



Derin Öğrenme Destekli Gerçek Zamanlı Zeytin Tespiti Uygulaması

Erhan KAHYA^{1*}, Yasin ASLAN²

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kontrol ve Otomasyon Teknolojisi Programı, 59100, Tekirdağ

² Freelance Senior Software Developer, 59100, Tekirdağ

¹<https://orcid.org/0000-0001-7768-9190>

²<https://orcid.org/0009-0007-8042-9729>

*Sorumlu yazar: ekahya@nku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 17.11.2023

Kabul tarihi:04.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Derin öğrenme

Tanımlama

Zeytin

Hassas tarım

YOLOv5

ÖZ

Ürün verim tahmini, ürün hasadı ve pazarlama stratejilerinin oluşturulması için çok önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda, birçok tarımsal üründe verimi tahmin etmek için bilgisayarla görme ve derin öğrenme teknikleri çalışmaları yapılmaktadır. Ürünlerin dal üzerinden tam olarak ayrılması ürün verim tahminini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada ağaç üzerinde ürünlerin yerlerini tespit ederek ürün verim tahminini kolaylaştıracak derin öğrenme modeli gerçekleştirilmiştir. Materyal olarak zeytin seçilmiştir. Derin öğrenme tabanlı zeytin tespiti yapılmıştır. Modelin algoritması, zeytin tespiti için olive adlı nesne sınıfından oluşmaktadır. Eğitim ve test omurgası YOLOv5 (nano-small-medium ve large) modelleridir. Oluşturan modellerin tüm metrik değerleri incelenmiştir. En başarılı model YOLOv5s algoritmasıyla, 640x640 boyutundaki görsellerin 15 Batch, 115 Epoch ile eğitilmiş model olduğu görülmüştür. Model değerleri sonuçları "metrics/precision", "metrics/recall", "metrics/mAP_0,5" ve "metrics/mAP_0,5:0,95" olarak incelenmiştir. "YOLOv5 small" modelinin metrik verilerinin diğer modellerle kıyaslandığında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Başarı oranı 115 epoch için F1 score %85,18, precision %95,63, recall %84,24, mAP %72,8'dir. Buradan "Model 2"nin robotik zeytin hasadında zeytinin toplanmasında kullanılacak en iyi tespit modeli olduğu anlaşılmıştır.

Deep Learning Supported Real-Time Olive Detection Application

Research Article

Article History:

Received: 17.11.2023

Accepted: 04.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Deep learning

Description

Olive

Precision agriculture

YOLOv5

ABSTRACT

Crop yield prediction plays a very important role in crop harvesting and marketing strategies. In recent years, computer vision and deep learning techniques have been used to predict the yield of many agricultural crops. The exact separation of the crops from the branch directly affects the yield estimation. In this study, a deep learning model has been implemented to facilitate crop yield estimation by detecting the location of crops on the tree. Olives were selected as the material. Deep learning based olive detection was performed. The algorithm of the model consists of an object class named olive for olive detection. The training and test backbone are YOLOv5 (nano-small-medium and large) models. All metric values of the constituent models were analysed. It was seen that the most successful model was the model trained with the YOLOv5s algorithm with 15 Batches and 115 Epochs for 640x640 sized images. The results of the model values were analysed as "metrics/precision", "metrics/recall", "metrics/mAP_0,5" and "metrics/mAP_0,5:0,95". It was found that the metric data of the "YOLOv5 small" model was higher compared to other models. The success rate for 115 epochs is F1 score %85,18, precision %95,63, recall %84,24, mAP %72,8. It

is concluded that "Model 2" is the best detection model to be used for olive picking in robotic olive harvesting.

To Cite: Kahya E, Aslan Y. Derin Öğrenme Destekli Gerçek Zamanlı Zeytin Tespiti Uygulaması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1438-1454.

1.Giriş

Derin öğrenme, özellik gösterimi, örüntü tanıma ve büyük ve karmaşık veri kümelerinin analizi için güçlü yetenekler sunarak çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Potansiyelinden dolayı tıbbi görüntüleme büyük veri analitiğine kadar çeşitli alanlarda kendisine yer bulmuştur. Derin öğrenme yöntemleri tarımda, özellikle bitki hastalıklarının tespitinde, gübreleme ve sulamada, tarım arazilerinin haritalamasında, hasat tahmininde, tarım robotlarında kullanılmaya başlanmıştır. Tarım sektöründe, özellikle de zeytin yetiştiriciliği bağlamında derin öğrenme büyük ilgi görmektedir. Derin öğrenme tekniklerinin zeytinle ilgili süreçler bağlamında uygulanması, son zamanlarda yapılan birçok çalışmanın odak noktası olmuştur. Zhang ve ark. (2022) derin öğrenme tekniklerini tarlada meyve tespiti ve takibi için kullanmışlar ve meyve bahçelerinde hızlı meyve tespiti ve verim tahmini potansiyelini ortaya koymuşlardır. Derin öğrenme de dahil olmak üzere makine öğrenimi, mahsul sınıflandırması, hastalık tahmini ve karar verme süreçlerini kapsayan modern tarım yönetiminde çok önemli bir rol oynamaktadır (Zhang ve ark., 2021). Görsel tanımlama, 3D yeniden yapılandırma ve konumlandırma alanındaki son gelişmeler, ürün hasadı da dahil olmak üzere tarımda robotik uygulamalarını genişletmiştir (Tang ve ark., 2020). Derin öğrenme teknolojisiyle birleştirilen görüş tabanlı meyve toplama robotları, meyve hasadında umut verici sonuçlar göstermektedir. Zeytin hasadında benzer uygulamalar için potansiyele işaret etmektedir (Tang ve ark., 2020). Ayrıca, derin öğrenmenin tarımda uygulanması, zeytin hasadında derin öğrenme modellerinin başarılı bir şekilde uygulanması için gerekli olan mahsullerle ilgili büyük miktarda verinin elde edilmesini ve işlenmesini içerir (Fountsop ve ark., 2020). Ayrıca, YOLOv3 gibi algoritmaların ön ve son işlemlerle birlikte kullanılması, hasat robotlarında meyve tespiti için tasarlanmış ve derin öğrenmenin robotik hasat sistemlerine entegrasyonunu göstermiştir (Kuznetsova ve ark., 2020). Otonom hasat robotik sistemleri, kümeler içinde doğru meyve tespiti için derin öğrenme sınıflandırmasına güvenerek sera ortamlarında verimli hasat yapılmasını sağlamaktadır (Toon ve ark., 2019). Li ve ark., (2020) yılındaki çalışmalarında robotik hasat makinelerinde engel tespiti ve çarpışmadan kaçınma için derin öğrenme algoritmalarının uygulanması, zeytin hasat süreçlerinin güvenliğini ve verimliliğini artırma potansiyelini vurgulamaktadırlar. Zeytin bahçesinde otomatik hasat potansiyeli, özellikle de zeytin meyvesi kesimine yönelik ürünlerin uygulanması, zeytin hasadında yenilikçi çözümlerin geliştirilmesi için bir fırsat sunmaktadır (Quilez ve ark., 2012). Ayrıca son zamanlarda yapılan çalışmalarda, insansız hava araçlarının (İHA'lar) hasat için uygun ürünlerinin algılaması için otonom navigasyonda derin öğrenmenin uygulanmasını araştırarak akıllı tarım ve kaynak optimizasyonu potansiyelini ortaya koymuşlardır (Sellers ve ark., 2023). Otonom biçerdöverler için zayıf denetimli mahsul alanı segmentasyonuna derin öğrenme uygulanmış ve tarımsal otomasyon için pratik performansını vurgulamışlardır (Kim ve ark., 2021). Bir başka çalışmada Fujinaga ve ark. (2020)

derin öğrenme, domates büyüme durumu haritalaması için uygulanmış ve bitkilerin büyüme durumuna göre domateslerin izlenmesi ve hasat edilmesini otomatikleştirme potansiyelini ortaya koymuşlardır. Onishi ve ark. (2018) otomatik bir meyve hasat robotunun geliştirilmesi için derin öğrenme kullanılmışlar ve meyve hasat süreçlerinin otomasyonunu ilerletmedeki rolünü vurgulamışlardır. İspanya, İtalya, Yunanistan ve Türkiye 'de zeytin meyvesi, ekonominin büyük bir parçasını teşkil eden güçlü bir tarımsal öneme sahip tarımsal üründür. 2021 yılı verilerine göre İspanya önde gelen zeytin üreticisidir ve 2,4 milyon hektardan fazla özel arazide 1.125,3 ton zeytinyağı üretmektedir (Anonim 1). Zeytinyağı, şu anda diğer gıdaların üretimine girmiş olan önemli bir besin kaynağıdır. Ayrıca zeytin dikimi, birçok bölgede tarımın sosyal, ekonomik ve çevresel öneminin geleneksel bir parçasıdır (Al-Hababed ve ark., 2022). Bu çalışmada robotik zeytin hasadı için kullanılacak derin öğrenme modelinin seçimi yapılmıştır. Robotik zeytin hasat sistemleri dijital görüntülerden zeytin meyvesini tespit etme ve yerini belirleme yeteneğine sahip olması gerekmektedir. Yapılan çalışmada zeytin meyvesine ait dijital görüntülerin derin öğrenme modellerinden biri olan YOLOv5 ile eğitilerek gerçek zamanlı olarak tespiti yapılmıştır. YOLO, nesne tespitini bir regresyon problemi olarak ele almaktadır. Faster R-CNN gibi "iki aşamalı" yöntemlerden daha hızlı ancak daha az doğru olmasını sağlar (Xu ve ark., 2021). Görüntülerdeki nesnelere verimli bir şekilde tespit etmek için evrişimli katmanları ve bağlantılı katmanları birleştirir (Huynh ve ark., 2022). YOLO, tıbbi teşhis görevleri, gözetim, akıllı ulaşım sistemleri ve baskılı devre kartlarının kalite denetimi dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanmaktadır (Adibhatla ve ark., 2020; Dai ve ark., 2023; Stodt ve ark., 2023). Kısıtlı ortamlarda gerçek zamanlı nesne tespiti ve enerji tasarruflu nesne tespiti için de kullanılmaktadır. (Kim ve ark., 2021). YOLO algoritması, gerçek zamanlı yetenek ve algılama doğruluğu açısından üstün performans göstererek akıllı video analizi, trafik izleme ve gözetim sistemleri gibi uygulamalar için uygun hale gelmiştir (Xu ve ark., 2021; Lin ve ark., 2022; Yunefri ve ark., 2022). Derin öğrenme modellerinin, özellikle de Yapay Sinir Ağlarının uygulanması, hastalık yönetiminden verim tahminine ve çevresel etki değerlendirmesine kadar zeytin yetiştiriciliğinin çeşitli yönlerini geliştirmek için umut vadetmektedir. Derin öğrenme teknolojilerinin zeytin hasadına entegrasyonu, tarım sektöründe üretkenliği, verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak içinde önemlidir.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1. Materyal

Zeytin meyvesi hasadı için belirlenen kriterler, zeytin meyvelerinin olgunluk seviyesi, yağ içeriği, fenolik bileşenlerin miktarı, meyve dökülme kuvveti, hasat zamanı, mekanik hasat yöntemlerinin etkisi ve su uygulamalarının zeytinyağı kalitesi üzerindeki etkileri gibi çeşitli faktörleri içermektedir. Öncelikli kriter, zeytin meyvelerinin olgunluk seviyesidir. Zeytin hasadı, meyvelerin toplanması ve zeytinyağı üretimi için kritik bir süreçtir. Bu süreçte kullanılan farklı hasat yöntemleri ve bu yöntemlerin zeytin ve zeytinyağı kalitesi üzerindeki etkileri üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Mekanik hasadın zeytinlerde iç hasara neden olabileceği ve bu durumun meyvelerin hızlı yumuşamasına ve çürümmesine

yol açabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, mekanik hasadın daha yüksek miktarda yağ elde etmeyi kolaylaştırdığı ve bu yağın meyve depolaması sırasında hızla bozulabileceği gözlemlenmiştir (Yousfi ve ark., 2012). Dag ve ark. (2008) yılında modernizasyonun bir parçası olarak mekanik hasadın kullanımı vurgulanmışlardır. Diğer bir araştırmada, entegre bir hasat sisteminin zeytin meyvelerinin kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Plasquy ve ark.(2021) optimum koşulların işlenmeden önce zeytin meyvelerinin kalitesi için ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur.

2.2.Yöntem

Çalışma kapsamında nesne tespiti ve analizi hedeflenen zeytin meyvesinin veri setini hazırlarken, Tekirdağ Naip köyünde üretici zeytin tarlasından alınan 30 görüntü ile çeşitli internet kaynaklarından alınmış 110 görüntü kullanıldı. Görüntüler içindeki her bir zeytin görüntüsünü içeren kısımların sınırlayıcı kutu alanı ile işaretlenmesi yapıldı. Şekil 1.a-b 'de üretici tarlasından alınan görüntülerinden, Şekil 2.a-b 'de veri seti için internet ortamından alınan görüntü örneklerinden örnek görüntüler verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1.a-b. Üretici tarlasından alınan görüntü örnek resimleri



(a)



(b)

Şekil 2.a-b. İnternet ortamından alınmış eğitimde kullanılmış görüntü örnekleri(Anonim 2.a-b)

2.2.1.Etiketleme

Bir nesne tespiti modelinin, bir veri seti üzerinde eğitim gerçekleştirebilmesi için, tespit edilmesi hedeflenen nesnelere eğitileceği veri setinde etiketlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple Tekirdağ Naip köyünde üretici zeytin tarlasından ve çeşitli internet kaynaklarından alınmış toplam 140 görselin her birinde zeytin görüntüsünü içeren kısımların sınırlayıcı kutu alanı ile işaretlendi. Ait oldukları nesne sınıfı adı “olive” olarak tanımlandı. Görsel etiketleme programı olarak Roboflow kullanıldı. Şekil 3’te etiket ekranı gösterilmiştir.



Şekil 3. Label Ekranı (Anonim 3)

2.2.2.Eğitim Model Seçimi ve Başlatılması

Yapmış olduğumuz çalışmada, CNN (Convolutional Neural Networks) yöntemiyle geliştirilmiş YOLO (You Only Look Once) derin öğrenme modellemesi olan YOLOv5 modellemesi kullanılmıştır. YOLO algoritması, bilgisayarla görme alanında büyük ilgi gören nesne tespitine yönelik bir derin öğrenme yaklaşımıdır. YOLO'nun temel amacı, bir görüntü üzerindeki nesnelere tespit etmek ve bu nesnelere sınıflandırmaktır. YOLO'nun ana avantajı, diğer geleneksel nesne tanıma yöntemlerine göre daha hızlı çalışmasıdır. Geleneksel yöntemler genellikle bir görüntüyü birkaç farklı bölgeye böler ve her bir bölgeyi ayrı ayrı analiz eder. Ancak YOLO, görüntüyü tek bir seferde analiz ederek nesne tespiti ve sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirir. YOLO, genellikle derin öğrenme kütüphaneleri ve çerçeveleri (örneğin, TensorFlow veya PyTorch) üzerinde uygulanan bir algoritma olarak kullanılır. Bu sayede, nesne tespiti, sınıflandırma modellerini eğitmek ve kullanmak daha kolay olmaktadır. YOLO algoritması, hız ve doğruluk arasında bir denge sunarak gerçek zamanlı nesne tespiti için güçlü bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Uygulamaları çeşitli alanlara yayılmıştır ve uyarlanabilirliği, performansı, bilgisayarla görme alanında yaygın olarak kullanılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle eğitim ve test seti olarak YOLOv5n/s/m ve l (nano-small-medium ve large) tercih edilmiştir.

Eğitim YOLOv5'in resmi sitesi GitHub veri deposundan indirilen kodlarla birlikte Python editöründe yazılmış program kodları ile yapılmıştır. Eğitim için aşağıda yazılı olan kodlar içerisindeki parametreler ve düzenlemeler tercih edilmiştir.

```
python train.py --img 640 --batch 15 --epochs 115 --data dataset.yaml --weights yolov5n.pt
```

```
python train.py --img 640 --batch 15 --epochs 115 --data dataset.yaml --weights yolov5s.pt
```

```
python train.py --img 640 --batch 15 --epochs 115 --data dataset.yaml --weights yolov5m.pt
```

```
python train.py --img 640 --batch 15 --epochs 115 --data dataset.yaml --weights yolov5l.pt
```

Program, öncelikle YOLOv5 dosyalarını kontrol etmekte, herhangi bir güncelleme durumunu olup olmadığını kontrol etmektedir. Sonraki adımı istenen döngü sayısı (epoch) kadar eğitim işlemi tekrarlamaktadır. Eğitim sonucundaki değerlendirme göstergeleri şunlardır;

Gerçek Pozitif (TP), doğru şekilde pozitif olarak sınıflandırılan pozitif görüntülerin sayısını tanımlar.

Gerçek Negatif (TN), modelin negatif bir örneği gerçekten negatif olarak doğru şekilde tanımladığı belirli bir örnek sayısını gösterir.

Yanlış Pozitif (FP), negatif bir örneğin algoritma tarafından kaç örnekte yanlışlıkla pozitif bir örnek olarak tanımlandığını detaylandırır.

Yanlış Negatif (FN), algoritmanın pozitif bir numuneyi yanlışlıkla negatif olarak kategorize ettiği örnek sayısını gösterir.

Doğruluk (Accuracy): İncelenen sınıflandırma problemi dengeli sınıf dağılımına sahipse kullanılan metriktir. Sınıf dağılımının dengesiz olması durumunda, sınıf sayısı düşük olan sınıfı yakalama problemi yaşanabilmektedir.

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

Hata Oranı (Error Rate): Probleme yanlış yapılan sınıflandırmaların/tahminlerin sıklığının oranını verir.

$$\text{Error Rate} = \frac{\text{FN} + \text{FP}}{(\text{TP} + \text{FP} + \text{TN} + \text{FN})} \text{ or } (1 - \text{Accuracy}) \quad (2)$$

Hassasiyet (Precision): Pozitif sınıf (1) tahminlerinin başarı oranıdır. Tahmin edilen pozitif sınıfların (1 olarak tahmin edilen sınıfların) gerçekte ne kadarının pozitif olduğunu gösteren metrik değeridir.

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{(\text{FP} + \text{TP})} \quad (3)$$

Duyarlılık (Recall): Pozitif sınıfın (1) doğru tahmin edilme oranıdır. Tahmin edilen pozitif sınıfların ne kadarının doğru tahmin edildiğini gösteren metrik değeridir.

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{(\text{TP} + \text{FN})} \quad (4)$$

F1-Score: Precision ve recall değerlerinin harmonik ortalamasıdır.

$$\text{F1 Score} = \frac{2 * \text{Precision}}{(\text{Precision} + \text{Recall})} \quad (5)$$

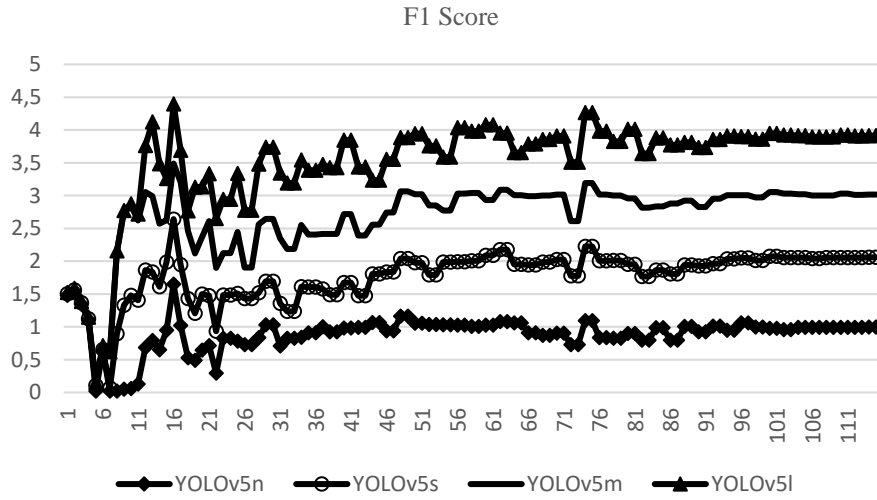
Ortalama Kesinlik Ölçütü (Mean Average Precision): Bu metrik, algılanan sınırlayıcı kutuların hassas ve geri çağırma değeridir. mAP değer skalası 0 ile 1 arasındadır. Elde edilen değerler ne kadar yüksek olursa kesinlik ölçütü o kadar iyi olacaktır. mAP, her sınıf için ayrı ayrı ortalama kesinlik (AP)

ve ardından sınıf üzerindeki ortalama hesaplanarak bulunur. Hesaplanan mAP değeri 0.5'in üzerindeyse doğru pozitif olarak kabul edilir.

$$mAP = \frac{1}{C} + \sum_{k=1}^T P(k)\Delta R(k) \quad (6)$$

3.Araştırma Bulguları

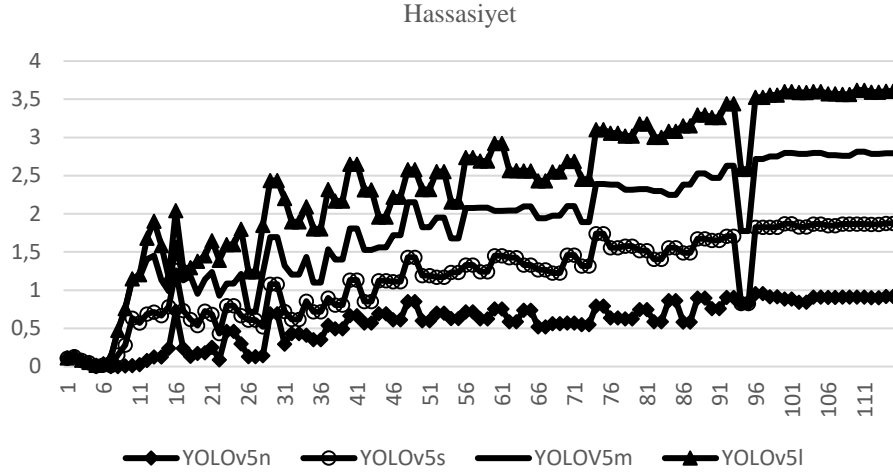
YOLOv5 algoritmalarının sonuçlarının hata matrisi metriklerine göre sonucu F1 Score, Precision ,Recall ve Precision-Recall değer grafikleri incelenmiştir. Değer grafikleri aşağıdaki Şekil 4 F1Score, Şekil 5 precision, Şekil 6 recall, Şekil 7 precision-recall ve Şekil 8'de Loss function grafikleri verilmiştir.



Şekil 4. F1 score değerleri

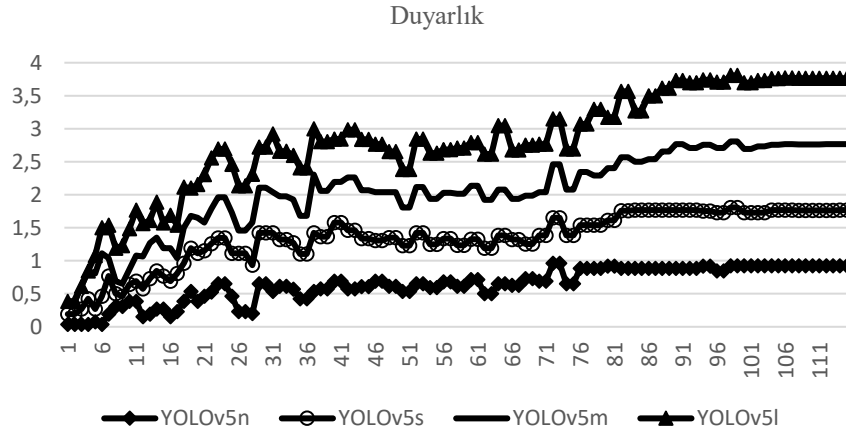
Şekil 4'deki grafik, YOLOv5 modelinin F1 skorunun güven değerine göre nasıl değiştiğini göstermektedir. YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m ve YOLOv5l modellerin F1 score değerleri sırasıyla 0,92, 0,90, 0,95 ve 0,89 olduğu tespit edilmiştir. YOLOv5s modelinin F1 skorunun maksimum değeri 0,90 olarak görünmektedir. Bu değer, modelin hassasiyet ve geri çağırma değerlerini en iyi dengelediği güven değerini (yaklaşık 0,503) göstermektedir. Bu, modelin pozitif olarak tahmin edilen örneklerin çoğunun gerçekten pozitif olduğunu (yüksek hassasiyet) ve aynı zamanda tüm gerçek pozitif örneklerin çoğunu doğru bir şekilde tahmin ettiğini (yüksek geri çağırma) göstermektedir.

F1 skorunun 0,5'in üzerinde olması genellikle iyi bir performans göstergesi olarak kabul edilir. Bu durumda, modelin F1 skoru 0,5'in çok üzerinde olduğu için, modelin performansının oldukça iyi olduğu söylenilebilir.



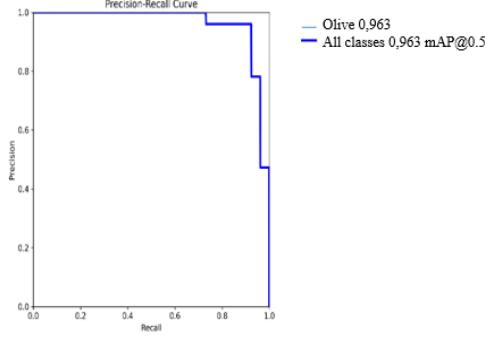
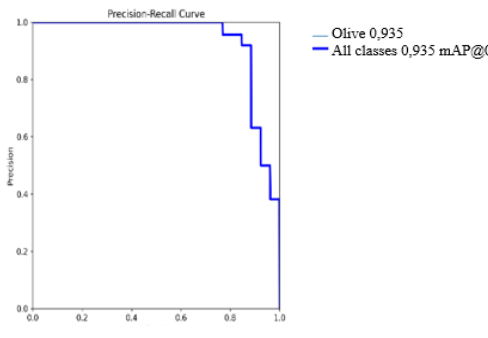
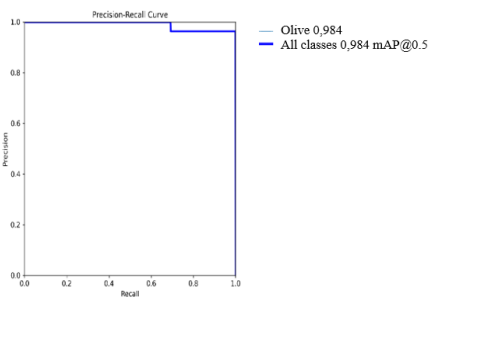
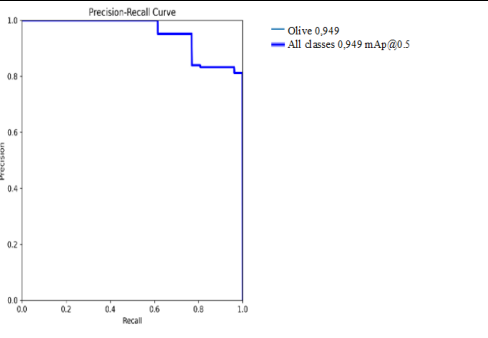
Şekil 5. Hassasiyet sonuç grafiği

Şekil 5'deki grafikte gözlemlenen hassasiyet (precision) grafiği, modelin tahminlerinin doğruluğunu değerlendiren önemli bir ölçü olan hassasiyet skorunu göstermektedir. YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m ve YOLOv5l modellerin hassasiyet değerleri sırasıyla 0,91, 0,95, 0,92 ve 0,81 olduğu tespit edilmiştir. YOLOv5s modelinin grafik üzerindeki hassasiyet skoru, 1 civarında bir maksimum değere ulaşmaktadır. Bu durum, modelin nesne tespitlerinde yüksek kesinlikle çalıştığını ifade etmektedir.



Şekil.6. Duyarlık sonuç grafiği

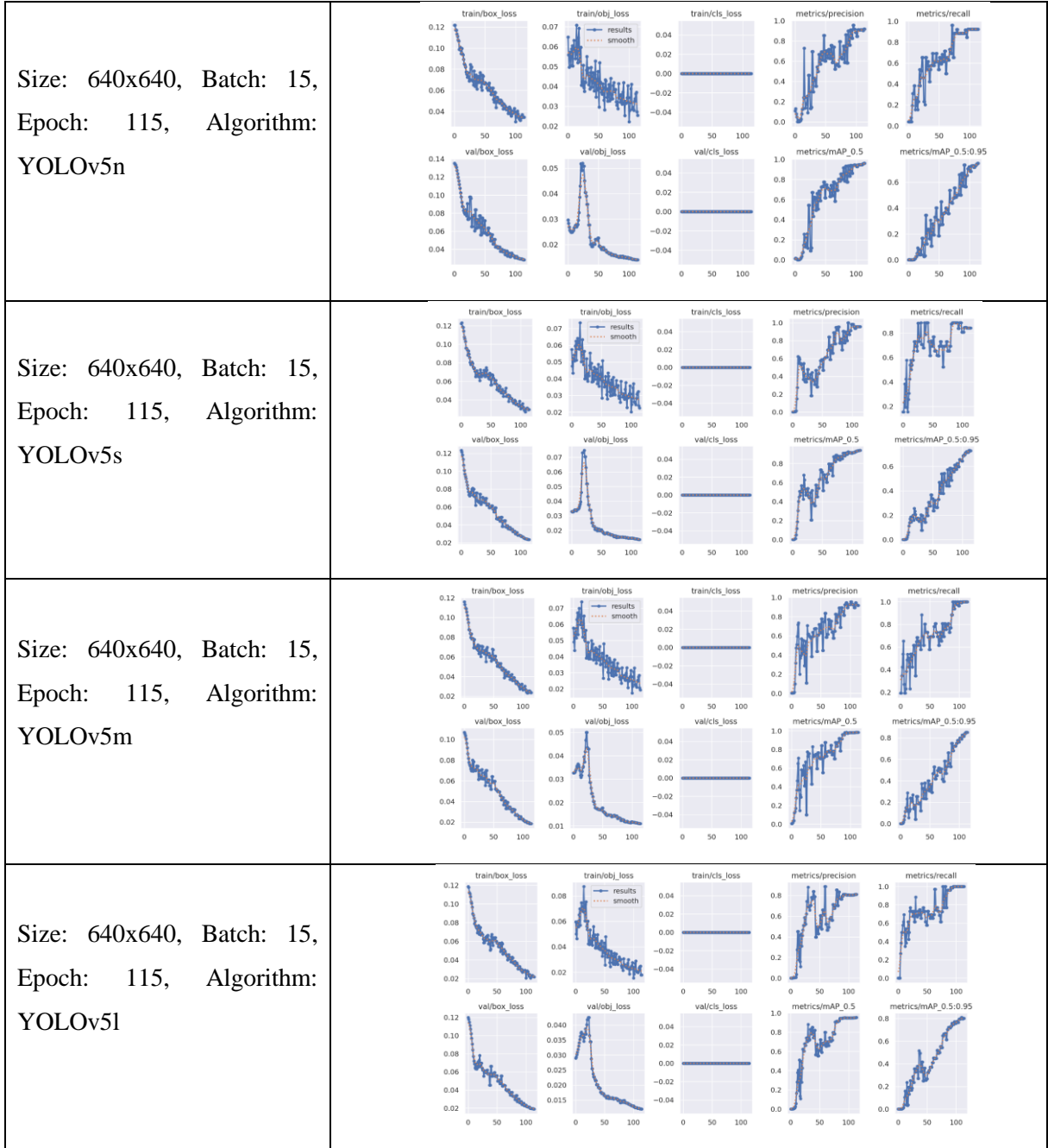
Şekil 6'te geri çağırma (recall), bir modelin gerçek pozitifleri (doğru tahminler) tespit etme yeteneğini ölçen metrik değerleri gösterilmektedir. YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m ve YOLOv5l modellerin geri çağırma değerleri sırasıyla 0,92, 0,97, 0,91 ve 0,81 olduğu tespit edilmiştir. YOLOv5s'in 0,97 civarında maksimum bir değere ulaştığı görülmüştür. Bu, modelin belirli nesnelere doğru bir şekilde tespit etme konusunda yüksek düzeyde bir başarı elde ettiğini göstermektedir. Geri çağırma skorunun 1'e ne kadar yakın olduğu, modelin kaçınılmış olası pozitifler konusundaki başarısını yansıtır. Grafikteki değerlerin 1 civarında olması, modelin gerçek pozitifleri büyük ölçüde tespit ettiği, ancak hala iyileştirilebilecek alanlar bulunduğu anlamına gelmektedir.

<p>Size: 640x640, Batch: 15, Epoch: 115, Algorithm: YOLOv5n</p>	
<p>Size: 640x640, Batch: 15, Epoch: 115, Algorithm: YOLOv5s</p>	
<p>Size: 640x640, Batch: 15, Epoch: 115, Algorithm: YOLOv5m</p>	
<p>Size: 640x640, Batch: 15, Epoch: 115, Algorithm: YOLOv5l</p>	

Şekil.7. Precision-Recall sonuç grafiği

Şekil 7 'teki değerler geri çağırma ve hassasiyet grafikleri, bir nesnenin doğru bir şekilde tespit edilip edilemediğini değerlendirmek için önemlidir. YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m ve YOLOv5l modellerin geri çağırma ve hassasiyet değerleri sırasıyla 0,963, 0,935, 0,984 ve 0.949 olduğu tespit edilmiştir. YOLOv5s 'in grafikte hassasiyet ve geri çağırma skorlarının 0,935 civarında maksimum değere ulaşması, modelinizin belirli nesnelere doğru bir şekilde tespit etme yeteneğinde orta düzeyde bir başarı gösterdiği anlaşılmaktadır. Hassasiyet, modelinizin ne kadar doğru tahmin yaptığını ölçer ve

yüksek hassasiyet, modelinizin tahminlerinin çoğunlukla doğru olduğunu gösterir. Geri çağırma ise modelinizin gerçek pozitifleri ne kadar etkili bir şekilde tespit ettiğini belirler. Bu iki metrik arasındaki denge, modelin genel performansını anlamak için önemlidir.



Şekil 8. Kayıp Fonksiyonları sonuç grafiği

Şekil 8 'deki grafikler incelendiğinde YOLOv5s 'in hatalarının zaman içinde genel olarak azaldığını görülmektedir. Bu durum, modelin eğitim süreci boyunca genellikle daha iyi hale geldiği ve tahminlerinin gerçek değerlere daha yakın olduğu anlamına gelmektedir.

YOLOv5s 'in ilk ve son 10 epoch değerleri incelendiğinde aşağıda verilmiş olan değerleri bulunmuştur.

İlk 10 Epoch:**Kutu Kaybı (Box_Loss):** 0,093945**Nesne Kaybı (Obj_Loss):** 0,064094**Sınıf Kaybı (Cls_Loss):** 0**Hassasiyet (Precision):** 0,54697**Duyarlılık (Recall):** 0,30769**mAP@0,5 (0,5'e göre Ortalama Hassasiyet):** 0,40124**mAP@0,5:0,95 (0,5 ila 0,95 arasında Ortalama Hassasiyet):** 0,11277**Son 10 Epoch:****Kutu Kaybı (Box_Loss):** 0,029486**Nesne Kaybı (Obj_Loss):** 0,022507**Sınıf Kaybı (Cls_Loss):** 0**Hassasiyet (Precision):** 0,95633**Duyarlılık (Recall):** 0,84237**mAP@0,5 (0,5'e göre Ortalama Hassasiyet):** 0,93831**mAP@0,5:0,95 (0,5 ila 0,95 arasında Ortalama Hassasiyet):** 0,72799

Bu değerlere göre;

1. Öğrenme Oranı: İlk 10 epoch boyunca öğrenme oranları düşüş göstermektedir. Bu durum, modelin eğitim sürecinin başında daha geniş bir alanı keşfetmeye odaklandığını gösterir. Son 10 epoch içinde öğrenme oranları daha sabit bir seviyeye gelmiş, bu da modelin daha ince ayarlar ve özelleştirmeler üzerinde çalıştığını göstermektedir.

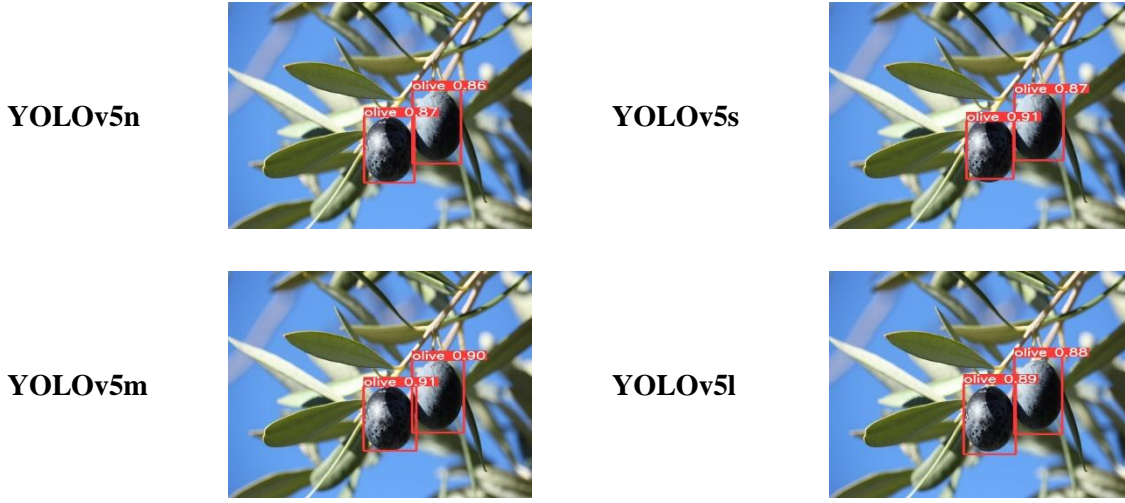
2. Kayıp Fonksiyonlar: Kutu, nesne ve sınıf kaybı değerleri ilk 10 epoch boyunca düşmeye devam ettiği anlaşılmaktadır. Bu, modelin temel konseptleri ve genel veri yapısını daha iyi anlamaya başladığını göstermektedir. Son 10 epoch içinde bu kayıp fonksiyonları daha da düştüğü görülmektedir, bu durum modelin daha spesifik ve karmaşık özellikleri öğrenmeye başladığı anlamına gelmektedir.

3. Hassasiyet ve Duyarlılık: Hassasiyet ve duyarlılık metrikleri ilk 10 epoch boyunca genellikle artış eğilimindedir. Bu, modelin eğitimin başlangıç değerlerinin başlangıçta iyi performans göstermediğini ancak zamanla eğitimin iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır. Son 10 epoch içinde bu metriklerde daha belirgin bir iyileşme tespit edilmiş, modelin eğitim verilerini daha etkili bir şekilde öğrendiğini ve bu verilere daha iyi uyum sağlandığı görülmüştür.

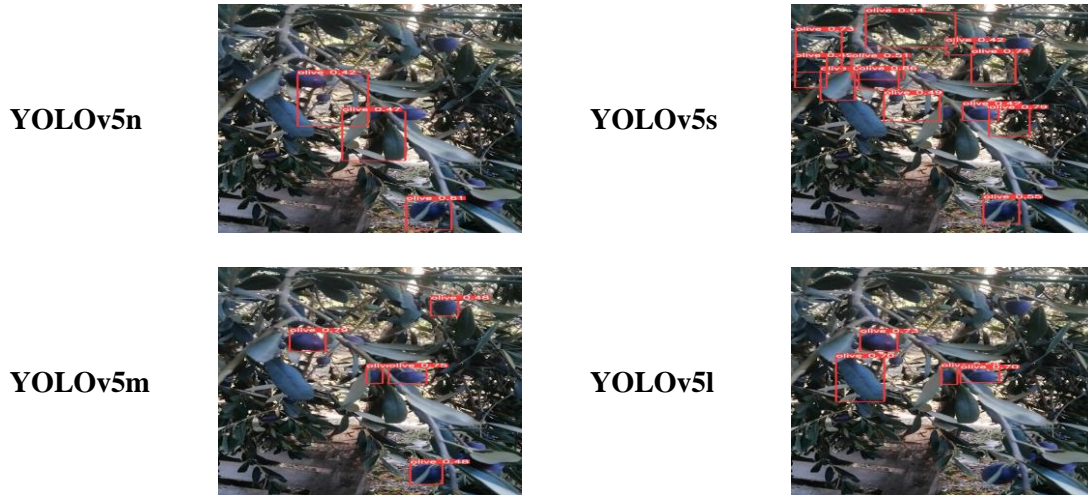
4. Toplu Performans Analizi: İlk 10 epoch'ta modelin genel performansı belirli zorluklarla başlamış olabileceği ancak son 10 epoch içinde önemli ölçüde artmış olduğu tespit edilmiştir. Öğrenme oranlarının düşmesi ve kayıp fonksiyonlarının düşüşü, modelin daha spesifik öğrenmeye ve verilere daha iyi uyum sağlamaya başladığını göstermektedir.

3.1.Eğitim Sonucu

Eğitim sonuç görüntüleri Şekil 9 ve 10 ‘da verilmiştir.



Şekil 9. Modellerin eğitimlerinin sonucunda ortaya çıkan internet üzerinden alınan görüntünün(Anonim 3) “Validation Batch” tahmin işaretlemeleri



Şekil 10. Modellerin eğitimlerinin sonucunda ortaya çıkan gerçek zamanlı “Validation Batch” tahmin işaretlemeleri

3.2.Model Algoritmalarının Karşılaştırılması

Model 2'nin metrik verileri ve diğer modellerin bu verilere farkı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Modellerin başarılarını ölçmek için modellerin nesne tespitlerindeki doğru tahmin başarıları ve ortalamaları önemli rol oynasa da, tek başına yeterli değildir. Modellerin, hem eğitim hem de doğrulama veri kümelerindeki kayıp değerleri de model başarısının incelenmesinde rol oynayan önemli parametrelerdir. Eğitim ve doğrulama verilerindeki sınıflandırma kayıplarını ifade eden train/cls_loss ve val/cls_loss parametreleri çok sayıda nesne sınıfının tespitini gerektiren modellerde önemli bir rol oynar.

