Y
<b>COLEOPTERA</b>							
<b>CURCULIONIDAE</b>							
<i>Hypera variabilis</i> (Herbest, 1775)*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Sitona concavirostris</i> Hochhuth, 1851*	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Eusomus pulcher</i> Kirsch, 1879*		Y		Y	Y		
<i>Eusomus ovulum</i> Germar, 1824*		Y	Y		Y		
<i>Lixus incanescens</i> Boheman, 1836			Y	Y	Y		
<i>Araxia</i> sp.	Y	Y				Y	
<b>CHRYSOMELIDAE</b>							
<i>Gonioctena fornicata</i> (Brüggemann, 1873)*	Y	Y		Y	Y		Y
<i>Altica</i> sp.		K	Y	Y		Y	
<i>Smaragdina limbata</i> (Steven, 1806)	Y	Y	Y	Y		Y	Y
<b>CERAMBYCIDAE</b>							
<i>Chlorophorus varius</i> (O.F.Müller, 1766)	Y	YK		Y	Y	Y	
<i>Plagionotus floralis</i> (Palas, 1773)*		Y				Y	Y
<i>Chlorophorus nivipictus</i> Kraatz, 1879			Y	Y			

<b>LEPIDOPTERA</b>						
<b>ARCTIIDAE</b>						
<i>Phragmatobia fuliginosa</i> (Linnaeus, 1758)	Y		Y		Y	Y
<b>LYCAENIDAE</b>						
<i>Polyommatus icarus</i> (Rottemburg, 1775)	Y	Y	Y		Y	
<i>Lassiommata megera</i> (Linnaeus, 1767)	Y		Y		Y	
<b>NYMPHALIDAE</b>						
<i>Argynnis paphia</i> (Linnaeus, 1758)		Y			Y	Y
<i>Melitaea cinxia</i> (Linnaeus, 1758)	Y	Y	Y		Y	
<i>Argynnis niobe</i> (Linnaeus, 1758)	Y	Y		Y	Y	
<b>PAPILIONIDAE</b>						
<i>Iphiclides podalirius</i> (Linnaeus, 1758)	Y	Y			Y	
<b>PIERIDAE</b>						
<i>Colias crocea</i> (Geoffroy, 1785)*		Y		Y	Y	
<i>Aporia crataegi</i> (Linnaeus, 1758)	Y	Y		Y	Y	Y
<i>Pieris rapae</i> (Linnaeus, 1758)			Y	Y	Y	Y
<i>Pontia edusa</i> Fabricius, 1777	Y				Y	
<b>HYMENOPTERA</b>						
<b>APIDAE</b>						
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	Y		Y	Y	Y	Y
<b>TENTHREDINIDAE</b>						
<i>Macrophya diversipes</i> (Schrank, 1782)	Y	Y	Y		Y	Y
<i>Macrophya cyrus</i> Benson, 1954	Y	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Athalia</i> sp.		K	Y	Y	Y	Y

\* Gözlemler ve literatür bilgileriyle yem bitkileri zararlısı olduğu tespit edilen tür

\*\*1- Merkez 2- Güroymak 3- Ahlat 4- Tatvan 5- Adilcevaz 6- Mutki 7- Hizan

Y: Yonca, K: Korunga

Tablo 1’de \*işaretleli olarak gösterilen 22 türün gözlemler ve literatür bilgileriyle yem bitkileri zararlısı oldukları saptanmıştır. Diğer türlerin ise çok az sayıda elde edilmeleri nedeniyle yem bitkileri ile beslenip beslenemediği gözlenememiş, ayrıca literatürde de yem bitkilerinde beslendiklerine ilişkin bir bilgiye rastlanmamıştır.

Zararlı türler arasında gösterilen *Hypera variabilis* yonca alanları için ülkemizde kaydedilmiş önemli bir zararlıdır. Yonca hortumlu böceğinin ergin ve larvaları zararlıdır. En büyük zararı larvalar yapar. Bitkinin büyüyüp gelişmesini sağlayan tomurcuk ve sürgün uçlarını yedikleri için bitki gelişmesi yavaşlar. Hortumlu böceğin yoğun olarak görüldüğü alanlarda bitkiler aşırı zarar görüp kurur ve tarla boz, gümüşü bir renk alır. Kışı topraktaki yarık ve çatlaklarda ergin halde geçirir [9, 10]. Aydın ili yonca ekiliş alanlarında yapılan çalışmada yonca hortumlu böceğinin ekonomik öneme sahip olduğu belirlenmiştir [11]. Bu türün Adana ilindeki yoncalıklarda [12], Karadeniz Bölgesi’ndeki yem

bitkilerinde [13], Ege Bölgesi'ndeki baklagil yem bitkilerinde [14] ve Ankara ve Konya illerindeki yonca ve korungalarda [15] zarar yaptığı tespit edilmiştir. *H. variabilis*'in Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki tüm illerde bulunduğu, yine *H. variabilis*'in Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin illerindeki yonca alanlarında ciddi zararlara yol açtığı ve esas zararı mayıs ayı ortasından haziran ayı sonuna kadar yaptığı bildirilmiştir [10, 16]. Bu çalışmada özellikle Güroymak ve Tatvan ilçelerinde *H. variabilis*'in ciddi zarar yaptığı gözlenmiştir.

*Sitona* (Coleoptera: Curculionidae) cinsine ait türlerin erginleri bitkinin genç yapraklarını yiyerek, larvaları ise köklerde beslenerek zarara yol açmaktadır. Toprakta yaşayan larvalar köklerdeki nodoziteler, ana ve yan köklerin yumuşak dokuları ile beslenirler. Larvalar bu beslenmeleri sonucunda kök çürümelerine neden olurlar. İlk sene nodozitelerin zarar görmesi diğer senelerde elde edilecek yonca kalitesi ve veriminde ciddi düşümlere neden olmaktadır [17, 18]. Bu cinse bağlı türlere ülkemizdeki değişik yem bitkileri alanlarında rastlanmıştır [12, 13, 14, 16, 19, 20]. Bu çalışmada *Sitona* cinsine bağlı *Sitona concavirostris* Hochhuth, 1851 Bitlis genelinde görülmesine rağmen, ekonomik zarar yaratacak bir yoğunlukta olmadığı tespit edilmiştir.

*Eusomus ovulum* Germar, 1824 (Coleoptera: Curculionidae)'un polifag olduğu ve aralarında yoncanın da bulunduğu birçok bitkinin yapraklarını yiyerek zarara neden olduğu bildirilmiştir [21]. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan çalışmada *E. ovulum*'un yem bitkilerinin yapraklarını yemek suretiyle zararlı olduğu [19], *E. ovulum*'un Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki tüm illerde bulunduğu ve konukçuları arasında yonca ve korunganın da yer aldığı bildirilmiştir [16]. *E. ovulum* bu çalışmada Güroymak, Ahlat ve Adilcevaz ilçelerinde; aynı cinse bağlı *E. pulcher* ise Güroymak, Tatvan ve Adilcevaz ilçelerinde düşük yoğunlukta tespit edilmiştir.

*Gonioctena fornicata* (Brüggemann, 1873) (Coleoptera: Chrysomelidae)'nın (Yonca Yaprak Böceği) larva ve erginlerinin yaprak ve sapları kemirerek zarar yaptığı, ayrıca Orta Anadolu'daki yoncalarda ciddi zarara sebep olduğu tespit edilmiştir [22]. Ankara ve Konya illerinde yapılan çalışmalarda bu zararlının öneminden bahsedilmektedir [15]. Adana Balcalı'da yoncaya mart-haziran ayları arasında en büyük zararı bu türün verdiği belirtilmiştir [12].

*Dolycoris baccarum* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae)'un yoncanın da aralarında bulunduğu birçok bitkide zararlı olduğu bildirmiştir [23, 35]. Bu türün beslendiği bitkilerin normal olarak gelişemeyip çalmsı bir görünüm aldığını, tohum kapsüllerinde beslendikleri zaman tohumların içlerinin boşaldığı ve çimlenme güçlerini kaybettikleri, farklı zamanlarda yapılan çalışmalarda bu zararlının Ege Bölgesi'nde bulunduğu, ayrıca Adana ilindeki yonca alanlarında bu türün görüldüğü açıklanmıştır [12, 24, 25]. Bu tür Karadeniz Bölgesi'ndeki yem bitkilerinde ve Ege Bölgesi'ndeki baklagil yem bitkilerinde de tespit edilmiştir [13, 14].



*Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae)'un ülkemizde bütün bölgelerde değişik yoğunluklarda bulunduğu ve bu türün çok tehlikeli olan *Nematospora coryli* Pegl. isimli hastalık etmenini bitkilere bulaştırdığı bildirilmiştir [23]. Bu türün ergin ve nimflerinin aralarında yoncanın da bulunduğu 200 kadar yabancı ve kültür bitkisinin sap, yaprak, gövde ve tohum kapsüllerini sokup emmek suretiyle zarar yaptığı, beslenme esnasında bitkiye zararlı olan toksik bir madde salgıladığı, bu şekilde saldırıya uğrayan bitki dokularında gelişmenin durduğu veya yavaşladığı ve pörsümler meydana geldiği belirtilmiştir [24]. Adana'daki yonca alanlarında *N. viridula*'nın en yüksek ergin popülasyonunu haziran ayında gösterdiği tespit edilmiştir [12].

*Camptopus lateralis* (Germar, 1817) (Hemiptera: Alydidae) yonca dahil birçok bitkide zarar yapmakta, ergin ve nimfleri bitkilerin özellikle tohum kapsüllerinde beslenmekte ve bu şekilde zarar gören tohumların çimlenme güçleri azalmaktadır [23, 24, 26]. Bu tür Karadeniz Bölgesi'ndeki yem bitkilerinde, Ege Bölgesi'ndeki baklagil yem bitkilerinde ve Adana ilindeki yonca alanlarında tespit edilmiştir [12, 13, 14]. Çalışma sonucunda bütün survey alanlarında *C. lateralis* saptanmıştır.

*Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776) (Bezelye Aphidi) ve *Therioaphis trifolii* (Monell, 1882) (Benekli Yonca Aphidi) (Hemiptera: Aphididae) türlerinin beslendikleri bitkiler önce sarımsı daha sonra kahverengi bir hal almakta, salgıladıkları balımsı madde üzerinde sekonder fungusların gelişmesi sonucu fumajine neden olmaktadır [23, 27]. *T. trifolii*'nin başlıca konukçusunun yonca olduğu, yaşlı yoncalıkları zayıflattığı, yeni dikilenlerin ise çabucak kuruduğu, ayrıca birçok önemli virüs hastalığını bitkilere bulaştırdıkları bildirilmiştir [23, 34]. *T. trifolii* ve *A. pisum* türleri Karadeniz Bölgesi'ndeki yem bitkilerinde ve Ege Bölgesi'ndeki baklagil yem bitkilerinde saptanmıştır [13, 14]. Bu türlerin Adana, Ankara ve Konya illerindeki yonca ve korunga alanlarında fazla yoğun olmayacak miktarda bulunduğu belirtilmiştir [12, 15].

Ülkemizin hemen hemen her tarafında görülen *Philaenus spumarius* L. (Hemiptera: Cercopidae)'un nimfleri zararlı olup, bitkilerin sap, ince dal ve sürgünlerini sokup emmek suretiyle zayıflamalarına ve verim düşmelerine sebep olduğu ve kültür bitkilerinde özellikle otsu bitkilerde yaptığı emgi neticesinde bitkinin çarpık büyümesine neden olduğu, yoğun beslenme sonucu sürgünlerin rozet haline dönüştüğü ve birçok virüs hastalığını bitkilere bulaştırdığı belirtilmiştir [23, 24, 31].

Yem bitkileri alanlarında saptanan zararlıların yanı sıra bunlarla beslenen doğal düşmanlar da belirlenmiştir. Buna göre bu çalışmada 4 takıma bağlı 4 familyaya ait 12 tür saptanmıştır. Doğal düşmanların takımlara göre dağılımı incelendiğinde 7 tür ile Coleoptera takımının ilk sırada yer aldığı, onu sırasıyla 3 tür ile Diptera, 1 tür ile Hemiptera ve 1 tür ile Raphidioptera takımının izlediği görülmektedir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Araştırma alanındaki yem bitkileri üzerinde 2005–2006 yıllarında saptanan yararlı türler

Tür Adı	Yakalandığı Yer*						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>HEMIPTERA</b>							
<b>NABIDAE</b>							
<i>Nabis ferus</i> (Linnaeus, 1758)	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<b>COLEOPTERA</b>							
<b>COCCINELLIDAE</b>							
<i>Adonia variegata</i> (Goeze, 1777)	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Coccinella septempunctata</i> Linnaeus, 1758	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Coccinula quatuordecimpustulata</i> (Linnaeus, 1758)	Y	YK	Y		Y	Y	Y
<i>Propylaea quatuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)		Y	Y	Y	Y	Y	
<i>Scymnus flavicollis</i> Redtenbacher, 1843		YK	Y	Y	Y	Y	
<i>Scymnus rubromaculatus</i> (Goeze, 1778)	Y		Y	Y	Y		Y
<i>Scymnus frontalis</i> (Fabricius, 1787)	Y	YK	Y		Y	Y	Y
<b>DIPTERA</b>							
<b>SYRPHIDAE</b>							
<i>Eupeodes (=Metasyrphus) corollae</i> (Fabricius, 1794)	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Melanostoma mellinum</i> Linnaeus, 1758	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Sphaerophoria rueppellii</i> (Wiedemann, 1830)	Y	YK	Y	Y	Y	Y	Y
<b>RAPHIDIOPTERA</b>							
<b>RAPHIDIIDAE</b>							
<i>Raphidia ambigua</i> H. Aspöck&U. Aspöck,1964		Y					Y

Coccinellidae familyasındaki türlerin çoğu avcıdır. Larvalar ve erginler yaprakbiti, thrips, kırmızı örümcek ve koşnil gibi böceklerle beslenmeleri nedeniyle son yıllarda geniş çapta biyolojik mücadelede kullanılmaktadır [28, 29, 30, 31]. Çalışma sonucunda bütün bölgelerde saptanan *Coccinella septempunctata* L. çok önemli bir yaprakbiti avcısı olup, bahçe, tarla, orman, çayır ve mera alanlarındaki alçak ve yüksek boylu bitkiler üzerinde yoğun olarak görülmektedir [28]. Coccinellidae familyasına bağlı *Adonia variegata* (Goeze, 1777) polifag bir tür olup türün yonca ve korungalarda yoğun bir şekilde zarar yapan ve bu çalışmada da tespit edilen *Acyrtosiphon pisum*'un yanı sıra 20 civarında yaprakbiti ile beslendiği kaydedilmiştir [28, 29, 31, 33]. Çalışma sonucunda *C. septempunctata* en yüksek yoğunluğu göstermiştir. Bu türün en yoğun görüldüğü yerler Güroymak, Ahlat, Tatvan ve Adilcevaz ilçeleri olarak tespit edilmiştir. *C. septempunctata* dışındaki yoğun görülen türler *A. variegata* ve *Scymnus* cinsine bağlı türlerdir.

Nabidae familyasından *Nabis* cinsine ait türlerin çoğunluğu predatör olup kendilerinden boyca daha küçük, yumuşak vücutlu olan diğer böceklerle, özellikle yaprakbiti, cicadellid nimfleri, sinek, küçük kelebek larvaları ve bazı hemipter nimflerini avlayarak beslenmektedirler [23]. Bu cinse ait türlerin bazı durumlarda zararlı böcek popülasyonunu ciddi anlamda azalttığı, *Nabis ferus* L.'un Bitlis'te

bulunduğu ve bazı aphid türleriyle beslendiği açıklanmıştır [24, 29]. Çalışmada *N. ferus* tüm alanlarda görülmesine rağmen, en yüksek yoğunluğu haziran ayı boyunca Güroymak ve Tatvan (Nemrut Dağı Eteği) ilçesinde göstermiştir.

Bu çalışmada tespit edilen *Eupeodes* (= *Metasyrphus*) *corollae* (Fabricius, 1794), *Melanostoma mellinum* L. ve *Sphaerophoria rueppellii* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Syrphidae) türleri genellikle avcı olup başta yaprakbiti olmak üzere geniş bir konukçu kitlesi ile beslendikleri belirtilmiştir [29, 30, 32]. Syrphidae familyasına bağlı bu üç tür bütün çalışma alanlarında görülmüştür, ancak *E. corollae* türünün Güroymak ilçesi yoncalarındaki yoğunluğu dikkat çekmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada yonca hortumlu böceğinin (*H. variabilis*) başta Güroymak ve Tatvan ilçeleri olmak üzere Bitlis ilindeki yonca alanlarında önemli zararlara yol açtığı ve çalışma alanının tümünde ana zararlı olduğu tespit edilmiştir. İlaçlanmayan yem bitkileri tarlaları hem yararlı hem de zararlı türler için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Bu nedenle yonca hortumlu böceği ile mücadelenin ilaçlara alternatif yöntemlerle yapılması ve bu sayede diğer türler için mevcut olan dengenin ilaçlamalarla bozulmasına izin verilmemesi gerektiği kanaatine varılmıştır.

*Sitona* sp. Bitlis genelinde görülmesine rağmen, mevcut durumda ekonomik zarara neden olmayacağı değerlendirilmektedir. Ancak, özellikle kökte zarar yapması ve zararının çiftçiler tarafından kolaylıkla anlaşılabilmesi nedeniyle ileride zarar yapabilecek bu tür hakkında gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

*Camptopus lateralis* özellikle tohumlara zarar veren bir tür olduğundan tohumluk için bırakılan yonca alanlarında bu zararlıya karşı önlem alınmasında fayda olduğu kanaatine varılmıştır.

Bitlis ilinin tüm ilçelerinde saptanan *P. spumarius* virüs taşıması nedeniyle dikkatli olunması gereken türlerden biridir.

Çalışma sonucunda bütün sörvey alanlarında emgi neticesinde önemli zararlara neden olan ve çok tehlikeli virüs etmenlerini bitkilere bulaştıran Aphididae familyasına bağlı *T. trifolii* ve *A. pisum* türleri tespit edilmiştir. Bu türleri baskı altında tutan ve daha fazla çoğalıp zarar yapmalarını engelleyen Coccinellidae familyasına bağlı *C. septempunctata*, *A. variegata*, Syrphidae familyasına bağlı *M. corollae*, *M. mellinum*, *S. rueppellii* ve Nabidae familyasına bağlı *N. ferus* türlerine araştırma yapılan bütün alanlarda rastlanmıştır. Biyolojik mücadelede kilit rol oynayan bu türlerin ilaçlama çalışmaları sonucu etkinliklerinin azalacağı ve doğal dengenin korunmasının daha da zorlaşacağı göz ardı edilmemelidir.

## TEŞEKKÜR

Türlerin teşhisini yapan Prof. Dr. Nedim UYGUN, Prof. Dr. Ahmet Ömer KOÇAK, Prof. Dr. Hüseyin BAŞPINAR, Prof. Dr. Rüstem HAYAT, Prof. Dr. İrfan ARSLAN, Prof. Dr. Erol YILDIRIM, Prof. Dr. Ünal ZEYBEKOĞLU, Prof. Dr. Ahmet DURSUN, Prof. Dr. Levent GÜLTEKİN, Prof. Dr. Ali SATAR, Doç. Dr. Işıl ÖZDEMİR ve Dr. Semra TURGUT’a teşekkür ederiz.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

## YAZARLARIN KATKILARI

Hasan MARAL: Saha çalışmalarının yürütülmesi, verilerin teşhise hazır hale getirilmesi ve makalenin yazımı. Mehmet Salih ÖZGÖKÇE: Saha çalışmalarının yürütülmesi, verilerin teşhise hazır hale getirilmesi ve makalenin yazımı.