Tablo 1. Model 2'nin metrik değerlerinin diğer modellerle karşılaştırılması

Model	Metrics/mAP_0,5	Fark (Model 2)	Metrics/mAP_0,5:0,95	Fark (Model 3)
Model 2	0,93831		0,72799	
Model 1	0,9611	-0,02279	0,74545	-0,01746
Model 3	0,98389	-0,044558	0,85117	-0,12318
Model 4	0,95373	-0,01542	0,80113	-0,07314
Model	Train/box_loss	Fark (Model 2)	Train/obj_loss	Fark (Model 2)
Model 2	0,029486		0,022507	
Model 1	0,034516	-0,00503	0,025471	-0,002964
Model 3	0,023694	0,005792	0,019389	0,003118
Model 4	0,021723	0,007763	0,017837	0,00467
Model	val/box_loss	Fark (Model 2)	val/obj_loss	Fark (Model 2)
Model 2	0,023557		0,013704	
Model 1	0,028312	-0,004755	0,013987	-0,000283
Model 3	0,018598	0,004959	0,010963	0,002741
Model 4	0,018997	0,00456	0,012009	0,001695

Modellerin kayıp değerlerini gösteren tablodaki dört parametre sütunu (train/box_loss, train/obj_loss, val/box_loss, val/obj_loss) değerleri incelendiğinde, eğitim setinde en az kayıp değerlerine sahip modelin, “Model 4” olduğu görülmektedir. Fakat doğrulama verilerindeki kutu tahmini ve nesne tespiti kayıplarında en az kayıp değerlerine sahip modelin, “Model 2” olduğu görülmektedir.

Son olarak, modellerin optimizasyon parametreleri (x/lr0-1-2) incelenmiştir. Bu değerler Tablo 2’de gösterilmiştir. Tüm modellerin bu parametrelerdeki değerleri eşittir.

Tablo 2. Optimazasyon parametreleri

Model	x/lr0-1-2	Fark(Model 2)
Model 1	0,00027217	0
Model 2	0,00027217	
Model 3	0,00027217	0
Model 4	0,00027217	0

4. Tartışma

Tarım sektörü, teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli olarak evrim geçirmekte ve çeşitli yenilikçi yöntemlere açık hale gelmektedir. Derin öğrenme, yapay zeka alanında önemli bir konsepttir ve tarım sektöründe üretimde ve hasat da kullanılabilir. Bu nedenle derin öğrenme, zeytin üretimi ve hasadında giderek daha fazla uygulanmaktadır. Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve kapsül ağları gibi bilgisayarla görme teknikleri, zeytin ağaçlarında hastalık sınıflandırmasının yanı sıra zeytinlerin otomatik sayımı, bireysel boyutu ve kütle tahmini için kullanılmaktadır (Alkhasawneh, 2021; Alshammari ve ark., 2022). Alshammari ve ark. (2022) yılındaki çalışmalarında zeytin yaprağı hastalıklarının teşhisi için optimal bir derin öğrenme modeli sunarak, derin öğrenmenin zeytin yetiştiriciliğinde hastalık teşhisine katkıda bulunma potansiyelini göstermişlerdir. Al-Hababeh ve ark. (2022) zeytin meyvelerini hasat etmek için

özel olarak tasarlanmış akıllı bir robotik kol tanıtılarak, zeytin hasadında robotik ve potansiyel olarak derin öğrenmenin potansiyel uygulamasını göstermiştir. Kanagaraju ve ark. (2022) zeytinyağının olgunlaşma süresini tahmin etmek için görüntü işleme ve sinir ağı modellerini kullanmışlar ve hasat zamanlamasını optimize etmede derin öğrenmenin potansiyeli göstermişlerdir. Andrushia ve ark. (2022) 'de zeytin de dahil olmak üzere meyvelerde hastalık tespiti ve analizi için derin öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Bu tekniklerin tarımsal ortamlarda geniş uygulanabilirliği vurgulamışlardır. Bu çalışmalar, zeytin üretimi ve hasadı da dahil olmak üzere tarımsal uygulamalarda devrim yaratmada derin öğrenmenin önemli etkisini toplu olarak vurgulamaktadır. Bir başka çalışmada Susanti ve ark. (2023), derin öğrenme modellerinin, özellikle de Yapay Sinir Ağlarının, tarımsal bitki ürünlerindeki yaprak hastalıklarını ve zararlılarını tespit etmek ve sınıflandırmak için doğru olduğunu vurgulamışlardır. Vega-Márquez ve ark. (2020), zeytinyağı sınıflandırmasının performansını artırmak için derin öğrenme tekniklerinin kullanımını tartışarak zeytin ürünleri bağlamında derin öğrenmenin potansiyelini göstermişlerdir. Benzer şekilde, Mamdouh ve ark. (2021) yılındaki çalışmalarında zeytin meyve sineği tespiti ve sayımı için özel olarak tasarlanmış bir derin öğrenme çerçevesi sunarak zeytin bahçelerinde haşere yönetiminde derin öğrenme ile yapılabileceğini vurgulamışlardır. Zeytin hasadında derin öğrenmenin kullanılması, verimliliği ve üretkenliği artırarak sektörde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Bu alandaki ilerlemeyi hızlandırmak için derin öğrenme algoritmaları ve mimarileri geliştirilmektedir (LeCun ve ark., 2015). YOLO, Inception,R-CNN gibi derin öğrenme algortimaları bu amaçla kullanılmaktadır. Şekil, renk gibi ortak özelliklerde standart getirilmeye çalışılmaktadır. Bununla birlikte, robotik hasat sistemlerinin yaygın olarak benimsenmesi için gerekli verimlilik düzeyine ulaşmada zorluklar devam etmektedir (Zhou ve ark., 2022). Önceki çalışmalar incelendiğinde zeytin meyvesinde sadece hastalık tespiti ve ürün tahmin sistemlerinde derin öğrenme modelleri kullanıldığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak Abozeid ve ark. (2022), zeytin çiftlikleri için standart bir veri setinin olmamasının bu alanda derin öğrenme tekniklerinin uygulanmasını engellediğini belirtmişlerdir. Yaptığımız çalışmada, eğitilen modelin tarlada ve internet üzerinden elde edilen görüntülerle gerçek zamanlı olarak test edilmesi sonucunda, hasat robotları için derin öğrenme yardımıyla tespit sistemlerine duyulan ihtiyaca uyumlu olduğu görülmüştür.

5.Sonuçlar

Çalışma robotik zeytin hasadında kullanılmak üzere zeytinin dal üzerinde en iyi tespit modelini belirlemek için yapılmıştır. Bir diğer amaçta robotik zeytin hasadı yönteminin güvenilirliğini ve hızını arttırmaktır. Çalışmada, 140 adet ağaç üzerinde zeytin meyvesi görüntüsünden oluşan bir veri kümesi hazırlanmıştır. Her bir görüntüde birden fazla zeytin bulunmaktadır. Hazırlanan veri seti ile eğitilen ağ tarlada gerçek zamanlı olarak ve ayrıca internet üzerinden alınmış görüntüler, tarlada çekilmiş görüntülerle test edilmiştir. Yolov5 modelinin tüm alt modelleri için hazırlanmış olan eğitim setinin doğruluğu, test seti ile kontrol edilmiştir. Elde edilen tüm metrik değerleri incelenmiştir. YOLOv5 'in alt modeller sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. En başarılı model algoritması, 640x640

boyutundaki görselle eğitilen YOLOv5s olduğu tespit edilmiştir. Model değerleri sonuçları “metrics/precision”, “metrics/recall”, “metrics/mAP_0,5” ve “metrics/mAP_0,5:0,95” olarak incelenmiştir. “YOLOv5 small” modelinin metrik verilerinin diğer modellerle kıyaslandığında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Başarı oranı 115 epoch için F1 score %85,18, precision %95,63, recall %84,24, mAP %72,8’dir. Buradan YOLOv5 small’un robotik zeytin hasadında zeytinin dal üzerinde tespitinde kullanılacak en iyi tespit modeli olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca çalışma ürün tespiti için derin evrişimli sinir ağlarının kullanılmasını ve derin öğrenmenin ürün tespit sistemlerindeki önemini desteklenmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abozeid A, Rayan A., Elhadad, A., Taloba AI., El-Aziz RMA. A large-scale dataset and deep learning model for detecting and counting olive trees in satellite imagery. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2022; 1-8.
- Adibhatla VA., Chih H., Hsu C., Cheng JY., Abbod MF., Shieh J. Defect detection in printed circuit boards using you-only-look-once convolutional neural networks. *Electronics* 2020; 9(9): 1547.
- Al-Hababeh OM., Ayoub S., Yaman MA., Matahen M., Sarayra M. A smart robotic arm for harvesting olive fruits. *MATEC Web of Conferences* 2022; 370.
- Alkhasawneh MS. Olive oil ripping time prediction model based on image processing and neural network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 2021;12(1).
- Alshammari H., Gasmi K., Krichen M., Ammar LB., Abdelhadi MO., Boukrara A., Mahmood MA. Optimal deep learning model for olive disease diagnosis based on an adaptive genetic algorithm. *Wireless Communications and Mobile Computing* 2022; 1-13.
- Alshammari H., Gasmi K., Ltaifa IB., Krichen M., Ammar LB., Mahmood MA. Olive disease classification based on vision transformer and cnn models. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2022; 1-10.
- Andrushia AD., Neebha TM., Patricia AT., Umadevi S., Anand N., Varshney A. Image-based disease classification in grape leaves using convolutional capsule network. *Soft Computing* 2022; 27(3): 1457-1470.
- Anonim1. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge> (Erişim tarihi:10/11/2023)
- Anonim 2-a. <https://www.tarimdanhaber.com/zeytin-yetistiriciligi> (Erişim tarihi:20/07/2023)

- Anonim 2-b. <https://yemek.com/zeytin-agaclari-hakkinda-bilmeniz-gerekenler> (Erişim tarihi : 20/07/2023)
- Anonim 3. <https://pixabay.com/photos/olives-olive-tree-sheets-branches-3900423> (Erişim tarihi: 10/08/2023)
- Dag A., Ben-Gal A., Yermiyahu U., Basheer L., Yogev N., Kerem Z. The effect of irrigation level and harvest mechanization on virgin olive oil quality in a traditional rain-fed 'sourı' olive orchard converted to irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2008; 88(9): 1524-1528.
- Dai Y., Liu W., Xie W., Liu R., Zheng Z., Long K., Ling G. Making you only look once faster: toward real-time intelligent transportation detection. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* 2023; 15(3): 8-25.
- Fountsop AN., Fendji JLEK., Atemkeng M. Deep learning models compression for agricultural plants. *Applied Sciences* 2020; 10(19): 6866.
- Fujinaga T., Yasukawa S., Ishii K. Tomato growth state map for the automation of monitoring and harvesting. *Journal of Robotics and Mechatronics* 2020; 32(6): 1279-1291.
- Huynh K., Ly-Tu N., Le-Tien T. An efficient model for copy-move image forgery detection. *International Journal of Web Information Systems* 2020; 18(2/3): 181-195.
- Kanagaraju P., Aushiq NM., Vanan RT. Disease detection and analysis in fruits using image processing. *International Journal of Health Sciences* 2022; 1198-1211.
- Kim W., Lee D., Kim T., Kim H., Sim T., Kim YJ. Weakly supervised crop area segmentation for an autonomous combine harvester. *Sensors* 2021; 21(14): 4801.
- Kuznetsova A., Maleva T., Soloviev V. Using yolov3 algorithm with pre- and post-processing for apple detection in fruit-harvesting robot. *Agronomy* 2020; 10(7): 1016.
- LeCun Y., Bengio Y., Hinton GE. Deep learning. *Nature* 2015; 521(7553): 436-444.
- Li Y., Iida M., Suyama T., Suguri M., Masuda R. Implementation of deep-learning algorithm for obstacle detection and collision avoidance for robotic harvester. *Computers and Electronics in Agriculture* 2020; 174, 105499.
- Lin C., Jhang J. Intelligent traffic-monitoring system based on yolo and convolutional fuzzy neural networks. *IEEE Access* 2022;10: 14120-14133.
- Mamdouh N., Khattab A. Yolo-based deep learning framework for olive fruit fly detection and counting. *IEEE Access* 2021; 9: 84252-84262.
- Onishi Y., Yoshida T., Kurita H., Fukao T., Arihara H., Iwai A. An automated fruit harvesting robot by using deep learning. *The Proceedings of JSME Annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)*, 2018(0); 1A1-B03.
- Plasquy E., Blanco-Roldán GL., Fernández MDCF., García JM. Effects of an integrated harvest system on the quality of olive fruit for small producers. *Grasas Y Aceites* 2021; 72(4): e436.

- Quilez OA., Castillo NS., Maiz FR., Rodríguez JC., Mohedano DP., Lovera M., Corzo FC. Automated harvesting in the olive grove - application of products for olive fruits abscission. *Acta Horticulturae* 2012; (949): 427-430.
- Sellers T., Lei T., Carruth DW., Luo C. Deep learning-based heterogeneous system for autonomous navigation. *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping VIII* 2023.
- Stodt J., Madan M., Reich C., Filipović L., Ilijaš T. A study on the reliability of visual xai methods for x-ray images. *Studies in Health Technology and Informatics* 2023; 32-35.
- Susanti R., Nofendra R., Zaini Z., Suhaimi MSAb., Rusydi, MI. The use of artificial neural networks in agricultural plants. *Andalas Journal of Electrical and Electronic Engineering Technology* 2023; 2(2): 62-68.
- Tang Y., Chen M., Chen Z., Luo L., Li J., Lian G., Zou X. Recognition and localization methods for vision-based fruit picking robots: a review. *Frontiers in Plant Science* 2020; 11.
- Toon OP., Zakaria MA., Nasir AFA., Majeed APPA., Tan CY., Yew, LNC. Autonomous tomato harvesting robotic system in greenhouses: deep learning classification. *Mekatronika* 2019; 1(1): 80-86.
- Vega-Márquez B., Nepomuceno-Chamorro IA., Jurado-Campos N., Rubio-Escudero C. Deep learning techniques to improve the performance of olive oil classification. *Frontiers in Chemistry* 2020; 7.
- Xu Z., Li J., Zhang M. A surveillance video real-time analysis system based on edge-cloud and fl-yolo cooperation in coal mine. *IEEE Access* 2021; 9: 68482-68497.
- Yousfi K., Weiland C., García JM. Effect of harvesting system and fruit cold storage on virgin olive oil chemical composition and quality of superintensive cultivated 'arbequina' olives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2012; 60(18): 4743-4750.
- Yunefri Y., Agushybana F., Fadrial YE., Anggraini K., Ramadhani M., Hardianto R. Implementation of object detection with you only look once algorithm in limited face-to-face times in pandemic. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)* 2022; 4(1): 400-404.
- Zhang J., Liu J., Chen Y., Feng X., Sun Z. Knowledge mapping of machine learning approaches applied in agricultural management- A scientometric review with citespace. *Sustainability* 2021; 13(14): 7662.
- Zhang W., Wang J., Liu Y., Chen K., Li H., Duan Y., Guo W. Deep-learning-based in-field citrus fruit detection and tracking. *Horticulture Research* 2022; 9.
- Zhou H., Xiao J., Kang H., Wang X., Au W., Chen C. Learning-based slip detection for robotic fruit grasping and manipulation under leaf interference. *Sensors* 2022; 22(15): 5483.



Sembolik Ayrık Kontrol Sentezi ve Optimal PID Kontrolörün Dört Rotorlu İHA'nın Durum Kontrolündeki Performanslarının Karşılaştırılması

Serkan ÇAŞKA^{1*}, Mete ÖZBALTAN²

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45400, Turgutlu/Manisa

²Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 25100, Yakutiye/Erzurum

¹<https://orcid.org/0000-0002-2157-8931>

²<https://orcid.org/0000-0002-3215-6363>

*Corresponding author: serkan.caska@cbu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 29.12.2023

Kabul tarihi: 04.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Dört Rotorlu İHA

Sembolik sınırlı optimal ayrık kontrol

PID denetleyicisi

Balina optimizasyon algoritması

Genetik algoritmalar

ÖZ

İnsansız hava araçları (İHA) son yıllarda birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Dört rotorlu tipi İHA'lar basit yapıları nedeniyle en çok tercih edilen hava platformlarından biridir. Dört rotorlular 6 serbestlik dereceli hareket kabiliyetine sahiptir. Dört rotorlu kontrolü birçok araştırmacı tarafından üzerinde çalışılan önemli ve zor bir problem olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, dört rotorlu İHA'nın durum kontrolü, sembolik sınırlı optimal ayrık denetleyici sentezleme (S-DCS) yöntemi ve optimal Oransal İntegral Türev (PID) denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PID kontrolör parametreleri, son yıllarda geliştirilen meta-sezgisel bir algoritma olan Balina optimizasyon algoritması (BOA) ve Genetik Algoritmalar (GA) kullanılarak tahmin edilmiştir. S-DCS, istenen sistem çıktısını elde etmek için tanımlanmış bir maliyet fonksiyonunu en aza indirmeyi amaçlayan yeni bir yöntemdir. Geliştirilen kontrolörlerin dört rotorlunun dinamik modelinin durum kontrolündeki başarıları karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

Comparison of The Performances of Symbolic Discrete Control Synthesis and Optimal PID Controller in Attitude Control of Quadcopter UAV

Research Article

Article History:

Received: 29.12.2023

Accepted: 04.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Quadcopter UAV

Symbolic limited optimal discrete control

PID controller

Whale optimization algorithm

Genetic algorithms

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have been utilized in numerous engineering applications in recent years. Quadcopter-type UAVs are among the most preferred air platforms due to their simple structure. Quadcopters have 6 degrees of freedom movement capability. Quadcopter control is known as a significant and challenging problem studied by many researchers. In this study, attitude control of the quadcopter UAV was realized using the symbolic discrete controller synthesis (S-DCS) method and an optimal Proportional Integral Derivative (PID) controller. PID controller parameters were estimated using the Whale Optimization Algorithm (WOA) and Genetic Algorithms (GA). S-DCS is a new method that aims to minimize a defined cost function to obtain a desired system output. The success of the developed controllers in attitude control of the quadcopter dynamic model was compared, and the results were discussed.

To Cite: Çaşka S., Özbaltan M. Comparison of The Performances of Symbolic Discrete Control Synthesis and Optimal PID Controller in Attitude Control of Quadcopter UAV. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1455-1469.

1. Introduction

In recent years, the usage of unmanned aerial vehicles (UAVs) has increased rapidly in many civil and military application fields, such as real-time monitoring in surveillance missions and cargo delivery (Shakhathreh et al., 2019; Uçar et al., 2019). Among the UAV family, quadcopters have been preferred for all recent research and engineering applications due to their mechanical simplicity and vertical takeoff and landing capability. A quadcopter involves two pairs of counter-rotating rotors and propellers mounted on a frame (Sivakumar et al., 2021). A quadcopter uses its high-speed rotors to produce a push force, keeping the vehicle in the air.

The full dynamic model of the quadcopter is nonlinear; therefore, linearization is used to simplify it (Wang et al., 2016). Considering the linearized and simplified model, many different control techniques have been designed and applied for the control of the quadcopter (Thu et al., 2017). In the literature, one of the simple structured, commonly known, and preferred control methods is proportional, derivative, and integral (PID) control (Leva, 2018). However, in many cases, traditional PID alone is not the best solution, and researchers must apply optimal and adaptive controllers to guarantee optimal system output (Leal et al., 2021).

Metaheuristic (MH) methods are a type of stochastic optimization method. In the literature, there are different types of MH algorithms, such as nature-based, human-based, evolutionary, and physics-based; however, most MH methods are swarm-based. In recent years, there has been a growth in the number of these algorithms (Braik et al., 2022). MH algorithms developed in recent years are listed in Table 1.

Table 1. MH algorithms proposed in recent years

Algorithm	Type	Year published
Social Engineering Optimizer	Human-based	2018
Emperor Penguins Colony	Swarm-based	2019
Political Optimizer	Human-based	2020
African Vultures Optimization Algorithm	Nature-based	2021
Mountain Gazelle Optimizer	Nature-based	2022
Flying Fox Optimization Algorithm	Nature-based	2023

The P, I, and D coefficients of the PID controller were determined via WOA and GA. WOA draws inspiration from the logic of bubble-net hunting and is based on imitating the social behavior of humpback whales (Mirjalili et al., 2016). Optimal controllers aim to minimize the error between the reference signal and the plant's measured output in both the transient and steady-state regions. Performance indices are used to obtain optimal controllers. According to (Wang et al., 2014), four basic error performance indices were defined: integral of time-weighted absolute error (ITAE), integral of absolute error (IAE), integral of time squared error (ITSE), and integral of squared error (ISE).

MH algorithms have shown promising results in many optimization studies. It is well suited for problems involving multiple variables and constraints, such as setting the parameters of PID controllers in complex systems such as quadcopter attitude control. We aim to efficiently fine-tune the PID controller parameters to increase the performance of the quadcopter UAV in attitude control tasks by using WOA that was not used in attitude control of the quadcopters.

The review (Radosław and Giernacki, 2021) covers fault detection in UAVs from January 2016 to August 2022, emphasizing the need for heightened reliability due to their growing complexity and proximity to humans. Utilizing Web of Science and Google Scholar, relevant articles were summarized, underlining the ongoing necessity for research to enhance UAV safety amidst expanding applications. The study (Sophie et al., 2021) discusses the potential of UAVs for infrastructure inspections, aiming to alleviate challenges associated with current manual methods such as cost, labor intensiveness, and subjectivity. It reviews technologies addressing obstacles to UAV integration into existing practices while outlining current challenges and future research directions in UAV inspections of power facilities and structures. The article (Konrad et al., 2021) addresses the challenge of relying on uncertain information from fault detection algorithms in active fault-tolerant control (FTC), aiming to design a robust FTC controller that can handle missed "small" faults and fault detection delays. The study integrates adapted μ analysis into a DK-iteration approach to synthesize a controller within a robust control framework with H_∞ -design objectives, demonstrated through real flight experiments on a fixed-wing UAV with aileron and flap faults.

In this paper, we consider the attitude control of quadcopters as a discrete controller synthesis problem. S-DCS is a new method that proposes to minimize a defined cost function to provide a desired system output. The control theory of discrete event systems has been proposed as a language theory; the theory usually targets synthesizing a controller for a given system and control objectives (Özbaltan and Berthier, 2018). Symbolic modeling is the modeling of a labeled input/output automaton. Controllability is based on the principle that outputs are provided through transitions of symbolic states as a function of inputs, rather than events. Thus, symbolic modeling and control of problems encountered in real life (such as controlling a system with a controllable input signal) offer a more effective solution instead of standard control algorithms.

In this study, attitude control of a quadcopter-type UAV was achieved via optimal PID and Symbolic Limited Optimal Discrete Controllers. Parameters of PID controllers were obtained using WOA and GA methods. IAE was used as the performance index for PID controllers. The success of the tested controllers in attitude control of the quadcopter dynamic model was compared and discussed in terms of transient and steady-state performances.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

The quadcopter is a member of the multirotor-based UAV family. A quadcopter has 3 rotational and 3 translational movements which are provided by its four rotors. These movements are realized by changing the direction and the angular velocities of the rotors. Quadcopters are composed using BLDC motors that are placed at the tips of the arms integrated into a chassis. The structure of a quadcopter is shown in Figure 1.

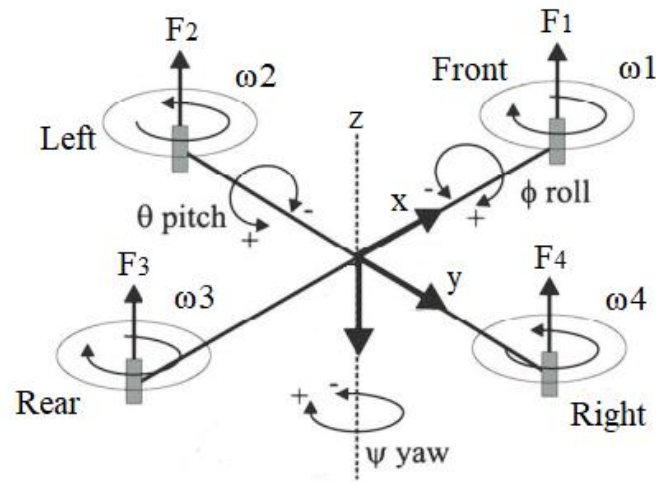


Figure 1. The structure of a quadcopter (Bolandi et al., 2013)

The full dynamic model of the quadcopter includes nonlinear dynamic equations. The quadcopter's simplified and linearized model has been utilized in many research studies. The linear model of the quadcopter is given between Equation 1 and Equation 6.

$$\dot{x} = g * \theta \quad (1)$$

$$\dot{y} = -g * \varphi \quad (2)$$

$$\ddot{z} = -g + \frac{u1}{m} \quad (3)$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{u2}{I_x} \quad (4)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{u3}{I_y} \quad (5)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{u4}{I_z} \quad (6)$$

where u_1 represents the thrust force produced by the quadcopter's rotors, u_2 is the force that produces roll movement, u_3 is the force that produces pitch movement, and u_4 is the force that produces yaw movement. The x-axis moment of inertia is denoted by I_x , the y-axis by I_y , the z-axis by I_z , and the gravitational field by g . The rotors' angular velocities (ω_i) represent the quadcopter's actual inputs. On the other hand, Equations 7-10 use virtual inputs to express the actual inputs.

$$u_1 = (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad (7)$$

$$u_2 = (\omega_1^2 - \omega_3^2) \quad (8)$$

$$u_3 = (\omega_2^2 - \omega_4^2) \quad (9)$$

$$u_4 = (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (10)$$

There are studies that include obtaining dynamic parameters of quadcopters in the literature. Parameters obtained in an experimental study were used to specify the parameters of the quadcopter dynamic model used in this study (Bresciani, 2008). The dynamic parameters of the quadcopter model are as given in Table 2.

Table 2. Parameters of quadcopter

Name	Parameter	Value	Unit
quadcopter mass	m	1	Kg
gravity	g	9.81	m s ⁻²
moment of inertia of X-axis	Ixx	8.1E-3	N m s ²
moment of inertia of Y-axis	Iyy	8.1E-3	N m s ²
moment of inertia of Z-axis	Izz	14.2E-3	N m s ²

2.2. Methods

WOA was utilized in this study to compute the P, I, and D PID controller parameters. One of the more recent optimization techniques, WOA was put forth in 2016. It can be applied to several study disciplines to tackle optimization challenges. WOA demonstrated its efficacy in comparison to other widely used MH methods proposed in the literature. WOA was utilized to compute the P, I, and D parameters of the optimal PID controllers. Figure 2 displays the WOA flowchart (Rana et al., 2020). The genetic algorithm method was inspired by the theory of natural evolution. To produce the next generation, GA includes the natural selection process where the most proper individuals are used. In the GA procedure, there are main phases such as generation of initial population, calculation of the fitness function, selection, crossover and mutation. Figure 3 displays the GA flowchart (Çaşka et al., 2022). WOA and GA procedures were applied to the dynamic model using the R2021a version of The MATLAB software.

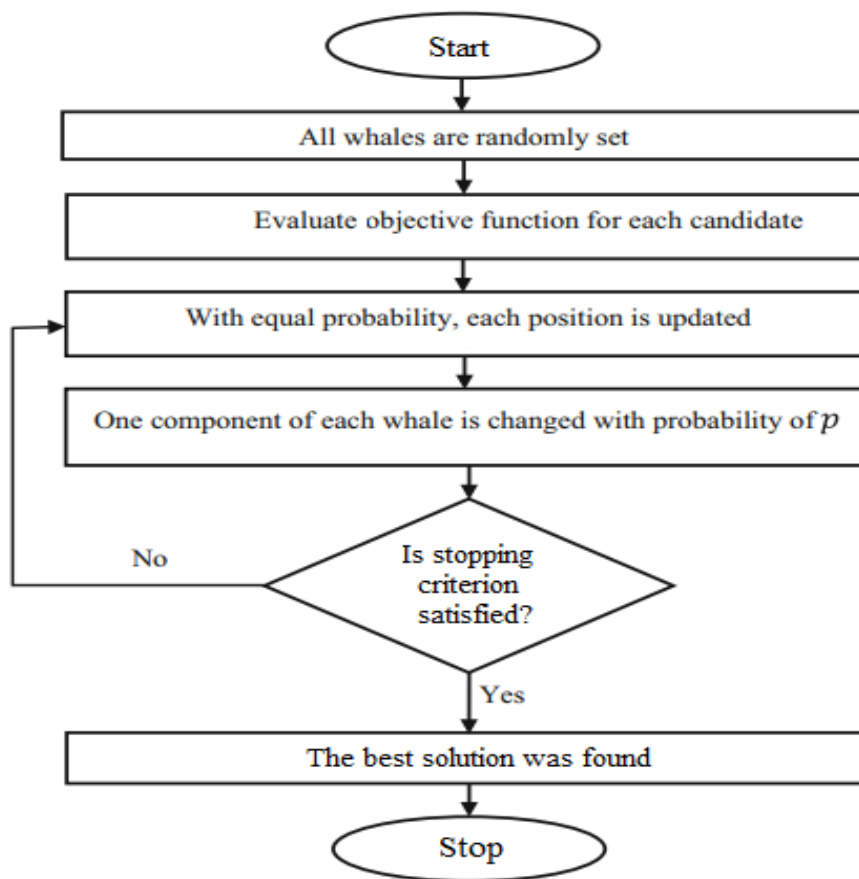


Figure 2. Flowchart of WOA

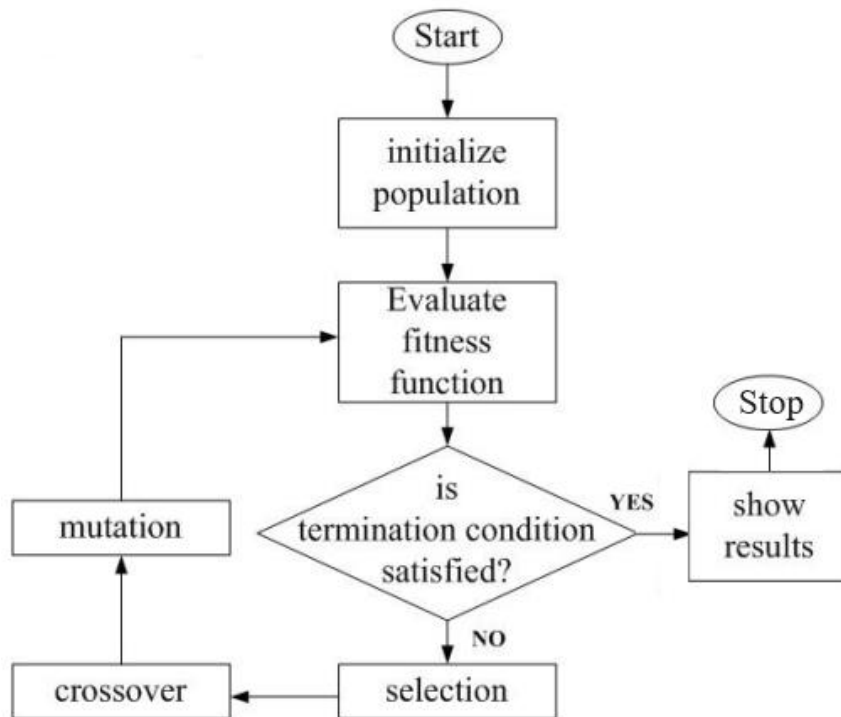


Figure 3. Flowchart of GA (Çaşka et al., 2022).

The PID block of Simulink includes a filter coefficient in the derivative branch. In this study, the filter coefficient was defined as 100. Structure of the PID controller used in this study is illustrated in Figure 4.

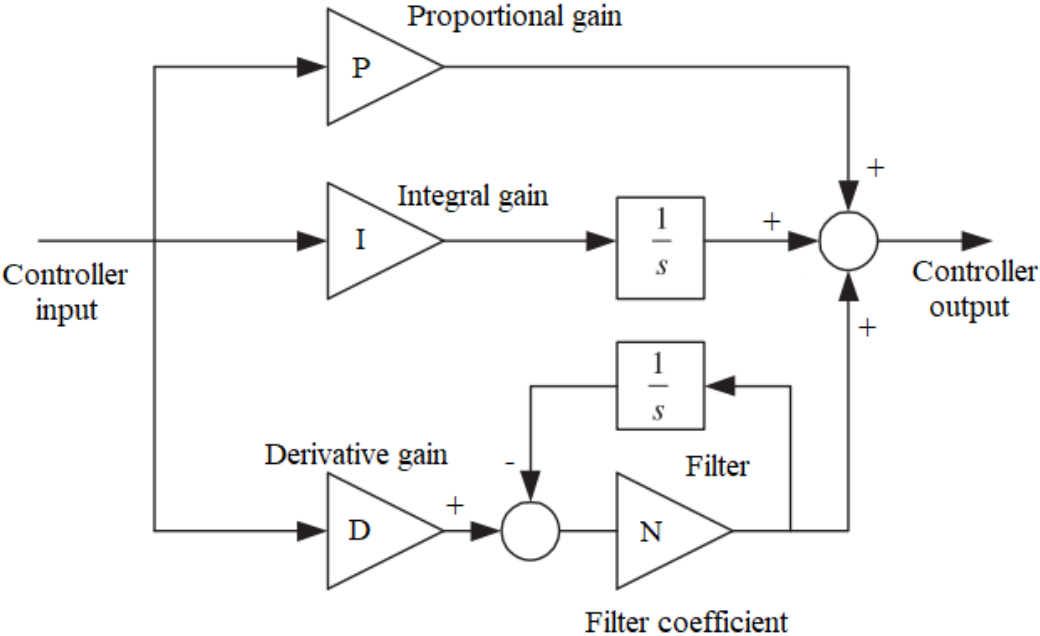


Figure 4. The structure of PID controller

The principle of discrete control synthesis we employ hinges upon ensuring the desired properties of two distinct Mealy machines. As illustrated in Figure 5, it is required that both Mealy machines A and B simultaneously exhibit state values of either 0 or 1. To achieve these desired system characteristics, a third Mealy machine, denoted as controller C, is employed to encapsulate the control signal b with the synchronized parallel composition of the three Mealy machines.

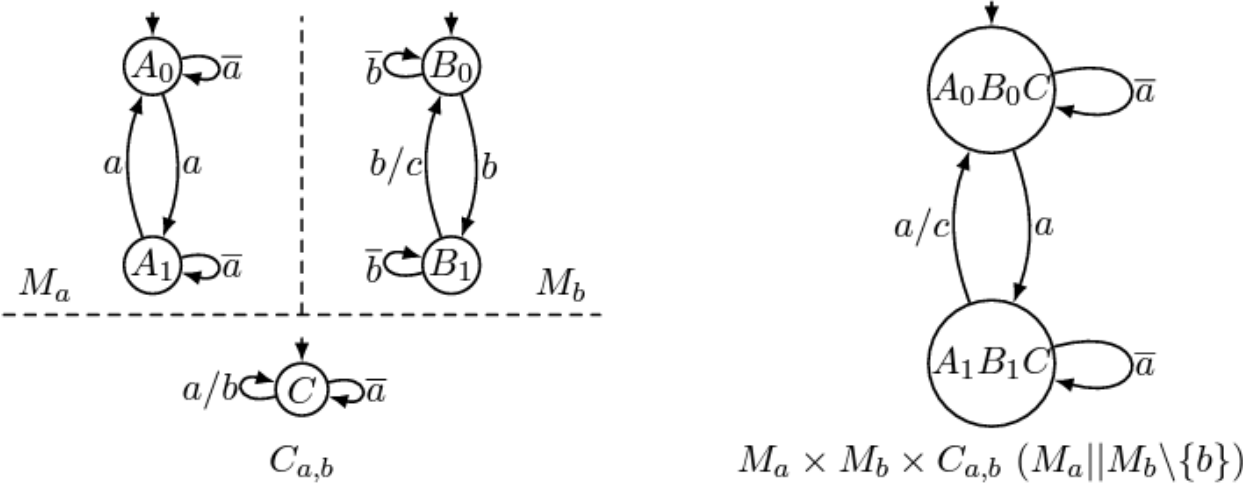


Figure 5. Representation of the Control Theory of Discrete Event Systems (DCS)

However, discrete control synthesis is generally focused on generating this controller given a specified plant and desired system objectives. The calculation steps are illustrated in Figure 6. The opposite of the specified objective yields a subset of the state space termed Bad states. This includes the possibility of Bad states for any uncontrollable input values, extending to a space termed as I_{Bad} , representing the illegal state space. Finally, identifying the remaining region in the state space allows us to produce our controller exhibiting controllable variables, enabling the desired system behaviors.

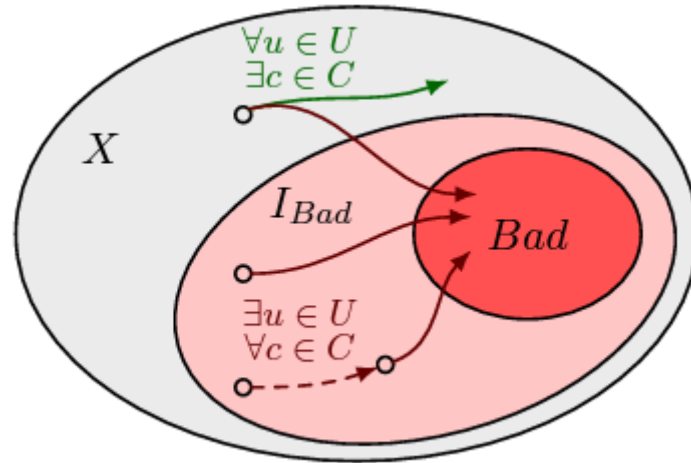


Figure 6. Computational steps on the state space X

The quadcopter plant was firstly modeled as data-flow equations. The thrust forces acting on a quadcopter are controllable variables of the model. Then, we synthesize a controller by applying our control algorithm with the given control targets. Our symbolic data-flow models of the velocity of quadcopters, both in the x and y axes, are given in Equations 11-14.

$$Vx': \triangleq \frac{u3 * g}{2 * Iy} t^2 + Vx \quad (11)$$

$$Vx := Vx' \quad (12)$$

$$Vy': \triangleq \frac{u2 * g}{2 * Iy} t^2 + Vy \quad (13)$$

$$Vy := Vy' \quad (14)$$

V' represents the present velocity value, while V denotes the previous value; where t is the uncontrollable input variable, u2 and u3 is our controllable input variable, g, Ix, and Iy are fixed coefficients. The equations for the position of the quadcopter derived from the velocity equations above are as in Equation 15-18.

$$\Delta x := (Vx + Vx') * 0.5t \quad (15)$$

$$X := X + \Delta x \quad (16)$$

$$\Delta y := (Vy + Vy') * 0.5t \quad (17)$$

$$Y := Y + \Delta y \quad (18)$$

is encoded as in Equation 19:

$$\sigma := Vx \leq Vx^L \wedge Vy \leq Vy^L \wedge u2 \leq u2^L \wedge u3 \leq u3^L \wedge Zx \leq Zx^T \wedge Zy \leq Zy^T \quad (19)$$

Our optimal control objective tries to minimize the positions by adhering to the safety objective by means of our limited optimization control algorithm. Then with the application of the algorithm, the suitable controller is automatically generated in C and HDL programming languages.

3. Results and Discussion

In this study, the coefficients of the optimal PID controllers were obtained for the attitude control of the quadcopter using WOA and GA. The optimization processes of WOA and GA were carried out while 1 rad was defined as the set point for roll, pitch, and yaw movements. Speed limits on roll, pitch, and yaw movements were defined as [-2 2] rad/sec. Table 2 shows the value of the objective function calculated by WOA and GA.

Table 2. Value of the objective function calculated by WOA and GA

Algorithm	Trial	Objective function(Roll,Pitch)	Objective function(Yaw)
WOA	1	0,566	0,567
WOA	2	0,587	0,544
WOA	3	0,612	0,635
WOA	4	0,557	0,518
WOA	5	0,549	0,654
WOA	6	0,635	0,588
WOA	7	0,529	0,675
WOA	8	0,576	0,554
WOA	9	0,604	0,562
WOA	10	0,679	0,577
GA	1	0,550	0,541
GA	2	0,651	0,614
GA	3	0,561	0,553
GA	4	0,665	0,541
GA	5	0,569	0,539
GA	6	0,547	0,554
GA	7	0,586	0,607
GA	8	0,623	0,640
GA	9	0,539	0,537
GA	10	0,603	0,569

Table 2 proves that WOA is more proper than GA in obtaining PID controller parameters. Thus WOA was selected to compare with the SDCS method. Performances obtained with different WOA parameters are as shown in Table 3.

Table 3. Performances obtained with different WOA parameters

Population size	Max. iteration number	Objective function(Roll,Pitch)	Objective function(Yaw)
20	10	0,564	0,543
20	20	0,529	0,518
20	30	0,553	0,540
40	10	0,561	0,539
40	20	0,567	0,541
40	30	0,546	0,544
60	10	0,545	0,555
60	20	0,538	0,529
60	30	0,548	0,534

The best case was obtained while both population size and maximum iteration number are 20. The calculated PID coefficients by WOA are as given in Table 4.

Table 4. Calculated controller coefficients for Roll, Pitch and Yaw movements

PID coefficients	Roll	Pitch	Yaw
P	6,238	6,238	9,415
I	0	0	0
D	0,291	0,291	0,472

Graphs illustrating the success of the roll and pitch controllers, as well as the yaw controller, are provided in Fig. 7 and Fig. 8, respectively.

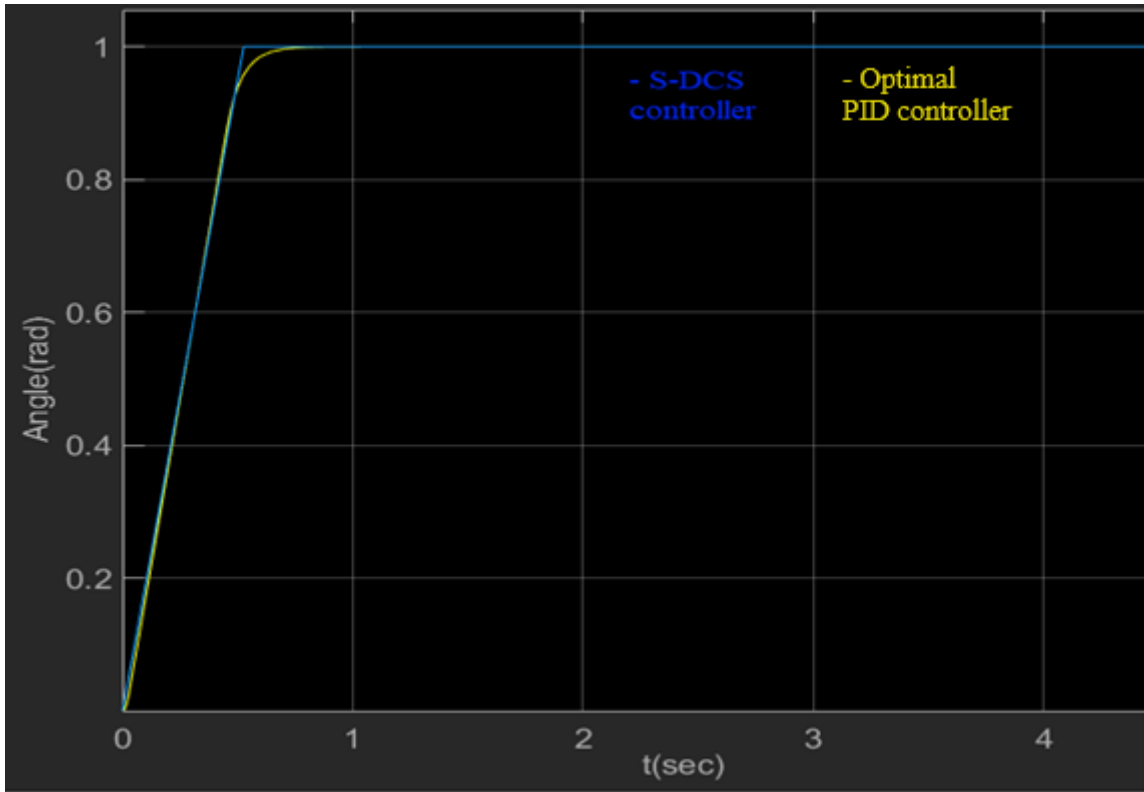


Fig. 5. Performance graphs of roll and pitch controllers for set value of 1 rad

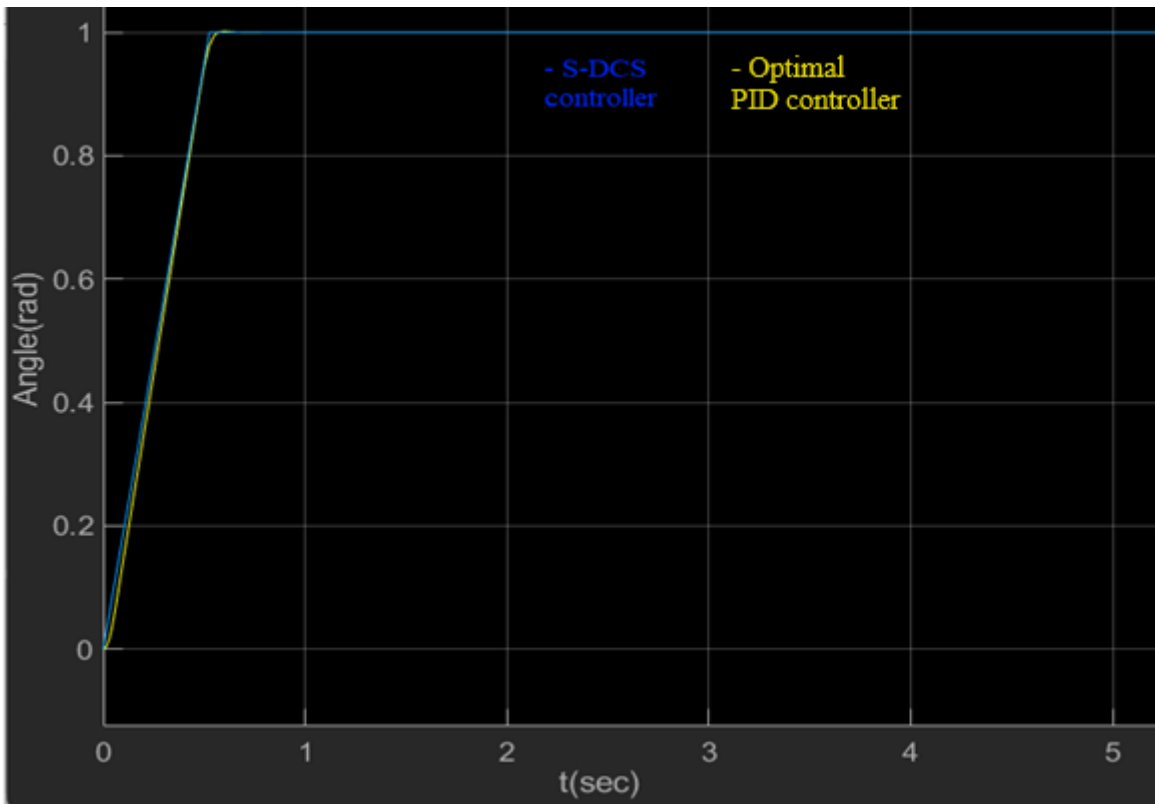


Fig. 6. Performance graphs of yaw controllers for set value of 1 rad

The success of the developed controllers for roll and pitch movements and yaw movement are provided in Table 5 and Table 6, respectively. In Table 5, parameters of steady-state error (Ess) representing steady-state performance, rising time (Tr), peak time (Tp), maximum overshoot measured at the peak time (Mp), and steady-state time (Ts) representing transient state performance were used to evaluate the success of the optimal controllers. Tr was considered the elapsed time until the output reached 90% of the input.

Table 5. Performance of the controllers in control of Roll(Φ) and Pitch(Θ) angles

Angle (rad)	S-DCS					Optimal PID				
	Tr(s)	Tp(s)	Mp(%)	Ts(s)	Ess(%)	Tr(s)	Tp(s)	Mp(%)	Ts(s)	Ess(%)
0,2	0,095	0,105	0	0,105	0	0,095	0,124	0	0,124	0
0,4	0,190	0,210	0	0,210	0	0,195	0,225	0	0,225	0
0,6	0,284	0,315	0	0,315	0	0,290	0,335	0	0,335	0
0,8	0,335	0,421	0	0,421	0	0,336	0,429	0	0,429	0
1,0	0,474	0,526	0	0,526	0	0,471	0,817	0	0,817	0
1,2	0,569	0,631	0	0,631	0	0,577	0,650	0	0,649	0

Table 6. Performance of the controllers in control of Yaw(Ψ) angle

Angle (rad)	S-DCS					Optimal PID				
	Tr(s)	Tp(s)	Mp(%)	Ts(s)	Ess(%)	Tr(s)	Tp(s)	Mp(%)	Ts(s)	Ess(%)
0,2	0,094	0,105	0	0,105	0	0,097	0,115	0,203	0,125	0
0,4	0,188	0,209	0	0,209	0	0,198	0,219	0,236	0,244	0
0,6	0,283	0,314	0	0,314	0	0,283	0,314	0,203	0,345	0
0,8	0,335	0,419	0	0,419	0	0,335	0,419	0,213	0,456	0
1,0	0,471	0,524	0	0,524	0	0,477	0,601	0,202	0,680	0
1,2	0,565	0,628	0	0,628	0	0,565	0,628	0,206	0,682	0

DCS acts as a model-checking tool, ensuring that a system meets specified properties crucial. Model-checking aids in detecting design errors and verifying system intricacies by confirming adherence to defined specifications, and utilizing symbolic representations like Binary Decision Diagrams for efficient verification. Thus, DCS guarantees the desired system properties for each model. However, accurate modeling of environmental conditions and real-world situations is essential for DCS to effectively guarantee desired system properties.

4. Conclusion

Table 4 shows that the Tr and Tp values are very similar for S-DCS and PID controllers. There is no oscillation in the roll and pitch output provided by S-DCS and PID controllers. The Ts value of the S-DCS controller is smaller than the Ts value of the PID controller. This proves that the S-DCS controller provides a faster transient response than the PID controller. In Table 5, there is no oscillation in the yaw output of the S-DCS controlled system. The Mp value is zero because there is no overshoot for the S-DCS controller, while there are Mp values for the PID controller. The Ess value of the yaw output

provided by the S-DCS controller and the PID controller are both zero. Considering the results in Table 4 and Table 5, the S-DCS controller showed better performance than the WOA-based optimal controller in the attitude control of the quadcopter.

In this study, attitude control of the quadcopter was realized using S-DCS and PID controllers. The originality of this paper lies in being the first in the literature to compare S-DCS and PID methods in quadcopter control. Possible future research can include the integration of recently developed and commonly known MH algorithms (Nalbantoğlu et al., 2023). To further validate the success of S-DCS, a nonlinear model of the quadcopter should also be employed (Abdollahi et al., 2015). In this study, disturbances and noise were not considered, and future research should be conducted under these conditions. Additionally, besides PID, other common control methods should be used for comparison with the success of the S-DCS controller. In the GA procedures, both the population size and maximum iteration number were defined as 20. Future studies can explore variations in these parameters and the effect of the parameters such as crossover and mutation rates. In the literature, numerous studies include quadcopter control in simulation and real environments. Unlike the results of this study, transient and steady-state errors are not ideal in many of the studies in the literature (Sivakumar et al., 2021). Therefore, to validate the success of the S-DCS controller, tests should be conducted using a real quadcopter.

Table 3 was obtained as a result of the sensitivity analysis for parameter changes for WOA. Considering Table 3, it is seen that WOA gives different results if the population size and maximum number of iterations change. In this regard, it has been observed that changes in the considered parameters affect the optimization result and therefore the controller performance.

Environmental factors such as wind and modeling the limitations of yet unidentified scenarios for future work represent a highly complex process. While it is possible to identify primary factors in future studies and model them extensively, this process is intricate and susceptible to errors and deficiencies in modeling parameters. Hence, we believe that providing external world dynamics as an input to the system, termed as an oracle, results in much more accurate and reliable outcomes in synthesizing the controller. Here, the oracle is merely an input in our system model, but before being provided to the system, this input undergoes a series of computations, as mentioned in the studies by (Özbaltan and Berthier, 2020) and (Özbaltan and Berthier, 2021).

It is known that the full dynamic model of the quadcopter is non-linear. In this study, the linear model of the quadcopter was used. Working on linear or linearized models is an approach frequently used by researchers to solve problems in engineering systems. However, no linearized model can fully represent the nonlinear model. Considering that most engineering systems consist of nonlinear systems, it is certain that the methods applied in this study should also be tested on a nonlinear model. In addition, academic and industrial studies on multibody models or digital twin models have become widespread today. The authors plan to use the methods tested in this study to control a quadcopter modeled in an environment such as Simscape. In tests to be carried out in a simulation environment containing the

solid model of the quadcopter, it will reflect the system response to the disturbance much better than the mathematical model. In future studies, the performance of the model reference adaptive controller, which has been used in quadcopter control in recent years, can be compared with the performance of the S-DCS method.

This study was conducted under ideal conditions without considering environmental factors such as wind. In future research, more precise modeling can be achieved by taking into account such environmental conditions. Furthermore, unmanned aerial vehicles can be applied to a variety of different plants. Lastly, our approach could contribute to cost and performance improvements when applied in industrial fields such as CNC robotics applications.

Statement of Conflict of Interest

The authors declare that he has no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Abdollahi A., Foruzan TA., Khodadadi H. Optimal controller design for quadrotor by genetic algorithm with the aim of optimizing the response and control input signals. *Cumhuriyet University Faculty of Science Science Journal (CSJ)* 2015; 36(3): 135-147.
- Braik M., Hammouri A., Atwan J., Al-Betar MA., Awadallah MA. White shark optimizer: A novel bio-inspired meta-heuristic algorithm for global optimization problems. *Knowledge-Based Systems* 2022; 243: 1-29.
- Bolandi H. Rezaei M., Mohsenipour R., Nemati H., Smailzadeh SM. Attitude control of a zankacopter with optimized PID controller. *Intelligent Control and Automation* 2013; 4: 335-342.
- Bresciani T. Modelling, identification and control of a quadrotor helicopter. Lund University, Department of Automatic Control Master thesis, 2008.
- Çaşka S., Gök K., Gök A. Comparison of the success of meta-heuristic algorithms in tool path planning of computer numerical control machine. *Surface Review and Letters* 2022; 29(09): 2250126.
- Konrad R., Ducard G., Roland S. Active fault-tolerant control with imperfect fault detection information: Applications to UAVs. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 2019; 56(4): 2792-2805.
- Leal IS., Abeykoon C., Perera YS. Design, simulation, analysis and optimization of PID and Fuzzy based control systems for a quadcopter. *Electronics* 2021; 10(18): 1-33.
- Leva A. A PID-based controls in computing systems: a brief survey and some research directions. *IFAC -PapersOnLine* 2018; 51(4): 805-810.

- Mirjalili S., Lewis A. The whale optimization algorithm. *Advances in Engineering Software* 2016; 95: 51-67.
- Nalbantoğlu M., Kaya İ., Design and experimental application of an improved cascade controller optimized via genetic algorithm for cascade systems. *El-Cezeri Journal of Science And Engineering* 2023; 10(1): 1-15.
- Özbaltan M., Berthier N. Exercising symbolic discrete control for designing low-power hardware circuits: an application to clock-gating. *IFAC-PapersOnLine* 2018; 51(7): 120-126.
- Özbaltan M., Berthier N. A case for symbolic limited optimal discrete control: Energy management in reactive data-flow circuits. *IFAC-PapersOnLine* 2020; 53(2): 10688-10694.
- Özbaltan M., Berthier N. Power-aware scheduling of data-flow hardware circuits with symbolic control. *Archives of Control Sciences* 2021; 31(2): 431-446.
- Radosław P., Giernacki W. UAV fault detection methods, state-of-the-art. *Drones* 2022; 6(11): 1-39.
- Rana N., Latiff M. S. A., Abdulhamid S. M., Chiroma H. Whale optimization algorithm: a systematic review of contemporary applications, modifications and developments. *Neural Computing and Applications* 2020; 32: 16245-16277.
- Shakhatreh H., Sawalmeh AH., Al-Fuqaha A., Dou Z., Almaita E., Khalil I., Othman NS., Khreishah A., Guizani M. Unmanned aerial vehicles (Uavs): A survey on civil applications and key research challenges. *IEEE Access* 2019; 7: 48572-48634.
- Sivakumar M., Turlapati NMY. A literature survey of unmanned aerial vehicle usage for civil applications. *Journal of Aerospace Technology and Management* 2021; 13: 1-23.
- Sophie J., Julian M., Sierra H., John B., Jason P., Kevin K., Dexter L., Zion T. State-of-the-art technologies for UAV inspections. *IET Radar, Sonar & Navigation* 2018; 12(2): 151-164.
- Thu KM., Gavrilov A. Designing and modeling of quadcopter control system using L1 adaptive control. *Procedia Computer Science* 2017; 103: 528-535.
- Uçar UÜ., İşleyen SK., Hareketli hedefli - heterojen filolu İHA rotalama problemi için yeni bir çözüm yaklaşımı. *Journal of Politechnic* 2019; 22(4): 999-1016.
- Wang J., Ning C., Yang Y. Multivariable PID Decoupling Control Method of Electroslag Remelting Process Based on Improved Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm. *Information* 2014; 5: 120-133.
- Wang P., Man Z., Cao Z., Zheng J., Zhao Y. Dynamics modelling and linear control of quadcopter. 2016 International Conference on Advanced Mechatronic Systems(ICAMEchS) November 30 - December 3 2016, Swinburne University of Technology.

Psikolojik Güçlendirme ile Mutluluk Arasındaki İlişki: İş Güvenliği Uzmanları ve Teknikerleri Üzerinde Bir Araştırma

Zeynep Feride OLCAY^{1*}

¹İstanbul Aydın Üniversitesi, ABMYO, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, 34197, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0001-5720-7350>

*Sorumlu yazar: zeynepolcay@aydin.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.12.2023

Kabul tarihi:05.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Psikolojik güçlendirme

Mutluluk

İş güvenliği uzmanı

ÖZ

Bu araştırmanın amacı, iş güvenliği uzmanları ve teknikerlerin algıladıkları psikolojik güçlendirme ile mutluluk düzeyleri arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Araştırma, ilişkisel tanımlayıcı tipte yapılmıştır. İstanbul'da farklı sektörlere hizmet veren iş güvenliği uzmanları ve teknikerleri çalışmanın evrenini oluşturmaktadır. Anket formları İstanbul'da çalışan 340 iş güvenliği uzman ve teknikerlere uygulanmıştır. Veriler, "Kişisel Bilgi Formu", "Psikolojik Güçlendirme Ölçeği" ve "Oxford Mutluluk Ölçeği" ile toplanmıştır. Psikolojik güçlendirme ölçeğinin dört alt boyutu bulunmaktadır. Bu boyutlar; anlamlılık, yeterlilik, özerklik ve etki olarak tanımlanmıştır. Her bir boyutunda üç ifade vardır. Mutluluk ölçeği ise tek boyuttur. Verilerin değerlendirilmesinde SPSS 25.0 programı kullanılmıştır. Ankete katılan iş güvenliği uzmanları ve teknikerlerin mutluluk puanları ile anlamlılık ($r=0,27$; $p<0,01$), yeterlilik ($r=0,23$; $p<0,01$), özerklik ($r=0,182$; $p<0,01$), etki ($r=0,129$; $p<0,05$), psikolojik güçlendirme ölçeği toplam ($r=0,265$; $p<0,01$), puanları arasında düşük düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişkiler gözlenmiştir. Psikolojik güçlendirme puanları arttıkça mutluluk puanlarının da arttığı gözlenmiştir. Anlamlılık, yeterlilik, özerklik ve etki birlikte mutluluk ile anlamlı bir ilişkiye sahiptir ($R=0,290$; $F(4;339)=7,70$; $p=000$). Anlamlılık, yeterlilik, özerklik ve etki değişkenleri mutluluktaki değişimin %8'ini açıklamaktadır.

Relationship Between Psychological Empowerment and Happiness: A Study on Occupational Safety Specialists and Technicians

Research Article

Article History:

Received: 03.12.2023

Accepted: 05.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Psychological empowerment

Happiness

Occupational safety experts

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the relationship between perceived psychological empowerment and happiness levels among occupational safety experts. The study was conducted in a relational descriptive type. Occupational safety specialists and technicians serving in different sectors in Istanbul constitute the population of the study. The number of valid surveys included in the research is 340. Data were collected using the "Personal Information Form", "Psychological Empowerment Scale," and "Oxford Happiness Scale". The psychological empowerment scale has four subscales. These dimensions are defined as meaningfulness, competence, autonomy, and impact. There are three statements in each dimension. The happiness scale, on the other hand, is a single dimension. SPSS 25.0 program was used for data analysis. Low-level positive significant relationships were observed between happiness scores of occupational safety specialists and technicians participating in the survey and meaningfulness ($r=0.27$; $p<0.01$), competence ($r=0.23$; $p<0.01$), autonomy ($r=0.182$; $p<0.01$), impact ($r=0.129$; $p<0.05$), Psychological Empowerment Scale total scores ($r=0.265$; $p<0.01$). It was observed that as psychological empowerment

scores increase, happiness scores also increase. Meaningfulness, competence, autonomy, and impact together have a significant relationship with happiness ($R=0.290$; $F(4;339)=7.70$; $p=000$). Meaningfulness, competence, autonomy, and impact variables explain 8% of the variance in happiness.

To Cite: Olcay ZF. Psikolojik Güçlendirme ile Mutluluk Arasındaki İlişki: İş Güvenliği Uzmanları ve Teknikerleri Üzerinde Bir Araştırma. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1470-1486.

1. Giriş

Literatürde güçlendirme kavramı yapısal/davranışsal ve psikolojik olmak üzere iki şekilde ifade edilmektedir. Yapısal güçlendirme, işyerinde fırsatlara, bilgiye, desteğe ve kaynaklara erişimi kolaylaştıran belirli sosyal işyeri koşullarını ve politikalarını ifade eder (Kanter, 1977). Psikolojik güçlendirme ise dört boyutu içeren motivasyonel bir durumdur (Spreitzer, 1995). Psikolojik güçlendirme, yeterlilik, anlam, kendi kaderini tayin etme ve örgütsel sonuçları etkileme becerisine ilişkin bireysel algılardan kaynaklanır (Maynard ve ark., 2012). Anlam, bireylerin yaptıkları işi ne kadar önemli veya anlamlı olarak algıladıklarını gösterir. Yetkinlik, kişinin işini başarıya yeteneğini, becerilerini ve yeteneklerini ifade eder. (Seibert ve ark., 2011). Yeterlilik yönü, bir çalışanın işle ilgili öz yeterliliğini oluşturur (Bandura, 1997). Kendini yetkin hisseden çalışanlar işle ilgili becerilerine ve işlerinde iyi performans gösterebileceklerine inanırlar (Spreitzer, 2008). Kişiler sahip oldukları yetkinliklerine ne derece güvenirlerse, beceri ve kapasitelerini gösterebilecekleri işlerde daha istekli ve başarılı olabilirler (Emet, 2006). Bu durumun tersi olduğu zaman, yani kendi yetkinliklerine güvenmediklerinde, iş yapmaktan kaçınırlar ve isteksiz olurlar (Thomas ve Velthouse, 1990). Kendi kaderini tayin teorisi (SDT), motivasyonu özerk ve kontrollü olma açısından farklılaştıran, sosyal bağlamlarda insan motivasyonu ve kişiliğine ilişkin ampirik olarak türetilmiş bir teoridir (Deci ve Ryan, 2012). Teoriden yola çıkarak kendi kaderini tayin etme, bir çalışanın işyerinde seçim hakkına sahip olduğu ve işini nasıl yapacağı konusunda özgür olduğu algısıdır. Görev özerkliğini yansıtan temel bir iş özelliğidir (Spreitzer, 1995). Güçlü bir kendi kaderini tayin etme duygusuna sahip çalışanlar, örneğin bir göreve ne zaman başlayıp bitirmeleri veya hangi araçları kullanmaları gerektiğine karar vermekte özgürdürler (Schermyly, 2019). Etki, kişinin çalışmasının idari, organizasyonel veya stratejik sonuçları üzerindeki etkisiyle ilgilidir. (Spreitzer ve ark., 1999). Etki, işyerindeki idari, stratejik ve operasyonel hedefleri etkileme gücüne sahip olma inancıdır (Spreitzer, 2008). Psikolojik güçlendirmenin genel yapısını oluşturan bu dört boyuttan bir ya da birkaçı eksik olursa psikolojik güçlenme zayıflamaktadır (Spreitzer, 1995). Kişiler çalıştıkları yerde bazı değişiklikler yapma imkanına sahip olduklarını düşündüklerinde, davranışlarının sistemi etkileyebileceğini göreceklere ve kendilerini güçlendirilmiş hissedeceklerdir. Böylece kişilerin çalışma ortamı ve işlerine dair çalışanın içsel motivasyonunda artış sağlayacaktır (Şen, 2008).

Thomas ve Velthouse (1990) tarafından geliştirilen bir modelle, psikolojik güçlendirmenin kişilerin kendilerini, güçlendirilmiş hissedip hissetmediğine ilişkin algıları olarak ifade edilmiştir. Psikolojik güçlendirme örgütsel araştırma ve uygulama için önemli bir konudur çünkü “dinamik çalışma

ortamlarında çalışanların güçlendirilmesi, kuruluşlara pazarlarında rekabetçi konumlar edinme ve sürdürme konusunda avantajlar sağlayabilir” (Kim ve ark., 2018).

Mutluluk pozitif psikolojinin temel kavramlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Sapmaz ve Doğan, 2012). Diener (1984)’e göre mutluluk, olumlu olan duyguların sıklıkla, olumsuz olan duyguların ise az yaşanması ve hayattan yüksek düzeyde doyum alma olarak tanımlanmaktadır.

Mutluluk kavramı psikoloji, sosyoloji, tıp ve ekonomi gibi farklı disiplinlerdeki araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Artan bilimsel kanıtlar, mutluluğun bireyin refahını ve yaşam kalitesini desteklediğini göstermektedir. Mutluluğun kişinin sağlık, sosyal ilişkiler, iş hayatı ve evlilik gibi yaşamın çeşitli alanlarındaki olumlu işleyişine faydalı olduğu bulunmuştur (Yıldırım ve Belen, 2019).

Türkiye’de 2012 yılında yürürlüğe giren “6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu” ile işletmelerin buldukları tehlike sınıfı ve çalışan sayılarına göre İş sağlığı ve güvenliği hizmeti almaları yasal bir zorunluluk olmuştur. İşletmeler dahil oldukları tehlike sınıfına uygun olan sınıftaki iş güvenliği uzmanlarından rehberlik, risk değerlendirme, çalışma ortamının gözetimi, eğitim ve bilgilendirme hizmetleri almak zorundadırlar. Bu gelişme ile birlikte iş güvenliği uzmanları ve özellikle gözetmen olarak inşaat sektöründe istihdam edilen iş güvenliği teknikerleri çalışma hayatında iş güvenliği açısından önemli roller üstlenmiştir (Olçay ve ark., 2021). Ancak, iş güvenliği uzmanlarının ve iş güvenliği teknikerlerinin çalışma şartları önemsenmemektedir. Başka bir deyişle bu kişiler görev tanımları ve aldıkları yüksek düzeyde sorumluluktan dolayı kendileri de psiko-sosyal açıdan çeşitli risk etmenleriyle karşı karşıya kalabilmektedir. İş güvenliği uzman ve teknikerlerin iş yükleri ve sorumluluklarının fazla olması aynı zamanda iş yaşamındaki bazı belirsizlikler, onların da psikolojik yönden sağlık sorunlarının irdelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Aytaç ve ark., 2020). Araştırmacılar, mutlu bir çalışanın verimliliğinin mutsuz çalışanlardan daha yüksek olduğunu ve insan kapasitesinin potansiyel kaynaklarını kullanma yeteneğini güçlendirmenin, organizasyonları ve personeli işlerinde daha fazla kontrol sahibi olmaya teşvik ettiğini doğrulamaktadır (Vazife ve Saadatyar, 2018). İş güvenliği uzman ve teknikerlerinin yaptıkları işte başarılı olmalarında, kendilerini psikolojik olarak güçlü hissetmelerinin ve mutluluk düzeylerinin yüksek olmasının bir gösterge olduğu söylenebilir. İşyerlerindeki iş güvenliği ile ilgili çalışmaların etkin olması, ramak kala olaylar ve iş kazalarının önüne geçilebilmesi bir anlamda iş güvenliği uzmanlarının yetkin ve etkin olma durumuna bağlıdır (Kayan ve ark., 2017). Mutluluk, insan yaşamının bütün alanlarını etkileyen önemli bir kavramdır. İş hayatında başarılı olma ile mutluluk arasında anlamlı ilişkiler olduğu ortaya çıkmaktadır (Lyubomirsky ve ark., 2005). Psikolojik güçlendirme ve mutluluk ile farklı değişkenler arasındaki ilişkiler konusunda alan yazında çok fazla araştırma olmasına karşın, psikolojik güçlendirme ve mutluluk arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir.

Çalışma ortamında yöneticileri tarafından psikolojik olarak güçlendirilmiş çalışanların mutluluk düzeyleri de artar varsayımından hareket edilerek yapılan bu araştırma İstanbul’da bulunan iş güvenliği uzmanları ve teknikerleri üzerine uygulanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın bu kısmında araştırma kapsamında bulunan evren ve çalışma grubu, çalışmanın ölçme araçları ve verilerin analizinde kullanılan işlem yolu ve analiz teknikleri yer almaktadır.

2.1. Çalışma Grubu

Çalışma 13.11.2023-30.11.2023 tarihleri arasında İstanbul'da farklı sektörlere hizmet veren iş güvenliği uzman ve teknikerlerine yöneliktir. Google form üzerinden oluşturulan anketler için katılımcıların gönüllülük esası dikkate alınmıştır. Katılımcı sayısı belirlenirken uluslararası literatürde kabul görmüş çalışmalar göz önünde bulundurularak (Cattell, 1978; Kline, 1979; Gorsuch, 1983; Norusis, 1994; Tabachnick ve Fidell, 2007) iş güvenliği uzmanları ve teknikerlerinden oluşan toplam 340 katılımcı bu çalışmaya katılmıştır.

2.2. Araştırmanın İzin ve Etik Boyutu

“İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Komisyonu'nun” 2023/11 numaralı kararına göre etik kurul izni alınmıştır.

2.3. Veri Toplama Araçları

Araştırmada yer alan anket üç bölümden meydana gelmektedir;

İlk bölümde katılımcılara yöneltilen kişisel bilgi formu bulunmaktadır.

İkinci bölümde “Çalışanların psikolojik güçlendirme algılarının” dört boyutunu ölçmek için Spreitzer (1995) tarafından geliştirilen, Sürgevil ve ark. (2013) tarafından Türkçe geçerlilik ve güvenilirliğinin yapıldığı psikolojik güçlendirme ölçeği (Psychological empowerment instrument-PEI) kullanılmıştır. Ölçek 5'li likert tipindedir. Ölçeğin alt boyutları anlamlılık, yeterlilik, özerklik ve etki olarak isimlendirilmiştir. Her bir boyutta üç ifade yer almaktadır. Anlamlılık (Meaning): Bir görevin yapılış amacının çalışan için taşıdığı değer olan anlamlılık; çalışanların yaptıkları işi önemseme ve işlerinin önemli olduğunu düşünme düzeyleriyle ilgilidir. Yeterlilik (Competence): Çalışanların işlerini iyi yapabilmeleri konusunda kendilerine ve yeteneklerine duydukları güven düzeyiyle ilgilidir. Özerklik (Self-determination): Çalışanların işlerini nasıl yapacakları konusunda karar verme özgürlüklerini ve işleri üzerinde kontrol sahibi olmalarını ifade eder. Etki (Impact): Çalışanların (stratejik, yönetsel ya da operasyonel) örgütsel sonuçlar üzerinde herhangi bir etkisi olup olmadığını hissetmesiyle ilgilidir. Çalışanların işyerlerinde bir iz bırakabilme ve örgütün onların fikirlerini ciddiye alma düzeyini gösterir. Ölçeğin alt boyutları, kendi içlerinde değerlendirilerek her bir boyut için sonuçlar alınabildiği gibi, tüm boyutların toplanmasıyla da toplam psikolojik güçlendirme puanı elde edilmektedir (Tolay ve ark., 2012).

Son bölümde ise Oxford mutluluk ölçeğine ilişkin sorular yer almaktadır. Hills ve Argyle (2002) tarafından geliştirilen Oxford Mutluluk Ölçeğinin tarafından Türkçe geçerlilik ve güvenilirliği Doğan ve Sapmaz (2012) tarafından yapılmıştır. Ölçek 6'lı likert tipinde ve tek boyuttur.

2.4. Verilerin Analizi

Oxford mutluluk ve psikolojik güçlendirme ölçeklerinden (PGÖ) elde edilen puanları, cinsiyet ve medeni durum değişkenlerine göre karşılaştırmak için Bağımsız Gruplar T-testi uygulanmıştır. Ölçek puanlarını yaş, uzmanlık sınıfı ve meslekteki toplam çalışma süresi değişkenlerine göre karşılaştırmak için ANOVA Testi uygulanmıştır.

Oxford mutluluk ve PGÖ'den elde edilen puanların dağılımını incelemek için çarpıklık ve basıklık katsayıları hesaplanmıştır. Hair ve ark. (2013) çarpıklık ve basıklık katsayılarının ± 1 aralığında bulunması durumunda normallik varsayımının karşılandığını belirtmiştir. Hesaplanan katsayılar belirtilen aralıkta yer almış ve normal dağılım varsayımının karşılandığı belirlenmiştir ($-0,95 \leq$ çarpıklık $\leq 0,07$ - $0,36 \leq$ basıklık $\leq 0,16$).

Pearson korelasyon katsayıları hesaplanarak Oxford mutluluk ve psikolojik güçlendirme puanları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Psikolojik güçlendirmenin bileşenlerinin mutluluk üzerindeki yordayıcı etkisini belirlemek için çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Değişkenler arasında çoklu bağlantının bulunup bulunmadığını belirlemek için VIF (Variance inflation factor) değerleri hesaplanmıştır. $VIF > 10$ değerleri çoklu bağlantının bulunduğunu göstermektedir (Çokluk ve ark., 2012). En yüksek VIF değeri 2,04'tür ve çoklu bağlantı probleminin bulunmadığı anlaşılmıştır. Durbin-Watson katsayısı hesaplanarak hataların bağımsızlığı varsayımı kontrol edilmiştir. Bu katsayının 1,5 ile 2,5 aralığında bulunması ilgili varsayımın karşılanması için yeterlidir. Durbin-Watson katsayısı 2,03 olarak hesaplanmış ve ilgili varsayım karşılanmıştır. Regresyon analizinde, eşdeğişkenlilik (Homoscedasticity) varsayımı, standartlaştırılmış artıkların (hataların) grafiği oluşturularak incelenebilir (Osborne ve Waters, 2002). Grafik incelendiğinde, artıkların rastgele ve yatay çizgi etrafında nispeten dengeli bir şekilde dağıldığı ve ilgili varsayımın karşılandığı belirlenmiştir. SPSS 25.0 istatistik paket programı kullanılarak veriler analiz edilmiştir.

3. Bulgular

Araştırmadan elde edilen bulgulara aşağıda yer verilmektedir.

Tablo 1 incelendiğinde, katılımcıların %41,5'inin kadın, %58,5'inin ise erkek olduğu anlaşılmaktadır. Evli katılımcıların oranı %57,4'tür. Katılımcıların %35,3'ü 20-25, %28,2'i 26-30, %15,6'sı 31-35, %12,6'sı 36-40, %8,2'si ise 41 ve üzeri yaş grubunda bulunmaktadır. Katılımcıların %45,9'u C sınıfı İGU, %25,6'sı iş güvenliği teknikeri, %13,2'si B sınıfı İGU, %15,3'ü ise A sınıfı İGU olarak çalışmaktadır. Katılımcıların %29,4'ü 0-1 yıl, %22,4'ü 1-3 yıl, %15,0'i 3-5 yıl, %7,9'u 5-10 yıl, %25,3'ü ise 10 yıl ve üzeri mesleki kıdeme sahiptir.

Tablo 1. Katılımcıların demografik özelliklere göre dağılımı

		f	%
Cinsiyet	Kadın	141	41,5
	Erkek	199	58,5
Medenî durum	Bekâr	145	42,6
	Evli	195	57,4
Yaş	20-25	120	35,3
	26-30	96	28,2
	31-35	53	15,6
	36-40	43	12,6
	41 ve üzeri	28	8,2
Uzmanlık sınıfı	C Sınıfı İGU	156	45,9
	Tekniker	87	25,6
	B Sınıfı İGU	45	13,2
	A Sınıfı İGU	52	15,3
Meslekteki toplam çalışma yılı	0-1 yıl	100	29,4
	1-3 yıl	76	22,4
	3-5 yıl	51	15,0
	5-10 yıl	27	7,9
	10 yıl ve üzeri	86	25,3

Tablo 2 incelendiğinde, Cinsiyetiniz değişkenine göre mutluluk ($t(340)=0,03$; $p>0,05$), özerklik ($t(340)=0,41$; $p>0,05$), PGÖ toplam ($t(340)=0,93$; $p>0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Bununla birlikte, anlamlılık ($t(340)=3,49$; $p>0,05$), yeterlilik ($t(340)=2,62$; $p>0,05$), etki ($t(340)=-1,97$; $p>0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermiştir. Erkek katılımcıların anlamlılık (Ort=13,63; Ss=1,74) ve yeterlilik (Ort=14,04; Ss=1,53) puan ortalamaları daha yüksektir. Kadın katılımcıların ise etki (Ort=10,93; Ss=2,77) puan ortalamaları anlamlı olarak daha yüksektir.

Tablo 2. Cinsiyet değişkenine göre mutluluk ve PGÖ puan ortalamaları, standart sapmaları ve bağımsız gruplar T-testi sonuçları

Değişkenler	Cinsiyetiniz	N	Ort	Ss	t(340)	p
Mutluluk	Erkek	199	96,45	10,77	0,03	0,98
	Kadın	141	96,41	11,16		
Anlamlılık	Erkek	199	13,63	1,74	3,49	0,00
	Kadın	141	12,89	2,13		
Yeterlilik	Erkek	199	14,04	1,53	2,62	0,01
	Kadın	141	13,57	1,74		
Özerklik	Erkek	199	11,84	2,58	0,41	0,68
	Kadın	141	11,72	2,52		
Etki	Erkek	199	10,29	3,09	-1,97	0,05
	Kadın	141	10,93	2,77		
PGÖ toplam	Erkek	199	49,79	6,41	0,93	0,35
	Kadın	141	49,12	6,86		

Tablo 3 incelendiğinde, medeni durum değişkenine göre anlamlılık ($t(340)=0,11$; $p>0,05$), yeterlilik ($t(340)=0,06$; $p>0,05$), özerklik ($t(340)=0,98$; $p>0,05$), PGÖ toplam ($t(340)=1,53$; $p>0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Bununla birlikte, mutluluk ($t(340)=2,94$; $p>0,05$), etki ($t(340)=2,46$; $p>0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermiştir. Evli katılımcıların mutluluk (Ort=97,92; Ss=11,29) ve etki (Ort=10,89; Ss=3,06) puan ortalamaları anlamlı olarak daha yüksektir.

Tablo 3. Medeni duruma göre mutluluk ve PGÖ puan ortalamaları, standart sapmaları ve bağımsız gruplar T-testi sonuçları

Değişkenler	Medeni durumunuz	N	Ort	Ss	t(340)	p
Mutluluk	Evli	195	97,92	11,29	2,94	0,00
	Bekar	145	94,43	10,09		
Anlamlılık	Evli	195	13,33	2,03	0,11	0,91
	Bekar	145	13,31	1,83		
Yeterlilik	Evli	195	13,85	1,76	0,06	0,96
	Bekar	145	13,84	1,44		
Özerklik	Evli	195	11,91	2,59	0,98	0,33
	Bekar	145	11,63	2,50		
Etki	Evli	195	10,89	3,06	2,46	0,01
	Bekar	145	10,10	2,81		
PGÖ toplam	Evli	195	49,98	7,19	1,53	0,13
	Bekar	145	48,88	5,67		

Tablo 4 incelendiğinde, yaş değişkenine göre özerklik ($F(4.0;335.0)=1,28$; $p>0,05$) ve etki ($F(4.0;335.0)=1,74$; $p>0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Bununla birlikte, mutluluk ($F(4.0;335.0)=4,84$; $p<0,05$), anlamlılık ($F(4.0;335.0)=3,69$; $p<0,05$), Y yeterlilik ($F(4.0;335.0)=2,63$; $p<0,05$) ve PGÖ toplam ($F(4.0;335.0)=2,91$; $p<0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermiştir. Post-Hoc testi genel olarak 31-35 yaş grubunun mutluluk ve psikolojik güçlendirme puanları daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 4. Yaş grubuna göre mutluluk ve PGÖ puan ortalamaları, standart sapmaları ve ANOVA sonuçları

Değişkenler	Yaş grubu	N	Ort	Ss	F(4;335)	p	Post-Hoc
Mutluluk	1. 20-25	120	93,66	9,62	4,84	0,00	3>1
	2. 26-30	96	96,13	11,85			
	3. 31-35	53	100,83	10,39			
	4. 36-40	43	97,88	9,61			
	5. 41+	28	98,82	12,68			
Anlamlılık	1. 20-25	120	12,86	2,03	3,69	0,01	3>1
	2. 26-30	96	13,52	1,67			
	3. 31-35	53	13,89	1,93			
	4. 36-40	43	13,67	1,73			
	5. 41+	28	13,04	2,40			
Yeterlilik	1. 20-25	120	13,61	1,73	2,63	0,03	3>5
	2. 26-30	96	13,99	1,34			
	3. 31-35	53	14,19	1,36			
	4. 36-40	43	14,14	1,32			
	5. 41+	28	13,29	2,57			
Özerklik	1. 20-25	120	11,53	2,61	1,28	0,28	-
	2. 26-30	96	11,79	2,60			
	3. 31-35	53	12,42	2,24			
	4. 36-40	43	11,56	2,73			
	5. 41+	28	12,07	2,34			
Etki	1. 20-25	120	10,06	2,78	1,74	0,14	-
	2. 26-30	96	10,64	2,97			
	3. 31-35	53	10,75	3,02			
	4. 36-40	43	11,35	3,37			
	5. 41+	28	10,79	2,92			
PGÖ toplam	1. 20-25	120	48,06	6,84	2,91	0,02	3>1
	2. 26-30	96	49,94	6,13			
	3. 31-35	53	51,25	6,05			
	4. 36-40	43	50,72	5,44			
	5. 41+	28	49,18	8,56			

Tablo 5 incelendiğinde, uzmanlık sınıfı değişkenine göre mutluluk ($F(3.0;336.0)=0,92$; $p>0,05$), anlamlılık ($F(3.0;336.0)=0,61$; $p>0,05$), yeterlilik ($F(3.0;336.0)=0,32$; $p>0,05$), özerklik ($F(3.0;336.0)=1,17$; $p>0,05$) ve PGÖ toplam ($F(3.0;336.0)=0,47$; $p>0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Bununla birlikte, Etki ($F(3.0;336.0)=3,65$; $p<0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermiştir. A sınıfı İGU olarak kurumuna çalışan katılımcıların etki puan ortalaması, C sınıfı İGU olarak çalışan katılımcılarınkinden daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 5. Uzmanlık sınıfına göre mutluluk ve PGÖ puan ortalamaları, standart sapmaları ve ANOVA sonuçları

Değişkenler	Uzmanlık Sınıfı	N	Ort	Ss	F(3;336)	p	Post-Hoc
Mutluluk	1. C Sınıfı İGU	156	96,38	10,08	0,92	0,43	-
	2. Tekniker	87	95,59	11,60			
	3. B Sınıfı İGU	45	95,73	12,47			
	4. A Sınıfı İGU	52	98,6	10,78			
Anlamlılık	1. C Sınıfı İGU	156	13,47	1,70	0,61	0,61	-
	2. Tekniker	87	13,28	1,77			
	3. B Sınıfı İGU	45	13,11	2,73			
	4. A Sınıfı İGU	52	13,15	2,13			
Yeterlilik	1. C Sınıfı İGU	156	13,93	1,36	0,32	0,81	-
	2. Tekniker	87	13,83	1,38			
	3. B Sınıfı İGU	45	13,78	2,24			
	4. A Sınıfı İGU	52	13,69	2,11			
Özerklik	1. C sınıfı İGU	156	11,88	2,46	1,17	0,32	-
	2. Tekniker	87	12,07	2,38			
	3. B Sınıfı İGU	45	11,36	3,08			
	4. A Sınıfı İGU	52	11,44	2,60			
Etki	1. C Sınıfı İGU	156	10,2	2,92	3,65	0,01	4>1
	2. Tekniker	87	10,61	2,90			
	3. B Sınıfı İGU	45	10,31	3,62			
	4. A Sınıfı İGU	52	11,73	2,34			
PGÖ Toplam	1. C Sınıfı İGU	156	49,47	6,03	0,47	0,71	-
	2. Tekniker	87	49,78	5,55			
	3. B Sınıfı İGU	45	48,56	8,94			
	4. A Sınıfı İGU	52	50,02	7,52			

Tablo 6 incelendiğinde, mesleki kıdeme göre anlamlılık ($F(4.0;335.0)=0,90$; $p>0,05$), yeterlilik ($F(4.0;335.0)=1,23$; $p>0,05$) ve özerklik ($F(4.0;335.0)=0,49$; $p>0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Bununla birlikte, mutluluk ($F(4.0;335.0)=3,19$; $p<0,05$), Etki ($F(4.0;335.0)=4,27$; $p<0,05$) ve PGÖ toplam ($F(4.0;335.0)=2,64$; $p<0,05$) puan ortalamaları anlamlı bir farklılık göstermiştir. Post-Hoc testi sonuçlarına göre, 5-10 yıl mesleki kıdeme sahip katılımcıların mutluluk puan ortalaması, 1-3 yıl mesleki kıdeme sahip katılımcılarınkinden daha yüksektir. Ayrıca, 5-10 yıl mesleki kıdeme sahip katılımcıların psikolojik güçlendirme puan ortalamaları genel olarak daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 6. Mesleki kıdeme göre mutluluk ve PGÖ puan ortalamaları, standart sapmaları ve ANOVA sonuçları

Değişkenler		Mesleki kıdem	N	Ort	Ss	F(4.0;335.0)	p	Post-Hoc
Mutluluk	1.	0-1 yıl	100	94,93	10,57			
	2.	1-3 yıl	76	94	12,07			
	3.	3-5 yıl	51	98,86	10,25	3,19	0,01	4>2
	4.	5-10 yıl	27	100,07	8,88			
	5.	10+ yıl	86	97,74	10,65			
Anlamlılık	1.	0-1 yıl	100	13,21	1,77			
	2.	1-3 yıl	76	13,05	2,37			
	3.	3-5 yıl	51	13,53	1,76	0,90	0,47	-
	4.	5-10 yıl	27	13,63	1,39			
	5.	10+ yıl	86	13,48	1,98			
Yeterlilik	1.	0-1 yıl	100	13,78	1,40			
	2.	1-3 yıl	76	13,64	2,00			
	3.	3-5 yıl	51	14,27	1,12	1,23	0,30	-
	4.	5-10 yıl	27	13,93	1,33			
	5.	10+ yıl	86	13,83	1,84			
Özerklik	1.	0-1 yıl	100	11,59	2,51			
	2.	1-3 yıl	76	11,63	2,60			
	3.	3-5 yıl	51	11,92	2,76	0,49	0,75	-
	4.	5-10 yıl	27	11,96	2,52			
	5.	10+ yıl	86	12,03	2,48			
Etki	1.	0-1 yıl	100	9,9	2,59			
	2.	1-3 yıl	76	10,14	3,03			
	3.	3-5 yıl	51	11,78	3,11	4,27	0,00	3>1
	4.	5-10 yıl	27	10,56	3,02			
	5.	10+ yıl	86	10,94	3,04			
PGÖ toplam	1.	0-1 yıl	100	48,48	5,87			
	2.	1-3 yıl	76	48,47	7,58			
	3.	3-5 yıl	51	51,51	6,55	2,64	0,03	3>1, 3>2
	4.	5-10 yıl	27	50,07	5,62			
	5.	10+ yıl	86	50,28	6,53			

Tablo 7 incelendiğinde, mutluluk puanları ile anlamlılık ($r=0,27$; $p<0,01$), yeterlilik ($r=0,23$; $p<0,01$), Özerklik ($r=0,182$; $p<0,01$), etki ($r=0,129$; $p<0,05$), PGÖ Toplam ($r=0,265$; $p<0,01$), puanları arasında düşük düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişkiler gözlenmiştir.