## KAYNAKLAR

- [1] Anonim, *Bitkisel Üretim Verileri* (2018). Erişim Tarihi: 26.06.2021. [Online]. <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf>.
- [2] Anonim, *TRB2 Bölgesi Bölge Planı 2014-2023*. Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Van, 284, 2014.
- [3] E. Bıçakçı, S. Açıkbaş, “Bitlis ilindeki kaba yem üretim potansiyelinin hayvan varlığına göre yeterliliğinin belirlenmesi” *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 180–185, 2018.
- [4] M. Aydemir, A. K. Serdar, C. Kaya, H. Dünder, *Doğu Anadolu Bölgesinde Korunga ve Yoncalarda Zararlı Olan Çadır Tırtılı (Cymbalophora pudica Esp.) Üzerinde Ön Çalışmalar*. Ziraî Mücadele Araştırma Yıllığı, Ankara, 1994.
- [5] L. Gültekin, Ş. Güçlü, “Erzurum ilinde korungada zarar yapan *Bembecia scopigera* (Scopoli)’nın biyoekolojisi üzerinde araştırmalar”, *Bitki Koruma Bülteni*, vol. 37, no. 3, pp. 101–110, 1996.
- [6] L. Gültekin, Ş. Güçlü, H. Özbek, “Erzurum’da yeni bir korunga zararlısı *Agapanthia erzurumensis* Önalp (Coleoptera, Cerambycidae)’in biyolojisi ve zararı”, *Türkiye 3. Entomoloji Kongresi, Bildiri Özetleri*, 24–28 Eylül 1996.

- [7] C. Gözüaçık, E. Atay, “A new pest: Rush veneer, *Nomophila noctuella* Denis & Schiffermüller, 1775 (Lepidoptera: Crambidae) on alfalfa (*Medicago sativa* L.) and its larval parasitoids in Iğdır province of Turkey”. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, vol. 6, no. 4, pp. 321–326, 2016.
- [8] E. Kaplan, A. Mart, D. Şenal, “A study on the family of Coccinellidae (Coleoptera) in Bingöl and Muş provinces”, *Bitki Koruma Bülteni*, vol. 59, no. 1, pp. 43-52, 2019.
- [9] N. Lodos, “Additional notes the Turkish Curculionidae (Coleoptera) (Brachyderinae)”, *Türkiye Bitki Koruma Dergisi*, vol. 1, no. 2, pp. 3–11, 1977.
- [10] L. Efil, “Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin illeri yonca alanlarında zararlı Yonca Hortumlu Böceği *Hypera variabilis* (Herbst, 1795) (Coleoptera: Curculionidae)’nin zarar durumu ve larva parazitoiti *Bathyplectes curculionis* (Thomson, 1887) ve parazitlenme oranları”, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 86–89, 2018.
- [11] T. Erol, M. Karagöz, “Aydın ili yonca ekiliş alanlarında görülen zararlı ve yararlı türler ile önemlilerinin populasyon değişimleri üzerinde araştırmalar”, *Türkiye 3. Entomoloji Kongresi, Bildiri Özetleri*, Ankara, 24- 28 Eylül 1996.
- [12] A. Anay, S. Kornoşor, “Çukurova koşullarında yonca (*Medicago sativa* L.)’da zararlı ve yararlı böcek faunası”, *Türkiye 4. Entomoloji Kongresi*, Aydın, 12–15 Eylül 2000.
- [13] N. Yılmaz, M. Aydemir, Z. Mutlu, *Karadeniz Bölgesi Yem Bitkilerinde Zararlı ve Faydalı Fauna Surveyi*. Ziraî Mücadele Araştırma Yıllığı, Tarım Orman ve Köyişleri Bak. Koruma Kont. Gen. Müd. Yayınları, Ankara, 1983.
- [14] Ş. Türkmen, P. Hıncal, *Ege Bölgesi Baklagil Yem Bitkilerinin Zararlı ve Yararlı Faunasının Saptanması Üzerine Çalışmalar*. Ziraî Mücadele Araştırma Yıllığı, Tarım Orman ve Köyişleri Bak. Koruma Kont. Gen. Müd. Yayınları, Ankara, 1984.
- [15] A. Tamer, M. Aydemir, A. Has, “Ankara ve Konya illerinde korunga ve yoncada görülen zararlı ve faydalı böcekler üzerinde faunistik çalışmalar”, *Bitki Koruma Bülteni*, vol. 37, no. 3, pp. 125–161, 1997.
- [16] H. Bolu, “Southeastern Anatolia region insect fauna I (Coleoptera II: Curculionoidea, Tenebrionoidea) of Turkey”, *Agriculture & Forestry*, vol. 67, no. 3, pp. 73–91, 2016.
- [17] N. Lodos, F. Önder, E. Pehlivan, R. Atalay, *Ege ve Marmara Bölgesinin Zararlı Böcek Faunasının Tespiti Üzerine Çalışmalar*. Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Ziraî Mücadele ve Ziraî Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 1978.
- [18] A. Arbab, M. R. McNeill, “Spatial distribution and sequential sampling plans for adult *Sitona humeralis* Stephens (Coleoptera: Curculionidae) in alfalfa”, *J. AsiaPacific Entomol.*, vol. 17, no. 3, pp. 515–519, 2014.

- [19] M. C. Bingöl, *Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Kültür Yem Bitkilerinde (Yonca: Medicago sativa L., Korunga: Onobrychis sativa Lam., Fiğ: Vicia sativa L.) Zarar Yapan Miridae ve Curculionidae Familyalarına Ait Böcek Türleri, Tanınmaları ve Zararlıları Üzerinde Araştırmalar*. Ziraî Mücadele Araştırma Enstitüsü Yayınları, Diyarbakır, 1978.
- [20] K. Kaya, "Hatay ili yonca üretim alanlarında bulunan böcek faunasının tespiti ve bazı türlerin popülasyon yoğunlukları", *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 6, no. 3, pp. 352–359, 2018.
- [21] S. U. Vicente, F.S. Cerezo, "Presencia de *Eusomus ovulum* Germar, 1823 en la Península Ibérica (Coleoptera: Curculionidae: Entiminae)", *Heteropterus Revista de Entomología*, vol. 18, no. 2, pp. 193–202, 2018.
- [22] F. S. Bodenheimer, *Türkiye'de Ziraate ve Ağaçlara Zararlı Olan Böcekler ve Bunlarla Savaş Hakkında Bir Etüt*. Ankara, Bayur Matbaası, 1958.
- [23] N. Lodos, *Türkiye Entomolojisi II (Genel, Uygulamalı ve Faunistik)*. İzmir, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, no. 429, 1989.
- [24] A. Demirsoy, *Yaşamın Temel Kuralları–Entomoloji (Omurgasızlar-Böcekler)*. Ankara: Meteksan Yayınları Cilt- II /Kısım- II, 1990.
- [25] S. Gül, *Böcek ve Genel Zararlılar Kataloğu*. Ankara, Ziraî Mücadele ve Ziraî Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları, Mesleki Kitaplar Serisi, 1972.
- [26] E. Pehlivan, *Türkiye Stenocephalidae, Rhopalidae ve Alydidae (Heteroptera: Coreidea) Faunası Üzerine Sistemik Araştırmalar*. İzmir, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, no. 410, 1981.
- [27] O. B. Kovancı, N. S. Gencer, B. Kovancı, C. H. Akgül, "Bursa ili çilek alanlarında bulunan homoptera türleri", *Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, vol. 10, no. 3, pp. 318-322, 2000.
- [28] N. Uygun, *Türkiye Coccinellidae (Coleoptera) Faunası Üzerinde Taksonomik Araştırmalar*. Adana, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, no.157, 1981.
- [29] F. Öncüer, *Türkiye Bitki Zararlısı Böceklerin Parazit ve Predatör Kataloğu*. İzmir, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, no. 505, 1991.
- [30] İ. A. Kansu, *Genel Entomoloji*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, no. 1176, 2000.
- [31] M. Kaplan, A. Yücel, "Elazığ ili çilek alanlarında belirlenen zararlı böcek ve akar türleri", *Meyve Bilimi Dergisi*, vol. 1, no. 2, pp. 7-14, 2014.

- [32] M. Kaplan, İ. Özgen, T. Ayaz, “Mardin ili zeytin bahçelerinde Zeytin Pamuklubiti [*Euphyllura straminea* Loginova (Hemiptera: Psyllidae)]’nin doğal düşmanları ve önemli türlerin popülasyon değişimi”, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, vol. 20, no. 3, pp. 175-182, 2016.
- [33] S. Ölmez, M. R. Ulusoy, “Diyarbakır ilinde Aphidoidea üst familyasına bağlı türlerin predatörlerinin saptanması”, *Türkiye 5. Biyolojik Mücadele Kongresi*, Erzurum, 4-7 Eylül 2002.
- [34] S. Ölmez Bayhan, M. R. Ulusoy, S. Toros, “Determination of Aphididae (Homoptera) fauna of Diyarbakir province of Turkey”, *Türkiye Entomoloji Dergisi*, vol. 27, no. 4, pp. 253-268, 2003.
- [35] M. Kaplan, “Malatya ili elma ağaçlarında zararlı ve yararlı türlerin belirlenmesi ve önemli bazı zararlıların doğada görülme zamanı”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 10, no. 4, pp. 2341-2352, 2020.

Copyright © 2021 Maral and Özgökçe. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## 2D Konvolüsyonun İşleminin Düşük Maliyetli IP Çekirdek Olarak FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi

### *FPGA Based Implementation of 2D Convolution Processing as a Low-Cost IP Core*

Mehmet Ali ÇAVUŞLU

*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gömülü Sistemler Laboratuvarı, 41380, Kocaeli, Türkiye*

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihi

*Alınış, 09 Nisan 2021*

*Revize, 18 Ekim 2021*

*Kabul, 14 Kasım 2021*

*Online Yayınlama, 06 Aralık 2021*

##### Anahtar Kelimeler

*FPGA, Görüntü İşleme, 2D Konvolüsyon*

#### ÖZ

Bu çalışma kapsamında görüntü işleme uygulamalarında sıklıkla tercih edilen iki boyutlu konvolüsyon işleminin düşük maliyetli IP çekirdek olarak FPGA tabanlı gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen IP çekirdek ile görüntü üzerinde yatay/dikey Sobel, yatay/dikey Prewitt, kaydır çıkart, alçak geçiren filtre, yüksek geçiren filtre ve Gauss filtre işlemleri kullanıcı tarafından ayarlanan parametre ile kolaylık gerçekleştirilebilmektedir. IP çekirdek platform bağımsız olarak tasarlanmıştır ve tüm FPGA üreticileri tarafından geliştirilen yazılımlarda sentezlenebilmektedir. IP çekirdeğine ait sentez sonuçları Xilinx firmasının Artix 7 100T FPGA'sı referans alınarak verilmiştir. Sentez sonuçları çalışma kapsamında geliştirilen iki boyutlu konvolüsyon IP çekirdeğinin düşük donanım maliyeti ile FPGA tabanlı gerçekleştirildiğini göstermiştir.

#### ARTICLE INFO

##### Article History

*Received, 09 April 2021*

*Revised, 18 October 2021*

*Accepted, 14 November 2021*

*Available Online, 06 December 2021*

##### Keywords

*FPGA, Image processing, 2D Convolution*

#### ABSTRACT

In this study, FPGA-based implementation of two-dimensional convolution process, which is frequently preferred in image processing applications, as a low-cost IP core is explained. With the IP core developed within the scope of the study, horizontal/vertical Sobel, horizontal/vertical Prewitt, slide-out, low pass filter, high pass filter, and Gaussian filter operations on the image can be realized easily with the parameter set by the user. The IP core platform is designed independently and can be synthesized in software developed by all FPGA manufacturers. Synthesis results of the IP core are given by taking Artix 7 100T FPGA of Xilinx as a reference. The results of the synthesis showed that the two-dimensional convolution IP core developed within the scope of the study was realized FPGA-based with low hardware cost.



## 1. GİRİŞ

Yarı iletken teknolojilerindeki gelişmelerin son zamanlarda hız kazanması ile yüksek işlem yükü gerektiren görüntü işleme ve video işleme gibi uygulamaların tek bir donanım üzerinde gerçekleştirilmesi mümkün hale gelmiştir. Birçok alanda uygulanan tek bir donanım üzerinde gerçekleştirilen uygulamalara örnek olarak yüz tanıma, plaka tanıma, araç içerisinde sürücü yorgunluğu verilebilir [1-6].

Günümüzde kamera, fotoğraf makinası gibi görüntü algılayan sistemlerde kullanılan lens teknolojilerindeki gelişmeler ile yüksek çözünürlüklü görüntüler alınabilmektedir. Sistem tarafından alınan görüntünün çözünürlüğü ile analizleri için gerekli işlem yükü doğru orantılı olarak değişmektedir.

Literatürde geleneksel işlemci üzerinde gerçek zamanlı görüntü işleme uygulamalarının gerçekleştirilmesine yönelik birçok çalışma sunulmuştur. Geleneksel işlemciler üzerinde uygulamalar yazılımsal olarak seri mimari ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle hızlı bir şekilde çıktı üretmesi beklenen uygulamaların geleneksel işlemciler ile gerçekleştirilmesi zor problemlerden biri olmaktadır.

Son zamanlarda yoğun işlem yükü gerektiren uygulamalarda paralel veri işlem yapabilme ve veri akışı (pipelining) özelliklerini donanım mimarisine aktarabilen FPGA'lar, yoğun işlem yüküne sahip ve kısa süre içerisinde çıktı üretmesi beklenen uygulamaların gerçekleştirildiği platform haline gelmiştir [7,8].

Yoğun işlem yükü gerektiren uygulamaların başında gelen görüntü işleme uygulamalarında da literatürde FPGA sıklıkla tercih edilen platformlarından biridir [7,8]. Çalışma [1]'de, plaka tanıma sistemi FPGA üzerinde SoC uygulaması ile gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında görüntü işlemede kullanılan yatay/dikey maskeleyme ve ikili imge dönüşümü algoritmaları kullanılmıştır. Çalışma [3]'te, sürücülerde gözlerin kapalı olma durumu algılanarak yorgunluk takibi işlemleri FPGA tabanlı gerçekleştirilmiştir. Gerçeklemede gri tonlama projeksiyonu, kenar bulma (Prewitt operatörü kullanarak) gibi görüntü işleme algoritmalarını kullanmışlardır. Çalışma [5]'te, gerçek zamanlı kenar bulma algoritmalarını FPGA tabanlı gerçekleştirilmiştir. Çalışma [8]'de imge üzerinde kenar tespiti işlemleri FPGA tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yerel ve küresel eşik (LGT, Local and Global Threshold) ve mutlak mesafe maskesi algoritmaları kenar tespiti için kullanılmıştır. Çalışma [9]'da FPGA üzerinde plaka tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan gri imgeye dönüştürme, morfolojik işlemler ve arka plan çıkarma yöntemleri donanıma aktarılmıştır. Çalışma [10]'da plaka yeri bulma işlemlerinin FPGA'da donanımsal gerçekleştirilmesi aşamasında Sobel parametreleri kullanarak kenara tespiti, ikili imgeye dönüştürme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma [11]'de yine plaka yeri bulma işlemi FPGA tabanlı gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme algoritmaları

olarak filtreleme, yatay/dikey kenar bulma ve ikili imgeye dönüştürme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma [12]'de ortanca filtre, genişletilmiş sıralama modülü, yumuşatma filtresi, Sobel parametreleri ile kenar bulma, hareket bulanıklığı yöntemleri FPGA tabanlı gerçekleştirilmiştir. Çalışma [13]'te FPGA tabanlı gerçekleştirilen yüz tanıma işlemlerinde FFT ve renk uzay dönüşümü işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma [14]'te ortanca filtre, hızlı ortanca filtre yöntemleri görüntü işleme uygulamasında FPGA tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma [15]'te görüntü işleme yöntemlerinden skaler toplama, Prewitt ve Canny yöntemleri kullanarak kenar bulma, dalgalık dönüşümünü FPGA tabanlı gerçeklemiştir. Çalışma [16]'da 3 farklı yöntem kullanılarak iki boyutlu konvolüsyon işlemini FPGA üzerinde donanımsal gerçeklemiştir. Çalışma [17]'de gauss filtre ve kenar bulma işlemlerini farklı çözünürlükteki görüntü üzerinde, [18]'de ortanca filtre ve hızlı ortanca filtre FPGA tabanlı gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada yukarıda sunulan literatür çalışmalarının veya benzer çalışmaların FPGA tabanlı gerçekleştirilebilmesini kolaylaştırmak amacıyla iki boyutlu konvolüsyon işlemi, kullanıcı tarafından seçilebilen yönteme göre gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında aşağıda listelenen yöntemleri tek bir çatı altında toplanmış, genelleştirilmiş mimari anlayışı ile IP çekirdeği olarak tasarlanmış, platform bağımsız, düşük maliyetli olarak FPGA tabanlı gerçeklemiştir.

- Yatay/dikey Sobel,
- Yatay/dikey Prewitt,
- Kaydır çıkart,
- Alçak geçiren filtre,
- Yüksek geçiren filtre,
- Gauss filtre

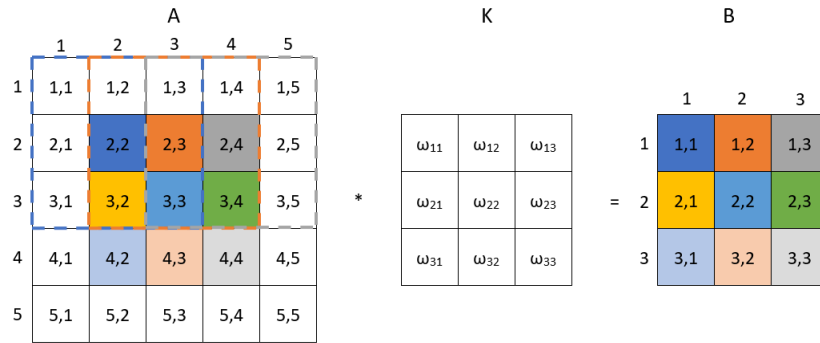
## 2. İKİ BOYUTLU KONVOLÜSYON İŞLEMİ

Sinyal işleme uygulamalarında olduğu gibi görüntü işleme uygulamalarında da sıklıkla kullanılan konvolüsyon işlemi giriş imgesinin tabii tutulacağı yönteme ait parametrelerle gerçekleştirilir. Görüntü üzerinde konvolüsyon, işlem yapılacak pikselin komşuluğunda bulunan piksel değerleri ile gerçekleştirilmektedir. Denklem (1)'de iki boyutlu konvolüsyon işlemi gösterilmiştir. Denklem (1)'de A giriş imgesini, K konvolüsyon kernelini ve B konvolüsyon işlemi sonucundaki imgeyi göstermektedir. x ve y giriş imgesinde işlem uygulanacak pikselin satır ve sütun indislerini, i ve j işlem yapılan kernelin satır ve sütun indislerini göstermektedir. M ve N ise kernel uzunluğunun satır ve sütun değerlerini göstermektedir.

$$B(x, y) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N K(i, j) A(x-i+M-1, y-j+N-1) \quad (1)$$

Konvolüsyon işlemleri imgeye iki şekilde uygulanmaktadır. Birinci uygulamada, Denklem 1'den de görüleceği üzere komşuluk ilişkilerinden dolayı ilk ve son satırlarda/sütunlarda bulunan piksel değerleri için bu işlemleri gerçekleştirememekteyiz.

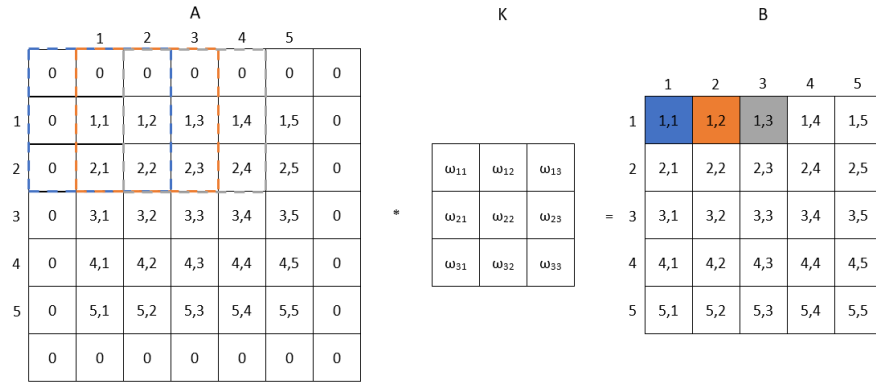
Örneğin X satırlı, Y sütunlu imge üzerinde 3x3'lük bir kernel ile gerçekleştirilecek konvolüsyon ile, (1,1)'den (1, Y)'e, (X,1)'den - (X, Y)' e, (1,1)' den - (X,1)'e ve (1,Y)'den - (X,Y)'e kadar olan pikseller için işlemler gerçekleştirilemeyecektir. Konvolüsyon işlemleri sonucunda elde edilecek imgenin boyutlarında azalma meydana gelecektir. Şekil 1'den de görüleceği üzere 3x3'lük bir kernel 5x5'lik imge üzerine uygulandığında çıkışta 3x3'lük imge elde edilmektedir. İmge satır ve sütun boyutunda azalma kernel boyutuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.