Anlamlılık puanları ile yeterlilik ($r=0,616$; $p<0,01$), özerklik ($r=0,486$; $p<0,01$), etki ($r=0,285$; $p<0,01$), PGÖ Toplam ($r=0,764$; $p<0,01$), puanları arasında yüksek, orta ve düşük düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmaktadır. Yeterlilik puanları ile özerklik ($r=0,301$; $p<0,01$), etki ($r=0,208$; $p<0,01$), PGÖ Toplam ($r=0,639$; $p<0,01$), puanları arasında orta ve düşük düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmaktadır.

Özerklik puanları ile etki ($r=0,34$; $p<0,01$), PGÖ toplam ($r=0,758$; $p<0,01$), puanları arasında yüksek ve orta düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişkiler gözlenmiştir. Son olarak, etki puanları ile PGÖ toplam ($r=0,718$; $p<0,01$), puanları arasında yüksek düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmaktadır. Genel olarak Psikolojik güçlendirme puanları arttıkça mutluluk puanlarının da arttığı gözlenmiştir.

Tablo 7. Oxford mutluluk ve psikolojik güçlendirme puanları arasındaki ilişkilere ait pearson korelasyon katsayıları

Değişkenler	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1. Mutluluk	1					
2. Anlamlılık	,270**	1				
3. Yeterlilik	,230**	,616**	1			
4. Özerklik	,182**	,486**	,301**	1		
5. Etki	,129*	,285**	,208**	,340**	1	
6. PGÖ toplam	,265**	,764**	,639**	,758**	,718**	1
Ort	96,43	13,32	13,85	11,79	10,55	49,51
Ss	10,92	1,94	1,63	2,55	2,97	6,60

** $p<0,01$; * $p<0,05$; N=340; PGÖ= Psikolojik Güçlendirme Ölçeği

Tablo 8 incelendiğinde, anlamlılık, yeterlilik, özerklik ve etki birlikte mutluluk ile anlamlı bir ilişkiye sahiptir ($R=0,290$; $F(4;339)=7,70$; $p=000$). Anlamlılık, yeterlilik, özerklik ve etki değişkenleri mutluluktaki değişimin %8'ini açıklamaktadır. Standardize beta katsayılarına ait anlamlılık değerleri incelendiğinde, sadece anlamlılık ($\beta=0,17$; $p<0,05$) değişkeninin mutluluğun anlamlı yordayıcısı olduğu anlaşılmaktadır. Anlamlılık, mutluluğu pozitif yönde yordamaktadır.

Tablo 8. Psikolojik güçlendirme bileşenlerinin mutluluk değişkeni üzerindeki yordayıcı etkisini belirlemek için gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları

Değişkenler	B	SH	β	t	p
(Sabit)	70,07	5,13		13,66	0,00
Anlamlılık	0,95	0,41	0,17	2,33	0,02*
Yeterlilik	0,67	0,44	0,10	1,51	0,13
Özerklik	0,24	0,26	0,05	0,89	0,37
Etki	0,15	0,21	0,04	0,74	0,46
R=0,290	R ² =0,084		F(4;339)=7,70		p<0,001

Bağımlı Değişken= Mutluluk; *p<0,05

4. Sonuç ve Tartışma

İşletmeler çalışanlarının özgüvenlerini artıracak, kararlara katılımını sağlayacak, daha fazla yetki ve sorumluluk almalarına imkân verecek uygulamalar ile onların psikolojik olarak kendilerini güçlendirilmiş hissetmelerini sağlayabilirlerse, çalışanlar işlerini daha etkin ve verimli bir şekilde yapabilir. Psikolojik olarak güçlendirildiğini hisseden çalışanların mutluluk düzeyleri artabilir. Bundan dolayı çalışmamızda, örgütler için bu kadar önemli olan ve çok değerli örgütsel çıktıları sağlayabilen bir kavram olan çalışanların psikolojik olarak güçlendirilmesi ile kendilerini mutlu hissetmeleri arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Çalışmada erkek katılımcıların anlamlılık ve yeterlilik puan ortalamaları daha yüksektir. Kadın katılımcıların ise etki puan ortalamaları anlamlı olarak daha yüksektir. Kadınların erkeklere oranla çalışma ortamında daha fazla kontrol ve etkiye sahip oldukları görülmektedir. Bu da Arslan'ın (2019) çalışmasıyla uyumluluk göstermektedir. Hechanova ark. (2006) tarafından elde edilen sonuçlarla paralellik göstermemektedir. Kadın ve erkeklerin mutluluk düzeyleri arasında anlamlı bir fark yoktur. Demir ve Murat (2017), Ulukan (2020) ile Kaya ve Demir'in (2017) çalışmalarıyla paralellik göstermektedir.

Evli katılımcıların etki puan ortalamaları bekar katılımcılara göre anlamlı olarak daha yüksektir. Evli çalışanlar pek çok sorumluluğu paylaştıkları için kendilerini etki alt boyutunda daha güçlü hissediyor olabilirler. Ulun'un (2023) akademik personeller üzerinde yapmış olduğu çalışmasında elde ettiği bulguyla paralellik göstermektedir. Yine evli katılımcıların bekarlara kıyasla mutluluk düzeyleri daha yüksektir. Akın ve Şentürk (2012) sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Dünya literatürüne paralel şekilde, Türkiye'de de medeni durum ile mutluluk arasında anlamlı bir ilişki bulunduğu saptanmış; medeni durumu evli olan bireylerin mutluluğa daha yakın oldukları görülmüştür (Bülbül ve Giray, 2011).

Yaş kriterine göre ise 31-35 yaş grubunun mutluluk ve psikolojik güçlendirme puanları daha yüksek bulunmuştur. Kişilerin kendilerini verimli hissettiği ve farkındalıklarının arttığı bir yaş aralığı olmasından kaynaklı olabilir.

A sınıfı İGU olarak kurumunda çalışan katılımcıların etki puan ortalaması, C sınıfı İGU olarak çalışan katılımcılarınkinden daha yüksek bulunmuştur. A sınıfı İGU'ları kıdemlerinden ve sertifika düzeylerinin yüksek olmasından dolayı çalışma ortamında kendilerini daha etkin ve söz sahibi hissettikleri düşünülebilir. A sınıfı İGU'ların işyerinde alınması gerekenler önlemler konusunda işveren karşısında daha etkili olması bu bulgunun nedeni olabilir.

Mesleki kıdem süresine göre 5-10 yıl mesleki kıdeme sahip katılımcıların mutluluk puan ortalaması, 1-3 yıl mesleki kıdeme sahip katılımcılarınkinden daha yüksektir. Ayrıca, 5-10 yıl mesleki kıdeme sahip katılımcıların psikolojik güçlendirme puan ortalamaları genel olarak daha yüksek bulunmuştur. Mutluluk ve PGÖ arasında puanları arasında düşük düzeyde pozitif yönlü anlamlı ilişkiler gözlenmiştir. Bu sonuçlar bize, üstlendiği işi önemseyen, en iyi şekilde yapabileceği yönünde kendi yeteneklerine inanan, inisiyatif sahibi bireylerin mutluluk düzeylerinin de yüksek olduğunu göstermektedir (Çalışkan ve Hazır, 2012).

Psikolojik güçlendirme puanları arttıkça mutluluk puanlarının da arttığı gözlenmiştir. Anlamlılık, yeterlilik, özerklik ve etki değişkenleri mutluluktaki değişimin %8'ini açıklamaktadır. Anlamlılık değişkeninin mutluluğun anlamlı yordayıcısı olduğu anlaşılmaktadır. Anlamlılık, mutluluğu pozitif yönde yordamaktadır.

Psikolojik güçlendirmenin anlamlılık, yetkinlik, otonomi ve etki boyutlarının çalışan mutluluğu üzerinde anlamlı ve pozitif etkileri tespit edilmiştir. Aksoy ve Çiçek (2021) ile Vazife ve Saadatyar (2018) çalışmalarıyla uyumlu sonuçlar göstermektedir.

Oladipo (2009), toplumların ekonomik ve/veya toplumsal güce sahip olmasının, psikolojik güçlendirme olmadan mümkün olamayacağına dikkat çekmektedir. İnsanlar psikolojik olarak güçlendirildiğinde, tutumlarında, algılamalarında, davranışlarında ve değer yöneliminde olumlu bir değişikliğin aynı zamanda da bireyin kendine duyduğu saygı, bireysel farkındalık ve barışçıl bir toplumda yaşamının önemini vurgulamaktadır.

Kanıtlar aynı zamanda olumlu duygular (örneğin mutluluk), pozitif bireylerin özellikleri (örneğin pozitiflik) ve sosyal çevresel faktörler (örneğin sosyal destek) gibi kaynaklara, kapasiteye ve psikolojik güce sahip insanların pozitif ruh sağlığının korunmasına yardımcı olabileceğini öne sürmektedir (Yıldırım ve Arslan, 2022).

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Akın HB., Şentürk E. Bireylerin mutluluk düzeylerinin ordinal lojistik regresyon analizi ile incelenmesi. *Öneri Dergisi* 2012; 10(37): 183-193.
- Arslan F. Yiyecek-içecek çalışanlarında dönüşümcü liderlik ve yenilikçi iş davranışı ilişkisinde psikolojik güçlendirmenin aracı etkisi. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Zonguldak, Türkiye, 2019.
- Aytaç S., Engin T., İmanlı E. İş güvenliği uzmanlarının işe ilişkin duygusal iyi oluş hali, mutluluk ve yaşam tatmini ilişkisi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi* 2020; 15 (60): 746-758
- Bandura A. Self-efficacy. The exercise of control: W. H. Freeman; 1997.
- Bülbül Ş., Gray S. Sosyodemografik özellikler ile mutluluk algısı arasındaki ilişki yapısının analizi. *Ege Academic Review* 2011; 11.
- Cattell RB. The scientific use of factor analysis. New York: Plenum; 1978.
- Çalışkan A., Hazır K. Psikolojik güçlendirmenin iş tatminine etkisinde örgütsel bağlılığın aracılık rolü. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2012; 9 (2): 48-76
- Çokluk O., Şekercioğlu G., Büyüköztürk Ş. Sosyal bilimler için çok değişkenli istatistik SPSS ve LISREL uygulamaları. Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık; 2012.
- Deci EL., Ryan RM. Self-determination theory. *Handbook of Theories of Social Psychology* 2012; 1(20): 416-436.
- Demir R., Murat M. Öğretmen adaylarının mutluluk, iyimserlik, yaşam anlamı ve yaşam doyumlarının incelenmesi. *OPUS International Journal of Society Researches* 2017; 7(13): 347-378.
- Diener E. Subjective well-being. *Psychological Bulletin* 1984; 95(3): 542-575.
- Doğan T., Sapmaz F. Oxford mutluluk ölçeği Türkçe formunun psikometrik özelliklerinin üniversite öğrencilerinde incelenmesi. *Düşünen Adam Psikiyatri ve Nörolojik Bilimler Dergisi* 2012; 25(4): 297-304.
- Emet C. Personelin güçlendirilme algıları ile örgütsel kültür arasındaki ilişkinin bankacılık sektöründe ampirik olarak incelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, Türkiye, 2006.*
- Gorsuch RL. Factor analysis. Hillsdale,NJ: Erlbaum; 1983.
- Hair JF., Black WC., Babin BJ., Anderson RE., Tatham RL. Multivariate data analysis. Pearson Education Limited; 2013.
- Hechanova MR., Alampay ABR., Franco EP. Psychological empowerment, job satisfaction and performance among filipino service workers. *Asian Journal of Social Psychology* 2006; 9(1): 72-78.
- Hills P., Argyle M. The Oxford happiness questionnaire: a compact scale for the measurement of psychological well-being. *Pers Individ Diff*; 2002; 33: 1073-1082.
- Kanter RM. Men and women of the corporation: New edition. Basic books; 2008.

- Kaya ÖS., Demir E. Kendini toparlama gücü ve stresle başa çıkma stratejilerinin mutluluk düzeyini yordama gücü. *Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 2017; 33: 18-33.
- Kayan Y., Doğruyol M., Gültekin MŞ., Celal M., Gültekin EA., Kuncan O. İş güvenliği uzmanlarının yaşadıkları sorunlar üzerine bir araştırma. *Bilim ve Gençlik Dergisi* 2017; 5(2): 44-50.
- Kılıç AŞ., Çiçek H. Psikolojik güçlendirmenin bağlamsal performans üzerine etkisinde çalışan mutluluğunun aracılık rolü. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2021; 59, 391-420.
- Kim M., Beehr TA., Prewett MS. Employee responses to empowering leadership: A meta-analysis. *Journal of Leadership & Organizational Studies* 2018; 25(3).
- Kline P. *Psychometrics and psychology*. London: Acaderric Press; 1979.
- Lyubomirsky S., King L., Diener E. the benefits of frequent positive affect: does happiness lead to success? *Psychological Bulletin* 2005; 131(6): 803–855.
- Maynard MT., Gilson LL., Mathieu JE. Empowerment-fad or fab? A multilevel review of the past two decades of research. *Journal of Management* 2012; 38(4): 1231-1281.
- Norusis, MJ. *SPSS advanced statistics 6.1*. Chicago, IL: SPSS Inc. 1994.
- Oladipo SE. Psychological empowerment and development. *Edo Journal of Counselling* 2009; 2(1): 119-126.
- Olcay ZF., Sakallı AE., Temur S. İş güvenliği uzmanlarında işe bağlılığın ve iş stresinin iş performansına etkisi: yapısal eşitlik modelleme çalışması. *Sosyal Güvenlik Dergisi* 2021; 11 (1): 141-156.
- Osborne J., Waters E. Four assumptions of multiple regression that researchers should always test. *Practical Assessment, Research & Evaluation* 2002; 8(2): 1-9.
- Sapmaz F., Doğan T. Mutluluk ve yaşam doyumunun yordayıcısı olarak iyimserlik. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2012; 8(3): 63-69.
- Schermuly CC. *New work—gute arbeit gestalten: Psychologisches empowerment von mitarbeitern* [New work—designing good work: Psychological empowerment of employees]. Haufe; 2019.
- Seibert SE., Wang G., Courtright GH. Antecedents and consequences of psychological and team empowerment in organizations: A meta-analytic review. *Journal of Applied Psychology* 2011; 96, 981-1003
- Spreitzer GM. Psychological empowerment in the workplace: dimensions, measurement, and validation. *Academy of Management Journal* 1995; 38, 1442-1465
- Spreitzer GM., De Janasz SC., Quinn RE. Empowered to lead: the role of psychological empowerment in leadership. *Journal of Organizational Behavior* 1999; 511-526.
- Spreitzer GM. Taking stock: A review of more than twenty years of research on empowerment at work. In Barling J., Cooper C. L. (Eds.), *Handbook of organizational behavior*. Sage; 2008.
- Sürgevil O., Tolay E., Topoyan M. Yapısal güçlendirme ve psikolojik güçlendirme ölçeklerinin geçerlilik ve güvenilirlik analizleri. *Journal of Yasar University* 2013; 8(31): 5371-5391.

- Şen Y. Dönüşümcü liderliğin psikolojik güçlendirme ve örgütsel bağlılık üzerindeki etkilerini belirlemeye yönelik bir araştırma. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- Tabachnick, BG., Fidell LS. Using multivariate statistics. Boston: Allyn and Bacon; 2007.
- Thomas KW., Velthouse BA. Cognitive elements of empowerment: an interpretive model of intrinsic task motivation, *Academy of Management Review* 1990; 15(4): 666-681.
- Tolay E., Sürgevil O., Topoyan M. Akademik çalışma ortamında yapısal ve psikolojik güçlendirmenin duygusal bağlılık ve iş doyumunu üzerindeki etkileri. *Ege Akademik Bakış* 2012; 12(4): 449-465.
- Ulukan M. Öğretmenlerin mutluluk ile psikolojik sağlamlık düzeyleri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Journal Of International Social Research* 2020; 13(73).
- Ulun C. Spor bilimleri alanında çalışan akademisyenlerde psikolojik güçlendirme, örgütsel özdeşleşme ve yenilikçi iş davranışı ilişkisi. Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara, Türkiye, 2023.
- Vazife Z, Saadatyar FS. Comparison of psychological empowerment effectiveness on happiness in the based on organizational and demographic characteristics. *J Police Med* 2018; 7(1).
- Yıldırım M., Belen H. The role of resilience in the relationships between externality of happiness and subjective well-being and flourishing: A structural equation model approach. *Journal of Positive Psychology and Wellbeing* 2019; 3(1): 62-76.
- Yıldırım M., Arslan G. Exploring the associations between resilience, dispositional hope, preventive behaviours, subjective well-being, and psychological health among adults during early stage of COVID-19. *Curr Psychol* 2022; 41(8): 5712-5722.



Teknoloji Kullanımı ile Öğrenci Başarısı Arasındaki İlişkinin Bazı Kümeleme Algoritmaları Kullanılarak İncelenmesi

Şeymanur GÖKÇE¹, Yavuz ÜNAL², Hatice VURAL^{3*}, Metin ORBAY⁴

¹Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi ABD, 05100, Amasya

²Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya

³Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya

⁴Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Polatlı Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 06900, Ankara

¹ <https://orcid.org/0000-0001-7480-8684>

² <https://orcid.org/0000-0002-3007-679X>

³ <https://orcid.org/0000-0001-7940-2173>

⁴ <https://orcid.org/0000-0001-5405-2883>

*Sorumlu yazar: hatice.vural@amasya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.08.2023

Kabul tarihi:06.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Başarı tahmini
Makine öğrenmesi
Teknoloji
RapidMiner
Kümeleme algoritmaları

ÖZ

Yapay zekanın bir alt basamağı olan makine öğrenmesi son yıllarda eğitim alanında büyük önem kazanmıştır. Öğrenci-öğretmen etkileşimi, akademik başarı ölçme ve öğrencilerin dersteki dikkat durumlarının değerlendirilmesi gibi çalışmalar makine öğrenmesi uygulamaları kullanılarak yapılabilmektedir. Bu çalışmada, Samsun ili Atakum ilçesinde yer alan Hürriyet Yıldız Okulları ve Boğaziçi Okulları'nda öğrenim görmekte olan 5. ve 6. sınıf öğrencilerine "Bilişim Teknolojilerinden Yararlanma Ölçeği" uygulanmıştır. RapidMiner programında yer alan x-means, k-means ve k-medoid kümeleme algoritmaları kullanılarak, öğrencilerin ölçekte vermiş oldukları cevaplarla akademik başarıları arasındaki ilişki tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak yüksek akademik başarı gösteren öğrenci grubu ile düşük akademik başarı gösteren grubunun bilgisayar teknolojilerini kullanım amaçlarında farklılıkların olduğu görülmektedir.

Investigation of The Relationship Between Technology Use and Student Success Using Some Clustering Algorithms

Research Article

Article History:

Received: 25.08.2023

Accepted: 06.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Success prediction
Machine learning
Technology
RapidMiner
Clustering algorithms

ABSTRACT

Machine learning, which is a sub-step of artificial intelligence, has gained great importance in the field of education in recent years. Studies such as student-teacher interaction, measuring academic achievement and evaluating the attention of the student in the lesson can be done by using machine learning applications. In this study, the "Information Technologies Utilization Scale" was applied to the 5th and 6th grade students studying at Hürriyet Yıldız Schools and Boğaziçi Schools in the Atakum district of Samsun. By using x-means, k-means and k-medoid clustering algorithms in the RapidMiner program, the relationship between the answers given by the students in the scale and their academic success was estimated. As a result, it is seen that there are differences in the purposes of using computer technologies between the group of students with high academic achievement and the group with low academic achievement.

To Cite: Gökçe Ş., Ünal Y., Vural H., Orbay M. Teknoloji Kullanımı ile Öğrenci Başarısı Arasındaki İlişkinin Bazı Kümeleme Algoritmaları Kullanılarak İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1487-1512.

1. Giriş

Hesap makinesinin icadından günümüze kadar teknolojiadaki gelişmeler ve ilerlemeler oldukça dikkat çekicidir. Bu gelişim, bilgisayarlarla işlem yapmaktan daha ileriye gidip, bilgisayarlara bir şey öğretme, düşünme ve yorum yapma kabiliyeti kazandırmaya başlamıştır. Günümüzde artık hemen hemen her evde akıllı cihazlar kullanıldığı görülmektedir. Akıllı cihazlar başlı başına ileri bir teknoloji iken bu cihazlarda kullandığımız uygulamalarda çok daha ileri teknolojiler yer almaktadır. Örneğin her gün yanımızda bulunan bir akıllı asistan ile güne başlayabiliyoruz. Pek çok alanda kullanılan makine öğrenmesi kavramını eğitim ile birlikte ele aldığımızda ülkemizde ve dünyada pek çok yeniliğe yol açtığını görürüz.

Makine öğrenmesi uygulamalarının eğitimin pek çok alanında kullanımının artacağı ve ilerleyebileceği öngörülmektedir. Çünkü ilerleyen teknoloji karşısında klasik eğitim yöntemleri geri kalabilecek ve daha başarılı bir süreç için yeniliklerin uygulanması kaçınılmaz olacaktır. Makine öğrenmesi yöntemleri, öğrencinin öğrenme yöntemini, öğrendiği bilgileri nereden ve nasıl kazandığını, bunu günlük hayatında nasıl kullandığını tespit veya tahmin edebilmektedir. Dünya’da pek çok örneği olan makine öğrenmesi destekli eğitim ve öğretim programlarında temel hedefler, belirli riskleri önlemek ve iyi olanı daha iyiye seviyeye çıkarabilmektir (Baker ve Yacef, 2009; Delen, 2010; Horáková ve ark., 2017; Akçapınar ve Coşgun, 2019; Demirkol ve ark., 2019; Ghorbani ve Ghousi, 2020; Şimsek, 2022; Yağcı, 2022).

Baradwaj ve Pal (2011) tarafından karar ağacı algoritmasını kullanarak yapılan çalışmada, üniversite öğrencileri için performans araştırması yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda öğrencilerin dönem sonu sınavlarındaki performanslarını açıklayan bilgiler çıkartılmıştır. Ayrıca okul terki ve özel ilgiye ihtiyaç duyan öğrencilerin erken tespiti sağlanmıştır.

Sınıflandırma tekniklerini kullanarak öğrenci performansını tahmin etmeye yönelik bir öğrenme modeli, Rao ve ark. (2016) tarafından tartışılmıştır. Çalışmada J48, Naive Bayes sınıflandırıcı ve Rastgele Orman algoritması kullanılarak karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır. Sonuç olarak rastgele orman algoritmasının veri setinin boyutu arttıkça daha iyi doğruluk gösterdiği belirtilmiştir.

Abad ve Lopez (2017), Baja California (Meksika) eyaletindeki 99 eğitim kurumundan 18.935 lise öğrencisi üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada kullanılan bilgileri ENLACE testlerinden ve öğrencilere verilen bağlam anketlerinden elde etmişlerdir. Çalışmada karar ağacı ve sınıflandırma teknikleri uygulanmıştır. Sonuçlar, kişisel faktörlerin akademik performans üzerinde oldukça etkili olduğunu, bunu sosyal ilişkilerin ve sosyal faktörlerin izlediğini göstermektedir.

Gök (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, ortaöğretim 6, 7 ve 8. sınıf öğrencilerine 24 soruluk bir anket uygulanmıştır. Toplamda 1492 ortaokul öğrencisinden alınan bilgilerle eğitilen makine 6, 7 ve 8. sınıf öğrencilerinin dönem sonunda Türkçe ve Matematik derslerindeki başarılarını tahmin etmiştir. Uygulamaya göre Türkçe ders puanı 52,72 olarak tahmin edilen öğrenci dönem sonunda 58,45 almıştır. Matematik ders puanı 50,07 tahmin edilen öğrenci ise 58,71 almıştır. Sonuç olarak regresyon ve sınıflandırma yöntemleri ile yapılan çalışma başarılı olmuştur.

Alturki ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışma ile akademik başarıyı belirleme ölçütleri açıklanmış ve günümüzde kullanılan en yaygın veri madenciliği (DM) araçlarının ve yöntemlerinin güçlü ve zayıf yönleri belirtilmiştir. Ayrıca 2007 yılından 2018'e kadar yayınlanan ve yüksek öğretimdeki akademik performansın tahminine odaklanan Eğitimde Veri Madenciliği (EDM) çalışmasına ilişkin zengin bir literatür taraması yapmışlardır.

Zheng ve ark. (2022) üniversite öğrencilerinin kendi sorunlarını keşfedebilmeleri ve kişilerarası güçlü ve iyi ilişkiler kurabilmeleri için kişilerarası ilişkiler üzerine kısa bir anket ve araştırma çalışması yapmışlardır. Çalışmada kişilerarası ilişkilerde etkili olan faktörlerin sınıflandırılması ihtiyacına yönelik kümeleme analizi algoritması kullanılmıştır.

Orsoni ve ark. (2023) tarafından yapılan “Öğrencilerin bilişsel profilini kümelemek için makine öğrenimi yaklaşımlarına dair ön kanıt” başlıklı çalışmada, öğrencileri genel zeka, dikkat, görsel algı, çalışma belleği ve fonolojik farkındalık gibi bilişsel yeteneklerine göre gruplandırmak için iki kümeleme tekniği kullanılmıştır. Araştırmaya 11-15 yaş arası 292 öğrenci katılmıştır. SOM ve k-means kümeleme algoritmasının ortak kullanımına dayanan iki seviyeli bir yaklaşım, yalnızca k-means kümeleme algoritmasına dayalı bir yaklaşımla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, SOM ve k-means kombinasyonunun kümeleme için güvenilir bir çözüm olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada RapidMiner (Mierswa ve Klinkenberg, 2018) programında yer alan x-means, k-means ve k-medoid kümeleme algoritmaları kullanılarak öğrencilerin bilişim teknolojilerini kullanım düzeyleri ile akademik başarıları arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 5. ve 6. sınıf öğrencilerine “Bilişim Teknolojileri Kullanım Ölçeği” uygulanmıştır. Öğrencilerin ölçeğe verdikleri cevaplar ile akademik başarıları arasındaki ilişki değerlendirilmiştir (<https://rapidminer.com/>).

2. Materyal ve Metot

2.1 Veri Seti

Araştırma grubu, Samsun ili Atakum ilçesinde yer alan Hürriyet Yıldız Okulları ve Boğaziçi Okulları'nda öğrenim gören 5. sınıf ve 6. sınıf öğrencilerinden oluşmaktadır. Öğrenciler 11-12 yaş grubundadır. Tablo 1'de görüleceği gibi ankete katılan öğrenci sayısı toplam 102'dir. Bu çalışma örnekleminin seçilme nedeni MEB müfredatına göre Bilişim Teknolojileri ve Yazılım dersinin 5. ve 6. sınıflarda uygulanıyor olmasıdır.

Tablo 1. Katılımcıların okullarına göre dağılımı

	Hürriyet Yıldız Okulları		Boğaziçi Okulları	
	5.Sınıf	6. sınıf	5.Sınıf	6. sınıf
Kız	5	6	19	22
Erkek	4	4	17	25
Toplam	9	10	36	47

Ölçek uygulanırken öğrencilerin hazır bulunuşlukları ve ölçeğin geçerliliği göz önüne alınarak, yazılı sınavların bitiminden sonra uygulanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan parametreler Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma grubu dağılımı

Cinsiyet	Değişkenler	Frekans	Yüzde (%)
	Kız	52	50,98
Erkek	50	49,02	

2.2. Materyal

Araştırmada Doç. Dr. Mustafa Özmuşul’un 2011 yılında geliştirdiği “Bilişim Teknolojilerinden Yararlanma Ölçeği” kullanılmıştır (Özmuşul, 2011). Ölçek, ilköğretim ikinci kademe öğrencilerinin bilişim teknolojilerinden yararlanma düzeylerini ölçmek için geçerli ve güvenilir bir ölçek olması gerekçesiyle tercih edilmiştir. Geliştirilen ölçekte araştırmacı soruları, bilgi edinme, oyun-eglenme, araştırma-inceleme, iletişim ve kendini ifade etme üzere 5 konu üzerinden ele almıştır. Ölçek *hiçbir zaman* kavramını 1 puan, *her zaman* kavramını ise 4 puan olacak şekilde 4’lü likert modelinde değerlendirme ölçeği olarak hazırlanmıştır. Buna göre alınacak en yüksek puan 72, en düşük puan ise 18 olacaktır. Örneklemi temsil edecek doğru soruların çalışmada yer alması amacıyla Özmuşul’un yaptığı temel bileşenler faktör analizi sonucu, ilk taslakta yer alan 21 madde ölçekten çıkartılarak bu çalışmada kullanılan bilişim teknolojilerinden yararlanma düzeyi ile ilişkili 18 sorunun temsil edeceği kanaatine varılmıştır. Bu geliştirilen ölçeğin Cronbach α güvenilirlik sayısı 0,857 olarak hesaplanmıştır (Özmuşul, 2011). Bu da ölçümlerin güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Ölçek Samsun ili Atakum ilçesinde bulunan Hürriyet Yıldız Okulları ve Boğaziçi Okulları’nda okuyan beşinci ve altıncı sınıf öğrencilerine bir ders saati süresince uygulanmıştır. Bu ölçeğin tercih edilme sebebi ise yaş grubunun bilişsel yeteneklerine uygun olmasıdır. Ayrıca ölçek uygulanırken öğrencilerden eğer seçeneklerdeki cihazlar birebir evlerinde mevcut değilse günümüzdeki güncel haline göre işaretlemeleri istenmiştir. Ölçekte, kişisel bilgiler ve bilişim teknolojilerinden yararlanma düzeyi olmak üzere iki bölüm vardır. İki bölümün toplam soru sayısı ise 34’tür. Ölçek **EK**’de verilmiştir.

2.3. Veri Temizleme

Ölçekte yer alan ilk 16 soru kişisel bilgileri kapsadığı için algoritmalar ile işlem yapılırken bu ilk 16 soru bilişim teknolojilerini ne yönde kullanıldığına dair veri içermemektedir. Bu sorular veri setinden çıkartılmıştır. Ölçekte ikinci bölümde yer alan sorular ile analiz gerçekleştirilmiştir.

Programaya yüklenen bilişim teknolojilerinden yararlanma ölçeğinde ikinci bölümde yer alan 1. ve 18. soruyu kapsayan Excel dosyasında öncelikle verilerin sayısal dönüşümleri yapılmıştır. Soruların cevapları olabilecek, hiçbir zaman, bazen, genellikle, her zaman şıkları sırasıyla 1, 2, 3, 4 şekline dönüştürülmüştür. Dönem içerisinde yapılmış olan iki yazılı sınavın ortalaması baz alınarak, 50-69 puan

aralığı temel seviye, 70-85 puan aralığı orta seviye, 85-100 puan aralığı ise ileri seviye akademik başarı olarak değerlendirilmiştir. Öğrencilere, 1. yazılı sonrasında biraz daha teknoloji ile iç içe olarak sosyal hayat ve eğitim hayatı geçirmeleri tavsiye edilmiştir. Bunun neticesinde bilişim teknolojileri kullanım yönlerinin eğitim hayatlarına etkileri analiz edilmek istenmiştir.

2.4. Kümeleme

Bu çalışmada x-means, k-means ve k-medoid kümeleme algoritmaları kullanılmıştır.

RapidMiner programına yüklediğimiz öğrencilerin yazılı sonuçlarının ve bilişim teknolojilerinden yararlanma ölçeğine verilen cevapların yer aldığı veri tabanımız, öncelikle özellik seçme işlemine tabi tutulmuştur. Burada baz alınan içerik, öğrencinin bilişim teknolojilerini eğitim amaçlı mı yoksa eğlence amaçlı mı daha sık kullandığı sorularına cevap olabilecek soru 1 ve soru 17'dir. Bununla birlikte bilişim teknolojileri yazılı sonuçlarında hangi kümeye ait olduğu tespit edilip öğrencinin bilişim teknolojileri kullanım yönüyle yazılı puanı arasındaki ilişki anlamlandırılmaya çalışılmıştır. Sonrasında algoritmaların normalleştirme değerleri ayarlanmıştır (Normalleştirme, belirli bir aralığa sığacak şekilde ölçeklendirmek için kullanılır). Bunun sonucunda x-means için 3 alt küme oluşmuştur. Küme eleman sayıları x-means algoritmasında Küme 0 için 27, Küme 1 için 54 ve Küme 2 için ise 21'dir. K-means algoritmasında 3 alt küme seçilmiştir. Kümelerin dağılımı Küme 0 için 19, Küme 1 için 68 ve Küme 2 için 15'tir. K-medoid algoritmasında ise 7 alt küme seçilmiştir. Küme eleman sayıları Küme 0 için 11, Küme 1 için 4, Küme- 2 için 10, Küme- 3 için 24, Küme 4 için 10, Küme 5 için 17 ve Küme 6 için 26'dır.

2.4.1 X-means algoritması

X-means kümeleme algoritmasında, verilerin hangi kümelere ait olduğu, her küme içerisinde kaç eleman bulunduğu, kümelerin performansını gösteren ve kümelerin dağılımının grafiksel gösterimi yer alır (Tablo 3 ve Tablo 4). Tüm bu ayarlamalar kullanılan diğer kümeleme algoritmaları için de geçerlidir.

Tablo 3. X-means kümeler ve verilerin dağılımı

Küme 0: 27 öğrenci
Küme 1: 54 öğrenci
Küme 2: 21 öğrenci
Toplam öğrenci: 102

Tablo 4. X-means kümelerin çekirdek veriye uzaklıklarına göre performans değerleri

Performans Vektörü
Ortalama ağırlık merkezi mesafesi içinde: 0,737
Ortalama ağırlık merkezi mesafesi içinde Küme 0: 0,832
Ortalama ağırlık merkezi mesafesi içinde Küme 1: 0,614
Ortalama ağırlık merkezi mesafesi içinde Küme 2: 0,934
Davies Bouldin: 0,12

Tablo 5'te gösterilen Küme 0 analizinde ilk olarak ele alınan, 1.yazılı sonuçlarına göre 50-69 puan aralığında olan 6 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullanmasıdır. 70-85 puan aralığındaki 12 öğrenci incelendiğinde bilgi edinmek için *genellikle* diyen 6 öğrencinin, *her zaman* diyen 5 öğrencinin, *bazen* diyen ise 1 öğrenci olduğunu görülmüştür. 85-100 puan aralığındaki öğrencilere bakıldığında, bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden yararlanmak sorusuna 9 öğrenciden 5 tanesi *her zaman*, 4 tanesi *genellikle* cevabını vermiştir.

2. Yazılı sonuçlarında 50-69 puan arasında olan 8 öğrenci incelendiğinde bilişim teknolojilerinden bilgi edinmek için 5 tanesi *her zaman*, 3 tanesi *genellikle* cevabını vermiştir. 70-85 arasındaki 7 öğrenci incelendiğinde, bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini 4 tanesi *her zaman*, 2 tanesi *genellikle*, 1 tanesi ise *bazen* tercih etmişlerdir. 85-100 puan aralığındaki 12 öğrenciden 7 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *genellikle*, 4 tanesi *her zaman*, 1 tanesi ise *bazen* cevabını vermiştir.

Tablo 5. X-means algoritması Küme 0

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
32	Bazen	Her zaman	52	100
39	Genellikle	Genellikle	53	87
28	Genellikle	Genellikle	62	75
27	Her zaman	Her zaman	64	81
3	Her zaman	Genellikle	68	66
17	Her zaman	Bazen	69	80
50	Her zaman	Genellikle	70	67
21	Genellikle	Genellikle	71	67
97	Genellikle	Genellikle	73	90
42	Her zaman	Bazen	75	64
1	Her zaman	Genellikle	75	68
8	Genellikle	Her zaman	76	67
16	Genellikle	Genellikle	78	68
5	Her zaman	Bazen	78	83
95	Bazen	Her zaman	81	78
26	Her zaman	Genellikle	81	85
23	Genellikle	Genellikle	83	84
29	Genellikle	Genellikle	86	92
35	Her zaman	Bazen	88	60
30	Genellikle	Her zaman	88	90
4	Her zaman	Her zaman	93	90
98	Genellikle	Her zaman	94	97
75	Genellikle	Her zaman	96	87
2	Her zaman	Hiçbir zaman	96	100
7	Genellikle	Bazen	100	90
80	Her zaman	Her zaman	100	92
72	Her zaman	Her zaman	100	100

Küme 0 değerlendirildiğinde, bu kümeye ait olan 27 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle* faydalananların sayısı toplam 25, bazen veya hiçbir zaman faydalanan sayısı ise 2 olduğu görülür. Eğlenmek amaçlı bilişim teknolojileri kullanımında ise *her*

zaman veya *genellikle* faydalanan öğrenci sayısı toplam 21, *bazen* veya *hiçbir zaman* faydalanan sayısı ise 6'dır.