Şekil 1. Konvolüsyon Uygulama Yöntemi - 1

İkinci uygulamada ise X satırlı, Y sütunlu imge üzerinde 3x3'lük bir kernel ile gerçekleştirilecek konvolüsyon için giriş imgesinin boyutlar X+2 ve Y+2 olacak şekilde yatay ve dikey kenarlara 0 eklenmektedir. Böylece giriş imgesi üzerinde (1,1)'den (1, Y)'e, (X,1)'den - (X, Y)' e, (1,1)'den - (X,1)'e ve (1,Y)'den - (X,Y)'e kadar olan pikseller içinde işlemleri gerçekleştirmekte ve çıkış imgesinin boyutu değişmemektedir. Şekil 2'den de görüleceği üzere 5x5'lik giriş imgesi 0 eklemeleri yapılarak boyutu 7x7'e çıkmıştır. Yeni imge üzerine 3x3'lük bir kernel uygulandığında çıkışta 5x5'lik imge edilmektedir. Giriş imgesine eklenecek satır ve sütun değerleri kernel boyutuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

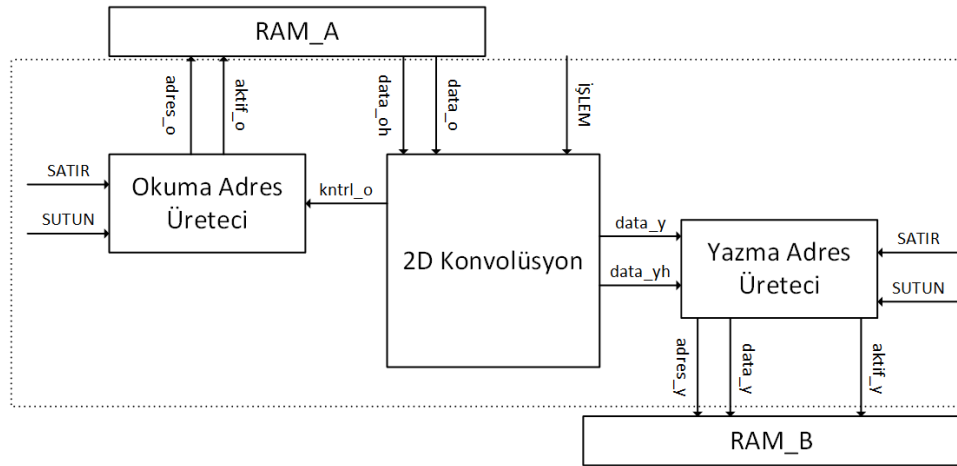
Bu çalışma kapsamında geliştirilen IP çekirdeği 1. yönteme uygun olarak tasarlanmıştır.



Şekil 2. Konvolüsyon Uygulama Yöntemi - 2

### 3. IP ÇEKİRDEĞİN FPGA TABANLI GERÇEKLEMESİ

Şekil 3'te çalışma kapsamında gerçekleştirilen 2D konvolüsyon IP çekirdeğinin çalışma akışı gösterilmiştir. IP tasarımı 3 bloktan meydana gelmektedir. **Okuma Adres Üretici** ve **Yazma Adres Üretici** bloğu kullanıcı tarafından jenerik parametre olan imgenin satır ve sütun sayısının tanımlandığı **SATIR** ve **SUTUN** parametrelerini referans alarak parametre üretmektedir. Bu bloklar **2D Konvolüsyon** tarafından aktif edildikten sonra hafıza biriminden okunacak/yazılacak veri ile ilgili adres değerini üretir.



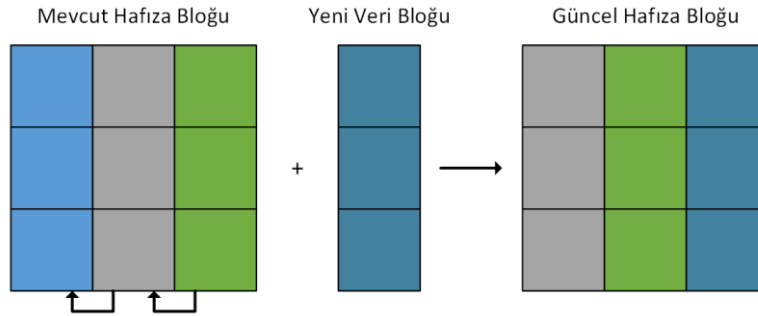
Şekil 3. Konvolüsyon IP Tasarımı Blok Şeması

Konvolüsyon işlemlerinde her bir piksel değerinin hesaplanması için kernel boyut kadar piksel değerinin hafıza biriminden okunması gerekmektedir. Örneğin 3x3'lük bir kernel için toplam 9 piksel değerinin hafızadan okunması gerekmektedir. Yan yana bulunan iki piksel değeri için okunması gereken 6 adet piksel değeri aynı olmaktadır. Bu doğrultuda tekrar okuma yapmamak amacı ile çalışmada Okuma Adres Üretici birimi sadece aynı sütunda 3 piksel değeri okuyacak şekilde tasarlanmıştır. **2D**

**Konvolüsyon** işlem bloğunda konvolüsyon işleminde kullanılacak verilerin saklandığı hafıza bloğu kernel boyutu ile eşlenik olarak kaydırmalı saklayıcı şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 4).

Şekil 4'ten de görüleceği üzere okunan güncel verilerin hafıza bloğuna yazılma işlemlerinde blokta bulunan veriler sütunda kaydırılmakta ve en sağdaki sütun verileri bloktan çıkarılmaktadır. Güncel veriler ise hafıza bloğunun en solundaki sütuna yazılarak hafıza bloğu güncellenmektedir. Hafıza bloklarından okunacak verilerin uzunlukları piksel değerlerinin kaç bit ifade edileceğine bağlı olarak kullanıcı tarafından tanımlanacak **VERI\_UZUNLUGU** parametresi ile belirlenmektedir.

Adres üretici bloklar tarafından gerçekleştirilecek işlemlerde imge piksel değerlerinin kaç bit ile ifade edeceğine göre adresler oluşturulmaktadır. İmgelerin saklanacağı hafıza birimlerinde her bir adres değerinde 8 bitlik (1 Byte) veri saklanabilmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen IP ile piksel değerlerinin saklanacağı Byte değerleri Denklem (2)'deki gibi hesaplanmaktadır. Denklem (2)'de **Q** piksel değeri için hafıza biriminde kaç Byte'lık alan ayrılması gerektiğini göstermektedir. Örneğin 3,6 ve 8 bit uzunluğu için **Q** 1 Byte, 9, 13 ve 16 bit uzunluğu için **Q** 2 Byte olmaktadır.



Şekil 4. Hafıza Bloğuna Verilerin Yerleştirilme İşlemleri

$$Q = \text{ceil}(\log_8 \text{VERI\_UZUNLUGU}) \quad (2)$$

Okuma ve yazma işlemlerinde adres üretim işlemleri Denklem (3) ve Denklem (4)'deki gibi gerçekleştirilmektedir. Denklem (3)'de **adres\_o** ve **adres\_y** sırası ile okunacak ve yazılacak adres değerlerini göstermektedir. **ni** satırda indisini, **nj** sütun indisini göstermektedir. **SUTUN** parametresi ise kullanıcı tarafından imge sütun sayısını göstermektedir.

$$\text{adres\_o} = Q(ni * \text{SUTUN} + nj) \quad (3)$$

$$\text{adres\_y} = Q(ni * (\text{SUTUN} - 2) + nj) \quad (4)$$

**2D Konvolüsyon** işlem bloğu ile kullanıcı tarafından **ISLEM** parametresi ile belirlenebilecek kerneller Tablo 1'de listelenmiştir. Tablo 1'den de görüleceği üzere 8 farklı yömeme uygun olarak

işlemler gerçekleştirilebilecektir. Çıkış değerlerinin yazma birime aktarılması sırasında sadece Gauss kerneli sonucu 16'ya bölünmektedir. Tablo 1'de gösterilen kerneller geliştirilebilmektedir.

Kernel tanımlamaları için oluşturulan tip tanımlamaları ve kernel değerlerinin sabit olarak tanımlamaları Şekil 5'te gösterilmiştir.

```
type K_SUTUN is array (0 to 2) of integer;
type K_MATRIS is array (0 to 2) of K_SUTUN;

type KERNEL array (0 to 7) of K_MATRIS;
constant c_KERNEL : KERNEL;
```

Şekil 5. Kernel Tip Tanımlamaları

Kullanıcı tarafından ayarlanabilecek parametreler oluşturulan IP blok tasarımında varlık tanımlamalarına eklenmiştir ve Şekil 6'da *generic* tanımlama içerisinde gösterilmiştir. ISLEM parametresi geliştirilen uygulamada 8 adet kernel olduğu için maksimum 8 değer alacak şekilde tasarlanmıştır. Kernel sayısının artırılması durumunda bu aralığın güncellenmesi yeterli olacaktır.

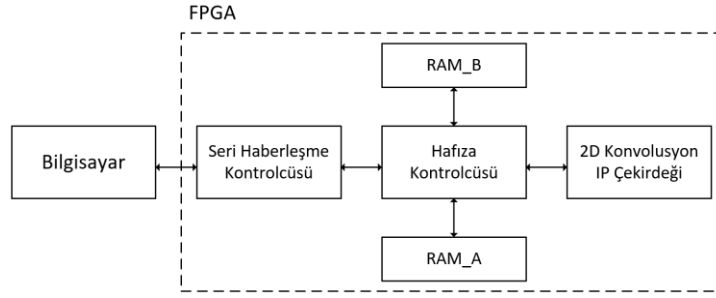
Tablo 1. ISLEM parametresi ile gerçekleştirilen kerneller

İşlem	Kernel			İşlem	Kernel		
Yatay Sobel	1	2	1	Kaydır Çıkart	0	0	0
	0	0	0		0	1	0
	-1	-2	-1		0	0	-1
Dikey Sobel	1	0	-1	Alçak Geçiren Filtre	0	1	0
	2	0	-2		1	0	1
	1	0	-1		0	1	0
Yatay Prewitt	1	1	1	Yüksek Geçiren Filtre	-1	-1	-1
	0	0	0		-1	8	-1
	-1	-1	-1		-1	-1	-1
Dikey Prewitt	1	0	-1	Gauss	1	2	1
	1	0	-1		2	4	2
	1	0	-1		1	2	1

```
generic (
  SATIR : integer;
  SUTUN : integer;
  ISLEM : std_logic_vector(2 downto 0);
  VERI_UZUNLUGU : integer );
```

Şekil 6. IP Tasarımına ait generic yapısı

Şekil 7'de çalışma kapsamında geliştirilen IP çekirdeğin FPGA tabanlı gerçekleştirilen testlerini tanımlayan blok şema gösterilmiştir. Testlerin ilk adımında kullanılacak imgeye ait piksel değerleri 1 Byte veri olarak MATLAB programı ile okunduktan sonra yine aynı program vasıtası ile seri haberleşme üzerinden FPGA'ya aktarılmaktadır.



Şekil 7. IP bloğunun FPGA tabanlı gerçekleştirilen testlerine ait blok şema

İmgeye ait tüm piksel değerleri FPGA üzerinde **Seri Haberleşme Kontrolcüsü** birimi ile alındıktan sonra **Hafıza Kontrolcüsü** birimine aktarılmaktadır. **Hafıza Kontrolcüsü** birimi ile alınan tüm piksel değerleri hafıza bloğuna (Blok RAM) yazılmaktadır.

Hafıza bloğuna yazma işlemleri tamamlandıktan sonra konvolüsyon işlemi başlatılmak üzere IP çekirdeğe başla komutu iletilir. IP çekirdek imge üzerinde işlem yapacağı piksellere ait adres değerlerini üretmek **Hafıza Kontrolcüsü**'ne iletir. **Hafıza Kontrolcüsü** adrese ait piksel değerini IP bloğuna iletir ve IP çekirdek tarafından konvolüsyon işlemi sonucunda elde edilen piksel değeri üretilir. Bu değer **Hafıza Kontrolcüsü** vasıtası ile IP çekirdek tarafından üretilen hafıza adresine yazılmaktadır. Tüm piksel değerleri için bu işlemler tekrarlandıktan sonra **Seri Haberleşme Kontrolcüsü** ile konvolüsyon işlemi sonucunda elde edilen imge bilgisayara aktarılarak dosyaya yazılmaktadır. Dosyada bulunan imge bilgileri MATLAB programı ile görselleştirilmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen IP bloğun Şekil 7'de verilen akışa göre FPGA tabanlı gerçekleştirilmesi ile elde edilen sonuçlar Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8a'da orijinal imge, Şekil 8b'de yatay Sobel kerneli uygulanarak elde edilen yeni imge, Şekil 8c'de dikey Sobel kerneli uygulanarak elde edilen yeni imge, Şekil 8d'de yatay Prewitt kerneli uygulanarak elde edilen yeni imge, Şekil 8e'de dikey Prewitt kerneli uygulanarak elde edilen yeni imge, Şekil 8f'de kaydır çıkart kerneli uygulanarak elde edilen yeni imge, Şekil 8g'de alçak geçiren filtre kerneli uygulanarak elde edilen yeni imge, Şekil 8h'de yüksek geçiren filtre kerneli uygulanarak elde edilen yeni imge ve Şekil 8i'de Gauss kerneli uygulanarak elde edilen yeni imge gösterilmiştir.

IP bloğu kullanarak FPGA üzerinde ve MATLAB 2020b programı ile 512x512 boyutunda imge üzerinde Sobel filtresinin uygulanması için gerekli işlem sürelerinin karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir. IP bloğunun işlem süresi 100 MHz'lik saat darbesi frekansı ile hesaplanmıştır. MATLAB kodları ise Windows 10 işletim sistemine sahip, i7 işlemcili, 16 GB RAM'li ve 250 GB SSD harddiske sahip bilgisayar üzerinde koşturulmuştur. MATLAB işlem süresi 100 koşumun ortalaması olarak verilmiştir. Tablo 2'den de görüleceği üzere FPGA tabanlı gerçekleştirilen MATLAB'a göre daha düşük sürede işlemleri gerçekleştirmiştir.



**Şekil 8.** 2D Konvolüsyon IP bloğunun imge üzerine uygulanması (a) Orijinal imge, (b)Yatay Sobel, (c)Dikey Sobel, (d) Yatay Prewit, (e) Dikey Prewit, (f)Kaydır ve Çıkart, (g) Alçak Geçiren, (h) Yüksek Geçiren, (i) Gauss

**Tablo 2.** Gerçekleştirilen IP Bloğunun İşlem Süresinin Karşılaştırılması

<i>Platform</i>	<i>Süre (ms)</i>
FPGA	13.005
MATLAB	48.145

Geliştirilen 2D konvolüsyon IP bloğunun Xilinx firmasına ait Artix 7 100T FPGA'sı referans alınarak elde edilen sentez sonuçları Tablo 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** FPGA Kaynak Kullanımı

<i>Kaynak</i>	<i>Kullanılan</i>	<i>Mevcut</i>	<i>Oran (%)</i>
LUT	427	63400	0.67
FF	90	126800	0.2
BUFG	1	32	3.13



#### 4. SONUÇLAR

FPGA tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi yazılım uygulamalarına göre daha fazla zaman ve kullanıcı tarafından donanım tanımlama dili bilmesi zorunluluğu gerektirmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanıcı tarafından değişikliklerin hızlı yapılabilmesi ve donanım tanımlama dili hakimiyeti olmadan işlemlerini gerçekleştirilebileceği 2D Konvolüsyon IP çekirdeği tasarımı gerçekleştirilmiştir. Jenerik mimari olarak çalışma kapsamında geliştirilen 2D Konvolüsyon IP çekirdeği, kullanıcı tarafından belirlenen parametreler ile hızlıca güncellenerek tasarlanacak sisteme uyarlanabilir hale gelebilmektedir. Böylelikle sistemde değişiklikler hızlıca yapılabilmektedir ve farklı sistemlere kolaylıkla uyumlandırılabilir. Tablo 2’de verilen işlem süreleri referans alındığında geliştirilen IP bloğunun MATLAB’a göre daha kısa sürede işlemleri tamamladığı görülmektedir. IP bloğunun işlem süresi daha yüksek saat darbesi frekansında ve boru hattı (pipeline) mimari tasarımı eklenmesi ile daha da azaltılabilecektir. Tablo 3’de verilen sentez sonuçlarından da görüleceği üzere, gerçekleştirilen IP düşük donanım tüketimine sahiptir. Böylelikle IP kısıtlı donanım kaynaklarında da rahatlıkla kullanılabilir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] N. Bellas, S. M. Chai, M. Dwyer and D. Linzmeier, “FPGA implementation of a license plate recognition SoC using automatically generated streaming accelerators”, 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2006
- [2] F. Smach, M. Atri, J. Mitéran and M. Abid, “Design of a Neural Networks Classifier for Face Detection”, *Journal of Computer Science*, vol. 2, no. 3, pp. 257-260, 2006.
- [3] F. Wang and H. Qin, “A FPGA based driver drowsiness detecting system”, IEEE International Conference Vehicular Electronics and Safety, 2005.
- [4] K. Appiah and A. Hunter, “A single-chip FPGA implementation of real-time adaptive background model”, IEEE International Conference Field-Programmable Technology Proceedings 2005.
- [5] P. Y., Hsiao, L.T. Li, C. H. Chen, S. W. Chen and S.J. Chen, “An FPGA architecture design of parameter-adaptive real-time image processing system for edge detection”, Emerging Information Technology Conference 2005.
- [6] K. Ratnayake and A. Amer, “An FPGA-Based Implementation of Spatio-Temporal Object Segmentation”, IEEE International Conference Image Processing, 2006.
- [7] G. Wall, F. Iqbal, X. Liu and S. Foo, “A Fast FPGA Implementation of a Unique Multi-level Tree-based Image Classifier”, Florida A&M University - Florida State University.

- [8] P. Y. Hsiao, L. T. Li, C. H. Chen, S. W. Chen and S. J. Chen, “An FPGA architecture design of parameter-adaptive real-time image processing system for edge detection”, Emerging Information Technology Conference.
- [9] Y. H. Tan, Y. Xin and X. J. Zhai, “A FPGA-Based Method for License Plate Localization”, International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering, 2015.
- [10] M. A. Çavuşlu, K. Karakaya, and H. Altun, “ÇKA Tipi Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Plaka Yeri Tespitinin FPGA’da Donanımsal Gerçeklenmesi”, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamalar Sempozyumu, 2008.
- [11] S. Chhabra, H. Jain, and S. Saini, “FPGA based hardware implementation of automatic vehicle license plate detection system”. International Conference Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2016
- [12] M. I. AlAli, K. M. Mhaidat, and I. A. Aljarrah, “Implementing image processing algorithms in FPGA hardware”, IEEE Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), 2013.
- [13] R. K. Mondol, M. I. Khan, A. M. Hye, and A. Hassan, “Hardware architecture design of face recognition system based on FPGA”. IEEE International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 2015.
- [14] R. Lu, X. Liu, X. Wang, J. Pan, K. Sun and H. Waynes, “The Design of FPGA-based Digital Image Processing System and Research on Algorithms”, *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, vol. 10, no. 2, pp. 41-54, 2017
- [15] B. A. Draper, J. R. Beveridge, A. W. Bohm, C. Ross, and M. Chawathe, “Accelerated image processing on FPGAs”, *IEEE transactions on Image Processing*, vol. 12, no.12, pp. 1543-1551, 2003.
- [16] F. Cardells-Tormo and P. L. Molinet, “Area-efficient 2-D shift-variant convolvers for FPGA-based digital image processing”, IEEE Signal Processing Systems Design and Implementation, 2005.
- [17] J. A. Kalomiros and J. Lygouras, “Design and evaluation of a hardware/software FPGA-based system for fast image processing”, *Microprocessors and Microsystems*, vol. 32, no. 2, pp. 95-106, 2008.
- [18] S. A. Fahmy, P. Y. Cheung, and W. Luk “Novel FPGA-based implementation of median and weighted median filters for image processing”. International Conference on Programmable Logic and Applications, 2005



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Diyarbakır Parlı (Safa) Medresesi'nin Mekânsal Analizi ve Restorasyon Sonrası Değerlendirmesi

*Spatial Analysis and Post Restoration Evaluation of Diyarbakır Parlı (Safa) Madrasa*

Nurtekin ÖZEN

*Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye*

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale Tarihi

*Alınış, 15 Temmuz 2021*

*Revize, 19 Aralık 2021*

*Kabul, 20 Aralık 2021*

*Online Yayınlama, 22 Aralık 2021*

#### Anahtar Kelimeler

*Eğitim yapıları, Mekânsal analiz, Diyarbakır, Medrese, Yeniden işlevlendirme, Proje değerlendirme*

### ÖZ

Eğitim, insanlıkla birlikte başlayan dinamik bir süreçtir. Eğitim programlarının zenginliği, eğitimin verildiği ortamlarla değer kazanmaktadır. Nitelikli bir eğitim ise sağlıklı mekân tasarımı ile sağlanabilir. Tasarım sürecinde önceki örneklerden faydalanmak yeni tasarımlarda daha isabetli kararların alınmasına olanak sunabilir. Günümüz eğitim yapılarının ilk örnekleri olan medreseler, Dünya medeniyet tarihinde sistematik olarak eğitim-öğretimin ilk verildiği mekânlardır. Bu çalışmada, kültür ve medeniyet tarihimizde önemli bir yer tutan, günümüze ulaşabilmiş geleneksel eğitim kurumlarından Diyarbakır Suriçi bölgesinde bulunan Parlı (Safa) Medresesi değerlendirilmiş, medresenin mekânsal oluşumu ve kurgusu; kurgunun oluşmasını etkileyen teknik gereksinimler, topoğrafya, coğrafi konum, malzeme ve ulaşım gibi özellikleri incelenerek kayıt altına alınmıştır. Günümüzde tarihi yapılar, birçok farklı nedenlerle tahrip olmakta, terk edilmekte veya yıkılabilmektedir. Yapının sürdürülebilirliği, yapının durumu, niteliği ve toplumun beklentileri belirlendikten sonra işlev verilmesi ile daha mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, insanlığın ortak kültürel değeri olan tarihi yapıların ve özel olarak Parlı Medresesi'nin yaşatılarak korunması ve yapının uygun bir işlevle sürdürülmesi hedeflenmektedir.