Tablo 6. X-means algoritması Küme 1

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
47	Her zaman	Genellikle	52	85
54	Bazen	Bazen	54	93
9	Her zaman	Her zaman	55	80
94	Genellikle	Hiçbir zaman	56	98
67	Bazen	Bazen	58	84
81	Her zaman	Her zaman	58	81
64	Genellikle	Genellikle	60	96
102	Genellikle	Genellikle	60	97
19	Genellikle	Her zaman	61	74
44	Her zaman	Bazen	61	95
49	Genellikle	Genellikle	61	65
65	Bazen	Her zaman	61	65
82	Genellikle	Genellikle	61	75
99	Bazen	Her zaman	61	72
10	Her zaman	Genellikle	65	90
34	Genellikle	Genellikle	65	73
88	Genellikle	Bazen	65	73
37	Her zaman	Bazen	66	93
14	Genellikle	Her zaman	67	96
31	Bazen	Bazen	69	60
25	Genellikle	Genellikle	70	100
83	Genellikle	Bazen	70	85
52	Her zaman	Her zaman	71	64
63	Bazen	Genellikle	71	70
57	Bazen	Her zaman	72	80
15	Her zaman	Her zaman	73	94
55	Genellikle	Her zaman	76	66
89	Bazen	Her zaman	76	70
45	Genellikle	Bazen	77	90
73	Bazen	Bazen	77	82
33	Bazen	Her zaman	78	100
18	Genellikle	Bazen	79	77
6	Bazen	Her zaman	80	83
20	Genellikle	Her zaman	81	86
59	Genellikle	Bazen	84	98
43	Genellikle	Bazen	85	69
11	Bazen	Bazen	89	69
71	Her zaman	Bazen	89	92
96	Genellikle	Bazen	89	69
46	Her zaman	Genellikle	90	68

86	Bazen	Genellikle	91	70
101	Genellikle	Genellikle	91	74
66	Genellikle	Genellikle	93	96
78	Genellikle	Genellikle	94	80
12	Bazen	Genellikle	95	61
100	Bazen	Her zaman	95	62
36	Her zaman	Bazen	96	74
62	Her zaman	Her zaman	97	75
85	Her zaman	Her zaman	97	85
38	Bazen	Genellikle	98	90
87	Bazen	Bazen	98	76
40	Her zaman	Bazen	100	63
68	Genellikle	Genellikle	100	64
76	Bazen	Her zaman	100	92

Tablo 6’da gösterilen Küme 1 analizinde, 1. yazılıya göre sınav puanı 50-69 arasında olan 20 öğrencinin bilişim teknolojilerinden bilgi edinmek için yararlanma cevaplarına bakıldığında, 9 tanesinin *genellikle*, 6 tanesinin *her zaman*, 5 tanesinin *bazen* cevabını verdiği görülür. 70-85 aralığındaki 16 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden yararlanma cevapları incelendiğinde, 8 tanesinin *genellikle*, 2 tanesinin *her zaman*, 6 tanesi ise *bazen* cevabını vermiştir. 85-100 puan aralığındaki 18 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında ise 7 tanesi *bazen*, 6 tanesi *her zaman*, 5 tanesi *genellikle* cevabını vermiştir.

2. yazılı sonucuna göre bilişim teknolojilerinden bilgi edinmek için yararlanan ve 50-69 puan aralığında olan 13 öğrenciden 3 tanesi *her zaman*, 5 tanesi *genellikle*, 5 tanesi *bazen* cevabını vermiştir. 70-85 puan aralığındaki 23 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden yararlanma cevapları incelendiğinde 6 öğrenci *her zaman*, 8 öğrenci *genellikle*, 9 öğrenci *bazen* cevabını vermiştir. 85-100 aralığındaki 18 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden yararlananların 5 tanesi *her zaman*, 9 tanesi *genellikle*, 4 tanesi *bazen* cevabını vermiştir.

Küme 1 değerlendirildiğinde, bu kümeye ait 54 öğrenciden bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için *her zaman* veya *genellikle* faydalanan sayısı toplam 36, *bazen* veya *hiçbir zaman* faydalananların sayısı ise 18, eğlenmek için bilişim teknolojilerinden *her zaman* veya *genellikle* faydalanan sayısı toplam 35, *bazen* veya *hiçbir zaman* faydalananların sayısı ise toplam 19’dur.

Tablo 7’de gösterilen Küme 2 analizinde, 1. yazılı sonuçlarına göre 50-69 puan aralığında yer alan 8 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullanım cevapları, 5 tanesi *bazen*, 2 tanesi *genellikle*, 1 tanesi *her zaman* şeklindedir. 70-85 aralığındaki 4 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden yararlanma durumları ise 2 tanesinin *bazen*, 1 tanesinin *genellikle*, 1 tanesinin *hiçbir zaman* olduğunu görülmüştür. 85-100 puan aralığındaki 9 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında 3 tanesinin *bazen*, 3 tanesinin *genellikle*, 2 tanesinin *hiçbir zaman* ve 1 tanesinin *her zaman* olduğu görülmektedir.

2. yazılı sonuçlarına göre 50-69 puan aralığında yer alan 4 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanım cevabını baktığımızda, 4 öğrencinin hepsinin *bazen* cevabını verdiğini görüyoruz. 70-85 puan aralığındaki 9 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanım dağılımı eşit sayıda olup 3 tane *genellikle*, 3 tane *hiçbir zaman* ve 3 tane *bazendir*. 85-100 aralığındaki 8 öğrenci için de bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanım dağılımı, 3 tanesi *bazen*, 3 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *her zaman* ve 1 tanesinin *bazendir*.

Tablo 7. X-means algoritması Küme 2

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
74	Bazen	Her zaman	52	66
93	Bazen	Her zaman	51	68
91	Bazen	Bazen	51	69
41	Bazen	Genellikle	93	69
69	Bazen	Bazen	69	70
92	Hiçbir zaman	Her zaman	98	72
79	Genellikle	Her zaman	91	73
22	Bazen	Her zaman	90	76
56	Bazen	Genellikle	63	78
53	Genellikle	Her zaman	100	78
70	Hiçbir zaman	Genellikle	75	80
90	Genellikle	Bazen	80	80
77	Hiçbir zaman	Hiçbir zaman	100	80
60	Genellikle	Genellikle	67	82
51	Bazen	Genellikle	81	82
84	Bazen	Genellikle	100	86
48	Genellikle	Her zaman	55	92
61	Her zaman	Genellikle	63	92
13	Her zaman	Bazen	93	94
24	Bazen	Her zaman	74	95
58	Genellikle	Genellikle	100	96

Küme 2 değerlendirildiğinde, bu kümeye ait 21 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden faydalanırken *her zaman* veya *genellikle* cevabını verenlerin toplam sayısı 8, *hiçbir zaman* veya *bazen* diyenlerin toplam sayısı 13, eğlenmek için bilişim teknolojilerinden faydalanırken *her zaman* veya *genellikle* cevabını veren öğrencilerin toplamı 16, *bazen* veya *hiçbir zaman* faydalananların sayısı ise toplam 5'tir.

2.4.2 K-means algoritması

Gerekli ayarlama yapıldıktan sonra küme sayısı 3 olarak seçildi. Bunun nedeni öğrencileri temel (50-69 puan), ortalama (70-85 puan) ve ileri seviye (85-100 puan) olarak yazılı puanlara göre kategorize edilmek istenmesidir. Bu 3 kategori için bilişim teknolojilerinin kullanım yönü ele alınmıştır.

Tablo 8'de gösterilen Küme 0 analizinde ilk olarak ele alacağımız 1. yazılı sonucuna göre 50 -69 puan aralığında olan 4 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden 3 tanesi *genellikle*, 1 tanesi ise *her zaman* faydalanmaktadır. 70-84 puan aralığındaki 5 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim

teknolojileri kullanımı, 3 tanesinin *genellikle*, 2 tanesinin *her zamandır*. 85-100 puan aralığındaki 10 öğrenciye baktığımızda ise bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında 5 tanesi *her zaman*, 4 tanesi *genellikle* ve 1 tanesinin *bazen* cevabını verdiği görülmüştür.

Tablo 8. K-means algoritması Küme 0

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
1	Her zaman	Genellikle	75	68
2	Her zaman	Hiçbir zaman	96	100
4	Her zaman	Her zaman	93	90
5	Her zaman	Bazen	78	83
7	Genellikle	Bazen	100	90
8	Genellikle	Her zaman	76	67
13	Her zaman	Bazen	93	94
27	Her zaman	Her zaman	64	81
48	Genellikle	Her zaman	55	92
58	Genellikle	Genellikle	100	96
59	Genellikle	Bazen	84	98
60	Genellikle	Genellikle	67	82
66	Genellikle	Genellikle	93	96
72	Her zaman	Her zaman	100	100
79	Genellikle	Her zaman	91	73
80	Her zaman	Her zaman	100	92
84	Bazen	Genellikle	100	86
94	Genellikle	Hiçbir zaman	56	98
97	Genellikle	Genellikle	73	90

2. Yazılı sonucuna göre 50-69 aralığında yer alan 2 öğrencinin bilgi edinmek için 1 tanesinin *genellikle* ve 1 tanesinin ise *her zaman* bilişim teknolojilerini tercih ettiğini görülür. 70-84 aralığındaki 4 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknoloji kullanımının 4 tanesinin *her zaman*, 2 tanesinin *genellikle* olduğunu görürüz. 85-100 aralığındaki 13 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden yararlanma sorusuna cevapları ise 7 tanesinin *genellikle*, 5 tanesinin *her zaman* ,1 tanesinin ise *bazendir*. Küme 0 değerlendirildiğinde, bu kümeye ait olan 19 öğrenciden bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için *her zaman* veya *genellikle* kullanılan sayısı 18, *bazen* veya *hiçbir zaman* kullanılan sayısı ise 1'dir. Eğlenmek amaçlı bilişim teknoloji kullanımında ise *her zaman* veya *genellikle* tercih eden sayısı 13, *bazen* veya *hiçbir zaman* tercih eden sayısı ise 6'dır.

Tablo 9'da gösterilen Küme-1'de yer alan 68 öğrenciden 50 -69 puan aralığında bulunan 24 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanırken, 8'i *hiçbir zaman*, 6 tanesi *bazen* ve 10 tanesi *genellikle* şeklinde dağılım göstermektedir. 70-84 puan aralığındaki 21 öğrenci bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için kullanırken, 9 tanesi *genellikle*, 7 tanesi *bazen* ve 5 tanesi ise *her zaman* tercih etmektedir. 85-100 aralığındaki 23 öğrenciden 9 tanesi *genellikle*, 7 tanesi *bazen* ve 7 tanesi *her zaman* bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullanımına yönelmektedir.

Tablo 9. K-means algoritması Küme 1

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
3	Her zaman	Genellikle	68	66
6	Bazen	Her zaman	80	83
9	Her zaman	Her zaman	55	80
10	Her zaman	Genellikle	65	90
11	Bazen	Bazen	89	69
12	Bazen	Genellikle	95	61
14	Genellikle	Her zaman	67	96
15	Her zaman	Her zaman	73	94
16	Genellikle	Genellikle	78	68
17	Her zaman	Bazen	69	80
18	Genellikle	Bazen	79	77
19	Genellikle	Her zaman	61	74
20	Genellikle	Her zaman	81	86
21	Genellikle	Genellikle	71	67
23	Genellikle	Genellikle	83	84
25	Genellikle	Genellikle	70	100
26	Her zaman	Genellikle	81	85
28	Genellikle	Genellikle	62	75
29	Genellikle	Genellikle	86	92
30	Genellikle	Her zaman	88	90
31	Bazen	Bazen	69	60
32	Bazen	Her zaman	52	100
33	Bazen	Her zaman	78	100
34	Genellikle	Genellikle	65	73
35	Her zaman	Bazen	88	60
36	Her zaman	Bazen	96	74
37	Her zaman	Bazen	66	93
38	Bazen	Genellikle	98	90
39	Genellikle	Genellikle	53	87
40	Her zaman	Bazen	100	63
42	Her zaman	Bazen	75	64
43	Genellikle	Bazen	85	69
44	Her zaman	Bazen	61	95
45	Genellikle	Bazen	77	90
46	Her zaman	Genellikle	90	68
47	Her zaman	Genellikle	52	85
49	Genellikle	Genellikle	61	65
50	Her zaman	Genellikle	70	67
52	Her zaman	Her zaman	71	64
54	Bazen	Bazen	54	93
55	Genellikle	Her zaman	76	66

57	Bazen	Her zaman	72	80
62	Her zaman	Her zaman	97	75
63	Bazen	Genellikle	71	70
64	Genellikle	Genellikle	60	96
65	Bazen	Her zaman	61	65
67	Bazen	Bazen	58	84
68	Genellikle	Genellikle	100	64
71	Her zaman	Bazen	89	92
73	Bazen	Bazen	77	82
75	Genellikle	Her zaman	96	87
76	Bazen	Her zaman	100	92
78	Genellikle	Genellikle	94	80
81	Her zaman	Her zaman	58	81
82	Genellikle	Genellikle	61	75
83	Genellikle	Bazen	70	85
85	Her zaman	Her zaman	97	85
86	Bazen	Genellikle	91	70
87	Bazen	Bazen	98	76
88	Genellikle	Bazen	65	73
89	Bazen	Her zaman	76	70
95	Bazen	Her zaman	81	78
96	Genellikle	Bazen	89	69
98	Genellikle	Her zaman	94	97
99	Bazen	Her zaman	61	72
100	Bazen	Her zaman	95	62
101	Genellikle	Genellikle	91	74
102	Genellikle	Genellikle	60	97

2. Yazılı sonucuna göre Küme 1'deki öğrenciler ele alınacak olunursa, 50-69 aralığında yer alan 19 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında 5 tanesi *bazen*, 7 tanesi *genellikle* ve 7 tanesi ise *her zaman* cevabını vermiştir. 70-84 puan aralığında olan 24 öğrenciden bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için kullanım yönelimlerinde, 9 tanesi *genellikle*, 10 tanesi *bazen* ve 5 tanesi ise *her zamandır*. 85-100 puan aralığındaki 25 öğrenciden 12 tanesi *genellikle*, 5 tanesi *bazen* ve 8 tanesi ise *her zaman* bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için kullanmaktadır.

Küme 1 değerlendirildiğinde, bu kümeye ait 68 öğrenciden bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için *her zaman* veya *genellikle* kullanılan sayısı 48, *bazen* veya *hiçbir zaman* kullanan sayısı ise 20'dir. Aynı durum öğrenmek için bilişim teknolojilerini kullanmak sorusuna da geçerlidir.

Tablo 10'da gösterilen Küme 2 içinde bulunan 15 öğrenciden 1. yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında bulunan 6 öğrenciden, bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinin kullanım dağılımında 5 tanesi *bazen* ve 1 tanesi *her zaman* cevabını vermiştir. 70-84 puan aralığında bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden faydalanan 4 öğrenciden 2 tanesi *bazen*, 1 tanesi *hiçbir zaman* ve 1 tanesi *genellikle*

kullandığı cevabı vermiştir. 85-100 puan aralığında bulunan 5 öğrenciden 2 tanesi *hiçbir zaman*, 1 tanesi *genellikle*, 2 tanesi ise *bazen* bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullanmaktadır.

Tablo 10. K-means algoritması Küme 2

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
22	Bazen	Her zaman	90	76
24	Bazen	Her zaman	74	95
41	Bazen	Genellikle	93	69
51	Bazen	Genellikle	81	82
53	Genellikle	Her zaman	100	78
56	Bazen	Genellikle	63	78
61	Her zaman	Genellikle	63	92
69	Bazen	Bazen	69	70
70	Hiçbir zaman	Genellikle	75	80
74	Bazen	Her zaman	52	66
77	Hiçbir zaman	Hiçbir zaman	100	80
90	Genellikle	Bazen	80	80
91	Bazen	Bazen	51	69
92	Hiçbir zaman	Her zaman	98	72
93	Bazen	Her zaman	51	68

2. Yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında bulunan öğrencilerden 4'ünde bilgi amaçlı bilişim teknolojilerini *bazen* kullanmaktadır. 70-84 puan aralığındaki 9 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımını ise 4 tanesi *bazen*, 3 tanesi *hiçbir zaman* ve 2 tanesi *genellikle*dir. 85-100 puan aralığındaki 2 öğrenciden bilgi için bilişim teknolojilerini 1 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi ise *bazen* kullanmaktadır.

Küme 2 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 15 öğrenciden 3 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 12 tanesi de *bazen* veya *hiçbir zaman* tercih etmişlerdir. Eğlenmek için ise 11 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 4 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

2.4.3 K-medoid algoritması

K-medoid algoritmasında 7 küme oluşturuldu. Küme içerisindeki eleman sayıları Küme 0 için 11, Küme 1 için 4, Küme 2 için 10, Küme 3 için 24, Küme 4 için 10, Küme 5 için 17 ve Küme 6 için 26'dır.

Tablo 11'de gösterilen Küme 0 içerisinde bulunan 11 öğrenciden 1.yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında olan 5 öğrenciden 5'i de bilgi amaçlı bilişim teknolojilerini *bazen* kullandığını ifade etmiştir. 70-84 puan aralığındaki 3 öğrenciden 1'i *hiçbir zaman*, 1'i *genellikle* ve 1'i de *bazen* bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullandığını ifade etmektedir. 85-100 puan aralığındaki 3 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında ise 2 *genellikle*, 1 *hiçbir zaman* şeklinde bir yönelim söz konusudur.

Küme 0'da 2. yazılı notuna göre 50-69 puan aralığındaki 3 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri yönelimleri 3'ünün de *bazendir*. 70-84 puan aralığında yer alan 7 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullanım dağılımı ise 3 tanesi *bazen*, 2 tanesi *hiçbir zaman* ve 2 tanesi de *genellikle* şeklindedir. 85-100 puan aralığında 1 adet öğrenci vardır. Bu öğrencinin bilgi edinmek için *bazen*, eğlence içinse *her zaman* bilişim teknolojilerini kullandığı görülmektedir.

Tablo 11. K-medoid algoritması Küme 0

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
74	Bazen	Her zaman	52	66
93	Bazen	Her zaman	51	68
91	Bazen	Bazen	51	69
69	Bazen	Bazen	69	70
92	Hiçbir zaman	Her zaman	98	72
22	Bazen	Her zaman	90	76
56	Bazen	Genellikle	63	78
53	Genellikle	Her zaman	100	78
70	Hiçbir zaman	Genellikle	75	80
90	Genellikle	Bazen	80	80
24	Bazen	Her zaman	74	95

Küme 0 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 11 öğrenciden 2 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 9 tanesi de *bazen* veya *hiçbir zaman* tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 8 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 3 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Küme 1'de yer alan 4 öğrencinin 1. yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında yer alan 1 öğrenci hem bilgi hem eğlence için *her zaman*, 70-84 puan aralığındaki 1 öğrenci bilgi edinmek için *her zaman* ve eğlenmek için *bazen* bilişim teknolojileri kullandığı görülmektedir. 85-100 puan aralığındaki 2 öğrenciden ikisi de bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman*, eğlenmek içinse 1 tanesi *hiçbir zaman* ve 1 tanesi de *her zaman* kullandığını ifade etmiştir.

2. Yazılı sonucuna göre 50-69 puan arası öğrenci bulunmamaktadır. 70-84 arası puan aralığında bulunan 2 öğrenci bilgi edinmek için *her zaman*, eğlenmek için ise 1 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi ise *bazen* bilişim teknolojilerini kullandığını ifade etmiştir. 85-100 puan aralığında bulunan 2 öğrenci de yine aynı şekilde bilgi edinmek için *her zaman*, eğlence için ise 1 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi *hiçbir zaman* bilişim teknolojilerini kullandığını ifade etmiştir. *Hiçbir zaman* bilişim teknolojilerini eğlence amaçlı kullanmıyorum diyen öğrenci ise 100 puan alan öğrencidir.

Tablo 12'de gösterilen Küme 1 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 4 öğrenciden 4 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle* tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 2 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 2 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Küme 2'de yer alan toplam 10 öğrenciden 1. yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında olan 2 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımı için 1 öğrenci *genellikle* ve 1 öğrencinin ise *her zaman* cevabı vermiştir. Eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımında ise 1 öğrenci *hiçbir zaman* ve 1 öğrenci ise *bazen* cevabını vermiştir. 70-84 puan aralığında bulunan 3 öğrenciden 2 tanesi *genellikle* ve 1 tanesi *her zaman* bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullandığını ifade etmiştir. Aynı durum eğlence için bilişim teknolojileri kullanımında da geçerlidir. 85-100 puan aralığındaki 5 öğrenciden 4 tanesi *genellikle*, 1 tanesi ise *her zaman* bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullandığını ifade ederken, eğlence için 2 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi ise *bazen* bilişim teknolojilerini kullandığını ifade etmiştir.

Tablo 12. K-medoid algoritması Küme 1

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
27	Her zaman	Her zaman	64	81
5	Her zaman	Bazen	78	83
80	Her zaman	Her zaman	100	92
2	Her zaman	Hiçbir zaman	96	100

2. Yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında yer alan 3 öğrenciden 2 tanesi *genellikle*, 1 tanesi *her zaman* bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullandığını ifade etmiştir. Eğlence için ise birer tane *her zaman*, *genellikle* ve *bazen* cevabı vardır. 2. yazılı sonucuna göre 70-84 puan aralığında yer alan 2 öğrenciden bilgi edinmek için 1 tanesi *her zaman*, 1 tanesi ise *genellikle* cevabını verirken, eğlenmek için de 1 tanesi *bazen* ve 1 tanesi *genellikle* cevabını vermiştir. 85-100 puan aralığındaki 5 öğrenciden 4 tanesi *genellikle*, 1 tanesi ise *her zaman* bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullandığını ifade etmiştir. 100 puan alan öğrenci *her zaman* cevabını verendir. Eğlenmek için de 2 öğrenci *genellikle*, 2 öğrenci *her zaman* ve 1 öğrenci *hiçbir zaman* cevabını vermiştir.

Tablo 13. K-medoid algoritması Küme 2

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
8	Genellikle	Her zaman	76	67
1	Her zaman	Genellikle	75	68
96	Genellikle	Bazen	89	69
17	Her zaman	Bazen	69	80
23	Genellikle	Genellikle	83	84
66	Genellikle	Genellikle	93	96
58	Genellikle	Genellikle	100	96
98	Genellikle	Her zaman	94	97
94	Genellikle	Hiçbir zaman	56	98
72	Her zaman	Her zaman	100	100

Tablo 13'te yer alan Küme 2 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 10 öğrenciden 10 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle* tercih etmişlerdir. Eğlenmek için ise 7 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 3 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Tablo 14'te gösterilen Küme 3'e ait olan 24 öğrenciden 1. yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında olan 10 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında 5 öğrenci *genellikle*, 2 öğrenci *her zaman*, 3 öğrenci *bazen* şeklinde dağılım göstermiştir. Eğlence için bilişim teknolojileri kullanımında ise 5 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *her zaman*, 3 tanesi ise *bazen* cevabını vermiştir. Bu kümede 1. yazılı puanında en çok tekrar eden puan 61 puandır. 70-84 puan aralığında olan 6 öğrenciden bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında 3 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi *bazen* yanıtını verirken, eğlenmek için 3 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *bazen* ve 1 tanesi *her zaman* yanıtını vermiştir. 85-100 puan aralığında olan 8 öğrenciden 4 tanesi *genellikle*, 3 tanesi *bazen* ve 1 tanesinin *her zaman* bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanıldığını ifade etmiştir. Eğlenmek için de 5 tanesinin *genellikle*, 2 tanesinin *bazen* ve 1 tanesinin *her zaman* cevabını vermiştir.

Tablo 14. K-medoid algoritması Küme 3

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
31	Bazen	Bazen	69	60
35	Her Zaman	Bazen	88	60
42	Her Zaman	Bazen	75	64
68	Genellikle	Genellikle	100	64
49	Genellikle	Genellikle	61	65
65	Bazen	Her Zaman	61	65
3	Her Zaman	Genellikle	68	66
50	Her Zaman	Genellikle	70	67
21	Genellikle	Genellikle	71	67
11	Bazen	Bazen	89	69
41	Bazen	Genellikle	93	69
86	Bazen	Genellikle	91	70
99	Bazen	Her Zaman	61	72
88	Genellikle	Bazen	65	73
28	Genellikle	Genellikle	62	75
78	Genellikle	Genellikle	94	80
83	Genellikle	Bazen	70	85
39	Genellikle	Genellikle	53	87
75	Genellikle	Her Zaman	96	87
97	Genellikle	Genellikle	73	90
29	Genellikle	Genellikle	86	92
44	Her Zaman	Bazen	61	95
64	Genellikle	Genellikle	60	96
33	Bazen	Her Zaman	78	100

2. Yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında yer alan 11 öğrenciden 3 tanesi *genellikle*, 4 tanesi *bazen* ve 4 tanesi de *her zaman* bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullandığını ifade etmiştir. Eğlence

içinse 6 tanesi *genellikle*, 4 tanesi *bazen* ve 1 tanesi de *her zaman* cevabını vermiştir. 70-84 puan aralığındaki 5 öğrenciden 3 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *bazen* bilişim teknolojilerini bilgi edinmek amaçlı kullandığını ifade ederken, eğlence için 3 tanesi *genellikle*, 1 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi *bazen* cevabını vermiştir. 85-100 puan aralığında olan 8 öğrenci ise bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında 6 tanesi *genellikle*, 1 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi ise *bazen* şeklinde dağılım göstermiştir. Eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımında ise 4 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *her zaman* ve 2 tanesi ise *bazen* cevabını vermiştir.

Küme 3 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 24 öğrenciden 17 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 7 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 17 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 7 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Tablo 15'te gösterilen Küme 4'e ait olan 10 öğrenciden 1. yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında yer alan 4 öğrencinin 3 tanesinin *genellikle* ve 1 tanesinin *her zaman* bilişim teknolojilerini kullandığı görülür. Aynı durum eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımına da geçerlidir. 70-84 puan aralığındaki 1 öğrencinin ise bilgi edinmek için *bazen*, eğlenmek için de *genellikle* bilişim teknolojilerini tercih ettiği görülür. 85-100 puan aralığında yer alan 5 öğrencinin ikisinin *genellikle* ve geriye kalan 3 öğrencinin de birer tane *her zaman*, *hiçbir zaman* ve *bazen* cevabını verdiği görülür.

Tablo 15. K-medoid algoritması Küme 4

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
34	Genellikle	Genellikle	65	73
79	Genellikle	Her zaman	91	73
77	Hiçbir zaman	Hiçbir zaman	100	80
60	Genellikle	Genellikle	67	82
51	Bazen	Genellikle	81	82
84	Bazen	Genellikle	100	86
7	Genellikle	Bazen	100	90
48	Genellikle	Her zaman	55	92
61	Her zaman	Genellikle	63	92
13	Her zaman	Bazen	93	94

Küme 4'te 2. yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında öğrenci bulunmamaktadır. 70-84 puan aralığındaki 5 öğrenciden 3 tanesi *genellikle*, 1 tanesi *hiçbir zaman* ve 1 tanesi de *bazen* bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullandığını ifade ederken, eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımına 3 tanesi *genellikle*, 1 tanesi *hiçbir zaman* ve 1 tanesi *her zaman* cevabını vermiştir. 85-100 puan aralığındaki 5 öğrencide ise bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımı dağılımı; 2 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi *bazen* şeklindedir. Eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımı ise 2 tane *genellikle*, 2 tane *bazen* ve 1 tane *her zamandır*.

Küme 4 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 10 öğrenciden 7 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 3 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir. Eğlenmek için 7 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 3 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Tablo 16’da sunulan Küme 5’te yer alan 17 öğrenciden 1. yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında 1 öğrenci bulunmaktadır. Bu öğrencinin bilgi edinmek ve eğlenmek için bilişim teknolojileri kullanımı *bazendir*. 70-84 puan aralığında bulunan 8 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımı 4 tanesinin *bazen*, 3 tanesinin *genellikle* ve 1 tanesinin *her zaman* olduğunu görülür. Eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımında ise 3 tanesinin *her zaman*, 3 tanesinin *bazen* ve 2 tanesinin *genellikle* cevabı vermiştir. 85-100 puan aralığında olan 8 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımına 5 tanesinin *bazen*, 2 tanesinin *her zaman* ve 1 tanesinin *genellikle* cevabını vermişlerdir. Eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımında ise 3 tanesinin *genellikle*, 4 tanesinin *her zaman* ve 1 tanesinin de *bazen* olduğu görülür.

Tablo 16. K-medoid algoritması Küme 5

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
12	Bazen	Genellikle	95	61
100	Bazen	Her zaman	95	62
16	Genellikle	Genellikle	78	68
89	Bazen	Her zaman	76	70
101	Genellikle	Genellikle	91	74
87	Bazen	Bazen	98	76
57	Bazen	Her zaman	72	80
73	Bazen	Bazen	77	82
6	Bazen	Her zaman	80	83
67	Bazen	Bazen	58	84
26	Her zaman	Genellikle	81	85
85	Her zaman	Her zaman	97	85
45	Genellikle	Bazen	77	90
4	Her zaman	Her zaman	93	90
38	Bazen	Genellikle	98	90
76	Bazen	Her zaman	100	92
59	Genellikle	Bazen	84	98

2. Yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında bulunan 3 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımı 2 tanesinin *bazen* ve 1 tanesinin *genellikle* şeklinde olduğu görülür. Eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımında ise 2 *genellikle* ve 1 *her zaman*’dır. 70-84 puan aralığında yer alan 7 öğrencinin bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımında 6 tanesinin *bazen*, 1 tanesinin *genellikle* olduğu görülür. Eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanımında ise 3 *her zaman*, 3 *bazen* ve 1 *genellikle* olmuştur. 85-100 puan aralığındaki 7 öğrenciden 3 tanesi *her zaman*, ikişer tanesi de *genellikle* ve *bazen* bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullandığını ifade etmiştir. Eğlenmek için bilişim teknoloji kullanımında da yine aynı cevaplar geçerlidir.

Küme 5 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 17 öğrenciden 7 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 10 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 12 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 5 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Tablo 17’de sunulan Küme 6’ya ait olan 26 öğrenciden 1.yazılı puanına göre 50- 69 puan aralığında yer alan 11 öğrenciden 5 tanesi *her zaman*, 4 tanesi *genellikle*, 2 tanesi de *bazen* bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için kullandığını ifade etmiştir. Eğlenmek için ise yine aynı yönelim söz konusudur. 70-84 puan aralığındaki 8 öğrenciden 4 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *bazen* ve 2 tanesi *her zaman* bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullandığını ifade etmiştir.

Tablo 17. K-medoid algoritması Küme 6

ID No	Bilgi Edinmek	Eğlenmek	1.Yazılı	2.Yazılı
40	Her zaman	Bazen	100	63
52	Her zaman	Her zaman	71	64
55	Genellikle	Her zaman	76	66
46	Her zaman	Genellikle	90	68
43	Genellikle	Bazen	85	69
63	Bazen	Genellikle	71	70
19	Genellikle	Her zaman	61	74
36	Her zaman	Bazen	96	74
82	Genellikle	Genellikle	61	75
62	Her zaman	Her zaman	97	75
18	Genellikle	Bazen	79	77
95	Bazen	Her zaman	81	78
9	Her zaman	Her zaman	55	80
81	Her zaman	Her zaman	58	81
47	Her zaman	Genellikle	52	85
20	Genellikle	Her zaman	81	86
10	Her zaman	Genellikle	65	90
30	Genellikle	Her zaman	88	90
71	Her zaman	Bazen	89	92
54	Bazen	Bazen	54	93
37	Her zaman	Bazen	66	93
15	Her zaman	Her zaman	73	94
14	Genellikle	Her zaman	67	96
102	Genellikle	Genellikle	60	97
32	Bazen	Her zaman	52	100
25	Genellikle	Genellikle	70	100

Eğlenmek için ise 5 tanesi *her zaman*, 2 tanesi *genellikle* ve 1 tanesi *bazen* bilişim teknolojileri kullandığını söylemiştir. 85-100 puan aralığındaki 7 öğrenciden 5’i *her zaman*, 2’si *genellikle* bilgi

edinmek için bilişim teknolojileri kullanmaktadır. Eğlenmek için ise 4 tanesi *bazen*, 2 tanesi *her zaman* ve 1 tanesi de *genellikle* bilişim teknolojileri kullandığını ifade etmiştir.

2. Yazılı sonucuna göre 50-69 puan aralığında yer alan 5 öğrenciden 3 tanesi *her zaman*, 2 tanesi *genellikle* bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullandığını ifade ederken, eğlence için de 2 tanesi *bazen*, 2 tanesi *her zaman* ve 1 tanesinin genellikle bilişim teknolojileri kullandığını ifade ettiğini görürüz. 70-84 puan aralığındaki 9 öğrenciden 4 tanesi *her zaman*, 3 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *bazen* bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini kullandığını ifade etmiştir. Eğlence için ise 5 tanesi *her zaman*, 2 tanesi *genellikle*, 2 tanesi *bazen* cevabını vermiştir. 85-100 puan aralığındaki 12 öğrenciden ise bilgi edinmek için bilişim teknolojileri kullanımının ise 5 *genellikle*, 5 *her zaman* ve 2 *bazen* olarak. Eğlence amaçlı bilişim teknolojileri kullanım dağılımı ise 4 *genellikle*, 5 *her zaman* ve 3 *bazen* olmuştur.

Küme 6 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 26 öğrenciden 22 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 4 tanesi de *bazen* veya *hiçbir zaman* tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 19 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 7 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

3. Bulgular

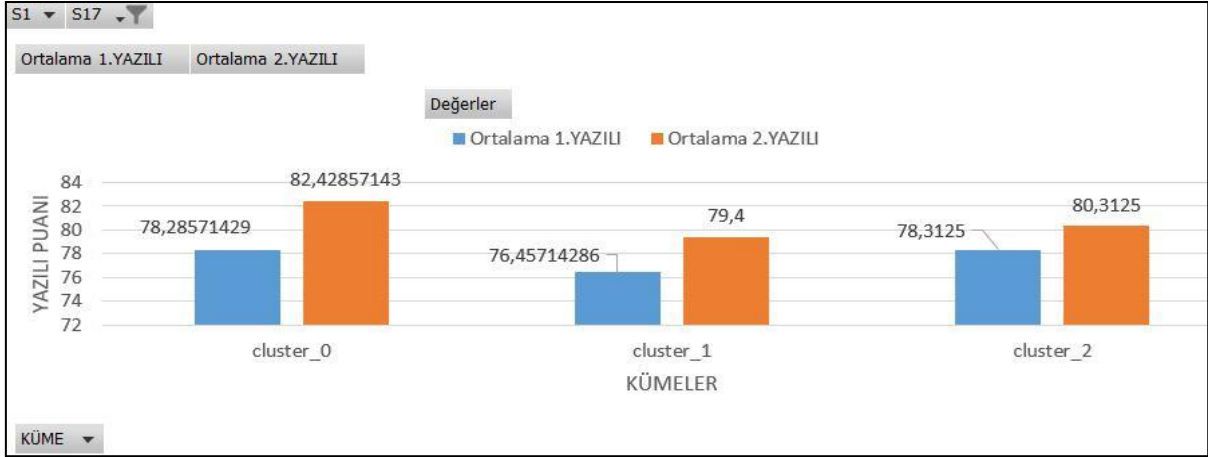
3.1. X-Means Bulguları

X-means algoritmasındaki Küme 0 içerisindeki 27 öğrencinin bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için *genellikle* veya *her zaman* kullanan sayısı 25, *bazen* veya *hiçbir zaman* kullanılan sayısı ise 2'dir. Bu 27 öğrencinin bilişim teknolojilerini eğlenmek için *genellikle* veya *her zaman* kullanan sayısı 21 *bazen* veya *hiçbir zaman* kullanılan sayısı 6'dır.

Küme 1 içerisindeki 54 öğrencinin bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için *genellikle* veya *her zaman* kullanan sayısı 36, *bazen* veya *hiçbir zaman* kullanan sayısı ise 18'dir. Bu 54 öğrencinin bilişim teknolojilerini eğlenmek için *genellikle* veya *her zaman* kullanan sayısı 35, *bazen* veya *hiçbir zaman* kullanma sayısı ise 19'dur.

Küme 2 içerisindeki 21 öğrencinin bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için *genellikle* veya *her zaman* kullanan sayısı 8, *bazen* veya *hiçbir zaman* kullanılan sayısı 13'tür. Bu 21 öğrencinin bilişim teknolojilerini eğlence için *genellikle* veya *her zaman* kullanan sayısı 16, *bazen* veya *hiçbir zaman* kullanan sayısı ise 5'tir.

Şekil 1'de gösterilen başarı durumlarından özetle en başarılı öğrencilerin olduğu grup Küme 0, ortalama başarı durumunda olan öğrencilerin olduğu grup Küme 2, nispeten daha az başarılı öğrencilerin olduğu grup ise Küme 1 olarak tahmin edilmiştir.



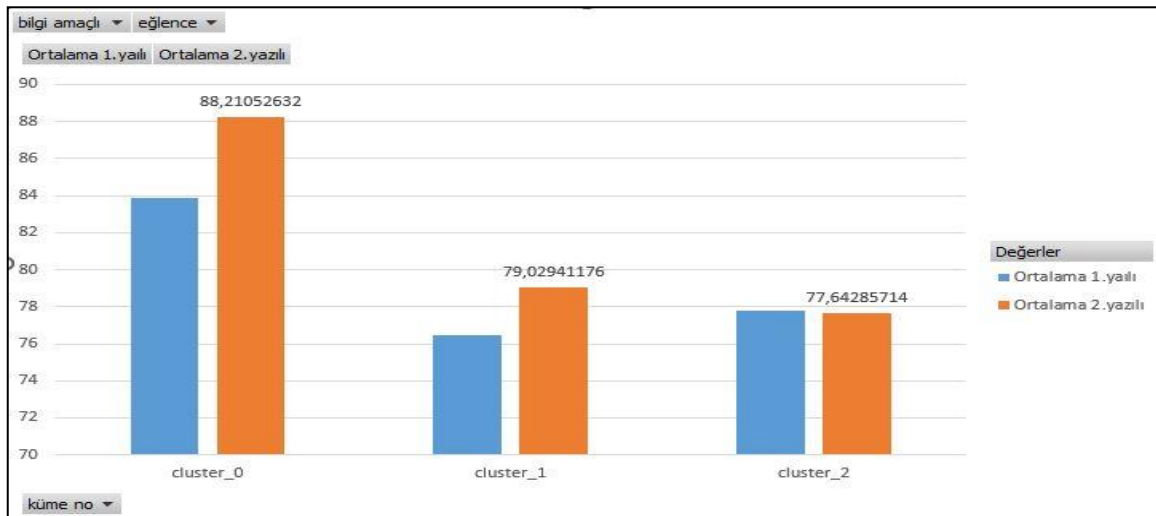
Şekil 1. X-means algoritmasında kümelere kıyasla bilişim teknolojileri yazılı sonuçları

3.2 K-Means Bulguları

K-means algoritmasındaki Küme 0 değerlendirildiğinde, bu kümeye ait olan 19 öğrenciden Bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için her zaman veya genellikle kullanılan sayısı 18, bazen veya hiçbir zaman kullanılan sayısı ise 1'dir. Eğlenmek amaçlı bilişim teknoloji kullanımında ise her zaman veya genellikle tercih eden sayısı 13, bazen veya hiçbir zaman tercih eden sayısı ise 6'dır.

Küme 1 değerlendirildiğinde, bu kümeye ait 68 öğrenciden bilişim teknolojilerini bilgi edinmek için her zaman veya genellikle kullanılan sayısı 48, bazen veya hiçbir zaman kullanan sayısı ise 20'dir. Aynı durum eğlenmek için bilişim teknolojilerini kullanmak sorusuna da geçerlidir (Şekil 2).

Küme 2 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 15 öğrenciden 3 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini her zaman veya genellikle 12 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir eğlenmek içinse 11 tanesi her zaman veya genellikle cevabını, 4 tanesi ise hiçbir zaman veya bazen cevabını vermiştir.



Şekil 2. K-means algoritmasında kümelere kıyasla bilişim teknolojileri yazılı sonuçları

Şekil 2’de ele alınan başarı durumlarından özetle en başarılı öğrencilerin olduğu grup Küme 0, ortalama başarı durumunda olan öğrencilerin olduğu grup Küme 1, diğerlerine nispeten daha az başarılı öğrencilerin olduğu grup ise Küme 2 olarak analiz edilmiştir.

3.3. K-Medoid Bulguları

K-Medoid algoritmasındaki Küme 0 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 11 öğrenciden 2 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 9 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 8 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 3 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir (Şekil 3).

Küme 1 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 4 öğrenciden 4 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle* tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 2 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 2 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Küme 2 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 10 öğrenciden 10 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle* tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 7 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 3 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Küme 3 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 24 öğrenciden 17 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 7 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 17 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 7 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

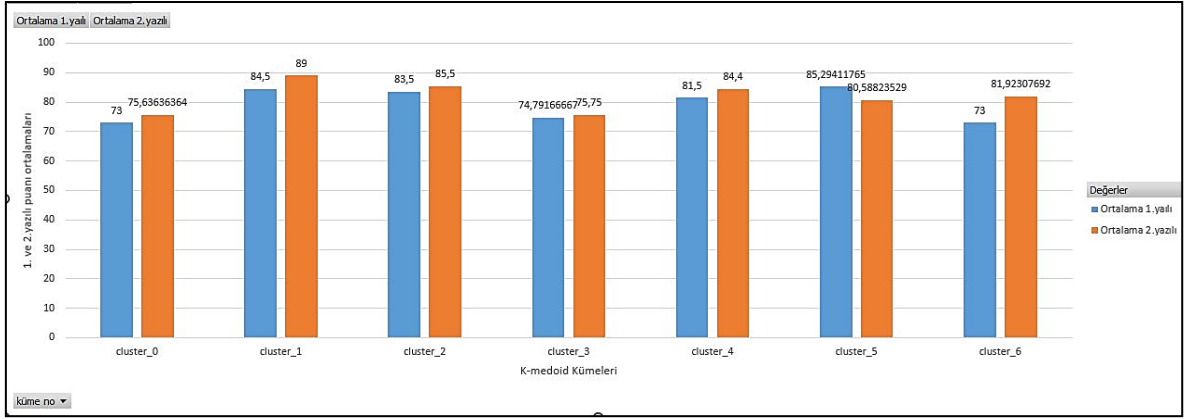
Küme 4 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 10 öğrenciden 7 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 3 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 7 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 3 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Küme 5 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 17 öğrenciden 7 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 10 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 12 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 5 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Küme 6 değerlendirildiğinde, bu kümede yer alan 26 öğrenciden 22 tanesi bilgi edinmek için bilişim teknolojilerini *her zaman* veya *genellikle*, 4 tanesi de bazen veya hiçbir zaman tercih etmişlerdir. Eğlenmek içinse 19 tanesi *her zaman* veya *genellikle* cevabını, 7 tanesi ise *hiçbir zaman* veya *bazen* cevabını vermiştir.

Şekil 3’de ele alınan başarı durumlarından özetle en başarılı öğrencilerin olduğu grup Küme 1, ortalama başarı durumunda olan öğrencilerin olduğu grup Küme 3, diğerlerine nispeten daha az başarılı öğrencilerin olduğu grup ise Küme 0 olarak analiz edilmiştir.

Tüm K-medoid kümeleri içerisinde öğrencilerin 2. yazılı puanları, 1.yazılı puanlarına nispeten yüksek çıkmış olsa dahi istisna olan Küme 5’te 2.yazılı puanı 1.yazılı puanından ortalama olarak 4,71 puan daha düşüktür.



Şekil 3. K-medoid algoritmasında kümelere kıyasla bilişim teknolojileri yazılı sonuçları

4. Sonuçlar

Bu makale çalışmasında, x-means, k-means ve k-medoid kümeleme algoritmalarında veri setinin içerisine öğrencilerin bilişim teknolojileri ve yazılım dersi 1. ve 2. yazılı sonuçları dahil edilerek, öğrencilerin bu ders özelinde akademik başarılarıyla bilişim teknolojilerini kullanım yönelimleri arasında bir ilişki olup olmadığı ortaya koyulmuştur. Buna göre öğrencilerin akademik başarıları ile bilişim teknolojileri kullanımı arasında belirgin bir fark olmamakla birlikte, teknoloji kullanımının aynı yaş grubundaki öğrenciler arasında çeşitlilik gösterdiği ve bunun birbirini takip eden teknoloji kullanım alışkanlıkları şeklinde olduğu ortaya koyulmuştur.

X-means kümeleme algoritmasında özetle en başarılı öğrencilerin olduğu grup Küme 0, ortalama başarı durumunda olan öğrencilerin olduğu grup Küme 2, daha az başarılı öğrencilerin olduğu grup ise Küme 1 olarak belirlenmiştir.

K-means kümeleme algoritmasında, öğrencilerin başarı durumları ile bilişim teknolojileri kullanım yönleri ele alındığında en başarılı öğrencilerin olduğu grup, ortalama 88 yazılı puanı ile Küme 0 olmuştur. Orta seviye başarı durumunda olan öğrencilerin olduğu grup, ortalama 79 yazılı puanı ile Küme 1 ve diğerlerine nispeten daha az başarılı öğrencilerin olduğu grup ise ortalama 77 yazılı puanı ile Küme 2 olarak belirlenmiştir.

K-medoid kümeleme algoritmasında ise en başarılı öğrencilerin olduğu grup, ortalama 89 yazılı puanı ile Küme 1 olurken, orta başarı durumunda olan öğrencilerin olduğu grup, ortalama 75 yazılı puanı ile Küme 3 olmuştur. Diğerlerine nispeten daha az başarılı öğrencilerin olduğu grup ise ortalama 73 yazılı puanı ile Küme 0 olarak analiz edilmiştir. Geriye kalan dört kümenin başarı durumları açısından değerlendirilmesi sonucunda ise belirgin farklar içermedikleri görülmüştür.

Yapılan bu çalışma ilerde daha fazla öğrenci sayısına sahip sınıflara uygulanarak ve makine öğrenmesi yöntemlerinin farklı algoritmaları kullanılarak geliştirilebilir. Çalışma farklı dersler için uygulanabilir ve sonucunda bilişim teknolojileri kullanımının o derse olan olumlu veya olumsuz etkileri araştırılabilir. Daha üst kademedeki eğitim alan öğrenciler için de uygulanabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan ederler. Bu araştırma Şeymanur GÖKÇE'nin Yüksek Lisans Tezinin bir kısmından hazırlanmıştır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abad FM., Caso López AAC. Data-mining techniques in detecting factors linked to academic achievement. *School Effectiveness and School Improvement* 2017; 28(1): 39-55.
- Akçapınar G., Coşgun E. Öğrencilerin STEM eğitimi tercihlerinin veri madenciliği yaklaşımı ile tahmin edilmesi. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama* 2019; 9(1): 73-88.
- Alturki S., Hulpuş I., Stuckenschmidt H. Predicting academic outcomes: A survey from 2007 till 2018. *Tech Know Learn* 2022; 27: 275–307.
- Baker RS., Yacef K. The state of educational data mining in 2009: A review and future visions. *Journal of Educational Data Mining* 2009; 1(1): 3-17.
- Baradwaj BK., Pal S. Mining educational data to analyze students performance. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 2011; 2(6): 63-69.
- Delen D. A comparative analysis of machine learning techniques for student retention management. *Decision Support Systems* 2010; 49(4): 498-506.
- Demirkol D., Kartal E., Şeneler Ç., Gülseçen S. Bir öğrenci bilgi sisteminin kullanılabilirliğinin makine öğrenmesi teknikleriyle tahmin edilmesi. *Veri Bilimi* 2019; 2(1): 10-18.
- Ghorbani R., Ghousi R. Comparing different resampling methods in predicting students' performance using machine learning techniques. *IEEE Access* 2020; 8: 67899-67911.
- Gök M. Makine öğrenmesi yöntemleri ile akademik başarının tahmin edilmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 2017; 5(3): 139-148.
- Horáková T., Houška M., Dömeová L. Classification of the educational texts styles with the methods of artificial intelligence. *Journal of Baltic Science Education* 2017; 16(3): 324-336.
- Mierswa L., Klinkenberg R. (2018). RapidMiner Studio (9.1) [Data science, machine learning, predictive analytics]. Retrieved from <https://rapidminer.com/>
- Orsoni M., Giovagnoli S., Garofalo S., Magri S., Benvenuti M., Mazzoni E., Benassi M. Preliminary evidence on machine learning approaches for clusterizing students' cognitive profil. *Heliyon* 2023; 9:3: e14506.
- Özmuşul M. Bilişim teknolojilerinden yararlanma ölçeğinin geliştirilmesi. *Kuramsal Eğitimbilim* 2011; 4(1): 1-17.
- Prasada Rao K., Sekhara Rao MVPC., Ramesh B. Predicting learning behavior of students using classification techniques. *International Journal of Computer Applications* 2016; 139(7): 15-19.

Şimsek M. Predicting mathematics performance by ICT variables in PISA 2018 through decision tree algorithm. International Journal of Technology in Education 2022; 5(2): 269-279.

Yağcı M. Educational data mining: prediction of students' academic performance using machine learning algorithms. Smart Learning Environments 2022; 9(11): 1-19.

Zheng Y., Zheng S., Bao L. Investigation and interpersonal relationship of college students with intelligent big data. Scientific Programming volume 2022; 1058-9244.

EK-1: Bilişim Teknolojilerinden Yararlanma Ölçeği



I.BOLUM: KİŞİSEL BİLGİLER

(Lütfen ilgili boşluğu doldurunuz. ÖRNEK: ●)



Cinsiyetiniz	Kız <input type="radio"/>		Erkek <input type="radio"/>		
Hangi Sınıftasınız?	6.sınıf <input type="radio"/>		5 sınıf <input type="radio"/>		
Genel Not Ortalamanız	1-2 arası <input type="radio"/>	2-3 arası <input type="radio"/>	3-4 arası <input type="radio"/>	4-5 arası <input type="radio"/>	
E-mail adresiniz var mı?	Evet <input type="radio"/>		Hayır <input type="radio"/>		
Babanızın Eğitim Durumu	İlkokul <input type="radio"/>	Ortaokul <input type="radio"/>	Lise <input type="radio"/>	Üniversite <input type="radio"/>	
	Okuma-yazma bilmiyor <input type="radio"/>				
Babanızın Mesleği	Memur <input type="radio"/>	İşçi <input type="radio"/>	Esnaf <input type="radio"/>	Serbest Meslek <input type="radio"/>	Diğer.....
Annenizin Eğitim Durumu	İlkokul <input type="radio"/>	Ortaokul <input type="radio"/>	Lise <input type="radio"/>	Üniversite <input type="radio"/>	
	Okuma-yazma bilmiyor <input type="radio"/>				
Annenizin Mesleği	Memur <input type="radio"/>	İşçi <input type="radio"/>	Esnaf <input type="radio"/>	Serbest Meslek <input type="radio"/>	Diğer.....

AÇIKLAMA: Bilişim teknolojileri; radyo, televizyon, video, VCD/DVD, telefon, uydu sistemleri, bilgisayar ve İnternet gibi teknolojileri kapsamaktadır.

Evinizde bulunan bilişim teknolojileri nelerdir?

Bilgisayar <input type="radio"/>	VCD/DVD <input type="radio"/>	Televizyon <input type="radio"/>	Video <input type="radio"/>
Radyo/Teyp <input type="radio"/>	Telefon <input type="radio"/>	İnternet <input type="radio"/>	

Bilgisayardan <u>en çok</u> hangi amaçla yararlanıyorsunuz? ○Bilgi edinme ○Ders Çalışma (Araştırma-İnceleme) ○ İletişim ○Eğlence-Oyun ○Diğer...
VCD ve DVD'den <u>en çok</u> hangi amaçla yararlanıyorsunuz? ○Bilgi edinme ○Ders Çalışma (Araştırma-İnceleme) ○ İletişim ○Eğlence-Oyun ○Diğer...
Televizyondan <u>en çok</u> hangi amaçla yararlanıyorsunuz? ○Bilgi edinme ○Ders Çalışma (Araştırma-İnceleme) ○ İletişim ○Eğlence-Oyun ○Diğer...
Radyo/Teypten <u>en çok</u> hangi amaçla yararlanıyorsunuz? ○Bilgi edinme ○Ders Çalışma (Araştırma-İnceleme) ○ İletişim ○Eğlence-Oyun ○Diğer...
Telefondan <u>en çok</u> hangi amaçla yararlanıyorsunuz? ○Bilgi edinme ○Ders Çalışma (Araştırma-İnceleme) ○ İletişim ○Eğlence-Oyun ○Diğer...
İnternette <u>en çok</u> hangi amaçla yararlanıyorsunuz? ○Bilgi edinme ○Ders Çalışma (Araştırma-İnceleme) ○ İletişim ○Eğlence-Oyun ○Diğer...
Videodan <u>en çok</u> hangi amaçla yararlanıyorsunuz? ○Bilgi edinme ○Ders Çalışma (Araştırma-İnceleme) ○ İletişim ○Eğlence-Oyun ○Diğer...

II. BÖLÜM: BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİNDEN YARARLANMA ÖLÇEĞİ		Hiçbir zaman	Bazen	Genellikle	Her zaman
Lütfen ilgili alana X işareti koyunuz. Örnek: <input checked="" type="checkbox"/>					
1	Bilgi edinmek için bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
2	Bilgi dağarcığımı(düzeyimi) artırmak için bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
3	Öğretmenlerimizin verdiği ödevleri yaparken bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
4	Ders kitaplarımızda yer alan görevleri (ödevleri) yapmak için bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
5	Proje çalışması yaparken bilişim teknolojilerinden yararlanırım.				
6	Kendime faydalı olacağını düşündüğüm bir konuyu araştırmak istediğimde bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
7	Merak ettiğim bir konuyu araştırırken bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
8	Bilmediğim olayları araştırırken bilişim teknolojilerinden yararlanırım.				
9	Birinden haber almak için bilişim teknolojilerinden yararlanırım.				
10	Birine mesaj göndermek istediğimde bilişim teknolojilerinden yararlanırım.				
11	Birine haber vermek için bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
12	Görüşmek istediğim biriyle bilişim teknolojilerinden yararlanarak görüşürüm				
13	Biriyle yazışmak istediğimde bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
14	Düşüncelerimi ifade ederken bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
15	Düşüncelerimi paylaşırken bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
16	Eğlenceli vakitler geçirmek istediğimde bilişim teknolojilerinden yararlanırım				
17	Eğlenmek istediğimde bilişim teknolojilerinden yararlanırım.				
18	Oyun oynama amacıyla bilişim teknolojilerinden yararlanırım.				

Tragopogon reticulatus'ın HepG2 ve MCF7 Hücre Hatlarına Karşı Sitotoksik ve Bazı Mikroorganizmalara Karşı Antioksidan, Antimikrobiyal Etkilerinin Araştırılması

Lütfiye KADIOĞLU DALKILIÇ^{1*}, Semih DALKILIÇ²

¹Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü, 23000, Elazığ

²Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 23000, Elazığ

¹<https://orcid.org/0000-0002-6791-3811>

²<https://orcid.org/0000-0002-6892-247X>

*Sorumlu yazar: tkadioglu85@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 26.09.2023

Kabul tarihi: 06.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Tragopogon reticulatus

Sitotoksik

Antimikrobiyal

Antioksidan aktivite

ÖZ

Bitkiler tarihsel süreç içerisinde çeşitli amaçlarla kullanılmıştır. Bu konu son yıllarda geleneksel tıp alanında giderek artan bir ilgi görmektedir. *Tragopogon reticulatus*, Türkiye'de yemlik ot bitkisi olarak bilinen, zengin vitamin ve mineral içeriği ile dikkat çeken bir türdür. Bu çalışmanın amacı, *T. reticulatus* bitkisinin antimikrobiyal, antioksidan ve sitotoksik aktivitelerini araştırmaktır. *T. reticulatus* bitkisinden elde edilen hekzan ve metanol çözücülerinin kullanılmasıyla farklı konsantrasyonlarda iki ayrı ekstrakt hazırlanmış, sitotoksik aktivite ise insan karaciğer kanseri (HepG2) ve insan meme kanseri (MCF7) hücre hatları üzerinde MTT Assay (3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil tetrazolyum bromür) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Metanol ve hekzandan elde edilen ekstraktların antioksidan aktivitesi DPPH (2,2-difenil 1-pikrilhidrazil) radikal süpürme kapasitesi yöntemi ile belirlenmiştir. Antimikrobiyal aktivite kuyu difüzyon yöntemi ile değerlendirilmiş ve çalışmada *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* ve *Bacillus megaterium* gibi bakteriler ve *Candida albicans* mantarı kullanılmıştır. *T. reticulatus* bitkisinden elde edilen hekzan ekstresi, MCF7 hücre hattında %44 oranında yüksek sitotoksik aktivite gösterirken, HepG2 hücre hattında %51 oranında ölü hücre sayısı göstermiştir. Antioksidan sonuçlar değerlendirildiğinde, hekzan ekstresinin DPPH radikal süpürücü etkisinin %19 ile en etkili aktiviteyi sergilediği belirlenmiştir. Antimikrobiyal sonuçlar değerlendirildiğinde hekzan ile hazırlanan konsantrasyonların *B. megaterium*'a karşı 16 mm zon çapı ile en etkili aktiviteyi sergilediği belirlenmiştir. Bu bulgular, *T. reticulatus* bitki ekstraktlarının potansiyel birer kaynak olarak kabul edilebileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, bitkinin biyolojik etkilerine dair gelecekteki araştırmalara ışık tutabilir ve yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Investigation of Cytotoxic Effects of *Tragopogon reticulatus* Against HepG2 and MCF7 Cell Lines and Antioxidant, Antimicrobial Effects Against Some Microorganisms

Research Article

Article History:

Received: 26.09.2023

Accepted: 06.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Tragopogon reticulatus

Cytotoxic

Antimicrobial

Antioxidant activity

ABSTRACT

Plants have been used for various purposes throughout history. This subject has received increasing attention in the field of traditional medicine in recent years. *Tragopogon reticulatus*, as a forage grass plant in turkey, is a species that stands out with rich vitamin and mineral content. The aim of this study was to investigate the antimicrobial, antioxidant, and cytotoxic activities of *T. reticulatus*. Two separate extracts were prepared at different concentrations using hexane and methanol solvents obtained from the *T. reticulatus* plant, and cytotoxic activity was evaluated by the MTT Assay (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide) method on human liver cancer

(HepG2) and human breast cancer (MCF7) cell lines. The antioxidant activity of the extracts obtained from methanol and hexane was determined by the DPPH (2,2-diphenyl 1-picrylhydrazyl) radical scavenging capacity method. Antimicrobial activity was evaluated by the disk diffusion method, and bacteria such as *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Bacillus megaterium*, and *Candida albicans* fungus were used in the study. The hexane extract obtained from the *T. reticulatus* plant showed a high cytotoxic activity of 44% in the MCF7 cell line, while it showed a 51% dead cell count in the HepG2 cell line. When the antioxidant results were evaluated, it was determined that the DPPH radical scavenging effect of the hexane extract exhibited the most effective activity at 19%. When the antimicrobial results were evaluated, it was determined that the concentrations prepared with hexane exhibited the most effective activity with a zone diameter of 16 mm against *B. megaterium*. These findings suggest that *T. reticulatus* plant extracts can be considered as a potential source. These results may shed light on future research into the biological effects of the plant and contribute to the development of new treatment methods.

To Cite: Kadioğlu Dalkılıç L., Dalkılıç S. *Tragopogon reticulatus*'ın HepG2 ve MCF7 Hücre Hatlarına Karşı Sitotoksik ve Bazı Mikroorganizmalara Karşı Antioksidan, Antimikrobiyal Etkilerinin Araştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1513-1525.

1. Giriş

Kanser, hücrelerin kontrolsüz bir biçimde çoğalması sonucu oluşan, yayılma eğilimi gösteren bir hastalıktır (Siddiqui ark., 2022). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre, kanser dünya genelinde ölüm nedenleri arasında ikinci sırada yer almaktadır. Bu durum, kanserin küresel sağlık sorunlarından biri olduğunu ve ciddi bir halk sağlığı meselesi teşkil ettiğini göstermektedir (Gencturk ark., 2023). Kanser gelişimi için hücrelerin ilk olarak kontrolsüz çoğalma yeteneğini geliştirmeleri gerekir. Daha sonra hücreler komşu dokuya istila edebilmeli ve kendilerine besin ve oksijen desteği sağlayabilmelidirler. Son olarak, diğer dokulara yayılmak için yeni oluşan kütleden ayrılmaları gerekirken, onları yok etmek için hazır olan bir bağışıklık sisteminden de kaçınmalıdırlar (Piazzesi ark., 2021). Kanser tedavilerinde teknolojiyle kanserin erken teşhisi ve tedavisiyle birlikte, kansere karşı galip gelen hastaların sayısı her geçen gün artmaktadır (Azizi ark., 2022). Kanser tedavisinde kullanılan temel yöntemler kemoterapi, radyoterapi ve hormonal tedavileri içerir (Baykara, 2015, 2016). Ancak bu tedavi seçenekleri, sınırlı bir hedef aralığına sahip olmaları ve normal hücrelere toksik etkiler yapabilmeleri nedeniyle bazen yetersiz kalabilmektedir. Bu bağlamda, bitkisel tedavi gibi alternatif yöntemler de önem kazanmaktadır (Shin ark., 2018).

Halk arasında yemlik olarak bilinen *Tragopogon reticulatus*, çok yıllık otsu bir bitki olup ilkbahar aylarında yaylalarda ve dağlarda yetişmektedir. Asteraceae familyasına ait olan *T. reticulatus*, içerisinde çeşitli vitaminler (A, C, E, B2, B6) ve mineralleri (Fe ve Ca) barındırmaktadır (Okcu ve Kaplan, 2018). Ek olarak, lif ve protein kaynağı yüksek bileşenleri bünyelerinde bulundurmaktadır. Kansızlık, yüksek tansiyon, romatizma, diyabet, gut ve böbrek hastalıkları gibi birçok hastalığa da iyi geldiği bilinmektedir (Biçer, 2022; Çöteli ve Karataş, 2015; Sari ve Uçar, 2023). Bunların yanı sıra yapısında bulunan fenolik bileşikler, insanların beslenmesinde önemli bir rol oynamakta olup antioksidan özelliklerinden dolayı büyük ilgi çekmektedir (Öğretmen, 2022). İçerdiği bu antioksidanlar sayesinde, *T. reticulatus*'un antitumöjenik, yaşlanma karşıtı vb. birçok özellik gösterdiği belirtilmiştir (Okcu ve Kaplan, 2018).

Son yıllarda yapılan birçok araştırma, çeşitli bitki kısımlarından elde edilen bileşiklerin sitotoksik aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir (Esmee ark., 2022). Bu nedenle günümüzde, kanser hastalıklarına karşı potansiyel ilaçlar geliştirmek amacıyla farklı bitki türleri ve kısımları üzerinde yapılan araştırmalara olan ilgi artmıştır. Bitkilerin potansiyel sitotoksik aktiviteye sahip bileşikler içerdikleri düşünülmektedir. Bu fitokimyasallar, hem kanser tedavisinde hem de kemoterapi, radyoterapi gibi tedavilerin yan etkilerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, yemliğin yaprak kısmındaki glutasyon ve vitamin miktarlarının, antioksidan aktivitenin önemli bir bileşeni olduğu düşünülmektedir (Çöteli ve Karataş, 2015).

Literatür taramalarında *T. reticulatus* üzerinde antikanser, antimikrobiyal ve antioksidan çalışmalarının yeterli olmadığı görülmüştür. Bu çalışma ile *T. reticulatus* bitkisinin insan karaciğer kanseri (HepG2) ve insan meme kanseri (MCF7) hücre hattına karşı göstermiş olduğu sitotoksik ve antioksidan aktivitesi belirlenmiştir. Aynı zamanda Gram negatif (G-) ve Gram pozitif (G+) bakterilere karşı antibakteriyal, mantar suşuna (*Candida albicans*) karşı antifungal aktivitesi belirlemiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

2.1.1. Malzemenin Temin Edilmesi

Elazığ'ın Baskil ilçesine bağlı Ancuz köyünden Nihal Gülaçar tarafından Nisan-Mayıs aylarında toplanmış olup, Doç. Dr. Gülden Doğan tarafından da tür tayini yapılmıştır.

2.1.2. Deneyde Kullanılan Mikroorganizmalar ve Hücre Hatları

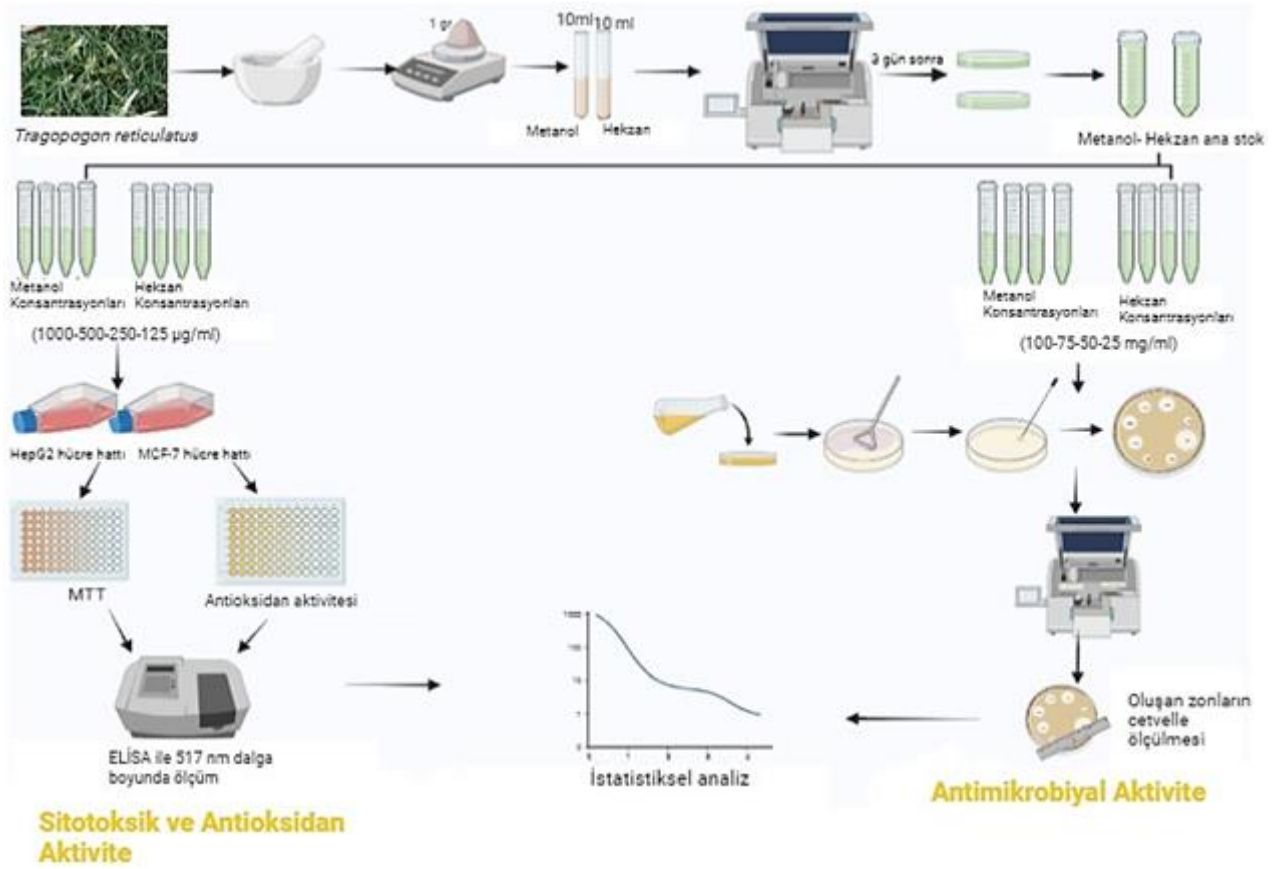
Staphylococcus aureus ATCC 25923, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Esherichia coli* ATCC 25322, *Bacillus megaterium* ATCC DSM32 ve mantar olarak *Candida albicans* FMC17 Fethi Sekin Şehir Hastanesi merkez laboratuvarından temin edilmiştir. HepG2 ve MCF7 kanser hücre hatları Fırat Üniversitesi Biyoloji Bölümü Moleküler Biyoloji ve Genetik Programı öğretim üyesi Doç. Dr. Semih Dalkılıç'ın laboratuvarında mevcuttur ve bu çalışmada bu iki hücre hattı kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Ekstrakt Hazırlama

Toplanan bitkilerden 5 gr kurutulup porselen havan yardımıyla toz haline getirilmiştir. Bitkiden 1 g alınarak 10 ml metanol ve hekzan çözücüleri kullanılarak ayrı ayrı hazırlanmış ve çalkalamalı etüvde (37°C) 72 saat inkübasyona bırakılmıştır. Ekstreyi çıkarmak için Whatman No 1 filtre kağıdı ile süzölmüştür. Çözücüler (metanol ve hekzan), rotary evaporatörde 40-50 °C sıcaklıkta 4 saat boyunca uzaklaştırılmıştır. Bu iki solvent, bitki ekstratlarından maksimum yararlanım için kullanılmış olup etkili bir şekilde özütünün çıkarılması sureti ile kullanılmış olup toksisite yapma özelliği inhibe edilmiştir (Çöteli ve Karataş, 2015). Kurumuş bitki ekstratlarından ana stok elde etmek için, kurumuş petrolere,

bitki ekstraksiyonlarında yaygın olarak kullanılan 10 ml dimetil sülfoksit (DMSO) eklenmiş ve ana stok elde edilmiştir (Dalkilic ark., 2022). DMSO oranı %1'i geçmeyecek şekilde hazırlanmıştır. DMSO, hem polar (su gibi) hem de apolar (hidrokarbonlar gibi) çözücülerle çözünebilir geniş bir çözücü yelpazesine sahiptir; su ile çözünebilir ve aynı zamanda polar çözücülerle hidrojen bağları kurabilirken, apolar çözücülerle Van der Waals kuvvetleri gibi zayıf etkileşimlere girebilir. DMSO'nun bu özelliklerinden dolayı ana stok hazırlamada tercih edilmiştir (Dalkilic ark., 2023). Daha sonra dört farklı (125, 250, 500, 1000 µg/ml) konsantrasyon hazırlanıp +4 °C 'de muhafaza edilmiştir. Sonrasında ana stok ve konsantrasyonlar üç kez tekrar edilerek taze olarak kullanılmıştır. **Şekil 1**'de gösterildiği üzere deneyin genel tasarımı, *T. reticulatus* bitkisi üzerinde uygulanan yöntemleri göstermiştir.



Şekil 1. Deney akış şeması

2.2.2. Antimikrobiyal Aktivite

T. reticulatus'un antimikrobiyal aktivite testleri agar kuyu difüzyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bakteri suşları deneyden önce Nutrient Broth (Biolife Lot: HE2602) ve Müeller Hinton Agar'a (Merck Lot: VM779137), mantar suşu Malt Ekstrakt Broth' a (Difco-Biolife Lot:HE2602) aşılanmıştır. *T. reticulatus* antimikrobiyal aktivite için 25, 50, 75 ve 100 mg/ml olacak şekilde DMSO ile konsantrasyon hazırlanmıştır. Steril petrilere 25 ml Müeller-Hinton Agar'a aktarılmış olup katılaşmaya bırakılmıştır. Katılaştıktan sonra agar üzerine yoğunluğu Mc Farland 0.05 olarak belirlenen bakteri süspansiyonundan 100 µl ekilmiş ve drigalski ile yayılmıştır. Cork borer ile kuyucuk açılarak

konsantrasyonlar eklenmiştir. Pozitif kontrol olarak Klindamisin (DA, 2 mcg) antibiyotik diski kullanılmış olup, negatif kontrol olarak da oranı %1'i geçmeyecek şekilde (%1'in altına indirgenmiştir) 100 µL DMSO kullanılmıştır. Bakteri aşılama petripleri 37±0,1°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda, besiyerinde oluşan inhibisyon zonları cetvel yardımıyla mm olarak ölçülmüştür (Dalkilic ark., 2023). Antimikrobiyal deneyleri 6 tekrarlı yapılmış olup güvenilirliği kontrol edilmiştir.

2.2.3. Hücre Kültürü

HepG2 hücre hattı, %10 fetal sıgır serumu (FBS), %1 Penisilin-Streptomisin ve 25 mM L-glutamin içeren DMEM ortamında, MCF7 hücre hattı ise RPMI-1640 ortamında büyütülmüştür. Hücreler 75 cm² flasklarda 37°C'de %5 CO₂ ile kültüre edilmiştir (Dalkilic ark., 2023; Zheng ark., 2019).

2.2.4. Sitotoksik aktivitenin belirlenmesi

MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) testi, hücre canlılığının, proliferasyonunun ve sitotoksitenin değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, canlı hücrelerin aktif mitokondrileri tarafından hücre zarından geçebilen ve hücre içinde elektron kazanarak suyla çözünmeyen, mor renkli formazan kristallerine dönüşen bir tetrazolyum tuzuna dayanmaktadır. Daha sonra, formazan kristalleri uygun çözücülerle çözülerek oluşan renk değişimi spektrofotometrik olarak ölçülmekte ve böylece canlı hücre sayısı belirlenmiştir (Dalkilic ark., 2021; Kadioglu Dalkilic ark., 2023). 75 cm²'lik flasklarda büyütülen her iki hücre hattı flask ortamından çıkarılıp 5 ml steril PBS ile yıkanarak tekrar ortamdan uzaklaştırılmıştır. Ardından flaska 1 ml Tripsin-EDTA (%0,05 trypsin, %0,02 EDTA) eklenmiş ve %5 CO₂'li inkübatörde 2 dakika inkübe edilmiştir. Daha sonra tripsini inaktive etmesi için 5 ml medyum ilave edilmiştir. Hücreler flaskdan çıkarılmış ve falkona aktarılarak 2000 Rpm' de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Elde edilen fazlardan biri olan süpernatant uzaklaştırılmış olup, hücre pelleti RPMI-1640 (%10 FBS, %1 Penisilin-streptomycin) besiyeri ile seyreltilmiştir. 96 kuyucuklu plakalara kuyu başına 5×10³ hücre yoğunluğu olacak şekilde seyreltilmiş, 1 gece boyunca 37°C ve %5 CO₂'li etüvde inkübasyona bırakılmıştır. Bir sonraki gün, besiyeri (RPMI) oda sıcaklığına getirilmiştir. İlk sıra kör (blank), üçüncü sıra da negatif kontrol olarak belirlenerek bu iki sıraya RPMI eklenmiştir. İkinci sıra ise pozitif kontrol olarak belirlenerek 2,5 µg/mL Doksorubisin aktarılmıştır. Diğer kuyulara hazırlanan farklı konsantrasyonlardaki *T. reticulatus* (125, 250, 500 ve 1000 µg/ml) aktarılmıştır. 96'lık kuyunun bulunduğu plate 37°C ve %5 CO₂'li etüvde 72 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. 72 saatlik inkübasyonun bittikten sonra her bir kuyucuğa 10 µL MTT çözeltisi (5 mg/mL) eklenmiş ve hücreler karanlık bir ortamda 37°C'de 4 saat inkübe edilmiştir. Bu inkübasyon süresinden sonra plaka çalkalanmış ve 570 nm dalga boyunda bir mikropilaka okuyucu kullanılarak ELISA (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay) ile ölçülmüştür (Arslan Ateşşahin ark., 2023). Antikanser deneyleri 6 kez tekrar edilmiş olup güvenilirliği kontrol edilmiştir. Sitotoksikite aşağıda gösterilen formüle göre hesaplanmıştır

$$\text{Sitotoksik aktivite (\%)} = \frac{\text{Örnek ABS}}{\text{Kontrol ABS}} \times 100$$

2.2.5. Antioksidan aktivite tayini

T. reticulatus antioksidan özellikleri DPPH (2,2- difenil-1-pikrilhidrazil) serbest radikal süpürme kapasitesi yöntemine göre belirlenmiştir (Cuendet ark., 1997). *T. reticulatus* metanol ve hekzan çözeltileri kullanılarak hazırlanmıştır. *T. reticulatus* ekstraktının stok çözeltisi hazırlandı ve 125, 250, 500, 1000 µg/ml konsantrasyonlarda %0.005 metanolik DPPH çözeltisi kullanılarak seri olarak seyreltilmiş metanol içinde ayrı ayrı çözüldü. Pozitif kontrol olarak 100 µL askorbik asit+ 100 µL DPPH ve negatif kontrol olarak 100 µL DPPH kullanılmıştır. 37±0.1°C'de 30 dakika inkübasyonun ardından absorbans 517 nm dalga boyunda spektrofotometre kullanılarak kaydedilmiştir. Antioksidan deneyleri altı tekrarlı olup, her bir karışım için DPPH radikallerinin temizlenme hızını belirlemek için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Kadioglu Dalkilic ark., 2023).

$$\text{Antioksidan aktivitesi (\%)} = \frac{\text{Kontrol ABS} - \text{Örnek ABS}}{\text{Kontrol ABS}} \times 100$$

2.2.6. İstatistiksel Analiz

Verilerin gruplar arasındaki farklılıklarını değerlendirmek amaçlı ile antikanser deneylerinde One-Way ANOVA testi uygulanmıştır. Analizler (HepG 2 hücre hattında metanol çözücüsü ve MCF-7 hücre hattında ise hekzan ile hazırlanmış) SPSS 22 sürümü ile yapılmış olup değerler p≤0.05 istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Ekstrakt verimliliği

Ekstraktın çıkarılması sırasında yüzde verim hesaplamaları aşağıda verilen formül kullanılarak yapılmış (Kaptaner İğci ve Aytaç, 2020) ve Tablo 1'de gösterildiği gibi herhangi bir verim kaybı yaşanmamıştır.

Verimlilik yüzdesi (w/w) = (kurutulmuş ekstraktın ağırlığı, gr) / (ekstraksiyon işleminden önce ölçülen kuru bitki materyalinin ağırlığı, gr) × 100

Tablo 1. Yüzde verimliliğe ilişkin ekstrakt sonuçları

Ekstrakt	Ekstraksiyondan önce kuru bitki materyalinin ağırlığı (gr)	Kurutulmuş ekstraktın ağırlığı (gr)	Yüzde verimlilik (%)
Hekzan	1	0.06	6
Metanol	1	0.06	6

3.2. Antimikrobiyal Aktivite

Metanol ve hekzan ile hazırlanan *T. reticulatus* ekstraktlarının farklı konsantrasyonları beş mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal aktiviteleri açısından değerlendirilmiş ve bulgular **Tablo 2**'de gösterilmiştir. Son olarak pozitif kontrol olan Klindamisin ile karşılaştırılmıştır. Bu duruma ek olarak belirlenmiş olan DMSO oranı %1'i geçmeyecek şekilde ayarlanarak DMSO'dan kaynaklanabilecek herhangi toksisite yaratmamakla beraber elde edilen sonuçların bitki bazlı olduğu bulgusuna varılmaktadır.

Tablo 2. *T. reticulatus* ekstraktının hekzan ve metanol ekstraktlarının *E. coli*, *S. aureus*, *B. megaterium*, *K. pneumoniae* ve *C. albicans* üzerindeki antibakteriyel etkisi (zon çapları mm).

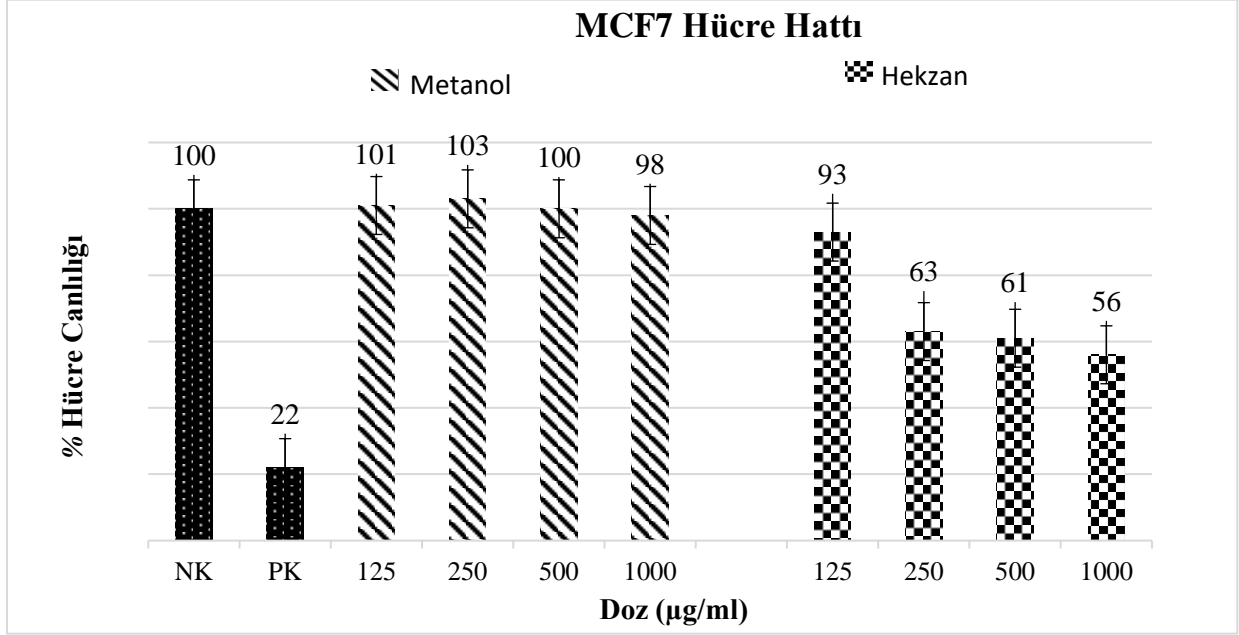
	Konsantrasyon (mg/mL) zon çapı (mm)								
	Hekzan (mg/mL)				Metanol (mg/mL)				Klindamisin
	25	50	75	100	25	50	75	100	2 mcg
Mikroorganizma									
<i>E. coli</i>	10±1	10±1	12±1	12±1	10±0,5	10±0,5	9±0,5	9±0,5	19±0,2
<i>S. aureus</i>	10±1,2	11±0,2	11±0,2	13±1,7	9±2,2	11±0,2	12±0,7	13±1,7	15±3,8
<i>B. megaterium</i>	11±2	12±1	13	16±3	12±0,7	12±0,7	13±0,2	14±1,2	21±2,2
<i>K. pneumoniae</i>	11±0,7	12±0,2	12±0,2	12±0,2	9±0,5	9±0,5	9±0,5	11±1,5	20±1,2
<i>C. albicans</i>	9±1,6	10±0,4	11±0,4	12±1,4	9±2	10±1	12±1	13±2	19±0,2

* Herhangi bir antimikrobiyal etki gözlenmemiştir.

Tablo 2'de *T. reticulatus*'un hekzan ile hazırlanan ekstresinin *E. coli*'ye karşı 75 ve 100 mg/ml'lik konsantrasyonlarında 12 mm inhibisyon zonu oluştururken, 25 ve 50 mg/ml konsantrasyonlarında ise 10 mm çapında bir zon oluşturduğu gözlenmiştir. *S. aureus*'de 25 mg/ml ekstresinin oluşturduğu inhibisyon zon çapı 10 mm iken, 100 mg/ml konsantrasyonda 13 mm zon çapı oluşturduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). *B. megaterium*'a karşı 25 mg/ml'lik konsantrasyonunda 11 mm zon, 100 mg/ml'de ise 16 mm inhibisyon zonu ile antimikrobiyal aktivite gözlemlenmiştir (Tablo 2). *K. pneumoniae*'a karşı 25 mg/ml inhibisyon zonu 11 mm olarak ölçülürken 50, 75 ve 100 mg/ml konsantrasyonlarında 12 mm olarak ölçülmüştür. *C. albicans*'a karşı ise 100 mg/ml konsantrasyonda maksimum inhibisyon zonu 12 mm olarak gözlenmiştir. *T. reticulatus* ekstresinin metanol çözeltisine bakıldığında; *E. coli*'ye karşı 25 ve 50 mg/ml'lik konsantrasyonlarda maksimum inhibisyon zonu 10 mm olarak gözlenmiştir. *S. aureus* bakterisine karşı 100 mg/ml'lik konsantrasyonunda maksimum zon çapını oluştururken, diğer konsantrasyonlarında ise sırasıyla 9, 11, 12 mm zon çapı oluşturduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). *B. megaterium*'a karşı 100 mg/ml'de 14 mm ile en iyi inhibisyon zonunu göstermiştir. *K. pneumoniae*'ya

karşı ise 25, 50 ve 75 mg/ml konsantrasyonlarında inhibisyon zon çapı 9 mm olarak belirlenmiştir. *C. albicans*'ta *T. reticulatus* metanol ekstresinin 25 mg/ml'lik konsantrasyonda 9 mm, 100 mg/ml'lik konsantrasyonda ise; 13 mm inhibisyon zonu oluşturduğu gözlenmiştir (Tablo 2).