### ARTICLE INFO

#### Article History

*Received, 15 July 2021*

*Revised, 19 December 2021*

*Accepted, 20 December 2021*

*Available Online, 22 December 2021*

#### Keywords

*Educational structures, Spatial analysis, Diyarbakır, Madrasa, Refunctioning, Project evaluation*

### ABSTRACT

Education is a dynamic process that begins with humanity. The richness of educational programs gains value with the environment in which education is given. A qualified education can be provided with healthy space design. Taking advantage of previous examples in the design process may allow more accurate decisions to be made in new designs. Madrasahs, which are the first examples of today's educational structures, are the first places in the history of world civilization where education is systematically given. In this study, the Parlı (Safa) Madrasa in Diyarbakır Suriçi region, one of the traditional educational institutions that has an important place in our history of culture and civilization, was evaluated and the spatial formation and fiction of the madrasa; technical requirements affecting the formation of fiction, topography, geographical location, material and transportation are

examined and recorded. Today, historical buildings can be destroyed, abandoned or demolished for many different reasons. It is more possible to give function after determining the sustainability of the structure, the condition, nature and expectations of the society. In this study, it is aimed to preserve the historical buildings that are the common cultural value of humanity and the Parli Madrasa in particular by keeping them alive and to maintain the structure with an appropriate function.

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın varlık tarihinin ilk dönemlerinden günümüze kadar edinilmiş tecrübelerin sonraki nesillere iletilmesi insanlığın temel yaşamsal ihtiyaçlarından biri olarak görülmüştür. Tecrübenin sistematik bir düzen içerisinde kayıt altına alınarak aktarılması olarak tanımlayabileceğimiz eğitim tarihi çok eski dönemlere kadar gidebilmektedir. Eğitimin belirli bir sistematik içerisinde aktarılması ihtiyacı süreç içerisinde eğitim yapılarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Eğitim yapıları tarih boyunca bilginin aktarıldığı önemli yapılardır. Tüm yapılarda olduğu gibi eğitim yapılarında da kullanıcı gereksinimi, mekânsal oluşumda belirleyici bir rol oynamaktadır. Ayrıca coğrafi konum, topoğrafya ve teknik yeterlik vb. faktörler de mekânsal oluşumdaki diğer belirleyicilerdir. Günümüzde değişen eğitim sistemi ve yeni yapı teknolojileri nedeni ile geleneksel eğitim yapıları büyük nispette önemlerini kaybetmekte, terkedilmekte veya özgün işlevleri dışında değerlendirilmektedir. Bir başka açıdan, son yıllarda toplumda yaşanan sosyo-kültürel değişim sonucunda kent merkezlerinde bulunan tarihi yapılar, restorasyon sonrasında âtil kalmakta veya verilen yeni işlevden olumsuz etkilenebilmektedirler.

Geleneksel medrese yapıları arasında günümüze ulaşabilmiş bir örnek olan Parli Medresesi 450 yıllık geçmişi ve özgün mekânsal kurgusu ile klasik medrese tipolojisinin dışına çıkan önemli bir örnek olarak öne çıkmaktadır. Restorasyon sonrası yapının kendi kimliğini zedelemeyen yeni bir işlev önerisi korumanın tamamlanmasını sağlayacaktır. Korunması istenen binaların kurtarılması için tek ekonomik yolun yeniden kullanım olduğunu belirten Ahunbay, dış görünümü bozmadan, iç düzenlemede ise daha esnek uygulamalara gidilmesine izin verilebileceğini ifade etmiştir [1].

Tarihi yapılar, doğal afetler veya insanlar tarafından her geçen gün zarar görmektedir. Restorasyonu tamamlanan ancak özgün dokuya uygun olmayan veya bilinçsizce verilen işlevler yapıyı olumsuz etkileyecektir. Yapının sürdürülebilirliği, yapının durumu, niteliği ve toplumun beklentileri belirlendikten sonra işlev verilmesi ile mümkündür. Geleneksel yapılar geçmişi ve bugünü ilişkilendirebileceğimiz, toplumun tarihsel gelişimini takip edebileceğimiz, kültürel etkileşimlerin yaşandığı mekanlara dönüştürüldüğü takdirde; doğru tasarlanmış bir restorasyon ve işlevlendirme uygulamasından bahsetmek mümkün olacaktır [2].

Bu çalışma, Parlı Medresesinin mekânsal oluşumu ve kurgusunu; kurgunun oluşmasını etkileyen teknik gereksinimlerini, coğrafi konumu, topoğrafyası, ulaşımı ve malzemesi gibi kriterler ile kayıt edilmesi hedeflenmektedir. Elde edilen bu kayıtların benzer yapı stoklarında yapılacak çalışmalara da kılavuzluk yapması hedeflenmektedir.

## 2. TARİHSEL SÜREÇTE MEDRESELER

“Medrese” kelimesi, Arapça ‘kitap okumak, hatırlamak için defalarca okumak, öğrenmek, ders almak’ anlamlarına gelen ‘derese’ kökünden gelen fiilin Arapça dil bilgisi kurallarına göre “ismi mekân” kalıbında çekimiyle elde edilmiştir. Sözlükte ‘ders alınan mekân’ anlamına gelmektedir [3].

Hz. Muhammed 622 yılında Medine’ye hicret ettiğinde, burada ilk mescidi inşa etmiş ve bir kısmını ‘suffe’ adı verilen eğitim faaliyetlerine ayırmıştır. Daha sonra Dört Halife, Emevi ve erken Abbasi dönemlerinde de eğitim faaliyetleri cami ve mescitlerde devam etmiştir [4]. Abbasi Halifesi Harun Reşit (786-809) tarafından Bağdat’ta kütüphane olarak yaptırılan ve daha sonra Abbasi Halifesi Memun (813-833) tarafından, mescitten bağımsız olarak halka açık kütüphanesi bulunan, eğitim ve tercüme faaliyetlerinin yürütüldüğü, bünyesinde rasathane olan bir müessese olarak ilk medrese yapısı Beyt-ül Hikme inşa edilmiştir. Yine aynı dönemde Bağdat’ta açılan Beyt-ül İlim ve Dar-ül İlim müesseseleri de medreselerin ilk fiziki örnekleri olarak ortaya çıkmıştır. Abbasiler döneminde ortaya çıkan bu yapılar için o dönemden başlanarak medrese terimi kullanılmıştır. Medreseler bugünkü özgün kimliklerine Nizam-ül Mülk tarafından kurulan ve kurucusuna izafeten ‘Nizamiye Medreseleri’ olarak adlandırılan müesseseler ile kavuşmuştur [4].

Osmanlı medreselerinin, genel yapı ve karakteri Selçuklu medreselerine benzemektedir. Büyük Selçuklu Medrese planlarına bakıldığında, ortasında avlu, eksenlerde eyvanlar ile çerçevede odalardan oluştuğu aşınadır. Ortaçağ Anadolu Medreselerinin üst örtüsünde genellikle beşik tonoz ve çapraz tonoz örtüsü görülmektedir [5]. Selçuklu Medreseleri tek veya iki katlı olup, formları genellikle “U” sisteminde dikdörtgen veya kare formundadır. XII. yüzyıldan sonra, Anadolu’da ki medrese planlarının tasarımları arasında benzerlikler görülmektedir. Medreseler, orta avlusunun açık veya bir kubbe ile örtülü olmasına göre, açık ve kapalı olarak ikiye ayrılır. İki medrese türünde de, oturma ve okuma hacimleri olarak kullanılan oda ve eyvanların merkezinde kubbeyle örtülü bir salon veya uzunluğuna gelişen revaklı avlu bulunur. Kapalı Medrese tipi, Anadolu’da açık medreseden önce ortaya çıkar ve olasılıkla Orta Asya’da bulunan benzer konut geleneğinin bir devamıdır. Açık medreseler, eyvanların sayısı ve avlularını çevreleyen revağın düzenlenmesine göre bazı farklılıklar gösterirler. İçlerinde tek veya iki katlı olanlar vardır [6].

Osmanlılar döneminde medreseler; fizikî şartları, mimari özellikleri, programı ve temsil ettiği zihniyetle önemli gelişme göstermiştir. Bu dönemde medreseler genellikle tek katlı, bir avlu etrafında bir dershane ile talebe odalarından oluşan kâgir binalardır. Dershane, müderris odası ve dânişmend

hücreleri hemen her medresede bulunmaktadır. Medrese avlusunda çoğunlukla bir kuyu, müstakil suyu olan medreselerde ortada bir şadırvan veya bir köşede sebil yer alırdı. Bunun dışında çamaşırhane, gusülhane, abdesthane için ayrılmış mekânlar vardı [3].

Diğer yapılarda olduğu gibi medreseler de iklimsel şartlara göre inşa edilmişlerdir. Medrese avluları, Ortadoğu ülkelerinin iklim koşullarına uygun, gölgeli ve açık oturma hacimleri olarak kullanılmıştır. Avlu, Türkiye’de özellikle medreselerde, zaviyelerde ve konut mimarisinde de önemli bir tasarım öğesi olarak kullanılmıştır [7].

Eğitim mekânları içinde öğrencilerin kitaplarını bırakabilecekleri nişler ve namaz kılmak için mihrap bulunmaktadır. Yine yarı açık mekânda ise mihrap yer almaktadır. Revaklar; mekanlar arası sirkülasyon ve öğrenciler arası sosyalleşmenin yanı sıra öğrencilerin açık havada korunaklı bir ortamda çalışmalarını sağlayan yarı açık mekanlardır [8].

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1 Materyal**

Mevcut çalışmada Diyarbakır kent merkezindeki günümüze ulaşan medreselerden Parlı (Safa) Medresesine ait kaynak ve belgeler incelenmiştir. Çalışma kapsamında, medrese eğitimi ve tarihsel süreci üzerine literatür taraması yapılmıştır. Parlı (Safa) Medresesi ile ilgili gerekli belge ve projelere, Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğü ile Diyarbakır Kültür ve Koruma Kurulu arşivlerinden elde edilmiştir. Yapının mimarı ile yapılan sözlü görüşmelerden restitüsyon ve restorasyon süreci ile ilgili bilgiler alınmıştır.

##### **3.1.1 Parlı Medresesi Konumu**

Parlı (Safa) Medresesi, geleneksel kent merkezinde kenti dörde ayıran Urfa Kapı-Yeni Kapı aksı ile Mardin Kapı-Dağ Kapı aksının kuzeybatı diliminde, Melek Ahmet Paşa Caddesi’ne çok yakın bir konumda bulunmaktadır. Diyarbakır ilinin, Sur ilçesinin, İskender Paşa Mahallesinin, Melek Ahmet Paşa Caddesinde konumlanan Palo sokak üzerinde, 12 nolu pafta, 322 nolu ada, 25 nolu parselde bulunan 519,14 m<sup>2</sup> alana sahip arsa üzerinde (Şekil 1) yer almaktadır.



**Şekil 1.** Parlı (Safa) Medrese'nin Konumu

### 3.1.2 Tarihsel Süreç

Yapının inşa tarihi ve banisi hakkında bilgi verecek herhangi bir kitabe ve yazılı bir bilgi tespit edilememiştir. Yapı, Safa (Parlı) Camisinin güneyinde, cami ile ilişkili bir konumda bulunmaktadır. Bu özelliğinden dolayı yapı, Parlı Medresesi ve Safa Medresesi olarak adlandırılmaktadır. Sözen'e göre; Diyarbakır Hüsrev Paşa Medresesi ile Safa (Parlı) medresesinde 1559 ile 1591 yılları arasında müderrislik yapmış olduğu bilinen Muslihiddini Lari'e atfen 'Muslihiddini Lari Medresesi' olarak da adlandırılmakta ve Uzun Hasan tarafından yaptırıldığı ileri sürülmektedir. [9] Muslihiddini Lari'nin Diyarbakır'da müderrislik yaptığı dönem dikkate alındığında medresenin yapım tarihini en az bu döneme kadar götürmek mümkün olabilmekte bu çerçevede yapının yaşı 450 yıldan az olmamak üzere tespit edilebilmektedir.

### 3.1.3 Analojik Karşılaştırma

Osmanlı İmparatorluğu döneminde Kanuni Sultan Süleyman'ın (1520-1566) Diyarbakır valisi olarak atadığı İskender Paşa (1553-1566) tarafından yaptırılan medresenin inşa edildiği dönemde yapılar banilerinin talepleri doğrultusunda şekillenmekteydi. Yapının banisinin temsil ettiği makam, yapı için öngörülen bütçe, yapının fonksiyonu ve öngörülen kullanıcı sayısı gibi etkenler mekânların oluşumu, sayısı ve dizilimi ile yapının genel formunun oluşmasında temel belirleyiciler olmaktadır. Dönemin yapı üretme teknolojisi de yerel malzeme olan bazalttan yapılan kâgir taşıyıcı duvarların üstünün toprak dam, tonoz veya kubbe ile örtülmesi şeklindedir. Yapıların üst örtü türünün seçiminde bütçe en önemli belirleyici olmaktadır.

Diyarbakır'da Osmanlı döneminden günümüze, Hüsrev Paşa, Ali Paşa ve Parlı Medreseleri ulaşmıştır. Osmanlı dönemi medreseleri içinden Parlı Medresesi, diğer medrese tipolojisinden farklı özellikler gösterir. Parlı Medresesi, dikdörtgen formlu olması, mutfağının, helanın ve yatakhanesinin olmaması, mekânsal kurgusu ile diğer medreselerden farklılık gösterir.

Genellikle yerleşim birimlerinde inşa edilen medreseler, yüksek katılımlı derslerin verilebilmesi, sürekli müderrise yakın olma, hela ve şadırvan gibi ihtiyaçların karşılanabilmesi için camilerin avlusunda veya çok yakınında inşa edilmişlerdir. Medrese yapılarının mekân oluşumlarında esas olan eğitim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesidir. Ancak eğitim faaliyetlerini gerçekleştirmek için gerekli olan müderris ve öğrencilerin yakın çevreden gelmemesi durumunda barınma hizmetlerinin de verilmesi mekân oluşumlarını etkilemektedir. Medreselerin hizmet verebilmesi için tüm yıl aktif olarak kullanılabilir olmaları gerekmektedir. Bu neden, karasal iklime sahip olan Diyarbakır kent merkezindeki bir medrese yapısının sıcak yaz aylarında ve soğuk kış aylarında hizmet verebilecek özellikte olmasını gerekli kılmaktadır. Parlı Medresesi'nde tespit edilen bu tasarım yaklaşımındaki yapı programını medrese yapılarının genelinde görmek mümkün olmaktadır. Medrese yapılarındaki farklılaşmasının temelinde bütçe, malzeme, yapım teknolojisi, konum, topoğrafya ve kullanıcı sayısı belirleyici olmaktadır.

### 3.2 Metot

Parlı (Safa) Medresesi, özgün mekânsal kurgusu ve Diyarbakır'daki klasik medrese tipolojisinden farklı olması nedeniyle seçilmiştir. Yapı ile ilgili her türlü görsel ve yazılı kaynak çalışmalarına ulaşıldıktan sonra restorasyonunu gerçekleştiren mimar ile yapılan sözlü görüşmeler sonucu restorasyon süreci hakkında bilgiler elde edilmiştir. Restorasyon süreci içerisinde mimar, gerekli yasaları, etkileşim içindeki toplum yapısını ve konumunu gözlemleyerek yapıya en az zarar verebilecek şekilde müdahalelerde bulunduğunu ifade etmiştir. Bu yaklaşım, yapının tarihi süreç içerisindeki geçirdiği değişiklikler açısından değerlendirildiğinde, sürdürülebilir mimarlığın temel ilkeleri açısından ilk adım olarak değerlendirilebilir. Bu aşamada yapılacak hatalı müdahale ve uygulamalar, yapının ve toplumun sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyecektir. İkinci adım, yapının sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi, mekânsal kurgu ve malzeme özelliklerinin korunması ile mümkündür. Üçüncü adım, elde edilen verilerden hareketle, yapının mevcut durumu, niteliği, toplumun beklentileri belirlendikten sonra, yapının işlevlendirilerek yaşatılması ve gelecek nesillere aktarımı olmuştur.