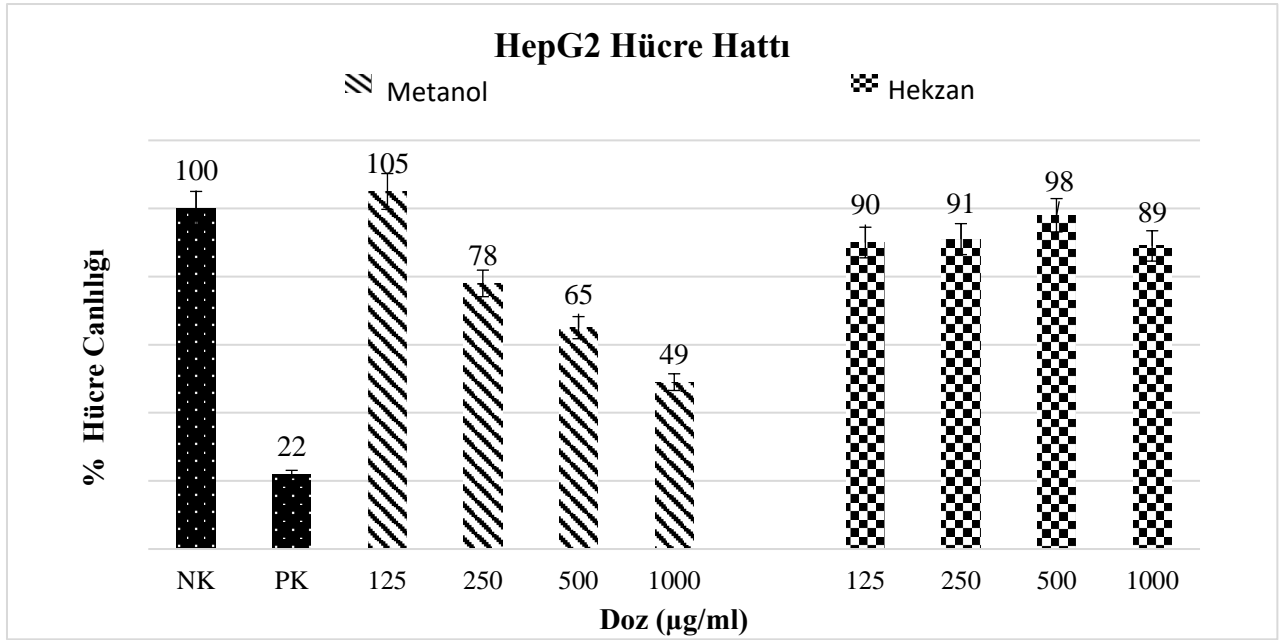
3.3. Sitotoksik Aktivite



Şekil 3. *T. reticulatus*' un MCF7 hücre hattı üzerindeki grafiği

*PK: Pozitif kontrol: 100 µL Doksorubisin, NK: Negatif kontrol 100 µL RPMI. SPSS 22 Programı kullanılarak antikanser verilerinin gruplar arasındaki farklılıklarını değerlendirmek amaçlı One-Way ANOVA testi uygulanmış olup; hekzan ekstresinde $p \leq 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar ortaya koymuştur.

Şekil 3'de görüldüğü üzere, *T. reticulatus* bitkisinde MCF7 hücre hattında en güçlü sitotoksik etki hekzan ekstresinde gözlenmiştir. Hazırlanan ekstrede 1000 µg/ml'de %44 oranında ölü hücre belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında metanol ekstraktına göre hekzan ekstraktının konsantrasyon arttıkça sitotoksik aktivitesinin de arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4. *T. reticulatus*' un HepG2 hücre hattı üzerindeki etkisi

*PK: Pozitif kontrol: 100 µL Dokсорubisin, NK: Negatif kontrol 100 µL RPMI. SPSS 22 Programı kullanılarak antikanser verilerinin gruplar arasındaki farklılıklarını değerlendirmek amaçlı One-Way ANOVA testi uygulanmış olup; metanol ekstresinde $p \leq 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar ortaya koymuştur.

Şekil 4'de, *T. reticulatus* bitkisinde HepG2 hücre hattında en güçlü sitotoksik etki metanol ekstresinde gözlenmiştir. Hazırlanan ekstrede 1000 µg/ml konsantrasyonda %51 oranında hücre ölümü belirlenmiştir. Genel itibarı ile iki hücre hattı üzerinde de etki göstermiş olsa da MCF7'de hekzan ekstresinde gözlenirken HepG2 hücre hattında ise metanol ekstresinde gözlenmiştir.

T. reticulatus ekstraktlarının sitotoksik aktivite sonuçları, dört farklı konsantrasyon (1000, 500, 250, 125 µg/mL) için yarı maksimum inhibitör konsantrasyon (IC_{50}) değeri hesaplanarak elde edilmiştir. Düşük IC_{50} değeri yüksek toksisiteyi, yüksek IC_{50} değeri ise düşük toksisiteyi göstermektedir. IC_{50} değerleri her iki hücre hattı ve iki ekstrakt için hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, hekzan ekstresi HepG2 hücre hattında 272.3468 µg/mL ile en yüksek sitotoksik etkiyi göstermiştir.

Tablo 3. *T. reticulatus*' un Hücre Hatları Üzerindeki Sitotoksik Aktivitelerinin IC_{50} Değerleri

	Hekzan	Metanol
MCF7 Hücre Hattı	2453.9 µg/mL	501.7 µg/mL
HepG2 Hücre Hattı	272.3 µg/mL	484.4 µg/mL

3.4. Antioksidan Aktivite

T. reticulatus'un antioksidan aktiviteleri DPPH yöntemi ile değerlendirilmiş ve seri dilüsyon yapılmıştır. Metanol ve hekzan ekstraktlarının 125, 250, 500, 1000 µg/mL konsantrasyonlarına göre hesaplanmış ve IC₅₀ değerleri verilmiştir. Tablo 4'de gösterilen sonuçlara göre *T. reticulatus*'un 1000 µg/mL konsantrasyonda metanol ekstresinde %7, hekzan ekstresinde %19 radikal süpürme kapasitesine sahiptir. Bunun yanı sıra metanol ekstresinin IC₅₀ değeri hekzan ekstresine göre daha iyi antioksidan aktivite gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4. *T. reticulatus*' un DPPH Tablosu

Konsantrasyon	Metanol % DPPH İndirgemesi	Hekzan % DPPH İndirgemesi
125 µg/ml	0,87	2,37
250 µg/ml	1,75	4,75
500 µg/ml	3,5	9,5
1000 µg/ml	7	19
IC ₅₀ değeri	991.08	1484.86

4. Tartışma

T. reticulatus bitkisinin antioksidan, antimikrobiyal ve antikanser özellikleri, günümüz tıbbında önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu bitkinin içinde bulunan biyoaktif bileşenlerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerini anlamak, ileride yeni doğal tedavi yöntemleri ve ilaçlar geliştirme potansiyelini beraberinde getirmektedir. Yapılan son araştırmalar, *T. reticulatus*'un antioksidan, antimikrobiyal ve antikanser özelliklerinin, sağlık alanında önemli bir potansiyeli temsil ettiğini ortaya koymaktadır (Çöteli ve Karataş, 2015).

T. reticulatus'un yapraklarından elde edilen ekstratlar incelenerek antioksidan kapasitesi DPPH yöntemi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere dayanarak, glutatyon içeriği ile A, E ve C gibi vitaminlere odaklanılarak potansiyel besin değeri ve sağlık yararlarına vurgu yapılmıştır (Çöteli ve Karataş, 2015). Bu çalışmada ise, *T. reticulatus*'un antioksidan aktiviteleri DPPH yöntemi ile değerlendirilmiş ve farklı konsantrasyonlardaki metanol ve hekzan ekstratlarının radikal süpürme kapasiteleri belirlenmiştir. Sonuçlar, 1000 µg/mL konsantrasyonda *T. reticulatus*'un metanol ekstresinin %7, hekzan ekstresinin ise %19 radikal süpürme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, metanol ekstresinin IC₅₀ değerinin hekzan ekstresine göre daha düşük olduğu, dolayısıyla daha etkili bir antioksidan aktivite sergilediği belirlenmiştir.

Günümüzde gerçekleştirilen araştırmalara bakıldığında, *T. reticulatus* bitkisi ile ilgili yapılan çalışmaların sadece antioksidan aktivitesinin değerlendirilmesi üzerine olduğu, antimikrobiyal ve antioksidan aktivitelerinin değerlendirilmesi adına herhangi bir çalışmanın bulunmadığı görülmektedir (Çöteli ve Karataş, 2015). Bu bağlamda, *T. reticulatus* bitkisinin antimikrobiyal ve antikanser

aktivitelerinin anlamlı bir şekilde değerlendirilmesi için, *Tragopogon anaticus* ve *Tragopogon buphthalmoides* türleri gibi benzerlik gösteren diğer *Tragopogon* türlerinin incelenmesi önem arz etmektedir (Gültepe ark., 2016). *T. porrifolius* üzerinde yapılan çalışmalar, bu türün hepatoprotektif, antioksidan ve antikanser etkilere sahip olduğunu ortaya koymuştur (Tenkerian ark., 2015). Ayrıca, *T. porrifolius*'un yabancı bitki ekstraktlarının güçlü antikanser aktivite göstermesi, *T. reticulatus*'ta benzer etkilerin potansiyeline işaret etmektedir. Bu sonuca bakıldığında ise günümüzde *T. reticulatus* bitkisinin potansiyel antikanser etkileri bilim dünyasında dikkat çekmektedir. Yapılan bu çalışmada, Metanol ekstraktlarının HepG2 hücre hattında sitotoksik aktivitede öne çıktığı, hekzan ekstraktlarında ise MCF7 hücre hattında daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, *T. reticulatus*'un önemli antikanser özelliklere sahip olabileceğini göstermekte olup, bu bitkinin potansiyel terapötik uygulamalarının daha kapsamlı bir şekilde araştırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Antimikrobiyal aktivite sonuçlarına bakıldığında ise, hekzan ekstraktının *B. megaterium* üzerinde en güçlü inhibitör etki gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak, *C. albicans* ve *E. coli* üzerinde inhibisyon etkisinin gözlemlenmediği belirlenmiştir. Bu bitkinin içeriğindeki biyoaktif bileşenlerin, gelecekte sağlık sektöründe yenilikçi tedavi ve ilaçlar için yeni fırsatlar sunabileceği üzerinde önemle durulmaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, *T. reticulatus* bitkisinin yapraklarından elde edilen ekstraktların antikanser, antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteleri incelenmiştir. Antimikrobiyal aktivite değerlendirmelerinde, *B. megaterium* üzerinde en güçlü inhibitör etki hekzan ekstraktında gözlenirken, *C. albicans* ve *E. coli* üzerinde ise inhibitör etkinin gözlemlenmediği belirlenmiştir. Metanol ekstraktlarının HepG2 hücre hattında sitotoksik aktivitede öne çıktığı, hekzan ekstraktlarında ise MCF7 hücre hattında daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Antioksidan aktivitesinde ise hekzan ekstraktının üstünlüğü gözlemlenmiştir (% DPPH İndirgemesi: Hekzan: 19 µg/ml, Metanol: 7 µg/ml). Elde edilen bulgular, bitkisel ekstraktların kanser tedavisinde adjuvan kullanım potansiyeli taşıdığını gösterirken, bu potansiyelin detaylı in vitro ve in vivo hayvan modellerinde deneylerle daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu kapsamlı çalışmalar, bitki ekstraktlarının kanser tedavisindeki gerçek potansiyelini ve güvenliğini belirleyerek, terapötik uygulamalara bilimsel bir temel sağlayacaktır.

Teşekkür

T. reticulatus'un doğal ortamından toplanmasında yardımcı olan Sayın Nihal Gülaçar'a ve bitkinin taksonomik olarak teşhisini yapan Doç. Dr. Gülten Doğan'a teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan etmektedir.

Kaynakça

- Arslan Atessahin D., Kadioglu Dalkilic L., Özeren Y., Dalkilic S., Cakmak K., Cicek TA. Investigation of cytotoxic, antimicrobial and antioxidant activity of *Echium vulgare* L. seed. *International Journal of Nature and Life Sciences* 2023; 7(2): 129-135.
- Azizi H., Sheidai M., Mozaffarian V., Noormohammadi Z. Molecular (ISSR, cp DNA, ITS) and morphological study of the genus *Tragopogon* L. (Asteraceae). *Genetic Resources and Crop Evolution* 2022; 70: 505-525
- Baykara O. Current therapies and latest developments in cancer treatment. *International Journal of Cancer Research and Prevention* 2015; 8(52): 105-156
- Baykara O. Kanser tedavisinde güncel yaklaşımlar. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi* 2016; 5(3):154-165
- Bicer A. Wild plants consumed as food and medicine in Elazığ and Malatya. *Naturengs* 2022; 3(2): 18-28
- Cuendet M., Hostettmann K., Potterat O., Dyatmiko W. Iridoid glucosides with free radical scavenging properties from *Fagraea blumei*. *Helvetica Chimica Acta* 1997; 80(4): 1144-1152
- Çötelci E., Karataş F. Yemlik (*Tragopogon reticulatus*) bitkisinin yapraklarındaki glutatyon ve vitaminler ile toplam antioksidan kapasitenin araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2015; 5(2): 78-86
- Dalkilic S., Kadioglu Dalkilic L., Kucuktufekci M.C., Atessahin D.A., Celik A., Gulacar O., Cil A. Determination of cytotoxic, apoptotic, necrotic, antimicrobial and antioxidant activities of *Aloe vera* and *Abies cilicia* subsp. *Cilicica*. *International Journal of Plant Based Pharmaceuticals* 2023; 3(2): 165-175
- Dalkilic S., Korkmaz I., Kadioglu Dalkilic L., Akay G., Fidan S. In vitro cytotoxic effects of *Smilax aspera* L. roots on cancer cell lines. *Food Bioscience* 2022; 46: 1-10
- Dalkilic S., Kadioglu Dalkilic L., Inci S., Korkmaz I., Kirbag S. Investigation of cytotoxic effect of black mulberry (*Morus nigra* L.) fruit. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 2021; 20: 54-58.
- Dalkilic S., Kadioglu Dalkilic L., Fidan S., Timurkaan M., Uygur L., Akay G., Korkmaz İ. *Mentha pulegium* extracts showed strong antimicrobial and cytotoxic effects in vitro. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 2023; 26(6): 1291-1304
- Esmeeta A., Adhikary S., Dharshnaa V., Swarnamughi P., Ummul Maqsummiya Z., Banerjee A., Pathak S., Duttaroy A. K. Plant-derived bioactive compounds in colon cancer treatment: An updated review. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 2022; 153: 1-10

- Gencturk N., Ay F., Madenoglu Kivanc M. The relationship between health sciences students' cancer awareness and behavioral styles | Research Square 2023: 1-14
- Gultepe M., Coskuncelebi K., Makbul S., Terzioglu S. Taxonomic notes on *Tragopogon*, and two newly described taxa from Anatolia. *Nordic Journal of Botany* 2016; 34: 529-537
- Kadioglu Dalkilic L., Dalkilic S., Uygur L. Investigation of apoptotic, cytotoxic, and antioxidant effects of *Juglans regia* against MDA-MB-231 and A549 cell lines. *International Journal of Plant Based Pharmaceuticals* 2023; 3: 62-67.
- Kaptaner Igci, B., Aytac Z. An Investigation on the in vitro wound healing activity and phytochemical composition of *Hypericum pseudolaevae* n. sp. growing in Turkey. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences* 2020; 17(6): 610-619.
- Okçu Z., Kaplan B. Doğu Anadolu bölgesinde gıda olarak kullanılan yabancı bitkiler. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 2018; 6: 260-265
- Öğretmen Ö. Y. *Scilla bifolia* L. (Orman Sümbülü) bitki kısımlarının antioksidan aktivitesinin belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences* 2022; 7(1): 9-14
- Piazzesi A., Afsar S. Y., Van Echten-Deckert G. Sphingolipid metabolism in the development and progression of cancer: One cancer's help is another's hindrance. *Molecular Oncology* 2021; 15(12): 3256-3279.
- Sari F., Ucar E. Determination of drying kinetics and color values of *Tragopogon reticulatus* boiss. dried by microwave. *Teknik Meslek Yüksekokulları Akademik Araştırma Dergisi* 2023; 2(1): 51-56
- Shin SA., Moon SY., Kim WY., Paek SM., Park HH., Lee CS. Structure-based classification and anti-cancer effects of plant metabolites. *International Journal of Molecular Sciences* 2018; 19(9): 2651-2684
- Siddiqui AJ., Jahan S., Singh R., Saxena J., Ashraf SA., Khan A., Choudhary RK., Balakrishnan S., Badraoui R., Bardakci F., Adnan M. Plants in anticancer drug discovery: from molecular mechanism to chemoprevention. *BioMed Research International* 2022: 485-503
- Tenkerian C., El-Sibai M., Daher CF., Mroueh M. Hepatoprotective, antioxidant, and anticancer effects of the *tragopogon porrifolius* methanolic extract. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2015: 1-10
- Zheng Y., Fang YC., Li J. PD-L1 expression levels on tumor cells affect their immunosuppressive activity. *Oncology Letters* 2019; 18(5): 5399-5407.



Nanopartiküller, Bitki Aktivatörü ve Bazı Kimyasalların Domates Bitkilerinde Bakteriyele Kanser ve Solgunluk Hastalığının Baskılanması Üzerine Antibakteriyel Etkisi

Omar Hatif ABDULRAZZAQ¹, Benian Pınar AKTEPE², Yeşim AYSAN^{3*}

^{1,3} Cukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, 01330, Adana, Türkiye

² Osmaniye Korkut Ata University, Kadirli Applied Sciences Faculty, Department of Organic Agricultural Management, 80760, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-2258-2430>

²<https://orcid.org/0000-0002-4731-9954>

³<https://orcid.org/0000-0003-2647-5111>

*Sorumlu yazar: aysanys@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 01.12.2023

Kabul tarihi: 11.02.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Nanopartikül

Clavibacter michiganensis subsp.

michiganensis

SPP

DOT

Bakteriyel kanser ve solgunluk hastalığına neden olan *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (*Cmm*) domateste önemli bir patojendir. Bu çalışmada iki farklı metal nanopartikül [nano gümüş (AgNps) ve nano bakır (CuNps)], bitki aktivatörü (ISR-2000), bakır hidroksit ve iki yeni kimyasal bileşiğin [sodyum pentaborate pentahidrat (SPP), disodyum octaborate tetrahidrat (DOT)] hastalık üzerine olan baskılayıcı etkisi araştırılmıştır. Nanopartiküller (AgNps ve CuNps) hariç diğer dört uygulama hastalık çıkışını *in vivo* koşullarda baskılamada başarı göstermiştir. ISR-2000 ve bakır hidroksit uygulamaları domates bitkisinde hastalık çıkışını sırasıyla %78 ve %46 oranında baskılayan en başarılı uygulamalar olarak belirlenmiştir. SPP ve DOT uygulamaları hastalık çıkışını %28 ve %33 oranlarında baskılayan diğer başarılı uygulamalar olmakla birlikte domates yapraklarında fitotoksik etki göstermiştir. Bu nedenle SPP ve DOT içerikli kimyasallar, pestisitlerin aktif maddelerine eklenerek pestisitlerin etkisi artırılabilir ancak daha detaylı araştırmalara ihtiyaç olduğu açıktır. Nanopartiküller (AgNps ve CuNps) *in vitro* denemelerde umut verici antibakteriyel sonuçlar verirken, *in vivo* denemelerde aynı etkiyi göstermemiştir. Bu sonuçlar bitki aktivatörlerinin bakteriyel enfeksiyonu baskılamada en başarılı uygulama olduğunu göstermektedir. Bu uygulamalar özellikle kimyasallara direnç geliştirmiş patojenlere karşı alternatif, çevreye dost uygulamalar olarak büyük önem taşımaktadır.

Antibacterial Effect of Nanoparticles, Plant Activator and Some Chemicals on Suppression of Bacterial Cancer and Wilt Disease in Tomatoes

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 01.12.2023

Accepted: 11.02.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Nanoparticules

Clavibacter michiganensis subsp.

michiganensis

SPP

DOT

Clavibacter michiganensis subsp. *michiganensis* (*Cmm*), causal agent of Bacterial Canker and Wilt Disease are the important pathogens in tomatoes. In this study, the effects of two different nanoparticles [nano silver (AgNps) and nano copper (CuNps)], a plant activator (ISR-2000), copper hydroxide (a commercial fungicide, Kocide 2000) and two new chemical compounds [sodium pentaborate pentahidrat (SPP), disodyum octaborate tetrahidrat (DOT)] were investigated on Suppression of Bacterial Canker and Wilt diseases in tomatoes. Except for nanomaterials (AgNps and CuNps), four other applications were successful in suppressing the disease. ISR-2000 and copper hydroxide applications were determined as the most successful applications by suppressing Bacterial Wilt Disease in tomato plants by 78% and 46%, respectively, and were in the same statistical group. SPP and DOT were the other

successful treatments that suppressed disease emergence by 28% and 33%, but showed phytotoxic effects on tomato leaves. For this reason, chemicals containing SPP and DOT can be added to the active ingredients of pesticides to increase the effect of pesticides, but more detailed research is needed. While nanoparticles (AgNps and CuNps) gave promising antibacterial results in *in vitro* trials, they could not show the same effect in *in vivo* trials. Nanoparticles were evaluated as unsuccessful because they were statistically in the same group as the positive control. These results show that plant activators are the most successful application in suppressing bacterial infection. These applications are of great importance as alternative, environmentally friendly applications, especially against pathogens that have developed resistance to chemicals.

To Cite: Abdulrazzaq OH., Aktepe BP., Aysan Y. Nanopartiküller, Bitki Aktivatörü ve Bazı Kimyasalların Domates Bitkilerinde Bakteriyel Kanser ve Solgunluk Hastalığının Baskılanması Üzerine Antibakteriyel Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1526-1539.

1. Giriş

Clavibacter michiganensis subsp. *michiganensis*'in (*Cmm*) ((Smith) Davis et al.) (EPPO,2022) neden olduğu Bakteriyel Solgunluk ve Kanser Hastalığı domateste (*Solanum lycopersicum*) en tahripkar hastalıklardan biridir (Sen ve ark., 2018). Hastalık ilk kez 1909 yılında Kuzey Amerika'da tanımlanmıştır ve şu anda domates üretiminin tüm alanlarında mevcut olup EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization) bölgesinde oldukça yaygın bir şekilde ortaya çıkmaktadır (EPPO, 2016). Domates üretim alanlarında üreticilerin korkulu rüyası durumunda olan bir iletim demeti hastalığıdır. Patojen bakteri bulaşık tohum ve fidelerle üretim alanına gelmekte, bitkinin tüm yeşil aksamında ve meyvelerinde hastalık belirtileri oluşturarak verimi azaltmaktadır. Patojen; hareketsiz, 20°C ile 30°C arasındaki sıcaklıklarda gelişen gram pozitif bir bakteridir. Bu iletim demeti patojeni bakteri, genellikle köklerden, yaprakta tüylerin kırılması sonucu açılan yaralardan ve yapraktaki doğal açıklıklardan bitkiye giriş yaparak ksileme ilerlemekte ve bitki içinde çoğalmaktadır. Bitkide artan popülasyona bağlı olarak, iletim demetlerinde renk değişimi, yapraklarda solgunluk ve sapta kanser olarak adlandırılan açık yara belirtileri ortaya çıkmaktadır (de León ve ark. 2011; Blank ve ark., 2016). Sistemik bir enfeksiyon sırasında bitkiler ilk başta herhangi bir belirti göstermeyebilir. Patojen yüksek bir seviyeye (10^9 - 10^{10} hücre/ml) ulaştığında belirtiler 6-8 hafta sonra ortaya çıkar (de León ve ark. 2011). Hastalığın ilk aşamalarında suyun yukarıya taşınması engeller ve solgunluk gözlenir (Eichenlaub ve Gartemann 2011). Üretim alanında sekonder yayılmalar sonucu, bakteri yapraklardaki yaralardan giriş yaptığında yaprak yanıklıkları gözlenir. Etkilenen meyvelerde ise belirtiler küçük, hafif kabarık, beyaz kenarlı veya haleli lezyonlar şeklinde ortaya çıkabilir. Bu lezyonların çapı birkaç milimetreye kadar büyüyebilir ve “kuş gözü” olarak bilinen kahverengi, pürüzlü merkezler geliştirebilir. Meyve salkımlarında kalipse yakın birçok lezyon oluşabilir. Kaliks izinin altında damar dokuları ve tohumlara giden dokular koyu sarıdan kahverengiye kadar değişen renklerde olabilir (Ahmad ve ark. 2015; Aysan ve ark., 2019; Mirik ve Altın, 2020).

Bitki hastalıklarına neden olan patojenler, tarımsal üretimde verimliliği olumsuz etkileyerek ekonomik ve çevresel zararlara yol açabilen önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Mahapatra ve ark., 2022). *Cmm*, oluşturduğu ciddi ekonomik tehdit nedeniyle EPPO tarafından karantina organizması olarak

sınıflandırılmıştır (EPPO, 2016). Patojenin yayılması, bulaşık tohumların ve fidelerin kullanımıyla olduğu kadar *Cmm* ile enfekte toprak, alet ve ekipman yoluyla meydana geldiğinden, mücadelede kültürel, biyolojik ve kimyasal uygulamaları kapsayan entegre hastalık yönetimi son derece önemlidir. Hastalık mücadelesinde en etkili uygulamalar olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik tohum uygulamaları, yeşil aksama bakır bileşiklerin püskürtülmesi, üretimin her aşamasında hijyen kurallarına uyulması ve toprak solarizasyonu önerilmektedir (Hausbeck ve ark., 2000; Kasselaki ve ark., 2011; de Le on ve ark., 2008; Werner ve ark., 2002). Bu patojen bakteriyi etkili bir şekilde baskılayan tek bir uygulama maalesef yoktur. Yoğun pestisit kullanımıyla bitkide fitotoksite problemleriyle karşılaşmakta veya patojen kimyasallara direnç geliştirmektedir (de Le on ve ark., 2008). Alınacak tüm önlemler bakteriyel etmenin bitki içerisine girişini önleme veya bitkinin hastalıklara karşı direncini artırma üzerine olmalıdır.

Son yıllarda bitkilerin pek çok patojene karşı savunma mekanizmasını aktive eden bitki aktivatörlerinin, organik/inorganik gübrelerin ve bazı kimyasalların kullanımı üzerine pek çok araştırma yapılmıştır (Soylu ve ark., 2003; Çetinkaya Yıldız ve Aysan, 2014; Karaca ve ark., 2016). Ayrıca bitki patojen bakterilerle bakteriyofaj içerikli biyolojik mücadele araştırmaları da umut verici bir alternatif olarak görülmektedir (Jones ve ark., 2007; Cemen ve ark., 2018). Bunların yanında kimyasalları çok küçük partiküllerde hazırlayarak bitkinin içine daha iyi girişini sağlayan nanoteknolojik yöntemler de kullanılmaya başlanmıştır (Vijayakumar ve ark., 2019). Bitki patolojisi literatüründe henüz yeni incelenmeye başlamış olan çinko, bakır, gümüş gibi birçok metal bazlı nanopartiküller, bitkilerde tohum büyümesini, çimlenmesini ve biyotik stres faktörleriyle mücadelede kullanılmaktadır (Elmer and White, 2018; Shukla ve ark., 2019; Noshad ve ark., 2020; Mishra ve ark., 2020; Şahin et al., 2021; Atiq ve ark., 2022; Méndez-Andrade ve ark., 2022; Soylu ve ark., 2022; Şahin et al., 2022). Nanopartiküller, bir veya daha fazla boyutu 1 ila 100 nm arasında olan bir malzemedir. Bu tanım, nanopartiküller olarak hem sentetik hem de doğal kompozitlerin/malzemelerin geniş bir yelpazesine olanak sağlamıştır. Nanopartiküller, volkanik toz ve okyanus tuzu spreylere de dahil olmak üzere birçok formda doğal olarak oluşur (Frewer ve ark., 2011). Nanopartiküllerin küçük boyutları ve yüzey alanı/hacim oranının büyük olması nedeniyle, küçük moleküllü ilaçlar, DNA, RNA, proteinler ve problemler gibi maddeleri etkili bir şekilde bağlayabilir, entegre edebilir ve emebilirler (Albanese ve ark., 2012).

Bu çalışmada iki farklı metal nanopartikül [nano gümüş (AgNps) ve nano bakır (CuNps)], bitki aktivatörü (ISR-2000), bakır hidroksit ve iki yeni kimyasal bileşiğin [sodyum pentaborate pentahidrat (SPP), disodyum octaborate tetrahidrat (DOT)] *Cmm*'in neden olduğu bakteriyel solgunluk ve kanser hastalığına etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Patojen bakteri: Çalışmada kullanılan *Cmm* izolatu Çukurova Üniversitesi Fitobakteriyoloji laboratuvarı kültür koleksiyonundan temin edilmiştir.

Nanopartiküller, bazı kimyasallar ve bitki aktivatörleri: Çalışmada kullanılan tüm nanopartiküller bitki aktivatörü ve kimyasalların içeriği ve temin edildiği yer Tablo 1'de belirtilmiştir.

Domates fideleri: Saksı çalışmasında kullanılan Tutku F1 çeşidi ticari bir fidelik olan Atlas Fide'den temin edilmiştir.

Tablo 1. Denemelerde kullanılan nanopartiküller, bitki aktivatörü ve bazı kimyasallar

Materyal	Formülasyon	Kaynak
Nano Gümüş (AgNps)	Sıvı	Okhygiene Medikal ve
Nano Bakır (CuNps)	Sıvı	Kimyasal Ürünler
Disodyum Oktaborat Tetrahidrat (DOT)	Toz	Kozmetik San.Tic.Ltd
Sodyum Pentaborat Pentahidrat (SPP)	Granül	
ISR-2000 (855,81 g/l <i>Lactobacillus acidophilus</i> fermente ürünü, Yucca bitki ekstraktı, maya ekstraktı, riboflavin, benzoic acid, nicotinamide ve thiamine)	Sıvı	Improcrop USA
Bakır Hidroksit (%35 Metalik Bakıra Eşdeğer Bakır Hidroksit)	Granül	Corteva Agriscience

2.2. Metot

2.2.1 Nanopartiküllerin, Bazı Kimyasalların, Bitki Aktivatörlerinin ve Patojen Popülasyonlarının Hazırlanması

Tablo 1'de görüldüğü gibi nanopartiküller ve kimyasallar firma beyanına göre belirtilen miktarda 50 ml besi yerine ilave edilmesiyle hazırlanmıştır. ISR-2000 ve bakır hidroksit ticari preparatları firma beyanına göre hazırlanmıştır.

King B besi yerinde 48 saat geliştirilen patojen bakteri izolatları spektrofotometrede 600 nm dalga boyunda 0,2 ölçüm değerinde hazırlanan süspansiyondan seyreltme serisi hazırlanmıştır. Söz konusu konsantrasyonun petrilere koloni sayımı yapılarak patojen popülasyonu 10^8 hücre/ml'ye eşit olduğu belirlenmiş ve çalışmada kullanılmıştır (Çetinkaya Yıldız ve Aysan, 2014; Yigenoglu ve ark., 2017).

2.2.2. Domates Bitkilerinde Patojenite Testi

Uzun yıllar buzlukta saklanan *Cmm* izolatının virülensliğini arttırmak için iki domates bitkisi üzerinde patojenite testi yapılmıştır. Hazırlanan patojen solüsyonu domates bitkisinin gövdesine steril bir şırınga yardımıyla inokule edilmiştir. Enfekteli bitkiler oda sıcaklığında laboratuvarında tutulmuştur. Hastalık belirtileri gözlemlendikten sonra domates fideleri kesilerek iletim demetlerinde enfekteli

kısımdan re-izolasyonlar yapılarak Koch postülatları tamamlanmıştır. Elde edilen virüsent re-izolat çalışmada kullanılmıştır.

2.2.3. Nanopartiküllerin, kimyasalların ve bitki aktivatörünün bakteriyel kanser ve solgunluk hastalığına *in vitro* koşullardaki Minimum İnhibisyon Konsantrasyonun (MİK) belirlenmesi

Nanopartiküller ve kimyasal malzemelerin *in vitro* koşullardaki Minimum İnhibisyon Konsantrasyonun (MİK) belirlenmesine yönelik çalışmalar disk difüzyon yöntemiyle yapılmıştır (Noshad ve ark., 2019). Dört kimyasalın ve patojen için üç konsantrasyon ve üç disk kullanılmıştır. TSA besi yeri içeren petrilere patojen süspansiyondan 100 µl eklenerek drigalski spatülüyle yayılmıştır. Petriler kuruduktan (yaklaşık 3 saat) sonra, 6 mm çapında yuvarlak steril kağıt disk birbirinden eşit uzaklıkta olacak şekilde petrilerin üç ayrı noktasına yerleştirilmiştir. Her bir kimyasal solüsyonundan 10 µl alınıp kağıt disk üzerine damlatılmıştır. Petriler 25°C’de 48 saat inkübe edildikten sonra kağıt disklerin çevresinde oluşan engelleme zonları mm olarak ölçülerek kayıt edilmiştir. İnhibisyon zonu ölçümlerine göre elde edilen verilerle CoStat İstatistik Yazılımında (CoHort Software, Pacific Grove, CA, ABD, Sürüm 6.4) ANOVA istatistik programıyla LSD çoklu karşılaştırma testiyle P<0,05 önem düzeyine göre uygulamalar arasındaki fark saptanmıştır.

2.2.4. Nanopartikül, kimyasal ve bitki aktivatörünün *in vivo* koşullarda bakteriyel kanser ve solgunluk hastalığı çıkışı üzerine etkisi

Nanopartiküllerin, kimyasalların ve bitki aktivatörünün Bakteriyel Kanser ve Solgunluk Hastalığına etkisinin araştırıldığı bu çalışma 08 Kasım 2022-24 Ocak 2023 tarihleri arasında Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü Araştırma ve Uygulama Parseli’nde bulunan ısıtmasız cam serada (27±3°C) yapılmıştır. Denemede kullanılan Tutku F1 çeşidi domates fideleri 4-5 yapraklı dönemde içerisinde toprak bulunan 3kg’lık saksılara şaşırtılmıştır. Çalışma tesadüf blokları deneme desenine göre her uygulama 6 tekrarlı ve her tekrarda 1 bitki olacak şekilde toplam 48 bitki ile deneme kurulmuştur. Denemede kullanılacak nanopartiküller ve kimyasallar MIC’de belirlenen konsantrasyona göre, ISR-2000 ve bakır hidroksit üretici firmanın önerdiği dozda hazırlanmış ve Tablo 2’de belirtilen şekilde uygulanmıştır.

Tablo 2. Nanopartiküllerin, kimyasalların ve bitki aktivatörünün uygulama yöntemi

Uygulama zamanı	Uygulamalar	Uygulama şekli
1.Uygulama	ISR-2000	Fide şaşırtmadan önce 15 dk kök daldırma
1.Uygulamadan 1 gün sonra	ISR-2000	Yeşil aksama püskürtme
1.Uygulamadan 3 gün sonra	Nanopartiküller ve kimyasallar	Yeşil aksama püskürtme
1.Uygulamadan 6 gün sonra	Patojen inokulasyonu (10 ⁸ hücre/ml)	Gövdeye enjeksiyon
1.Uygulamadan 7 gün sonra	Tüm uygulamalar	Yeşil aksama püskürtme
1.Uygulamadan 14 gün sonra	Tüm uygulamalar	Yeşil aksama püskürtme

Hastalık belirtileri, son uygulamadan 21 gün sonra 0-4 skalası (Tablo 3) kullanılarak değerlendirilmiştir (Klement ve ark., 1990). Değerlendirme Hastalık İlerleme Eğrisi Altındaki Alan (AUDPC)'a göre beş günde bir 8 kez yapılmıştır. Elde edilen skala değerleri Tawsend-Heuberger formülünden (% Hastalık şiddeti: $\Sigma(n.v)/V.N \times 100$, n: Skalada belirli bir hastalık derecelerine denk gelen örnek miktarı, v: Skala değeri, V: En yüksek skala değeri, N: Gözlem yapılan toplam örnek sayısı) faydalanılarak hastalık şiddetine dönüştürülmüştür. Uygulamaların hastalık şiddetine % etkisi Abbott formülüne (% etki= (kontrol-uygulama) /kontrol) $\times 100$) göre hesaplanmıştır (Karman, 1971; Zhou ve ark., 2023). Skala değerleri ve AUDPC verileri, CoStat İstatistik Yazılımında (CoHort Software, Pacific Grove, CA, ABD, Sürüm 6.4) varyans analizi (ANOVA) kullanılarak LSD çoklu karşılaştırma testiyle $P < 0.05$ önem düzeyine göre uygulamalar arasındaki farklılık ortaya konulmuştur. AUDPC verileri aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

t: i. gözlemdeki zaman, y_i : i'inci gözlemden hastalık şiddet, n: toplam gözlem sayısı

Tablo 3. Değerlendirmede kullanılan skala

Skala Değeri	Hastalık Belirtisi
0	Hastalık yok
1	Bitkide % 1-25 solgunluk
2	Bitkide % 26-50 solgunluk
3	Bitkide % 51-75 solgunluk
4	Bitkide % 76-100 solgunluk ve bitkinin ölümü

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Domates Bitkilerinde Patojenite Testi

Domates fidelerinde yapılan patojenite testi sonucunda inokülasyondan 10 gün sonra bitkinin yapraklarında ve dallarında solgunluk, iletim demetlerinde kahverengileşme gözlenmiştir. Fideler boydan uzunlamasına steril bistüri yardımıyla kesilerek kahverengileşmiş iletim demetinden patojen bakteri izolasyonu yapılmış ve virülensliği artırılmış bu izolatın saf kültürü elde edilmiştir. King B besisi yerinde sarı renkte gelişen saf kültürlerin KOH testine göre gram pozitif olduğu tespit edilen re-izolatları çalışmada kullanılmak üzere +4 °C'de saklanmıştır.

3.2. Nanopartiküllerin, kimyasalların ve bitki aktivatörünün bakteriyel kanser ve solgunluk hastalığına *in vitro* koşullardaki Minimum İnhibisyon Konsantrasyonunun (MİK) belirlenmesi

AgNps'nin MİK sonucuna göre, *Cmm* 0,02 ppm konsantrasyona sahip gümüş nanopartikülü içeren petride herhangi bir koloni büyümesi göstermemiş ve bu doz minimum inhibisyon konsantrasyonu

olarak kabul edilmiştir. CuNps'nin MİK sonucuna göre, *Cmm* 0,0035 ppm konsantrasyona sahip bakır nanopartikülü içeren petride herhangi bir koloni büyümesi göstermemiştir. Bu nedenle, bu doz minimum inhibisyon konsantrasyonu olarak kabul edilmiştir. DOT'un MİK sonucuna göre, *Cmm* 0,0025 ppm konsantrasyona sahip Disodyum oktaborat tetrahidrat içeren petride herhangi bir koloni büyümesi göstermemiş ve bu doz minimum inhibisyon konsantrasyonu olarak kabul edilmiştir. SPP'nin MİK sonucuna göre, *Cmm* 0,00375 ppm konsantrasyona sahip Sodyum pentaborat pentahidrat içeren petride herhangi bir koloni büyümesi göstermediği için bu doz minimum inhibisyon konsantrasyonu olarak kabul edilmiştir (Tablo 4). Noshad ve arkadaşlarına (2020) göre AgNps ve Cunps, *Cmm* ve farklı bitki patojenik bakterilere karşı benzer şekilde performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Tablo 4. Farklı nanopartikül ve kimyasalların *Cmm*'e karşı minimum inhibisyon konsantrasyonları

Materyal	MİK (ppm)
Nano Gümüş (AgNps)	0,02
Nano Bakır (CuNps)	0,0035
Disodyum Oktaborat Tetrahidrat (DOT)	0,0025
Sodyum Pentaborat Pentahidrat (SPP)	0,00375

3.3. Nanopartikül, kimyasal ve bitki aktivatörünün in vivo koşullarda bakteriyel kanser ve solgunluk hastalığı çıkışı üzerine etkisi

Tablo 5'teki verilere göre sadece patojenle bulaştırılmış bitkilerdeki hastalık oranı %60 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde nano gümüş ve nano bakır uygulanmış bitkilerde de hastalık oranı %60 ve %66,62 olmuştur. Bu 3 uygulama istatistiksel olarak aynı grupta yer alan başarısız uygulamalar olarak değerlendirilmiştir. Bitkide dayanıklılık mekanizmasını aktive eden ticari bir bitki aktivatörü olan ISR-2000, ticari bir bakırlı preparat (%35 metalik bakır hidroksit) ve 2 yeni kimyasal olan DOT ve SPP hastalığı baskılamada başarılı uygulamalar olarak değerlendirilmiş ve istatistiksel olarak pozitif kontrolden farklı oldukları belirlenmiştir.

En başarılı uygulamanın bir bitki aktivatörü olan ISR-2000 olduğu belirlenmiştir. ISR-2000 uygulanmış bitkilerin %13'ünde hastalık görülmüş ve *Cmm*'in neden olduğu Domateste Bakteriyel Solgunluk Hastalığını baskılama oranı %77,91 olarak tespit edilmiştir. Soykan ve Aysan (2011) tarafından yapılan benzer bir araştırmada, ISR-2000 uygulanmış *Cmm* ile bulaşık bitkilerde hastalığın %62,09 oranında baskıladığını bildirmiştir. Çetinkaya Yıldız ve Aysan (2014), yerel PGPR izolatlarının aynı hastalığı %43 oranında, ISR-2000'in ise %26,1 oranında hastalığı baskıladığını belirtmiştir. Yapılan diğer araştırmalarda ve bu denemede olduğu gibi ISR-2000 adlı ticari bitki aktivatörü *Cmm*'in neden olduğu Domateste Bakteriyel Solgunluk Hastalığını başarıyla engelleyen bir uygulamadır.