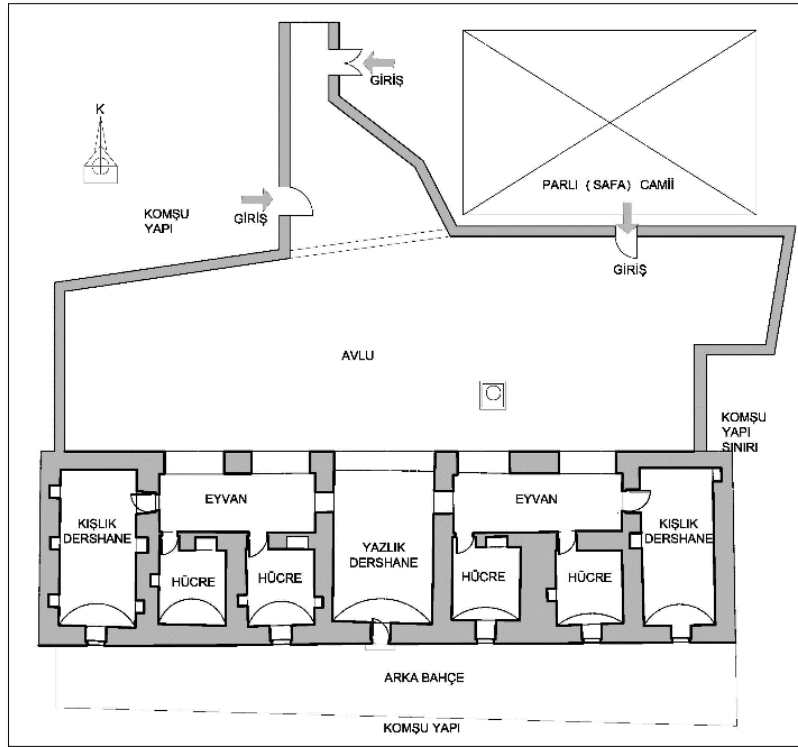
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yerinde yapılan incelemeler ve arşiv kayıtlarından elde edilen bilgilere göre Parlı (Safa) Medresesi'nin 2006 yılında tamamlanan uygulama projesine uyumlu restorasyonu yapılmıştır. Terkedilmiş bir durumda olan yapı, restorasyon uygulaması sonucunda yapısal özelliklerini koruyarak

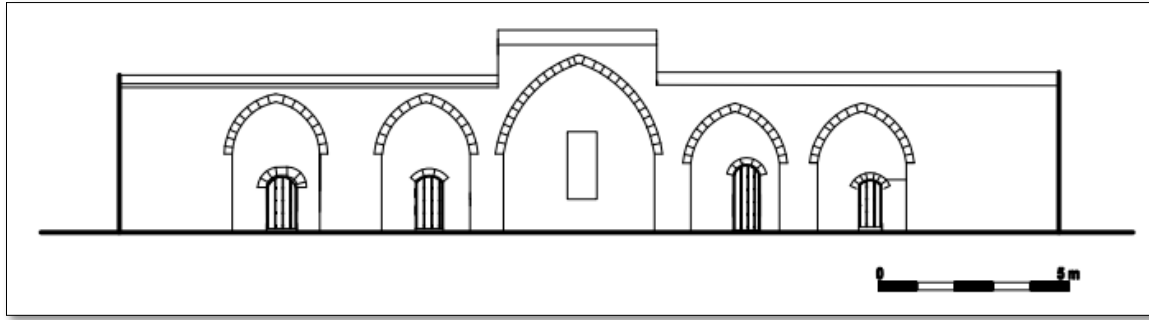




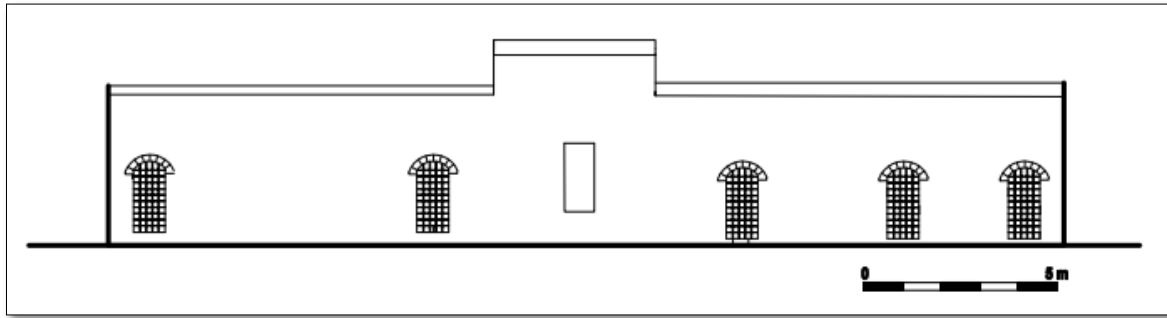
doğu batı yönünde dizilimi ile kendine özgü bir forma sahiptir. (Şekil 3) Eyvan ortada olacak şekilde doğu batı yönünde tam simetri oluşturacak bir şekilde iki kanada bölünmüş olan yapıda eyvanın iki kenarında kuzey yönünde önlerinde revak bulunan ikişer hücre ve bu hücrelerin doğu ve batı yönlerinde revaklar kadar büyütülmüş olan iki adet büyük oda bulunmaktadır. Eğitim anlayışından kaynaklı olarak Osmanlı medrese avluları, Selçuklu medrese avlularından daha geniştir. Bu durum öğrencilerin ders dışında dinlenme ve gezinme ihtiyaçlarını karşılaması içindir [11]. İki kanatta bulunan ikişer adet küçük hücre ile bir adet büyük odanın kapısı her kanatta ayrı ayrı bulunan revaklara açılmaktadır. Avlu kısmına iki adet kemer ile açılan revaklardan, eyvan kısmına açılan birer geçiş bulunmaktadır (Şekil 4 ve 5). Doğu tarafında bulunan kışlık dersliğin batı duvarının kuzey kenarında bulunan kapı ile revak kısmına geçilmekte yine bu kapının karşısına denk gelecek şekilde bulunan bir kapı ile buradaki revaktan orta kısımda bulunan yazlık dershaneye bağlanılmaktadır. Orta mekânın simetri eksenini olduğu yapıda pencere yerleri dışında tam bir simetri gözlenmektedir (Yapıda yapılan incelemeden batı yönündeki ikinci odada güney yönüne açılan pencerenin olmadığı görülmektedir. Bu durum restitüsyon projesinde de ifade edilmektedir). Bu anlamda batı yönündeki hücre ve revaklarda da aynı durum simetrik bir şekilde tekrarlanmaktadır. Selçuklular ve Osmanlılar da medrese yapıları genelde birbirleriyle büyük oranda benzerlik göstermektedir. Avlunun girişinin karşısına gelen cephesinde büyük bir eyvan ve bu eyvanın iki yanında da çoğu zaman birer büyük oda bulunmaktadır. Bunlar kışlık dershaneye, müderris odası vb. olarak kullanılmaktadır. Avlunun sağında ve solunda ise önü revaklı küçük odalar yer alır. Odalar, medrese vazifelilerinin ve öğrencilerinin çalışma, barınma ve dinlenme fonksiyonu için tasarlanmıştır [12].



Şekil 3. Parlı (Safa) Medresesi Kat Planı [10]



Şekil 4. Parlı (Safa) Medresesi Kuzey Cephesi [10]



Şekil 5. Parlı (Safa) Medresesi Güney Cephesi [10]

Yapıya kuzey tarafında bulunan Safa (Parlı) Caminin avlusundan ulaşılmaktadır. Cami ile bağlantılı, camiye ait bir medrese olması ve Kadı Hamamı'nın karşısında yer alması ıslak mekânların (hela ve hamam gibi) ortak kullanılmasına neden olmuştur. Dönemin medrese geleneğinde yakın çevrede bulunan aileler yatılı kalan öğrencilerden bir veya iki öğrencinin bakımını üstlendiği için, yemekler yakın çevrede bulunan evlerden günlük olarak temin edilmekteydi. Bu nedenle yapıda mutfak da bulunmamaktadır. Ancak medresenin avlusunda su ihtiyacını karşılamak amacı ile bir adet kuyu bulunmaktadır. Yapının bu derece sade yapılmış olması ve bünyesinde sadece eğitim mekânlarının bulunması yapının ağırlıklı olarak kentte yapıya yakın bölgelerde ikamet eden, gününbirlik kalan öğrencilere yönelik olarak inşa edilmiş olabileceği fikrini de desteklemektedir. Tarih boyunca medreseler, örgün eğitimin yanı sıra dışarı açık sohbet ve ilim dersleri yoluyla yaygın eğitim de gerçekleştirmiştir. Ayrıca halka açık merasim, özel gün vb. etkinliklerle içinde bulunduğu çevreyle ilişki kurmuş, toplumsal hayatın bir parçası olmuştur. Bu sebeple özellikle civarındaki hâkim işlevin konut olduğu medreselerin mahalle sakinleriyle ilişki kurması önemsenmelidir. Medresenin bu hususiyeti gündüzlü din eğitimi işleviyle doğrudan örtüşmektedir [13].

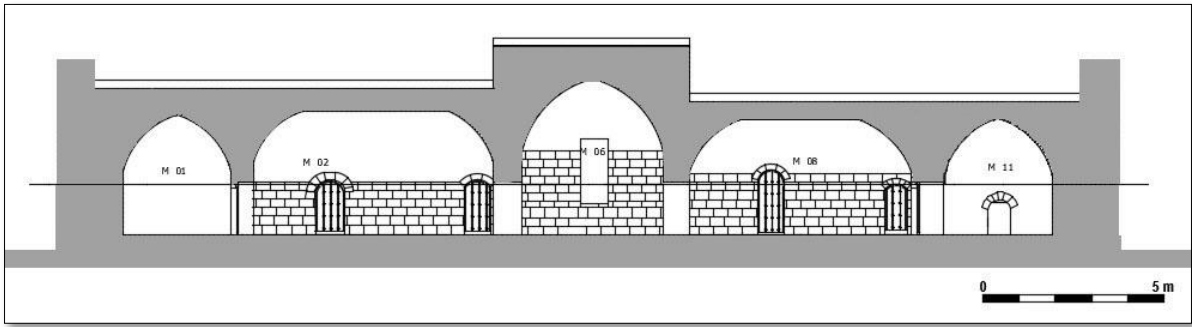
Mekânsal kurgusu ve orta yükselen eyvan kısmı ile plastik bir objeye dönüşen yapı bu formu ile çevresindeki geleneksel konut mimarisinden [14, 15] farklılaşarak bir hâkimiyet oluşturmaktadır. Özgün plan şemasını büyük oranda koruyarak günümüze ulaşabilmiş olan Safa (Parlı) Medresesi dikdörtgen bir plan şemasına sahiptir. Duvar kalınlığı 60 cm olan yapının kapı ve pencereleri kuzey ve

güney yönlerine açılmaktadır. Özgün plan şemasında sabit merdiven bulunmayan yapının yüksek olmayan damına ahşap merdiven ile çıkıldığı düşünülmektedir.

Medrese yapılarında temelde yaz aylarında yarı açık, kış aylarında ise kapalı dershaneye ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 6-7). Geleneksel medrese işlev sürecinde kapalı dershaneler aynı zamanda kütüphane olarak da değerlendirilmektedirler. Medrese yapılarının mekân kurgusunun oluşmasında belirleyici olan bu temel gereksinim dışında yatılı kalan öğrenciler için konaklama odaları, hela, banyo ve öğrenci sayısı ve şartlar çerçevesinde mutfak, cami ve ders çalışma amaçlı revak ve bahçe türünden mekânlar program kapsamını genişleten diğer yan gereksinimler olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6. Medrese İçinden ve Dışından Fotoğraf



Şekil 7. Parlı (Safa) Medresesi Boy Kesiti Güney Yönü [10]

Klasik medreselerde eğitim faaliyetleri bayramlar hariç genellikle yıl boyunca devam etmekteydi. Bu nedenle yılın her mevsiminde, özellikle gündüz vakitlerinde hizmet vermek üzere planlanmış olan medrese yapılarında plan tipolojisi bu program çerçevesinde şekillenmektedir.

Medrese yapılarında müderrislerin varlığı en önemli faktör olarak ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle medreselerin genelinde cami ve müderris için yakın bir konumda konut bulunması

gerekmektedir. Medreselerin mekânsal kurgusunu etkileyen faktörlerin temelinde arazinin geometrisi, topoğrafyası, döneminin teknik olanakları ve tasarımcının estetik bakışı gelmektedir. Safa Medresesi'nde mekân kurgusunun oluşumunu etkileyen diğer belirleyicilerden mekân büyüklüğü, öngörülen öğrenci ve eğitimci sayısı ile belirlenirken yapının genel hacmini bütçe belirlemektedir. Eğitim faaliyetlerinin daha sakin ve kentin hareketli yaşamından biraz daha mahrem bir alanda verilmesi gereğinden dolayı yapıya ulaşım cami içerisinden sağlanmaktadır.

#### 4.2 Malzeme

Yapının inşa edildiği dönemdeki, teknik imkânlar, yapı üretim teknolojisi ve malzemelerin yerel kaynaklar ile karşılandığı bilinmektedir. Diyarbakır'da bu dönemde inşa edilen medreselerden farklı olarak, sadece siyah bazalt taşın kullanıldığı görülmektedir [16].

Parlı Medresesi geleneksel Diyarbakır şehir merkezi mimarisinde ağırlıklı olarak kullanılan yerel yapı malzemesi bazalt taş ile inşa edildiği için gri tonda siyah renktedir. (Şekil 8) Yapı geçirdiği onarım neticesinde yapılan derz çalışmalarında mevcut derzler daha belirgin bir hale getirilerek doldurulduğu için derzler özgün yapısını dışına çıkararak daha belirgin bir şekle gelmiştir.



Şekil 8. Kuzey Cephesinden Görünüş

Yapıda dikey taşıyıcı olarak bazalt taştan yapılmış olan kâgir duvarlar kullanılırken üst örtüde geçiş elamanı olarak tonozlar kullanılmıştır. Yapının ortasında yer alan yarı açık mekânın duvarları ince yonu taş duvar olarak inşa edilmiş olup tavanı tuğladan yapılmış, kuzey-güney yönünde uzanan beşik tonozla geçilmiş ve sadece tonoz kısmı horasan harcı ile sıvanmıştır. Eyvanın iki yanında bulunan revakların duvar kısmında ince yonu taş duvar kullanılmış olup üstü tuğladan mamul tekne tonozla kapatılmış ve tonoz kısmı horasan harcı ile sıvanmıştır. Kapalı mekânların tamamının duvarları kaba yonu taş duvar olup üst kısımları da yine kaba yonu taştan yapılmış, kuzey güney yönünde uzanan beşik

tonoz ile geçilmiştir. Kapalı mekânların duvar ve tonozlarının tümü horasan harcı ile sıvanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. İç ve Dış Mekânlardan Fotoğraf

Tonozların arası doldurularak aynı seviyede düz dam şekline getirilirken orta kısmında yer alan eyvan kısmında da yapının geneline göre cidar kısmı 120 cm yükseltilmiştir. Tonoz ile arasında kalan kısım doldurularak düz dam şekline getirilmiştir. Temel alınan restorasyon raporu ve restitüsyon kararlarına göre tüm kapı ve pencerelerin imalatında ahşap malzeme yer verilirken güvenlik amacı ile pencerelerde lokmalık demir parmaklıklar kullanılmıştır.

#### 4.3 Uygulama Projesinin Değerlendirilmesi ve Öneriler

Onarım öncesi metruk bir durumda olan yapı özgün kimliğinin dışına çıkarak eklenen duvarlar ile iki ayrı konuta bölünerek kullanılmaktaydı. Bu nedenle yapının özünde olmayan sıva ve boyalar bulunmaktaydı. Metruk durumu nedeniyle ciddi yıpranmaların yaşandığı yapının üst döşemesi doğal koşullar nedeniyle zarar görmüş ve döşeme yalıtım özelliğini yitirmiştir.



Şekil 10. Dış Mekândan Fotoğraf [10]

Kapı ve pencerelerin bir kısmı kapatılmış ve doğramaları kaybolmuştur. Yapının genelinde gözlemlenen nemin etkisiyle sıva ve duvarlarda dökülmeler tespit edilmiştir.



Şekil 11. İç Mekândan Fotoğraflar [10]

Vakıflar Bölge Müdürlüğü uhdesinde bulunan Parlı (Safa) Medresesi 2006 yılında Restorasyon Projesine uygun olarak onarılarak kullanıma açılmıştır. Restorasyon projesi ve müdahale kararlarının incelenmesi sonucu elde edilen tespitler;

- Onarımdan önce konut olarak kullanılan yapıda, eklenmiş olan yeni yapı elemanlarının tespit edildikten sonra özgün plan şemasına ulaşmak için uygun sökülme kararları sürdürülebilir bir yapıya ulaşılmasında atılmış önemli bir adımdır.
- Cephelerin özgün kimliğinin ve boyutlandırılmasının, restitüsyon projesinde alınan kararlarda belirleyici olan yapıdaki izlerden hareket edilerek özgün cephelerin gelecek nesillere aktarılması sürdürülebilir bir davranıştır.
- Benzer dönemdeki yapıların kapı ve pencere doğramalarında kullanılan çağdaş malzemenin, boya ve cilanın, özgün yapı ile uyumlu olmasına dikkat edilmiştir.
- Medresede avlu zeminin topraktan temizlenerek zemin taşlarının ortaya çıkarılması ve su kuyusunun havuzla çevrilmesi sıcak-kuru iklimde konfor ortamı oluşturulmuştur. Bu durum kullanıcı açısından doğal serinlik, tüketici açısından da enerji tasarrufu sağlayarak ekonomik katkıya neden olacaktır. Dış duvarların onarılarak avlu yapısının korunması, yapıyı dış ortamdan izole ettiği gibi yeni kullanıcıların doğal ortamla da ilişki kurmasını sağlayacaktır. Avlunun mikroklima ve mahremiyet özellikleri korunmuştur.
- Günümüze ulaşabilmiş olan, özgün yapıda tamamen kaybolmuş olan çörtlenler, teras eğimleri ile konumları ve mevcut parçalı dam yapısı göz önüne alınarak sayıları mimari bir gereklilik olarak belirlenmiş ve formları dönem yapıları ile yapılan karşılaştırmalı çalışma ile belirlenerek yapıya dâhil edilmiştir.
- Onarım esnasında mevcut derzlerin keski yardımı ile boşaltılması nedeni ile derz boyunca taşlarda yüzey kayıpları meydana gelmiş, bu kayıplar nedeni ile derz aralıkları genişlemiş ve taşın özgün dokusu zarar görmüştür. Özensiz olarak yapılan bu uygulamanın hatalı olduğu tespit edilmiştir.

- Anıtların korunması, her zaman onları herhangi bir yararlı toplumsal amaç için kullanmakla kolaylaştırılabilir. Bunun için bu tür bir kullanma arzu edilir, fakat bu nedenle yapının planı ya da bezemeleri değiştirilmemelidir. Ancak bu sınırlar içinde yeni işlevin gerektirdiği değişiklikler tasarlanabilir ve buna izin verilebilir [17].
- Çarpık kentleşmenin getirmiş olduğu niteliksiz yapılar arasında kalan yapı, özgün kimliğine kavuşmuş ancak yapıya işlev verilmemiştir. Yapının kimliğine ve günümüz ihtiyaçlarına uygun bir işlevle yaşatılarak korunması yapının sürdürülebilirliği açısından olumlu olacaktır.
- Yapının tarihi özelliği ve cami ile entegrasyonu sebebiyle verilecek yeni işlev önerisinde dikkatli davranılması ve irdelenmesi [18] sosyal sürdürülebilirliği sağlayacaktır.
- Yapının geleneksel fonksiyonu nedeni ile verilecek yeni işlev, cami müstemilatı, kuran kursu, kütüphane, çay ocağı veya müze gibi yapının özgün işlevi ile uyumlu bir öneri olmalıdır. Yapının özgün plan ve kimliği korunarak, güncel, toplumun ihtiyaçlarını karşılayabilen sürdürülebilir bir işlevle yaşatılması uygun doğru bir karar olacaktır.

## 5. SONUÇ

Parlı (Safa) Medresesi, Diyarbakır'da, Osmanlı Dönemi'nden günümüze ulaşmış az sayıdaki medreseden biridir. Yapının yaşatılması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için restorasyon uygulaması yapılmıştır. Metruk bir durumda olan yapının kullanılabilir duruma gelmesi, çevresel ve toplumsal sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir. Yapılan uygulama çalışmasının; restorasyon sırasında yapıya en az düzeyde müdahale edilmesi, geleneksel ve özgün yapı malzemelerinin kullanılması, yapının mevcut durumunun korunması açısından bilimsel restorasyon ilkelerine uygun bir uygulama olduğu görülmüştür. Parlı (Safa) Medresesi özgün plan şeması ve mimari kimliği ile yaşatılarak korunması gereken önemli bir yapıdır. Yeniden işlevlendirilmesi ve kullanıma açılması sağlanmalıdır. Yapının yeni işlevi; toplum, çevre ve ekonomi açılarından olumlu etkileri ve gelecek kuşaklara aktarımı sürdürülebilir mimarlığın temelini oluşturacaktır. Başarılı uygulamalar, benzer çalışmalarda daha doğru sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlayacaktır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Z. Ahunbay, "Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon", *Yem Yayınları*, İstanbul, s. 97-98, 2009.



- [2] M. Cebe, N. Özen, C. T. Akin, “Yeniden İşlevlendirilen Hasan Paşa Hanı’nın Kullanım Sonrası Değerlendirmesi”, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, vol. 10, no. 3, s. 1145-1163, 2019.
- [3] N. Bozkurt, Medrese - *TDV İslâm Ansiklopedisi*, Erişim Tarihi: 17.07.2021. [Online]. <https://islamansiklopedisi.org.tr/medrese>
- [4] M. Hızlı, “Kuruluşundan Osmanlılara Kadar Medreseler”, *Uludağ Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, sayı 2, cilt 2, 1987.
- [5] Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, *YEM yayınevi*, İstanbul, s. 1015, 2008
- [6] D. Kuban, Çağlar Boyunca Türkiye Sanatının Ana Hatları, *YKY*, İstanbul, s. 105, 2005
- [7] E. Y. Kuyrukçu, “Anadolu Selçuklu Medreselerinin Yapısal ve Mekânsal Özellik Bağlamında Değerlendirilmesi: Konya Sırçalı Medrese Örneği”, *Online Journal of Art and Design*, vol. 8, no. 1, 2020.
- [8] M. Şimşek, “Medreselerin Yeniden İşlevlendirilmesinde Değerlerinin Korunması Sorunsalı; Hadım Hasan Paşa Medresesi ve Esekapi Medresesi Örnekleri”, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 2-3-4 Kasım 2017.
- [9] M. Sözen, *Diyarbakır'da Türk Mimarisi*, s. 151, İstanbul, 1971.
- [10] M. Cebe, “Rölöve ve Restorasyon Projesi ve Raporları”, Diyarbakır Kültür Varlıkları Koruma Kurulu, Diyarbakır, 2006.
- [11] F. Aydın, M. Zengin, K. Cevherli ve Y. Kaymaz, *Osmanlı Medreseleri: Eğitim, Yönetim ve Finans*, Mahya Yayıncılık, ISBN 978-605-5222-71-0, İstanbul, Nisan 2019.
- [12] H. Ak, *Medrese Yapısal Özellikleri ve Kullanım Amaçları*. (2015). Erişim Tarihi: 17.07.2021. [Online]. <https://www.icmimarlikdergisi.com/2015/04/25/medrese-yapısal-ozellikleri-ve-kullanım-amaçları/>
- [13] F. Gönül, “Vakıf ile Medresenin Tarihsel İlişkisi Bağlamında Üsküdar Medreselerinin Güncel İşlevlerinin Değerlendirilmesi”, *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Kültürel Mirasın Korunması ve Yönetimi Programı*, İstanbul, 2020.
- [14] N. Dalkılıç, I. Aksulu. Diyarbakır Kenti, Geleneksel Konut Mimarisi, *Gazi Sanat Dergisi*, s. 53-69, Ankara, 2001.
- [15] N. Dalkılıç, A. Bekleyen. Geçmişin Günümüze Yansıyan Fiziksel İzleri: Geleneksel Diyarbakır Evleri, *Medeniyetler Mirası Diyarbakır Mimarisi*, Editör: İrfan Yıldız, s. 417-463, Diyarbakır Valiliği Yayını, 2011
- [16] N. Karaca, “Diyarbakır’daki Osmanlı Dönemi Medreseleri”, *Medeniyetler Mirası Diyarbakır Mimarisi*, Editör: İrfan Yıldız, Diyarbakır, s. 371-388, Diyarbakır Valiliği Yayını, 2011.

- [17] E. Cevat, “Venedik Tüzüğü Tarihi Bir Anıt Gibi Korunmalıdır”, *O.D.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 3, sayı 2, s. 172-173, 1977.
- [18] C. T. Akın, A. Bekleyen ve M. Yıldırım, “Preservation Initiatives for the Truncated Pyramid-Shaped Traditional Houses of Siirt”, *Frontiers of Architectural Research*, s. 360-370, 2016.

*Copyright © 2021 Özen. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).*



Derleme Makalesi / Review Article

## Esnek Mekân Anlayışı ile Mekânın Konfora Dönüşümünde Pandemi Hatırlatması

*Reminder of the Pandemic in the Conversion of Space to Comfort with a Flexible Space Concept*

Elif DURMUŞ<sup>1,\*</sup> , Bedriye ASIMGİL<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> İzmir Demokrasi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, 35140, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup> İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 35140, İzmir, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale Tarihi

Alınış, 25 Mart 2021

Revize, 27 Mayıs 2021

Kabul, 09 Haziran 2021

Online Yayınlama, 05 Kasım 2021

#### Anahtar Kelimeler

Esneklik, Esnek mekânlar, Covid-19 pandemisi

### ARTICLE INFO

#### Article History

Received, 25 March 2021

Revised, 27 May 2021

Accepted, 09 June 2021

Available Online, 05 November 2021

#### Keywords

Flexibility, Flexible spaces, Covid-19 pandemic

### ÖZ

Bu çalışma, pandemi dönemiyle birlikte değişen sosyal yaşantıya karşı mimarlığın alabileceği olası pozisyonları esnek mekânlar üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Esnek mekânların mekânın konfora dönüşümündeki etkisi, pandemi ile birlikte yaşam koşullarının değişmesine bağlı olarak sosyal yaşantının da değişmesi, mimaride mekân kavramının yeniden sorgulanmasına ve sorgulamanın yeni arayışlar üzerine odaklanmasına neden olmuştur. Modernleşmeyle ve özellikle modern sonrası dönemde önem kazanan esneklik kavramı, farklı uygulamalar ve yaklaşımlar olarak mimarlık literatürüne dâhil edilmiştir. Bu yaklaşımlar esneklik anlayışının mekânın dönüşmesi, büyümesi, küçülmesi ve taşınması gibi uygulamalar ile gerçekleşmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında, değişen durumlara adapte olabilmeyi simgeleyen esneklik kavramı, mekân hacminin dönüşmesi ve mekânın konforu yönüyle incelenmektedir. Dönüştürülebilir, değiştirilebilir ve taşınabilir mekânlar olarak esnek mekânların pandemi süreci sürdürülebilir mimari için öneminin vurgulanması, çalışmanın odak noktasıdır.

### ABSTRACT

This study aims to examine the possible positions that architecture can take against the changing social life with the pandemic period, through flexible spaces. The effect of flexible spaces on the transformation of space into comfort, the change in social life due to the change in living conditions with the pandemic caused the concept of space in architecture to be questioned again and the questioning focused on new searches. The concept of flexibility, which gained importance with modernization and especially in the post-modern period, has been included in the architectural

\*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: [mimelifdurmus@gmail.com](mailto:mimelifdurmus@gmail.com) (Elif DURMUŞ), [bedriye.asimgil@idu.edu.tr](mailto:bedriye.asimgil@idu.edu.tr) (Bedriye

ASIMGİL)

literature as different applications and approaches. These approaches are realized with applications such as the transformation of the flexibility understanding of the space, its growth, shrinkage and transportation. In this context, within the scope of the study, the concept of flexibility, which represents adaptation to changing situations, is examined in terms of the transformation of the space volume and the comfort of the space. Emphasizing the importance of flexible spaces as transformable, changeable and portable spaces for sustainable architecture in the pandemic process is the focus of the study.

## **1. GİRİŞ**

“Esneklik kavramı mimari mekânın var olduğu ilk insan yerleşimlerindeki mağaralardan, antik dönem megaronlarına, göçer çadırlarından, farklı ulusların geleneksel konutlarına kadar endüstrileşme öncesi dönemde de var olmuş önemli bir mimarlık kavramıdır. Endüstrileşme sonrasında mekânın farklı alanlardaki ve ölçeklerdeki teknik sınırlarının genişlemesi, mekânın fiziksel boyutlarının da değişebildiği esnek mimari mekânların tasarlanabilmesini sağlamıştır. Mekânın büyüebilmesi ve değişebilmesinin yanında uyarlanabilmesi de esneklik kavramının içinde yer almaktadır. Son elli yılda değişen mimarlık paradigmasının içinde terminolojik açıdan pek çok farklı kavramın esneklik ile ilişkilendirildiği görülmektedir. Günümüzde esneklik kavramı, mevcut mekânın yeni fonksiyonları taşıyabilmesi, mekânın büyüebilmesi, sürekliliği ve teknik ekipmanların değişimiyle açıklanmaktadır. Adaptasyon, değişebilirlik, uyabilirlik, uyarlanabilirlik gibi alt kavramlarla da tanımlanan esneklik kavramı mimarlık literatüründe önemli bir yer tutmaktadır” [1].

Bu çalışmada, esneklik kavramı ve esnekliğin pandemi döneminde mekânın dönüşümüne ve dolayısıyla mekân konforuna olan katkısı ele alınmaktadır. Mekânsal dönüşüm örnekleri incelendiğinde, esnek mekân anlayışının farklı mekânsal karşılıklarının çok işlevlilik, açık plan kavramları üzerinden dönüşerek mekânsal karakterini bulduğu ve mekânsal konforu arttırdığı görülmektedir.

Tarih boyunca mimarlık, insanın sosyal gereksinimlerini sağladığı fonksiyonları planlayan bir anlayış içinde olmuştur. Başta ilk insan yerleşimlerinden göçebe kültürüne olmak üzere, endüstrileşme sonrası dönüşümden günümüze kadar olan süreçte mekânın değişebilmesi, büyüebilmesi ve uyarlanabilmesi açısından esneklik mimarlığın önemli kavramlarından biri olmuştur. Değişen sosyal yaşam koşullarına bağlı olarak mekân ile kullanıcı arasındaki ilişkilerin dinamik bir şekilde kurulması olarak tanımlanan ‘esneklik’; çevreye, teknolojiye ve işleve bağlı olarak değişim gösterebilen alternatif tasarımlara imkân sağlayabilen bir kavramdır [2].

Mekânın büyüebilmesi ve değişebilmesinin yanı sıra mekânın dönüştürülebilmesi de esneklik kavramının içinde yer almaktadır. Özellikle de içinde bulunduğumuz koşullar gereği, Pandemi gündelik yaşamı değiştirmiş, dolayısıyla mekân dönüşüme uğramıştır. Esneklik kavramı değişen yaşam koşullarına, sosyo-ekonomik koşullara bağlı olarak büyüebilme, küçülebilme ve bölünebilme

eylemleriyle mekânda yer bulmaktadır. Pandemi dönemi de mekânsal esnekliğin daha fazla önem kazandığı, olası mekânların kullanım hacminin değişimine olanak tanıyan esnek mekân kullanımını yaşantımıza dahil etmiştir.

Birçok işlevi bir arada bulundurma gereksiniminin yanı sıra özel alan ihtiyacı, bireysel mekânların önemini artırmıştır [3]. Pandeminin dönüştürdüğü yeni yaşam biçimleri kullanıcıya alternatif mekânlar sunmuştur. Bu dönemde evden çalışma modeli yaşam mekânlarını dönüşüme zorlamıştır [4].

Mekânsal dönüşümün hem ekonomik hem de geri dönüşebilir olması, esneklik kavramının sürdürülebilir bir mimarlık anlayışı ile ilişkilendirilmesine olanak tanımıştır. Mekân tasarımında mekânın çok işlevli kullanımı, açık plan sistemi, mekânı sınırlandırıcı öğelerin olmaması, mekân hacminin büyüebilmesi, değişebilmesi ve taşınabilmesi gibi anlayışlarla gerçekleştirilen esneklik, sürdürülebilir mimari tasarım için önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilir esneklik, zamanın koşullarına uygun olarak uzun ömürlü tasarım yapabilmenin koşulunu sağlamaktadır [5]. Kullanıcıların gereksinimlerine uyum sağlayarak yaşam boyu sürmesi beklenen esneklik, mekânda farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır [6]. Tablo 1’de esnekliği mekânda farklı şekillerde ele alan mimarların tasarımları yer almaktadır.

**Tablo 1.** Mimarların yapılardaki esneklik anlayışları

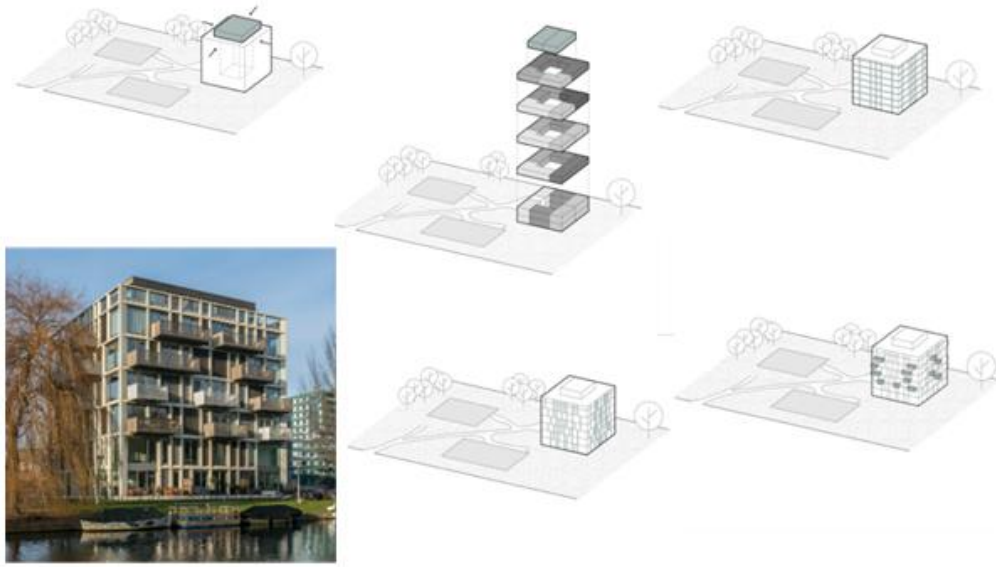
Mimar	Yapı	Esneklik yaklaşımı
Price	Fun Place	Mekânın çok işlevli kullanımının sağlanması, hareketli hacimler
Corbusier	Villa Savoye	Serbest plan ile mekân sınırlarının açık bırakılması
Rietveld	Schröder Evi	Hareketli duvarlar ile mekân hacminin büyüebilmesi, değişebilmesi
Cansever	Ertegün Evi	Hacimler arası sınırlandırıcı öğe bulunmaması, akışkan mekân
Bektaş	Büyüyen Bahçeli Ev	Ailenin büyümesi ile eklemlenen hacimler sayesinde mekânın büyüebilmesi
Tümertekin	B2 Evi	Mekân hacminin sınırlandırılmadığı açık plan sistemi
Akbay	Bağ Evi	Açık plan sistemi, mekânın okunabilirliği

## 2. ESNEK MEKÂN ANLAYIŞINA SÜRDÜRÜLEBİLİR YAKLAŞIMLAR

II. Dünya Savaşı sonrası kentlerin yaşadığı değişimler ile başlayan alternatif mekân arayışları gelecek için ütopyik kent tasarımlarının oluşmasında önemli bir tarihi olaydır. Savaş ile kentin değişebilir olduğunu deneyimlemek, gelecek için değişebilir ve her ortama adapte olabilir mekân arayışlarının başlangıcı olmuştur. Ütopyik ve distopyik olarak geliştirilen tasarımlar, her ortama ve şarta uyum sağlayabilir, değişebilir, eklemlenebilir ve taşınabilir niteliklere sahiptir. Bu tasarımlar ile şekillenen

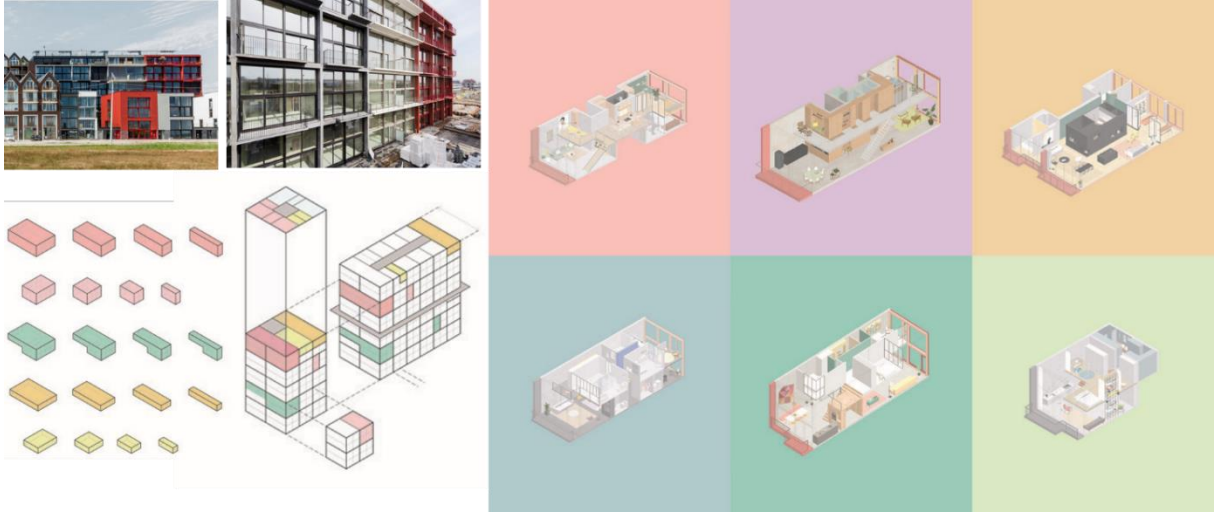
esneklik anlayışı, günümüzde sürdürülebilir mimariye mikro ölçekte mekân önerileri sunma açısından önemli ipuçlarını barındırmaktadır.

Esnek mekân anlayışına sürdürülebilir yaklaşımlara bir örnek olarak, N. John Habraken'in 1961 yılında geliştirdiği Açık Yapı konsepti örnek verilebilir. Proje, endüstriyel sürece kullanıcının katılımının artırılarak, kullanıcının kendi yerleşimini şekillendirip tasarlayabileceği iç içe geçmiş modüllerden oluşan bir tasarım anlayışına sahiptir (Şekil 1) [7]. Habraken'in kullanıcı odaklı tasarısı, yapının yapıldığı dönemin koşullarına hapsolmasının aksine, açık bir boşluk bırakılarak değişen yaşam koşullarına yönelik tasarım yapabileme imkânını sağlama niteliğindedir.



Şekil 1. Sketchblock, ANA Architects, Amsterdam, 2015-2017 [8]

Bu bağlamda açık yapı sistemiyle Amsterdam'da oluşturulan konut tasarımları da temelde, modül olarak tasarlanan birimlerin birbirlerine eklenerek bir bütün oluşturduğu düzenlemeleri içermektedir (Şekil 2-3). Bu tasarımlarda kullanıcının istekleri ön plandadır ve yaşama mekânının büyüklüğü kullanım isteğine bağlıdır. Genel olarak bütünüyle bitmiş bir yapı tasarlamak yerine ihtiyaç halinde tasarlanan modüllerin birbirlerine eklenmesi ile aynı zamanda sürdürülebilir bir yaklaşım izlenmektedir.



Şekil 2. Superlofts, Marc Koehler Architects, Amsterdam [9]

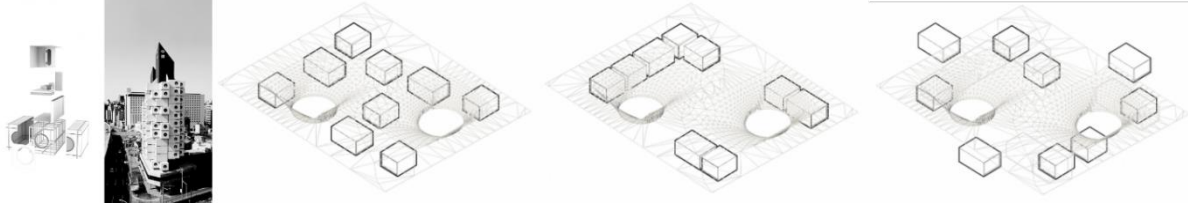


Şekil 3. Object One, Space Matter, Amsterdam [10]

### 3. MEKÂN HACMİNİN DÖNÜŞMESİ VE MEKÂN KONFORU

Esnek mekân tasarımının önemli bir bileşeni olan işlevsel kullanım, yapının günümüz ve gelecek açısından kullanımının planlanmasında potansiyel bir niteliğe sahiptir. Mekân hacmindeki değişim ve dönüşüm ile mekânın kullanımının öngörülebilir olması, yaşam koşullarına bağlı olarak yaşanan değişimlere uyum sağlayabilmesi açısından önemli bir olgudur.

Stanislas Chaillou'nun metabolist hareketin öncü tasarımı olan Nakagin Capsule Tower'dan ilham alarak hazırladığı, 'Metabolizma (S): Yüzyılda Esneklik' adlı projesi, mekânsal düzenlemesini günün farklı saatlerinde değişen kullanım modellerine uyacak şekilde aktif olarak ayarlamak için tasarlanmış karma kullanımlı bir yapı tasarımıdır (Şekil 4) [11].



Şekil 4. Stanislas Chaillou, Metabolizma (S): Yüzyılda Esneklik Projesi [11]

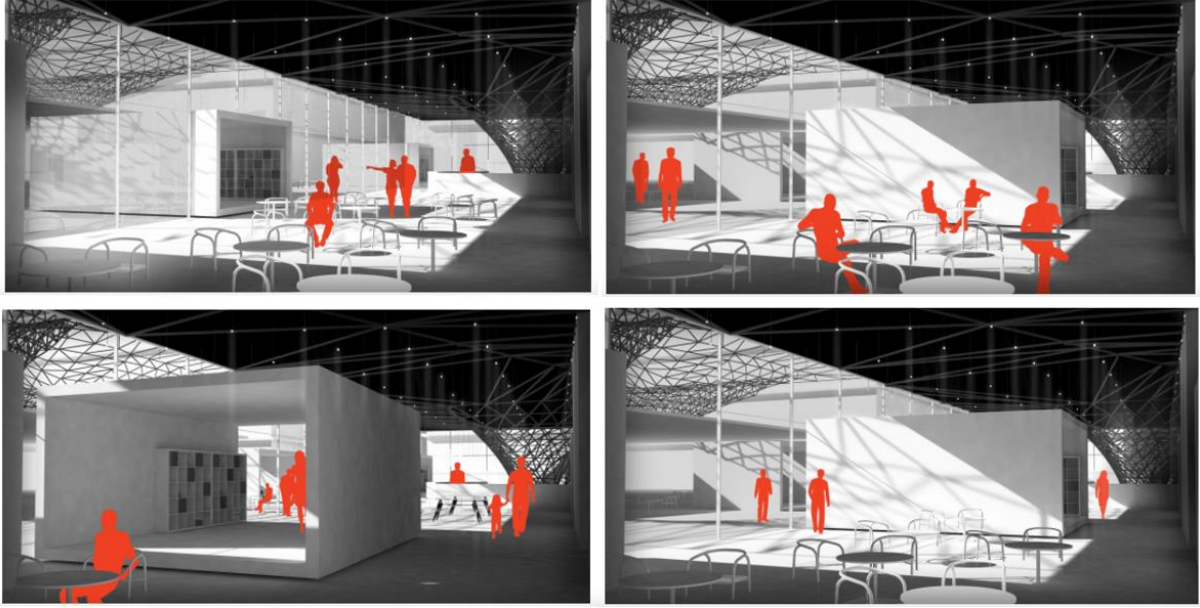
Bu tasarım aynı zamanda modern veri biliminin kullanım modellerini tahmin etme ve yeni model oluşturma yeteneğinden yararlanılarak hazırlanarak, mekânın gerçek zamanlı yeniden düzenlenmesini sağlayan yarı otonom robotik teknolojinin bir parçasıdır [11]. Modüllerin hareket ederek mekânın kullanım işlevinin değişmesi fikrine dayanan proje, mekân hacminin çok işlevli kullanımın yanı sıra mekânsal boyutta dönüşüme güzel bir örnek oluşturmaktadır. İşlevin gerektirdiği biçimlenmeyi hareket eden modüller ile gün boyunca değişken bir biçimde sunan tasarı, birçok yönüyle mekânın esnekliğini güçlendirmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Gün boyunca mekânları yeniden düzenleyen yapının esnekliğini gösteren çizimler [11]

Tasarım algoritmaları sayesinde yapı, gün içerisinde hacimlerin nasıl konumlanacağını düzenleyerek bir program oluşturmaktadır [11]. Satış birimlerini de içeren karma kullanımlı yapıda bu programı Chaillou [12] şöyle açıklamaktadır: Sabah saatlerinde çalışanlar ve ziyaretçiler yapıya gelmeye başladığında birimler gridal bir biçimde düzenlenir, üst katlarda bireysel ve ortak çalışma alanları merkezde toplanırken; mutfak ve dinlenme alanları geriye çekilerek gözden kaybolur. Akşam saatlerinde ise binadaki aktivite azaldıkça satış birimleri kapanır ve akşam boyunca kullanıcıların keyifle vakit geçirebileceği bir mekân haline gelir (Şekil 6).





Şekil 6. Hareket eden modüller ile iç mekânın dönüşmesi [11]

Mimarlık ofisi Woods Bagot tarafından pandemi nedeniyle çoğunlukla evde geçirilen zamanı konforlu hale getirebilmek için, mekânın birçok aktiviteye yönelik olarak kullanılmasını sağlayacak şekilde tasarladığı modüler sistem de mekân hacminin dönüşerek farklı pratiklere imkân sağlamasını kolaylaştırmaktadır. Tasarlanan modül gündüz, gece ve oyun modu olarak üç mod kullanımına yönelik öneri olarak sunulmuştur. Bu modül gündüz modunda iki hareketli kabin, bir masa, bir oturma ve yemek odası bulunan bir ofis-ev oluşumu planlanırken, gece modunda hacmin üç ayrı mekâna bölünerek kullanılabilmesi planlanmıştır. Oyun modunda ise hareketli birimler tamamen kenarlara itilerek açık bir alan oluşturmakta ve birçok aktiviteye imkân sağlamaktadır [13] (Şekil 7). İsteğe bağlı olarak farklı modlarda kullanılabilen tasarım, her durumda mekânın esnek kullanımına olanak sağlar pozisyonda kurgulanmıştır.



Şekil 7. Gün içerisinde farklı kullanımlara imkân sağlayan hacim [13]

#### **4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME**

Çalışmanın odak noktasını oluşturan esnek mekânlar kapsamında ele alınan esneklik kavramı, değişen sosyal yaşantıya adapte olabilecek alternatif mimari tasarımlara imkân sağlaması bakımından hem günümüz hem de gelecek için önemli olgulara sahiptir.

Tarih boyunca değişmeyen bir ihtiyaç olarak barınma eylemi, günün koşulları, yaşanan olaylar ve gelişmeler sonucunda sayısız değişime uğrayarak farklılaşan mekân üretimlerine yol açmıştır. Doğanın verdiği doğal malzemeler ile inşa edilen mikro ölçekteki ilk barınaktan/konuttan günümüze kadar olan süreçte yaşama mekânlarımız konfor düzeyi yüksek hacimler haline gelmiştir. Bu durumda gelişen üretim sistemleri, yapı malzemeleri ve en önemlisi bilgi çağının gelişen ve gelişmeye devam edecek olan teknoloji ayağı etkin bir rol oynamaktadır.

Mimarlığın evrenselleşmesi fikriyle başlayarak bağlamından koparılan yapının farklı ortamlarda uygulanması, değişen ortama ve şartlara yönelik geliştirilen tasarımların bir nevi temelini oluşturmaktadır. Plan şemasındaki ve cephelerdeki serbestlik ile esneklik, modern mimarinin izleğinde gelişim fırsatı bulmaktadır. Sosyal yaşam dengesinin tümüyle bozulmasında etkili olan küresel savaşların yaşanması modern mimariyi olduğu kadar esneklik kavramını da derinden etkilemektedir. Özellikle II. Dünya Savaşı sonrası dönemde kentlerin yapısal bütünlüğünün savaş dolayısıyla bozulabilir olduğunu deneyimlemiş olmak, gelecek için ütopyik kent tasarımlarının oluşmasında önemli bir etken olmaktadır. Her ortama ve şarta adapte olabilir, değişebilir, eklemlenebilir ve taşınabilir kent tasarımları makro ölçekteki ütopyik ve distopyik sayılabilecek öngörüler olsa da mikro ölçekte esnek mekân arayışları açısından da önemli olguları barındırmaktadır. Nitekim bugün Covid-19 pandemisi dolayısıyla yaşanan küresel ölçekteki kriz, aslında var olması gerekli esnek mekân kavramının hem günümüz hem de gelecek için önemini bir kez daha göstermiştir. Benzer şekilde bu dönemde yaşama birimlerindeki esneklik arayışları, gelecek için esnek mekân üretiminde bulunma yolundaki gerekliliğe dair ipuçlarına sahiptir. Geçmiş yıllarda geliştirilen önerilerden bazıları her ne kadar kullanılan malzemeler dolayısıyla sürdürülebilir mimari ilkelerine uymayan özellikler barındırsa da günümüz mimarlığının yetkinliği bu pürüzleri ortadan kaldırabilecek düzeydedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında ele alınan önerilerin incelenmesinin, değişen yaşam koşullarına uyum sağlayabilecek tasarım anlayışının yaygınlaşması yolundaki vurguyu artırması beklenmektedir.

#### **ÇIKAR ÇATIŞMASI**

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

## YAZARLARIN KATKILARI

Elif DURMUŞ: Yazma-orişinal taslak hazırlama, yazma-inceleme ve düzenleme. Bedriye ASIMGİL: Yazma-orişinal taslak hazırlama, yazma-inceleme ve düzenleme, gözetim ve liderlik sorumluluğu.

## KAYNAKLAR

- [1] Z. Y. Halu, *Çağdaş Mimaride Esnek Mekanların İzinde*. (2019). Erişim Tarihi: 17.12.2020. [Online]. <https://yapidergisi.com/cagdas-mimaride-esnek-mekanlarin-izinde/>
- [2] Ö. İslamoğlu, G. Usta, “Mimari Tasarımda Esneklik Yaklaşımlarına Kuramsal Bir Bakış”, *The Turkish Online Journal of Design*, vol.8, no.4, s.673-683, 2018.
- [3] Ö. Ak, *Pandemi Mimarisi*. (2020). Erişim Tarihi: 17.12.2020. [Online]. [https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/32\\_pandemi.pdf](https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/32_pandemi.pdf)
- [4] B. Gücüyener Pardorokes, *Pandemi Sonrası Mimari Ve Evlerimiz: Mimari Anlamda Öne Çıkan 7 Konu*. Erişim Tarihi: 17.12.2020. [Online]. <https://www.uplifers.com/pandemi-sonrasi-mimari-ve-evlerimiz-mimari-anlamda-one-cikan-7-konu/>
- [5] C. Bilge, “Sürdürülebilir Çevre ve Mimari Tasarım: Mimariye Eleştirel Bir Bakış”, Mimarlık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [6] N. Uzel, “Esnek ve Adapte Olabilir Konutlar İçin Değerlendirme Rehberi”, Mimarlık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [7] *Open Building Legacy*. Erişim Tarihi: 10.02.2021. [Online]. <https://www.openbuilding.co/legacy>
- [8] *Het SchetsBlok*. Erişim Tarihi: 10.02.2021. [Online]. <https://www.ana.nl/portfolio-item/het-schetsblok/>
- [9] *Superlofts*. Erişim Tarihi: 10.02.2021. [Online]. <https://www.openbuilding.co/superlofts-mka>
- [10] *Objectone*. Erişim Tarihi: 10.02.2021. [Online]. <http://www.spaceandmatter.nl/objectone>
- [11] J. McManus, *Harvard GSD Student Envisions Autonomous Building that Rearranges Spaces Throughout the Day*. (2018). Erişim Tarihi: 10.02.2021. [Online]. <https://www.archdaily.com/894566/harvard-gsd-student-envisions-autonomous-building-that-rearranges-spaces-throughout-the-day>

- [12] S. Chaillou, *Synaptic City Space Flexibility in the age of Big Data*. Erişim Tarihi: 10.02.2021. [Online]. [http://stanislaschaillou.com/citx/Synaptic\\_City\\_Stanislas\\_Chaillou\\_1.pdf](http://stanislaschaillou.com/citx/Synaptic_City_Stanislas_Chaillou_1.pdf)
- [13] K. Klein, *Woods Bagot's Modular AD-APT Modifies Apartments For Working From Home*. (2020). Erişim Tarihi: 10.02.2021. [Online]. <https://www.dezeen.com/2020/04/13/woods-bagots-modular-ad-apt-apartments-working-from-home/>

*Copyright © 2021 Durmuş and Asimgil. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).*



*Derleme Makalesi / Review Article*

## An Overview of Hygrothermal Simulation Tools

### Higrotermal Simülasyon Araçlarına Genel Bir Bakış

Yusuf YILDIZ

Balıkesir University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 10140, Balıkesir, Turkey

#### ARTICLE INFO

##### Article History

Received, 05 April 2021

Revised, 01 June 2021

Accepted, 14 June 2021

Available Online, 05 November 2021

##### Keywords

Hygrothermal analysis, Simulation, Moisture

#### ABSTRACT

Hygrothermal (humidity-thermal) behavior of building components exposed to weather conditions is an important part of the overall performance of a building. Estimating and modeling moisture often involves complex calculations. Today, apart from the experimental methods, mostly the hygrothermal behavior of the building envelope can be estimated with simulation programs. While the demand for simulation programs used to calculate energy performance in buildings is increasing, the interest in tools that calculate the hygrothermal behavior of the building and building envelope is still not at the expected level. The main purpose of this study is to examine the actively accessible hygrothermal analysis programs in general and to examine their usability in literature. Firstly, the simulation programs are overviewed. Later, to analyze the usability of these programs, the articles published between 2001-2019 were examined in electronic databases. As a result of the reviewing, eight programs were identified and it was found that Wufi, DELPHIN and IDA-ICE tools were used more in academic studies than other programs. However, although there was a slight increase in hygrothermal analysis program usage, it was observed that it was not at the desired level.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihi

Alınış, 05 Nisan 2021

Revize, 01 Haziran 2021

Kabul, 14 Haziran 2021

Online Yayınlama, 05 Kasım 2021

##### Anahtar Kelimeler

Higrotermal analiz, Simülasyon, Nem

#### ÖZ

Hava şartlarına maruz kalan yapı bileşenlerinin higrotermal (nemsel-ısı) davranışı, bir binanın genel performansının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Nemin tahmin edilmesi ve modellenmesi genellikle karmaşık hesaplamaları içermektedir. Günümüzde, deneysel yöntemler dışında benzetim (simülasyon) programları ile çoğunlukla bina kabuğunun kullanım sırasındaki higrotermal davranışı tahmin edilebilmektedir. Binalarda enerji performansını hesaplamak için kullanılan simülasyon programlarına talep artarken, bina ve kabuğun higrotermal davranışını hesaplayan araçlara olan ilgi ise hala beklenen düzeyde değildir. Bu çalışmanın temel amacı, aktif olarak ulaşılabilen higrotermal analiz programlarını genel olarak irdelemek ve kullanılabilirliklerini incelemektir. İlk olarak simülasyon programlarının özellikleri incelenerek genel bir bakış sunulmuştur. Daha sonra bu programların kullanılabilirliğini analiz etmek için 2001-2019 yılları arasında yayınlanan makaleler elektronik veri tabanlarında incelenmiştir. Tarama sonucunda 8 program tespit edilmiş ve bu programlardan Wufi, DELPHIN ve IDA-ICE araçlarının diğer

programlara göre akademik çalışmalarda daha fazla kullanıldığı bulunmuştur. Ayrıca higrotermal analiz program kullanılabilirliğinde azda olsa artış olmasına rağmen istenilen seviyede olmadığı görülmüştür.

## 1. INTRODUCTION

In recent years, energy consumption and thermal comfort in the buildings are at the top of the topics that are widely studied. Moisture control has become as important as building energy performance, because indoor humidity is closely related to comfort and personal health, and also affects construction durability and energy consumption [1]. Moisture in building components can adversely affect the thermal performance of the building, as well as speed up aging and deterioration. High humidity levels in building materials can also cause microbiological growth, such as mold [2]. This can create uncomfortable indoor environments, impair user health and reduce the life of buildings. Moisture can also cause structural damage by decay in organic materials such as wood. High indoor humidity levels can affect the working efficiency of heating, ventilation and air conditioning systems; excessive moisture or hidden load may require more energy to dehumidify during cooling [3]. For these reasons, the estimation and control of moisture behavior in buildings and building components is as necessary as energy efficiency and thermal comfort. The interaction between the building envelope and the surrounding areas plays an important role in determining the hygrothermal behavior of a building. The comprehensive situation of all boundary conditions that trigger this interaction requires us to perform a detailed analysis of energy demands, internal conditions and hygrothermal conditions within the building envelope. The general purpose of the hygrothermal analysis is to evaluate the temperature and humidity conditions that may prevail in a whole or part of a time dependent or instantaneous building. The following preliminary information is needed to estimate the hygrothermal performance of the building structural element [4]:

- Geometry of the building element and all macro building details (building shape and height, etc.), building element assembly details and micro details (cracks, etc.),
- Boundary conditions; internal environment conditions involving the interaction of the building element with the internal environment, external environment conditions involving the interaction of the building element with the external environment, boundary conditions between the materials that make up the building element,
- Material properties and temperature, moisture content and change with age and chemical interactions with other materials,
- Physics, chemistry, thermodynamics and combined heat, air and moisture transport mathematics.

The hygrothermal performance of a building shell is related to knowing which materials should come together at the design stage, the temperature values of the material, the amount of water and moisture performance [5]. Moisture performance of a building element can be determined by various experiments, but it requires a long time and high cost. Different calculations can be made using analytical and graphical methods, but these methods also have limitations. For this reason, the use of computer models has become a necessity and become widespread today in the examination of humidity performance of buildings [6].

Simulation is a general term and is used for a variety of purposes such as thermal comfort, lighting, acoustics and energy consumption analysis, evaluation of different forms and designs in existing or new buildings. Different simulation programs have been developed depending on usage purpose. There are also special simulation programs used for moisture and thermal behavior calculations. In recent years, the use of tools that simulate the building envelope or heat, air and humidity conditions throughout the building has increased. Today, simulation programs that evaluate energy performance are used more frequently, while the number and use of simulations that evaluate moisture performance are relatively low. Although some simulation programs combine both heat and moisture transfer calculations, the number of models that model moisture transfer to life is still limited. Models used in simulation programs differ significantly according to their mathematical complexity and As Straube and Burnett [7] stated in her work, this complexity based on the degree to which the model including parameters such as moisture transfer size, flow type (steady state, semi-static or dynamic), quality and access on information, and the stochastic nature (material properties, weather, building quality, etc.) of various data.

Eight hygrothermal simulation tools in this study were evaluated and presented in terms of their general features. Then, to analyze the usability of these programs, four electronic databases were scanned and the results were examined.

## **2. MATERIAL AND METHOD**

The literature review is according to the studies on mentioned subject in scientific journals published between 2001-2019 by using a systematic review approach. This approach allows the identification of current relevant studies depending on a formerly designed research question [8]. In addition, this reduces the author's subjectivity because it provides transparency of results and reproducibility of the study [8]. The research consists primarily of brief introduction of hygrothermal analysis programs that are in active use and scanning related studies in the main online databases that covering academic studies in journals. Databases used for this study are Google Scholar, Web of

Science, Scopus and ScienceDirect, which contain academic articles related to energy and engineering fields and enable to make accurate and customized searches. Keywords “simulation name + hygrothermal” are determined to examine how much these programs are used in academic studies and the scan has been repeated as many times as necessary until the most recent research in this field has been identified. Some criteria for inclusion and exclusion were determined to identify the most relevant articles from the scientific literature. The study is restricted to researches published in academic peer-refereed journals. All other publications (eg conference papers, periodicals and working papers) and articles not written in English are also excluded.

### **3. HYGROTHERMAL SIMULATION PROGRAMS**

In recent years, many simulation tools have been developed to analyze building performance from different perspectives. According to the list on the US Department of Energy's website, there are now more than 345 simulation tools for both commercial and research purposes [9].

The humidity problem in buildings has been studied since the first days of the last century, but in recent years, the general issue of moisture transfer in buildings has become a more important study area depending on the improvement in simulation programs. Heat & humidity conditions and transport in buildings and building components should be handled together. It is clear that high humidity affects negatively heat losses and temperature conditions in components of building causes moisture transfer. Investigation of heat and moisture movements is expressed as "hygrothermic" [10]. Hygrothermal models are necessary to simulate the combined transport of heat and moisture for one or multi-dimensional situations in the field of building physics [11]. Hygrothermal simulation provides a prediction of a designer's or engineer's moisture and temperature conditions and movements that may occur within the building or building envelope. However, one of the shortcomings in many building energy simulation programs is that it does not take into account the humidity in the building elements or ignore the external/internal humidity fluctuation. Therefore, hygrothermal simulation tools that calculate temporary temperature and humidity conditions in building envelope components under realistic boundary conditions are increasingly needed by architects and engineers [2]. Most of the hygrothermal simulation tools available in the literature are not currently available. For this reason, hygrothermal simulation programs that are open for use have been compiled in terms of their features in light of the information available and are summarized below:

#### **Bsim**

The Bsim simulation program was created by the Building Research Institute of Denmark Alborg University is a tool to make model (one-dimensional) for the transport of heat and moisture in



porous building materials. BSim2000, which is the updated version of the MATCH program, is also a performance analysis tool for indoor climate, energy consumption and analysis of the building's daylight performance. BSim is an integrated tool used to analyze buildings and active systems. This program is capable with analysis of indoor climate, energy consumption, daylight conditions, simultaneous simulation of moisture and energy transfer in buildings, integrated photovoltaic systems, natural ventilation and electrical efficiency. The BSim program package consists of six different fixed modules; SimView-Graphical user interface, Tsb5-indoor climate and dynamic simulation of energy conditions, Xsun-sunlight and shadow analysis and simulation, SimLight-daylight calculation, SimDXF-CAD drawings import, SimDB-Structure and material database. It is also possible to use a number of additional sub-modules.

Tsb5 is the main module of BSim [12]. This module provides dynamic simulation of indoor climate, energy and humidity conditions in buildings. The results can be used in many ways. Tsb5 is also a module used for synchronous simulation of humidity and thermal conditions in spaces and building elements. The moisture module enables the analysis of humidity changes in indoor climate, moisture accumulation in structures and the risk of condensation on surfaces. For this purpose, the BSim database has been expanded with sorption and desorption properties for building materials. The program was last updated in 2020.

## **DELPHIN**

DELPHIN has been developed for one- and two-dimensional combined heat, moisture and mass transfer calculations in porous building materials [14]. The tool is used to simulation of temporary mass and energy transport for standard and natural climate boundary conditions. Other usage areas are as follows [13]:

- Calculation of heat bridges, including evaluation of hygrothermally problem areas (surface condensation, interstitial condensation),
- Interior insulation design and evaluation,
- Ventilated facade systems, ventilated roofs,
- Temporary calculation of annual heating energy demand (taking into account the thermal conductivity due to humidity),
- Drying problems (basement, building moisture, flood, ...),
- Calculation of mould formation risks.

The program was last updated on 2021.

## **GLASTA**

It is a reporting tool optimized for condensation/drying in multilayer structures with heat and steam simulation according to EN 13788 and DIN 4108. It is a one-dimensional model used for the prediction of heat and moisture in porous building materials. Monthly average temperature, vapor pressure or relative humidity values can be calculated with the program. It has also a weather database for more than 100 European regions [11]. The program was last updated on February 4, 2015 [15].

## **HAMLab**

HAMLab (Heat, Air and Humidity Laboratory) was developed by students and researchers under the supervision of Jos van Schijndel at Eindhoven University of Technology and is a modelling toolkit for temperature, air and humidity calculation. It consists of models that can work in the Matlab/imulink/FemLab/ COMSOL environment. For example, HAMBase is one of the sub-units of the model and is used for the analysis of heat and moisture flows in buildings. The main goal of the model is to calculate the indoor thermal conditions and energy usage. With the model, indoor temperature, air humidity and energy consumption for heating and cooling in buildings can be calculated [16]. No information has been available on when it was updated lastly.

## **IDA-ICE**

It is a detailed and dynamic multi-zone simulation tool for the calculation of the energy consumption of the buildings, as well as thermal indoor conditions, used mostly in the Scandinavian and Central European countries. It is a calculation tool with many features, including models for heat transfer in the building envelope, flow networks, daylight and energy systems analysis. The integrated airflow network incorporates a wide range of calculations such as thermal models, CO<sub>2</sub>, humidity and vertical temperature gradients [17]. To investigate the moisture transfer with the IDE-ICE program, commonly used wall model was changed with HAMWall, created by Kurnitski and Vuolle [18]. HAMWall can work as a single distanced model or as a component of a larger system. Transport of water as liquid is not modeled and hysteresis is not considered in this tool. It is also possible to examine the following conditions by using this tool [17]:

- The effects of buildings on indoor air quality and thermal comfort,
- The building materials and furniture as a moisture barrier to mitigate air humidity fluctuation,
- Hygrothermal analyse based on changing indoor climate conditions,
- The effect of ventilation system according to low or overpressure on hygrothermal conditions in the building envelope,

- The effect of moisture on the heating and cooling load.

A new version of the program was released in 2018 [19].

## **MATCH**

MATCH is a model developed in Denmark. It can be used to temporary calculation of the movement of heat and moisture through composite structure constructions. The air flow can be calculated by using a different type of the tool. MATCH works based on the finite control volume method to make calculations for the temporary variation of both thermal and moisture dependent variables. Moisture movement is accepted to only cause by the steam flow. The tool was validated by comparing its results with the experimental data created from laboratory and field studies [18]. Its latest version was published in 2003 [20]. Among the advantages of the program are:

- Including the hygroscopic capacity of building materials,
- Including definition of the bidirectional interaction between heat and moisture transfer,
- A research-oriented and user-friendly tool for practitioners in the building design process.

## **MOIST**

MOIST is a user-friendly simulation tool predicting one-dimensional transfer of heat and moisture. The wall, cathedral ceiling or low-pitched roof structure can be easily identified with MOIST. Then, the impacts of several parameters on the moisture accumulation in the building layers can be investigated. For example, the impact of climate change on moisture accumulation can be examined by defining the weather conditions for different cities. It can be determined whether a vapor retarder is required and its location within other materials if necessary. The user can change materials and their locations and can predict moisture in each of them as a function of time based on selected weather data [21].

The MOIST model has detailed capillary pressure curve. It also examines the impact of water vapor resistance offered by paint layers, walls and steam retardants. Algorithms in the program can predict moisture transfer through the capillary flow regime in the diffusion regime. The effect of water evaporating from one place and condensed elsewhere is included in the model. The model uses the moisture content, relative humidity and temperature of the building layers, as well as the database of heat and moisture properties for common building materials. During a simulation, the user can specify a constant indoor temperature and relative humidity or allow relative humidity to change and be calculated from the humidity balance of the entire building. The program can be used for the following wall, unventilated cathedral ceiling and low-pitched roof applications [22]:

- Estimating winter moisture content in the outer structure layers and determining whether a retarder is needed,
- Estimating the surface relative humidity in the building layers in hot and humid climates,
- Determination of drying rates for materials containing original building moisture,
- Investigation of the performance of cooling tanks,
- Analysis of impact of moisture on heat transfer.

One of the most important limitations of the program is that the model is one-dimensional. This means that the model does not include the effect of framing elements and two- and three-dimensional effects, such as vertical movement of moisture in the soil. Moreover, it does not include wetting a model building with rain and snow load insulation effect and change in roof absorption. In addition, the model does not include air movement, and the transfer of heat and moisture. The construction is assumed to be airtight [22]. The program was last updated in 1997 [23].

## **WUFI**

The Hygrothermic Division in Fraunhofer IBP, Germany has created the WUFI simulation packages to make hygrothermic analysis. It can make dynamic simulations of combined heat and humidity transfer. The methods used are approved worldwide and make possible simulation of hygrothermal conditions in components and buildings depending on real climatic conditions. The tool works according to the latest information on vapor diffusion and fluid transfer in building materials. For boundary conditions, measured external climatic data, including precipitation and solar radiation, are used. The common feature of the WUFI family is that it is a dynamic, matched simulation of heat and humidity transport. However, WUFI is later divided into two categories [24]:

1. Simulation of building element (WUFI Pro and WUFI 2D): focuses on single or multi-layered building components such as walls and roofs exposed to the defined external and internal climate. These calculations evaluate issues covering whether one-dimensional cross-sections and/or cross sections such as balcony joints will sustain moisture-related damage. WUFI Pro is a basic tool to investigate the hygrothermal performance of one-dimensional building envelope sections. WUFI 2D is a higher version of WUFI Pro and is used for the evaluation of detailed geometries (building corners, window connections, basic interfaces, etc.).
2. Building simulation (WUFI Plus and WUFI Passive): the building deals with behavior in an integrated manner and takes into account the effects of moisture on indoor environment. The

main aim of this version is to evaluate indoor conditions and the energy requirements to maintain comfortable and healthy indoor environment [19].

WUFI Plus is the most extensive version within the Wufi simulation packages. It can simulate the indoor environment and its impact on comfort and energy consumption as well as the hygrothermal conditions in building elements defined by user. WUFI Plus is also capable of dynamic evaluation of thermal protection in summer. It can calculate the transient response of three-dimensional thermal bridges. According to results of WUFI Plus simulations, the user decides whether the building meets the passive house criteria.

WUFI Passive: It is different version of WUFI Plus. The main difference is that the dynamic hygrothermal simulation is only performed after the passive house criteria are met. Moreover, WUFI Passive works a quick monthly balance method that allows for optimization of passive house criteria and subsequent certification.

WUFI Plus Free and WUFI Passive Free: These are free versions and they do not make hybrid component simulation and room environment simulation. Also, databases are not changed with different values and results are not exported.

Results from simulations include graphs showing all moisture content and each layer in the system. There are also graphs showing temperature and relative humidity data for simulations. WUFI is used by building materials manufacturers, consultants, designers and experts in the field of hygrothermic. The program was last updated in 2019 [24].

#### **4. SCANNING HYGROTHERMAL SIMULATION PROGRAMS IN DATABASES**

Simulation programs are tools used to better understand events or processes after they are mathematically expressed and provide effective solutions and are often preferred to provide the necessary supporting information in decision making. Eight simulation tools that can actively represent the hygrothermal behavior of the buildings with different levels of detail and complexity have been identified.

Determined keywords (program name + hygrothermal) were scanned in Google Scholar, Web of Science, Scopus and ScienceDirect databases to evaluate how much these programs are preferred in academic studies. In this research, only articles published in peer-reviewed academic journals and written in English were included; conference papers, periodicals, books, theses, etc. other types of publications have been excluded from scanning.

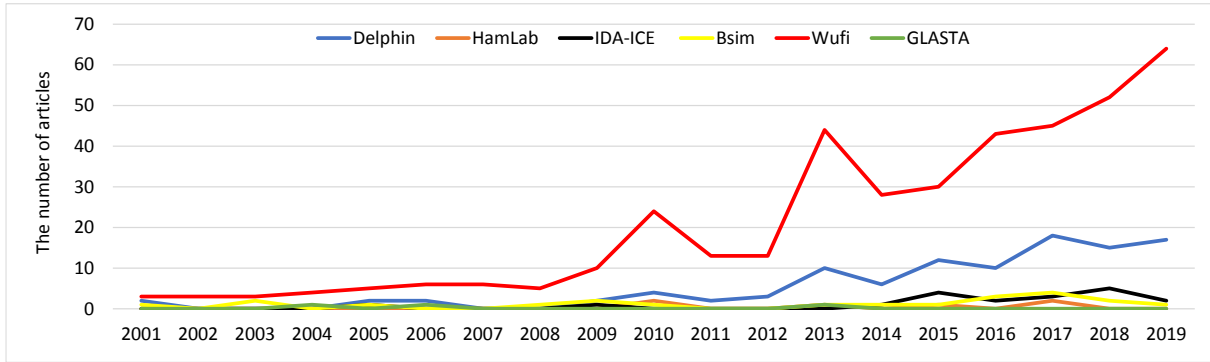
The literature search carried out on 01.03.2021 and the results are given in Table 1. It is clear that results vary depending on the databases. It was found that WUFI program was the most used program in academic studies compared to other simulation tools. The DELPHIN program is the second most widely used simulation tool. IDA-ICE, Bsim and HamLab programs are other common tools used in literature. GLASTA is the least used simulation tool. Moist and Match programs have been scanned in detail but articles found are not related to the main topic, as moist and match evoke words with different meanings. Therefore, they were not included in the study.

**Table 1.** Scanning results in different databases

Tool name	The number of the results				
	Google Scholar	Scopus	Science Direct	Web of Science	Total
<b>Wufi</b>	542	258	159	76	1035
<b>Bsim</b>	128	11	4	1	144
<b>Moist</b>	*	*	*	*	0
<b>Match</b>	*	*	*	*	0
<b>IDA-ICE</b>	213	16	4	1	234
<b>HamLab</b>	83	2	5	*	90
<b>GLASTA</b>	*	3	2	*	5
<b>DELPHIN</b>	512	73	67	17	669

\* No relationship was found between the results and the subject.

The number of articles is also examined according to years and we focused to articles published after 2000. Due to the possibility of classification by year, Scopus was chosen to continue with this review. According to results, there is no significant increase in the publications made between 2000-2019 regarding studies used hygrothermal simulation programs (Figure 1). Although Wufi and DELPHIN tools have been gaining popularity over the past years, no significant changes have been observed for other programs. One of the possible reasons for the increase in the use of the wufi program in academic studies is that wufi consists of several sub-programs that serve different purposes such as building component and whole building simulation. The other reason being this is that comprehensive features have been added to Wufi and DELPHIN.



**Figure 1.** Number of articles published from 2001 to 2019

## 5. CONCLUSION

In this study, eight tools for hygrothermal analyse are examined with their general features and reviewed how much they are used in academic studies. The analysis focused on articles published in the last 20 years. According to results of scanning the literature, there are still few studies used tool for hygrothermal analysis. If the current growth trend in the number of studies continues in the coming years, it is likely that research on this subject will deepen and new perspectives can be brought to the subject of hygrothermal analysis. The increase of these studies might be related to the developments in hygrothermal analysis programs.

The eight toolkits and their general information are summarized in Table 2. According to this, Moist and Match tools were updated before 2015, while rest of them were updated newly. All of tools are actually simulation engines except for HamLab. Most of the tools are optimized to run simulations at the building component scale, only wufi seem, focusing more on the whole building scale. The database reviews showed that there was no free simulation tool for hygrothermal analyse. From our point of view, it was a barrier to their widespread use. There are various reasons that affect usage of simulation programs. These can be explored in other studies to obtain detailed information. Finally, since program capacity and features will affect preferences, researcher will select simulation tools that are more suitable for their own problems. Supporting the use of hygrothermal modelling in building design will also be encouraging for the proliferation of programs. The information in this review can help users in both academia and industry know and choose appropriate tools to address moisture issues in buildings.

As with any research study, there are some limitations to this article. This review gives a snapshot of the current state of scientific research. The option to analyze only peer-reviewed scientific journal articles may potentially have excluded relevant some articles.

**Table 2.** The evaluation of eight simulation tools

Tool	Wufi				Bsim	Moist	Match	IDA-ICE	HamLab	GLASTA	DELPHIN
	Pro	2D	P I u s	Plus/Passive Free							
<b>Last releases</b>	2019				2020	1997	2003	2018	No information	2015	2021
<b>Developer</b>	Fraunhofer IBP				AALBORG University	The National Institute of Standards and Technology (NIST)	Danish Technical University	EQUA Simulation AB (Swedish company)	Eindhoven University of Technology	Physibel (Belgium company)	Institute of Building Climatology at TU Dresden
<b>Analysis</b>	1-D calculation	1-D and 2-D calculation	2-D and 3-D calculation, building simulation	1-D calculation, building simulation	1-D calculation	1-D calculation	1-D calculation	1-D calculation	1-D, 2-D and 3-D calculation, building simulation	1-D calculation	1-D and 2-D calculation
<b>Web site</b>	<a href="https://wufi.de/de/">https://wufi.de/de/</a>				<a href="https://sbi.dk/bsi-m/Pages/Kortom-BSim.aspx">https://sbi.dk/bsi-m/Pages/Kortom-BSim.aspx</a>	<a href="https://www.nist.gov/programs-projects/moist">https://www.nist.gov/programs-projects/moist</a>	Not exist	<a href="https://www.equa.se/en/ida-ice">https://www.equa.se/en/ida-ice</a>	<a href="http://sts.bwk.tue.nl/hamlab">http://sts.bwk.tue.nl/hamlab</a>	<a href="https://www.physibel.be/en/products/glasta">https://www.physibel.be/en/products/glasta</a>	<a href="http://bauklimatik-dresden.de/">http://bauklimatik-dresden.de/</a>
<b>Status</b>	Active				Active	Active	Not active	Active	Active	Active	Active
<b>Availability</b>	Free of charge <sup>1</sup> time limited	Time limited	Free of charge <sup>1</sup> time limited	Free of charge	Free demo, time limited	Free of charge	Not active	Time limited, trial version	Free of charge	Free demo, time limited	Free demo, time limited
<b>Integration with other programs</b>	Standalone				Standalone	Standalone	Standalone, network	Standalone, network	Under Matlab/Simulink and COMSOL	Standalone	Standalone, network

**1:** Limited features available



## CONFLICTS OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors.

## REFERENCES

- [1] Z. Huibo, Y. Hiroshi, “Analysis of indoor humidity environment in Chinese residential buildings”. *Building and Environment*, vol. 45, pp. 2132–2140, 2010.
- [2] H. M. Künel, and D. Zirkelbach, “Advances in hygrothermal building component simulation: modelling moisture sources likely to occur due to rainwater leakage”, *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 6, no. 5, pp. 346-35, 2013.
- [3] S. Pallin, P. Boundreaux, S. Shrestha, New. Joshua, Adams. M, *State-of-the-Art for Hygrothermal Simulation Tools*. (2017). Accessed: Jan. 10, 2021. [Online]. Available: <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub73069.pdf>
- [4] E. Edis, H. Kuş. “Determination of hygrothermal performance of building envelope by computer simulation”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, vol. 29, no. 2, pp. 311-320, 2014.
- [5] A. Ekşi, “Mevcut binaların cephelerinde dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının İstanbul’da alanda incelenmesi ve higrotermal performansın benzetimle değerlendirilmesi”, M.S. thesis, Dept. Architecture, Istanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 2016.
- [6] S. Chasan, “Dış cephe bitirme sistemlerinde ısı yalıtımının sıcaklık ve nem performansına etkisinin incelenmesi”, M.S. thesis, Dept. Architecture, Trakya University, Edirne, Turkey, 2013.
- [7] J. Straube, and E. F. P. Burnett, “Overview of hygrothermal (HAM) analysis methods”, In: Trechsel HR (ed). *ASTM manual 40-moisture analysis and condensation control in building envelopes*, pp. 81-89, 1991.
- [8] D. Denyer, D. Tranfield, “Producing a Systematic Review”, *The Sage handbook of organizational research methods*, pp. 671-689, 2009.
- [9] N. M. M. Ramos, J. M. P. Q. Delgado, E. Barreira, V. P. de Freitas, “Exterior condensations on façades: numerical simulation of the undercooling phenomenon”, *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 6, no. 5, pp. 337-345, 2013.
- [10] Wufi, *What is Wufi*. Accessed: Apr. 12, 2020. [Online]. <https://wufi.de/en/software/what-is-wufi>
- [11] N. M. M. Ramos, J.M.P.Q. Delgado, E. Barreira, V. P. De Freitas, *Hygrothermal Numerical Simulation: Application in Moisture Damage Prevention, Numerical Simulations-Examples and Applications in Computational Fluid Dynamics*, Lutz Angermann (Ed.), InTech, 2010, pp. 97-122.
- [12] Bsim. Accessed: Sept. 10, 2020. [Online]. <https://sbi.dk/bsim/Pages/Kort-om-BSim.aspx>
- [13] A. Nicolai, J. Grunewald, J. J. Zhang, “Recent improvements in HAM simulation tools: Delphin 5 / CHAMPS-BES”, in *Proceedings of 12th Symposium for Building Physics*, 2007, pp. 866-876, Dresden.
- [14] Delphin. Accessed: August. 22, 2020. [Online]. <http://bauklimatik-dresden.de/delphin/index.php?aLa=en>
- [15] Glasta. Accessed: October. 28, 2020. [Online]. <http://www.physibel.be/v0n2gl.htm>

- [16] Hamlab. Accessed: November. 18, 2020. [Online]. <https://archbpswiki.bwk.tue.nl/bpswiki/index.php/Hamlab>
- [17] J. M. P. Q. Delgado, E. Barreira, N.M.M., Ramos, V.P. de Freitas, “Hygrothermal Numerical Simulation Tools Applied to Building Physics”, *Springer*, London, 2013.
- [18] J. Kurnitski, and M. Vuolle, “Simultaneous calculation of heat, moisture and air transport in a modular simulation environment”, *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 25-47, 2000.
- [19] Ida-ice. Accessed: February. 2, 2020. [Online]. <https://www.equa.se/en/ida-ice>
- [20] Match. Accessed: January. 7, 2020. [Online]. <https://match-box.dk/what-is-match/>
- [21] A. Pehlevan, Y. Yaşar, S. Maçka, “Higrotermal performans açısından duvar konstrüksiyonu tasarımında bilgisayar modellerinin kullanımı”, X. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, pp. 371-385, İzmir. 2011.
- [22] D. M. Burch and J. Chi, “Moist: A PC program for predicting heat and moisture transfer in building envelopes”, Accessed: June. 12, 2020. [Online]. <https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/04/28/MoistManual.pdf>
- [23] Moist. Accessed: April. 25, 2020. [Online]. <https://www.nist.gov/programs-projects/moist>
- [24] Wufi. Accessed: March. 25, 2021. [Online]. <https://wufi.de/en/software/product-overview/>