Yapılan bu araştırmada, ISR-2000 ile aynı istatistiki grupta yer alan bakır hidroksit uygulaması, bu hastalığı %46 oranında baskılayan bir diğer başarılı uygulama olarak belirlenmiştir. Bastas (2014),

bazı kimyasalların ve bitki aktivatörlerinin *Cmm* üzerindeki etkisini iki domates çeşidi (Newton ve Orient) üzerinde *in vivo* koşullarda araştırdığı çalışmada bakır hidroksitin kontrole göre Newton çeşidinde hastalığı %17, Orient çeşidinde ise hastalığı %12 oranında baskıladığını bildirmiştir. Ashraf ve ark. (2022), farklı kimyasalların *Cmm*'ye karşı antibakteriyel etkilerini *in vitro* ve *in vivo* koşullarda araştırdıkları çalışmada bakır hidroksit uygulanan bitkilerde hastalık şiddetini ortalama %38 oranında baskıladığını tespit etmişlerdir. Bizim deneme bulgularımıza göre bakır hidroksitin Domateste Bakteriyel Solgunluk Hastalığını benzer şekilde baskılaması önceki çalışmaları destekler niteliktedir. DOT ve SPP adlı iki yeni kimyasal, *Cmm*'in neden olduğu Domateste Bakteriyel Solgunluk Hastalığını %32,5 ve %27,5 oranında baskılayarak aynı istatistiki grupta yer alan diğer başarılı bir uygulama olarak belirlenmiştir. Bu kimyasallar yeni üretilmiş olması nedeniyle daha önceden bu hastalığa etkisi ortaya konmamış ve diğer çalışmalarla karşılaştırma olanağı olmamıştır. Ancak bu iki yeni kimyasal olan DOT ve SPP, uygulanmış domates bitkilerinin yapraklarının kenarlarında yanıklıklar gözlenmiş ve DOT ve SPP'nin domates yeşil aksamında fitotoksitete neden olduğu gözlenmiştir. Kimyasalların fitotoksitesi üzerine yapılan bir araştırmada farklı bakırlı bileşiklerin domates yeşil aksamında fitotoksitete neden olduğu rapor edilmiştir (Rajasekaran ve ark., 2016).

Tablo 5. Nanopartiküllerin, kimyasalların ve bitki aktivatörünün *Cmm*'in neden olduğu Bakteriyel Kanser ve Solgunluk Hastalığına etkisi

Uygulama	Skala Değeri ort.	Hastalık Şiddeti (%)	% Etki
ISR-2000	0,53±0,63 d*	13,25	77,91
Bakır Hidroksit	1,29±1,52 d	32,25	46,25
DOT	1,62±1,81 c	40,50	32,50
SPP	1,74±1,95 c	43,50	27,50
AgNps	2,40±2,76 ab	60,00	0
Pozitif kontrol	2,40±2,75 ab	60,00	-
CuNps	2,66±3,04 a	66,62	-11,04

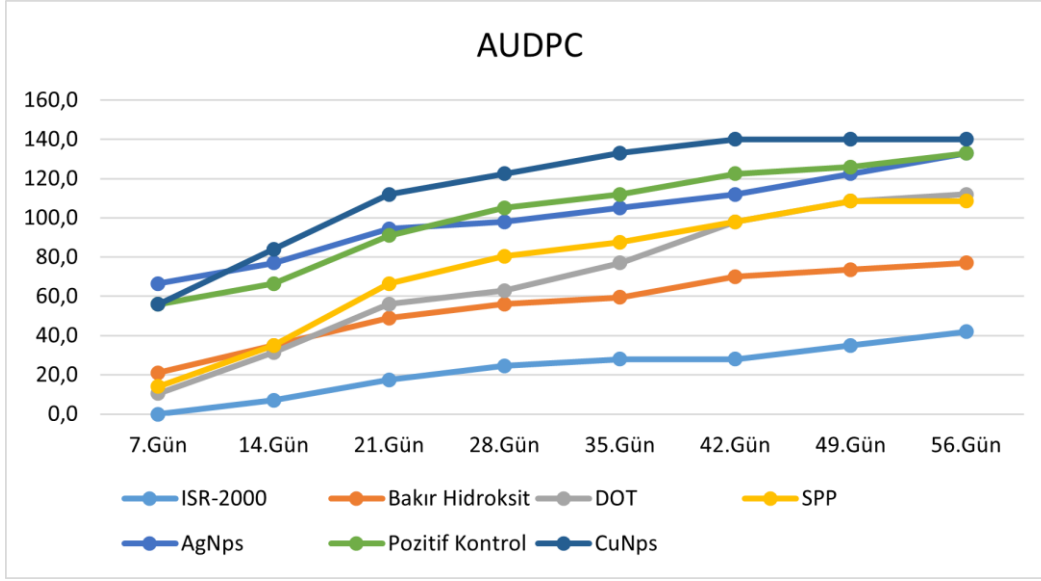
*: Farklı harfi içeren ortalamalar LSD (0.05) testine göre istatistiksel olarak farklıdır

Hastalığın ilk çıktığı yedinci gün de hastalık oranları tespit edilmiş ve bunun dışında yedi kere daha hastalık skalaya göre değerlendirildiğinde hastalığın ilerleme eğrisi belirlenmiştir (Şekil 2). Uygulamalar arasında sekiz hafta boyunca ilerleme eğrisi altında kalan alan (AUDPC) karşılaştırıldığında 7.günde yapılan değerlendirmede pozitif kontrolde AUDPC değeri 56 olarak belirlenmiş ve nano bakırda benzer şekilde aynı değer hesaplanmıştır. Nano gümüşte ise bu değer pozitif kontrolden daha fazla (66,5) olduğu saptanmıştır. Bakır hidroksitte bu değer 21, SPP ve DOT uygulamalarında sırasıyla 14 ve 10 iken ISR-2000 uygulanmış bitkilerde yedinci günde herhangi bir hastalık gözlenmemiştir. Bu değerlendirmeden 7 gün sonra değerlendirildiğinde AUDPC değerleri pozitif kontrolde 66,5, nano gümüş ve bakırda sırasıyla 77 ve 84, SPP ve Bakır hidroksitte 35 iken DOT uygulamasında 31,5 olarak hesaplanmıştır. Başarılı uygulama olan ISR-2000'nin AUDPC

değerinin sadece 7 olduğu belirlenmiştir. 21. ve 28. Gün yapılan değerlendirmede benzer şekilde AUDPC değerlerinde artış gözlenmiştir. Beşinci ve altıncı hafta değerlendirmelerinde ise Bakır Hidroksit, DOT, SPP, AgNps, Pozitif Kontrol ve CuNps'nin AUDPC değerlerinde artış devam ederken ISR-2000 uygulanmış bitkilerde hastalık ilerleyişi durmuştur. Tüm veriler değerlendirildiğinde pozitif kontrolündeki toplam AUDPC değeri 812, Nanopartiküller AgNps ve CuNps'nin uygulandığı bitkilerde hastalık ilerleme düzeyi 808,5 ve 927,5 olarak belirlenmiş ve pozitif kontrol ile aynı istatistiki grupta yer alarak başarısız uygulamalar oldukları bir kez daha tespit edilmişlerdir. İki yeni kimyasal olan DOT ve SPP uygulamalarında hastalık ilerleyişi toplam 556,5 ve 598,5 olarak hesaplanmış ve hastalığı pozitif kontrole göre %31,5 ve %26,3 oranında baskıladığı tespit edilmiştir. Bu iki uygulama pozitif kontrolden farklı olarak aynı istatistiki grupta yer alan başarılı uygulamalardır. Bakır hidroksit uygulaması bakteriyel solgunluk hastalığını %45,7 baskılayarak toplam AUDPC değeri 441 olarak belirlenmiş ve pozitif kontrolden ayrı grupta yer alan başarılı bir diğer uygulama olmuştur. ISR-2000 uygulaması hastalığın ilerleyişini pozitif kontrole ve diğer uygulamalara göre en başarılı şekilde baskılamış (%77,6) ve en düşük AUDPC değeri (182) bu uygulamada belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. *Cmm*'in neden olduğu Bakteriyel Kanser ve Solgunluk Hastalığı'nın 8 hafta boyunca ilerleme düzeyi

	7.Gün	14.Gün	21.Gün	28.Gün	35.Gün	42.Gün	49.Gün	56.Gün	Toplam	%Etki
ISR-2000	0,0	7,0	17,5	24,5	28,0	28,0	35,0	42,0	182,0	a 77,6
Bakır Hidroksit	21,0	35,0	49,0	56,0	59,5	70,0	73,5	77,0	441,0	ab 45,7
DOT	10,5	31,5	56,0	63,0	77,0	98,0	108,5	112,0	556,5	bc 31,5
SPP	14,0	35,0	66,5	80,5	87,5	98,0	108,5	108,5	598,5	bc 26,3
AgNps	66,5	77,0	94,5	98,0	105,0	112,0	122,5	133,0	808,5	cd 0,4
Pozitif Kontrol	56,0	66,5	91,0	105,0	112,0	122,5	126,0	133,0	812,0	cd -
CuNps	56,0	84,0	112,0	122,5	133,0	140,0	140,0	140,0	927,5	d -14,2



Şekil 2. *Cmm*'in neden olduğu Bakteriyel Kanser ve Solgunluk Hastalığı'nın ilerleme eğrisi

Bu sonuçlara göre *Cmm*'in neden olduğu Bakteriyel Kanser ve Solgunluk Hastalığı en başarılı şekilde ISR-2000 uygulaması tarafından baskılanmıştır. ISR-2000 *Lactobacillus* bakterilerini içeren bitkide dayanıklılık mekanizmalarını aktive eden bir bitki aktivatörüdür. Bu hastalığın mücadelesinde yeni nesil bor içerikli kimyasalları, nano partikülleri kullanmak yerine bu hastalığa karşı dayanıklılık mekanizmasını aktive etmenin daha iyi sonuç verdiği yapılan bu çalışmayla ortaya konmuştur. Biyolojik mücadele çalışmaları özellikle çevre dostu olması hedef dışı canlılara olumsuz etkilerinin bulunmaması ve bitkide dayanıklılık mekanizmasını aktive ederek sadece Bakteriyel Solgunluk Hastalığına değil diğer fungal ve viral hastalıklara karşı da dayanıklılığı teşvik ettiğinden öncelikli olarak kullanılması gerektiği bir kez daha bu çalışmayla gösterilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma, nanopartiküllerin (AgNps ve CuNps), bir bitki aktivatörü (ISR-2000), bakır hidroksit adı verilen ticari bir fungusit ve sodyum pentaborat pentahidrat (SPP) ve disodyum oktaborat tetrahidrat (DOT) adlı iki yeni kimyasal bileşiğin *Cmm*'in neden olduğu Domateste Bakteriyel Kanser ve Solgunluk Hastalığını baskılayıcı etkisini ortaya koymuştur. Ayrıca bu uygulamaların sera koşullarında *Cmm* patojeninin domates bitkilerinde neden olduğu hastalık ilerleme eğrisi altındaki alan (AUDPC) üzerindeki etkisini de ortaya koymuştur.

Sera denemelerinin sonucunda bitki aktivatörü ISR-2000, Bakteriyel Solgunluk hastalığını %77,91 oranda baskılayarak en etkili uygulama olmuştur. Bunu hastalığı %46,25 oranda baskılayan bakır hidroksit uygulaması takip etmiştir. Bu sonuç bakırlı preparat olan bakır hidroksitin bakır direnci olmayan alanlarda da başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. İki yeni kimyasal olan DOT ve SPP, hastalığı %32,5 ve %27,5 oranında baskılamış ancak domates yapraklarında fitotoksik etki göstermiştir. Bu nedenle bu kimyasalların pestisitlerde aktif madde olarak kombinasyon şeklinde

kullanımıyla ilgili daha fazla araştırma yapılmalıdır. Bitkilerin doğal savunma sistemini güçlendiren, bitkisel üretimde hastalık etkenleri ve stres koşullarına karşı doğal dayanıklılık sağlayan benzersiz bileşenlere sahip ISR-2000, bu tez çalışmasında en başarılı uygulama olduğu kanıtlanmıştır. Bu tür ürünler, bitkilerin doğal savunma mekanizmalarını harekete geçirerek hastalık etkenlerine ve stres koşullarına karşı daha dayanıklı olmalarına yardımcı olabilmektedir. ISR-2000 veya benzeri bitki aktivatörleri tarım sektöründe mahsul verimini artırmak ve hastalık yönetiminde kimyasal pestisit kullanımını azaltmak için kullanılabilir. Bitkinin gelişme periyodu boyunca kimyasal pestisit kullanımının mümkün olmadığı durumlarda entegre yönetime de dahil edilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma (FDK-2022-14795) Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- Ahmad A., Mbofung GY., Acharya J., Schmidt CL., Robertson AE. Characterization and comparison of *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis* strains recovered from epiphytic and symptomatic infections of maize in Iowa. PLoS One, 2015; 10(11): e0143553.
- Albanese A., Tang PS., Chan CW. The effect of nanoparticle size, shape, and surface chemistry on biological systems. Annual Review of Biomedical Engineering, 2012; 14: 1–16.
- Ashraf M., Atiq M., Rajput NA., Akram A., Fatima T., Ghaffar A., Ramzan S. Determination of antibacterial potency of different chemicals towards bacterial canker of tomato caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. Agricultural Sciences Journal, 2022; 4(2): 63-73.
- Aysan Y., Üstün N., Mirik M., Saygılı H., Şahin F. Domates bakteriyel benek hastalığı, sayfa 159-165. In: Bitki Bakteri Hastalıkları (Ed: Saygılı, H., Aysan, Y., Şahin, F., Soylu, S., Mirik, M.), Toprak Ofset Matbaacılık, Tekirdağ, 2019; 382 sayfa
- Atiq M., Mazhar HMR., Rajput NA., Ahmad U., Hameed A., Lodhi AM., Usman M., Nawaz A., Ammar M., Khalid M. Green Synthesis of silver and copper nanoparticles from leaves of eucalyptus globulus and assessment of its antibacterial potential towards xanthomonas citri Pv. Citri Causing Citrus Canker Applied Ecology and Environmental Research, 2022; 20(3): 2205–13.
- Baştaş K. Effects on tomato bacterial canker of resistance inducers and copper compounds in greenhouse. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 2014; 28(1): 1-10.

- Blank L., Cohen Y., Borenstein M., Shulhani R., Lofthouse M., Sofer M., Shtienberg D. Variables associated with severity of bacterial canker and wilt caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in tomato greenhouses. *Phytopathology*, 2016;106: 254–261.
- Cemen A., Saygili H., Horuz S., Aysan Y. Potential of bacteriophages to control bacterial speck of tomato (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*). *Fresenius Environmental Bulletin*, 2018; 27(12A): 9366-9373.
- Çetinkaya Yıldız R., Aysan Y. Domates bakteriyel solgunluk hastalığının bitki büyüme düzenleyici kök bakterileri ile biyolojik mücadelesi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 2014; 5(1): 9-22.
- Çetinkaya Yıldız R., Belgüzar S., Aysan Y. Domates bakteriyel solgunluk hastalığı. In: Saygılı, H., Aysan Y., Şahin, F., Soylu, S., Mirik M. (ed.) *Bitki Bakteri Hastalıkları: Toprak Ofset*; 2019; 39-48.
- Davis MJ., Gillaspie Jr AG., Vidaver AK., Harris RW. *Clavibacter*: A new genus containing some phytopathogenic coryneform bacteria, including *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* sp. nov., subsp. nov. and *Clavibacter xyli* subsp. *cynodontis* subsp. nov., pathogens that cause ratoon stunting disease of sugarcane and bermudagrass stunting disease. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1984; 34: 107–117.
- de León L., Felipe S., María ML. Ana R. *Clavibacter michiganensis* Subsp. *michiganensis*, a seedborne tomato pathogen: Healthy seeds are still the goal. *Plant Disease* 2011; 95(11): 1328–1339.
- Eichenlaub R.; Gartemann KH. The *Clavibacter michiganensis* subspecies: molecular investigation of gram-positive bacterial plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 2011;49: 445-464.
- EPPO 2016. PM 7/42 (3) *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Bull OEPP/EPPO Bull* 46:202–225.
- EPPO 2022. EPPO Datasheet: *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. <https://gd.eppo.int/taxon/CORBMI/datasheet>. Erişim Tarihi:21.02.2024
- Frewer LJ., Norde W., Fischer A., Kampers F. (Eds.) *Nanotechnology in the agri-food sector: implications for the future*. John Wiley-VCH, Germany, 2011.
- Hausbeck M., Bell J., Medina-Mora C., Podolsky R., Fulbright D. Effect of bactericides on population sizes and spread of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* on tomatoes in the greenhouse and on disease development and crop yield in the field. *Phytopathology*, 2000; 90: 38–44.
- Jones J., Jackson L., Balogh B., Obradovic A., Iriarte F. Momol M. Bacteriophages for plant disease control. *Annual Review of Phytopathology*, 2007; 45: 245–262.
- Karaca K., Belgüzar S., Yanar Y., Karadağ A. Antibacterial effects of disiyanido complex against *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. 27th International Scientific-Expert Congress of Agriculture and Food Industry, 26-28 September 2016, sayfa no:105, Bursa.

- Kasselaki AM., Goumas D., Tamm L., Fuchs J., Cooper J., Leifert C. Effect of alternative strategies for the disinfection of tomato seed infected with bacterial canker (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*). NJAS –Wageningen Journal Life Science, 2011; 58: 145–147.
- Klement Z., Mavridis A., Rudolph K., Vidaver A. Inoculation of plant tissue. In: Klement, Z., Ruholph, K., and Sands, D. C (Edts) Methods in Phytobacteriology, Budapest: Akadémiai Kaidó, 1990;99.
- Mahapatra S., Chakraborty S., Samanta M., Das, S., Islam T. Current understanding and future directions of biocontrol of plant diseases by bacillus spp., with special reference to induced systemic resistance. In Bacilli in Agrobiotechnology: Plant Stress Tolerance, Bioremediation, and Bioprospecting, In: Islam, M.T., Rahman, M., Pandey, P. (eds) Springer International Publishing, 2022; 127-150.
- Mirik M., Altın İ. *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* Bakteriye Kanser In: Mirik M. (ed.) Domates Hastalıkları, Göktuğ Ofset, 2020; 538-543, Ankara.
- Méndez-Andrade R., Moisesm R., Vallejo P., Esperanza L., Gladys D., Luis AG., Ileana V.. Efficacy of biosynthesized silver nanoparticles from *larrea tridentata* against *Clavibacter michiganensis*. Journal of Phytopathology, 2022; 170(2): 91–99.
- Mishra S., Xiaodong Y., Shatrupam R., Leonardom FF., Singh HB. Antibacterial and biofilm inhibition activity of biofabricated silver nanoparticles against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* causing blight disease of rice instigates disease suppression. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2020; 36(4): 1–10.
- Noshad A., Iqbal M., Hetherington C., Wahab H. Biogenic AgNPs—A nano weapon against bacterial canker of tomato (BCT). Advances in Agriculture, 2020; Article ID 9630785.
- Noshad A, Crispin H., Mudassar I. Impact of agnps on seed germination and seedling growth: a focus study on its antibacterial potential against *Clavibacter michiganensis* infection in *Solanum lycopersicum*. Journal of Nanomaterials, 2019; 1-12.
- Rajasekaran P., Kannan H., Das S., Young M., Santra S. Comparative analysis of copper and zinc based agrichemical biocide products: materials characteristics, phytotoxicity and *in vitro* antimicrobial efficacy. AIMS Environmental Science, 2016; 3(3): 439-455.
- Sen Y., Aysan Y., Mirik M., Ozdemir D., Meijer-Dekens F., van der Wolf JM., Visser RGF., van Heusden S. Genetic characterization of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* Population in Turkey. Plant Disease, 2018; 102(2): 300-308.
- Shukla P., Parul C., Kaiser Y., Ovais SQ., Soban AF., Gaurav S. Nanotechnology in sustainable agriculture: studies from seed priming to post-harvest management. Nanotechnology for Environmental Engineering, 2019; 4(1): 1–15.
- Soykan Ö., Aysan Y. Bazı bitki aktivatörleri ile organik ve inorganik gübrelerin domates bakteriye kanser ve solgunluk hastalığına etkisi. Türkiye IV: Bitki Koruma Kongresi Bildirileri, 28-30 Haziran 2011, S:317.

- Soylu S., Baysal Ö., Soylu EM. Induction of disease resistance by the plant activator, acibenzolar-S-methyl (ASM), against bacterial canker (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) in tomato seedlings. *Plant Science*, 2003; 165: 1069-1075.
- Soylu S., Kara M., Türkmen M., Şahin B. Synergistic effect of *Foeniculum vulgare* essential oil on the antibacterial activities of Ag- and Cu-substituted ZnO nanorods (ZnO-NRs) against food, human and plant pathogenic bacterial disease agents. *Inorganic Chemistry Communications*, 2022; 146: 110103.
- Şahin B., Soylu S., Kara M., Türkmen M., Aydın R., Çetin H. Superior antibacterial activity against seed-borne plant bacterial disease agents and enhanced physical properties of novel green synthesized nanostructured ZnO using *Thymbra spicata* plant extract. *Ceramics International*, 2021; 47, 341-350.
- Şahin B., Aydın R., Soylu S., Türkmen M., Kara M., Akkaya A., Çetin H., Ayyıldız E. The effect of *Thymus syriacus* plant extract on the main physical and antibacterial activities of ZnO nanoparticles synthesized by SILAR Method. *Inorganic Chemistry Communications*, 2022; 135: 109088
- Vijayakumar MD., Surendhar GJ., Natrayan L., Pravin P., Bupathi Ram PM., Prabhum P., Seral Y. Evolution and recent scenario of nanotechnology in agriculture and food industries. *Nano-Biopesticides Today and Future Perspectives* 2019; 7(13): 57–67.
- Werner NA., Fulbright DW., Podolsky R., Bell J. Hausbeck, M.K. Limiting populations and spread of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* on seedling tomatoes in the greenhouse. *Plant Disease*, 2002; 86: 535–542.
- Yigenoglu CY., Işık O., Aysan Y., Ak B., Uslu L. Biological control of tomato bacterial wilt and canker disease by *Spirulina platensis*. *Proceedings of the IOBC/WPRS Working Group "Integrated Control in Protected Crops, Temperate Climate, Niagara Falls, Canada, 4-8 June 2017*.
- Zhou H., Li Q. X., Zeng L., Cao C., Zhang T., Zhou Y., He H. Uracil hydrazones: Design, synthesis, antimicrobial activities, and putative mode of action. *Pest Management Science*. 2023; 1-12. <https://doi.org/10.1002/ps.7771>

Pamuk Bitkisi Defoliant Uygulamalarında Bazı Püskürtme Yöntemlerinin Etkinliklerinin Belirlenmesi

Ali BAYAT^{1*}, Mohamud Ali IBRAHİM², Ali BOLAT³

¹Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Faculty of Agriculture, Çukurova University, Adana, Türkiye

²Master of Agricultural Machinery and Technology Engineering, Çukurova University, 01330 Adana, Türkiye

³Department of Field Crop, Faculty of Agriculture, Adiyaman University, Adiyaman, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-7104-9544>

²<https://orcid.org/0000-0002-0178-4316>

³<https://orcid.org/0000-0002-1019-0069>

*Sorumlu yazar: alibayat@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 05.01.2024

Kabul tarihi: 06.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Pamuk defoliant

Hava emişli meme

İkiz jetli meme yelpaze hüzmeli meme

İlaç birikimi

Kaplama oranı

Yaprak dökme oranı

Kolza açma oranı

ÖZ

Bu çalışma, makineli hasat öncesinde pamuk bitkilerine uygulanan yaprak dökücülerin kaplama oranı ve kalıntı miktarı üzerinde, farklı meme konumlarının etkilerini belirlemek amacıyla tasarlanmıştır. Araştırma, açık alanda saha denemesi ve laboratuvar analizi olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, iki farklı uygulama hacmi ve üç farklı tip meme ile hasadı yaklaşan pamuk bitkisine standart tarla pülverizetörü ile defoliant uygulanarak sağlanan etkinlik belirlenmiştir. Deneyler, tarla denemeleri ve laboratuvar analizleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Defoliant uygulama oranları 250 L/ha ve 400 L/ha ve püskürtme memeleri (1) Standart yelpaze hüzmeli meme; (TP8006), (2) Hava emişli meme (AI 11002-VS) ve (3) İkiz jetli meme; (AI307003VP) olarak seçilmiştir. Yaklaşık %60 oranında açık kozalı olgun pamuğa bir izleyici (BSF) ve defoliant uygulanmıştır. Pamuk bitkisi üzerinde biriken defoliantı temsilen BSF birikimi ve pamuk bitkisi üzerine püskürtülen damlaların kaplama oranını belirlemek için bitkinin iki yüksekliğinde (Üst bölge, alt bölge) örnekleme yapılmıştır. Püskürtmeden önce ve sonra, pamuk bitkilerinde koza açma ve yaprak oranları hesaplanmış ve BSF birikimini tespit etmek için filtre kağıtları ve kullanılan püskürtme yöntemlerinin kaplama oranını ölçmek için suya duyarlı kağıtlar (WSP) kullanılmıştır. Hedefler üzerindeki izleyici birikimi miktarını saptamak için spektrofotometre kullanılmış ve WSP'deki kaplama oranını ölçmek için bir görüntü işleme bilgisayar programı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında, 250 L/ha uygulama hacminde hava emişli meme (AI 11002-VS), İkiz jetli meme ve Standart yelpaze hüzmeli memeden daha yüksek birikim, kaplama oranı, yaprak dökümü ve koza açılma oranları sağlamıştır. Ayrıca kullanılan yaprak dökücünün bir göstergesi olarak sadece hava emişli memede yaprak alt yüzeyinde daha fazla BSF birikimi sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan defoliant, 250 L/ha uygulama hacminde hava emişli meme ile uygulamadan sonraki 7. ve 12. günlerde koza açma oranı %85 ve yaprak dökme oranı %76 olarak ölçülmüştür.

Performance of Different Spray Nozzles in the Application of Defoliant on Cotton Plants (*Gossypium hirsutum* L.)

Research Article

Article History:

Received: 05.01.2024

Accepted: 06.03.2024

Published online: 16.09.2024

ABSTRACT

This study was designed to determine the effects of different nozzle positions on the coverage rate and residue amount of defoliants applied to cotton plants before machine harvesting. The research was carried out in two phases as field trial in open field and laboratory analysis. In this study, the effectiveness of

Keywords:

Cotton defoliant
Air induction nozzle
Dual pattern nozzle
Standard flat fan nozzle
Coverage rate
Spray deposition

defoliant application to cotton plant that has come to harvest with two different application volumes and three different types of nozzles with a standard field crop sprayer was determined. Application rates were 250 and 400 L/ha and spraying nozzles were: (1) standard flat fan nozzle (TP8006), (2) air induction nozzle (AI 11002-VS) and (3) dual pattern nozzle (AI307003VP). A tracer (BSF) and defoliant were applied to mature cotton with approximately 60% open bolls and samplings for BSF deposition and spray coverage on cotton plant were done at two plant height (upper layer, lower layer) of plant. Before and after spraying, bolls open and leaves rate on cotton plants were calculated and filter papers were used to detect BSF deposition and water sensitive papers (WSP) were used to measure coverage rate of spraying methods used. Spectrofluorophotometer was used to detect the amount of tracer deposition on targets and an image process computer program was used to measure coverage rate on WSP. In analysis conclusions showed that air induction nozzle (AI 11002-VS), achieved better results than the dual pattern and standard flat fan nozzles in terms of higher depositions, coverages and leaf defoliations and boll opening rates. AI nozzles operating at 250 L/ha application rate provide the highest deposition and coverage rate on applications of defoliant, in addition, BSF as an indicator of the defoliant used reached on leaf beneath in merely this spray nozzle. After defoliation boll opening rate was 85% on the 7th and 12th days after spraying and falling rate of leaves was 76% at application rate of 250 L/ha with air induction (AI1102) nozzle.

To Cite: Bayat A., Ibrahim MA., Bolat A. Performance of Different Spray Nozzles in the Application of Defoliant on Cotton Plants (*Gossypium hirsutum* L.. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1540-1552.

1. Introduction

Although the most pressing issue confronting the world's rapidly growing population today is definitely the demand for fibers used for various purposes, particularly textiles, the need for fibers used for various purposes, particularly textiles, is not less than the nutritional requirement. Despite continuous increases in synthetic fiber production, cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants are always first among raw materials used in the world textile industry, because it has unique fiber properties that are unmatched for the industry's and its users' expectations and demands, and it has extraordinary structural properties that can never be imitated by human beings. Cotton's quality parameters, which are so vital, should be high, as should yield. Cotton is an industrial commodity that has major contributions to the textile industry with its fiber, to the oil industry with its seed oil, to the livestock sector with its pulp, and to our export and international commerce, despite giving a wide range of business with its agricultural and industry. Cotton fibers are now employed as raw materials in a wide range of industries, including varied textile, fabric, tulle, diverse garments, yarn, twine, bedding, quilting, and smokeless gunpowder. Furthermore, the potential of using the stems that remain in the field after harvest as particleboard, crude fiber, and fuel should be considered (Denizdurduran, 2008). In addition to these factors, the defoliant type, application volume, and spraying technologies employed in defoliate application all have an impact on the rate of defoliation of cotton plant leaves and the pace of boll opening. Many farmers are unaware of the impact of defoliant application equipment on defoliate efficacy. They generally use their existing field crop sprayer on their farm with the same application volume as regular pesticide applications without altering the nozzles or sprayer.

According to the International Cotton Advisory Committee (ICAC) data, 33.7 million hectares of cotton were produced in the world between 2019 and 2020, with India accounting for 37% of this crop. In

terms of cultivated land, India was followed by the United States, China, Pakistan, and Brazil. In recent years, the expansion of cotton acreage in African countries has resulted in an increase in the amount of cotton produced and their overall contribution to global cotton output. Despite recent increases in acreage, Turkey is placed 11th, after Mali, Benin, and other African peers. However, this does not appear to have harmed their production ability, since they continue to produce more than most of the aforementioned African countries, as seen in Table 1 (Anonymous, 2019).

Table 1. World cotton cultivation areas (1.000 ha)

No	Countries	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
1	India	11.638	10.845	12.235	12.600	12.700
2	America	3.291	3.848	4.492	4.130	4.177
3	China	3.793	3.100	3.350	3.367	3.300
4	Pakistan	2.670	2.496	2.665	2.325	2.631
5	Brazil	1.007	939	1.175	1.618	1.662
6	Uzbekistan	1.272	1.250	1.208	900	900
7	Burkina Faso	631	740	879	646	735
8	Mali	573	656	704	698	782
9	Turkmenistan	534	545	545	534	545
10	Benin	372	418	530	656	700
11	Turkey	440	420	462	520	520
	Other	4.942	4.610	4.950	4.992	5.100
	Total	31.163	29.867	33.195	32.986	33.752

Defoliantes are often administered prior to harvest to cause plant leaf loss. These defoliantes can be hormonal or herbicidal in nature, but both enhance ethylene production in the plant. Increased ethylene promotes abscission around the leaf stem, causing the leaf to fall off the plant (Yang et al., 2003). Hormonal defoliantes cause the plant to produce more ethylene on its own. Herbicidal defoliantes, on the other hand, injure the plant, increasing ethylene production in reaction to the injury (Young et al., 2006). The regrowth inhibitor prevents new growth following defoliation and can improve boll quality, whilst the boll opener promotes boll opening and can boost yield. Defoliant applications are normally carried out at predetermined rates determined by the air temperature at the time of application (Edmisten, 2019). Although supplemental chemicals in harvesting have been employed for more than 40 years, achieving the necessary defoliation remains a challenge. Plant, air, chemical, and application elements, as well as their interactions with one another, confound the results and make the reaction to defoliantes rather inconsistent. Among the critical decisions that the producer must make are the choice of auxiliary chemicals in the harvest and the timing of application. Plants must be physiologically mature and vegetatively dormant before being used. Early defoliation may result in production loss and lower lint quality in young bolls, late treatments result in early harvest and, as a result, fiber losses. Because early

defoliation causes a loss in micronaire and yield quality, defoliation decisions should be made in order to strike a balance between timely harvest and late-season production gains. Before deciding on defoliation, growers will sometimes wait until the bolls on the top of the plant have matured. However, the yield contribution of these bolls is rather minimal (Robertson et al., 2003). Cotton defoliation typically begins in a field when 50-60% of the plants have reached boll opening. Variability in product development, on the other hand, can distinguish this idea. Boll maturation in the near-harvest stage may occur at different times due to the cotton plant's infinite growth (Stewart et al., 2000).

In this study, the defoliant effect (leaf defoliation and boll opening rate), the amount of defoliant deposit on leaves, and the defoliant coverage rate on cotton plants were determined by applying defoliants to cotton plants with two different application volumes and three different spray nozzles.

2. Material and Method

The experiment set was carried out in the experimental field of the Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute, which is located around Karataş area, which administratively comes under Çukurova Region. Karataş is located at 36.566429°N and 35.383986°E latitude and longitude. Karataş is in the southern direction of Adana-Turkey (Figure 1).



Figure 1. Map of field trial area

In the experiment within the scope of the research, it was established separately for each application volume, with three replications in accordance with the divided plots the experimentations were designed as randomized block with split-split plot arranged. The trial area consisted of five blocks and 25 plots (Figure 2). In the experiment within each block consisted of five plots and the size of each one was established as 28 m² (2.8 m * 10.0 m). Cotton planting was carried out by leaving a gap of 5.0 m between the blocks in the experimental area and 0.7 m between the plots within the block.

Three distinct spraying nozzle methods were used in the scope of the study. All approaches were employed with a conventional field crop sprayer. The sprayer had a tank capacity of 600 L, a 50-bar diaphragm pump, a hydraulic agitation system, an adjustable mechanic boom height attachment mechanism, and a folding boom. The nozzle types and sizes employed in the research were: standard flat fan (size 8006) (Figure 3A), air induction (size 11002) (Figure 3B), and dual pattern (size 307003)

(Figure 3C)- (Spraying System Co., Glendale Heights, USA). Each nozzle was set to two different application rates (250 L/ha and 400 L/ha). Table 2 lists the other sprayer operating parameters. Sprayer speed was modified to achieve the same spraying pressure and application rates for different nozzle sizes.

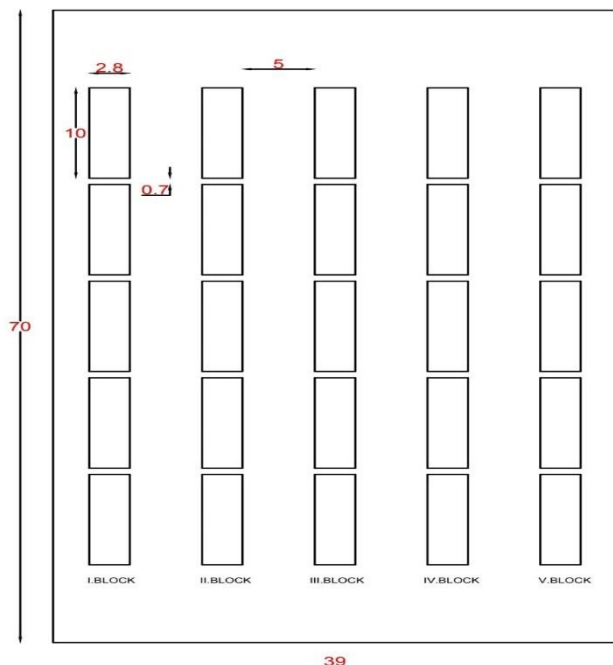


Figure 2. Distribution of experimental plots in the area

Table 2. According to Methods of Field Crop Sprayer Operating Conditions

Spraying method	Operating pressure (bar)	Nozzle flow rate (L/min)	Droplet size class	Forward speed (km/h)	
				250 L/ha	400 L/ha
Standard flat fan nozzle (size TP 8006)	4	2.0	Medium	9.6	6.0
Air induction nozzle (size VS 11002)	4	0.9	Extremely coarse	4.3	2.7
Dual pattern nozzle (size VP 307003)	4	1.3	Coarse	6.2	3.9



Figure 3. Spray nozzle types used in the research: method 1 (M1) – standard flat fan (A), method 2 (M2) – air induction (B), and method 3 (M3) – dual pattern (C).

A RF-6000 brand spectrofluorophotometer was utilized in laboratory analyses, with values taken at 500 nm wavelength. To calculate the amount of trace particles in the pure water BSF dye solution in the jars, spectrofluorophotometer values were transferred to 4.5 mL spectrofluorophotometer cuvettes.

The droplet analyzer is a device that consists of a scanner, deposit scan software, a computer, and a display to control the analyzed image. The droplets were analyzed using a deposit scan digital scale. Each droplet's attributes include the number of spots, maximum diameter, minimum diameter, equal diameter, area, average diameter of each spot, and so on. The software was used to measure.

In order to evaluate the water sensitive papers used in the studies in the Image Tool program, the appropriate scans were made with a Canon Pixma MP280 brand Printer-Scanner.

The data obtained from the spray nozzles were determined for each application volume determined within the scope of the research. Their nozzles flow rate was measured in three repetitions and the average flow rate was determined for each nozzle. The required tractor speeds were determined for the determined liquid amounts and the targeted application volumes. Equation 1 was used to calculate the tractor spraying speeds for targeted application rates to be achieved within the scope of the trial.

$$N = \frac{600*Q}{V*B} \quad (1)$$

Where, N is: - application volume (L/ha), V: - is forward speed (km/h), B: - is the working width of the sprayer boom (m), Q: - is the amount of liquid sprayed from the nozzles (L/min).

In the research, sampling was done on five plants in each plot at two layers of plants (upper and lower layer) on upper and lower surfaces of leaves on the selected each plant. The research was carried out in two stages in each phase of plant development. In the first stage, to detect BSF deposition which was an indicator of defoliant deposition, a solution containing BSF of 0,1-% instead of the real defoliant was sprayed and filter papers were attached to the selected cotton plants to collect the BSF tracer, In the second stage, real application (with defoliant) consisting of Dropp ULTRA plus Finish PRO was applied at the recommended dosages. The volumetric mean diameter of droplets and coverage rate (%) were determined by using water-sensitive papers on the targets just like deposit sampling (Figure 4).

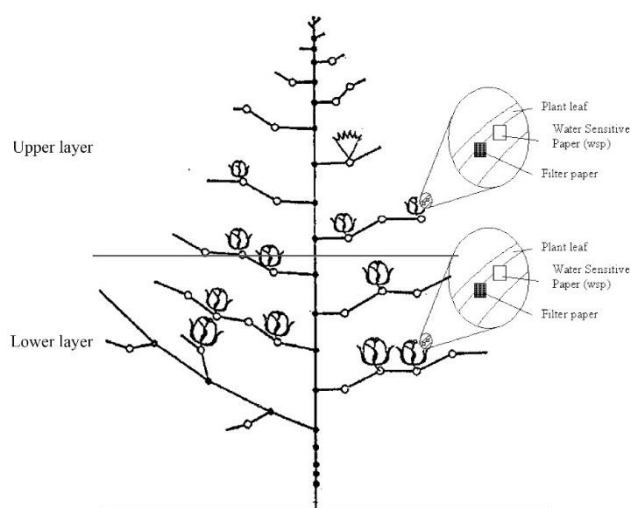


Figure 4. Schematic view of sampling targets on cotton plant

As the plants were not very tall, the sampling was carried out on five plants in each plot and on four leaves of each plant. This meant that randomly selected leaves on the upper and lower surfaces were covered with filter paper and water-sensitive paper. The plants were divided vertically into two zones. In each zone, filter paper and water-sensitive papers were applied to four leaves on both the upper and lower surfaces (Figure 3). The BSF solution was sprayed on each spray method plot after the above test materials had been applied. The WSP papers were cut to a size of 5.0 cm x 2.6 cm and were attached to the sheet with paper clips. The filter papers had a surface area of 10.00 cm² and were circular in shape with a diameter of 4.25 cm. As shown in Figure 3, filter papers and water-sensitive papers were placed in 18 packages at the top and bottom of the left, centre and right sides of the plant. Filter papers (Whatman No. 2) were also placed in six interference areas between three plants to measure drift to the ground. The filter papers and water-sensitive papers were collected 15 minutes after spraying was completed. The filter papers were placed in jars and the water-sensitive papers in envelopes, and the samples were taken to the laboratory for analysis of deposition and coverage.

A solution of methyl alcohol (3.33%) and 50 mL of pure water were poured into the filter paper jars and the same were shaken by hand. Samples were then taken from the jar using standard quartz fluorometer tubes and the amount of BSF was measured using the spectrofluorophotometer (an RF-6000). The mean deposits were calculated by dividing the total deposits on the target surfaces by the number of targets for each plant. To determine the coverage rate, the stains on the water-sensitive papers were scanned using a scanner with a resolution of 600 dpi (Canon Pixma MP280). The images obtained were analysed using ImageJ software version 1.38x to calculate the coverage rate. For the purposes of the analyses, water-sensitive papers that changed completely from yellow to blue were considered to be 100%.

To calculate defoliation and boll opening rates, the following method was used prior to treatment application: Five plants were randomly marked to count the number of leaves on each plant. The number of leaves was counted again 1, 4, 7 and 12 days after spraying on the same marked plants.

The rate of defoliation was calculated according to equation (2).

$$\text{Defoliation rate (\%)} = ((Na - Nb)/Na) * 100\% \quad (2)$$

Where, Na is= number of leaves before treatment, Nb is= number of leaves after treatment.

Boll opening rates were determined for each of the five sample plants. The boll opening rate was calculated using equation (3), where the bolls of each plant were examined and recorded as either open or closed. $\text{Boll opening rate (\%)} = (Nc/Nd) * 100\% \quad (3)$

Where, Nc = number of opened bolls, Nd = number of total bolls.

To determine cotton yield characteristics and fibre quality, 100 cotton bolls were randomly selected from the canopies (upper and lower layers) and collected in each experimental plot. Cotton yield characteristics such as UHML/mm, UI, Mic, Str, Elg, MR and SFI were considered.

The data were evaluated according to the one-way analysis of variance (ANOVA) in the statistical program and the LSD test was used for the difference between the mean values.

3. Results and Discussions

BSF tracer as Defoliant indicator on targeted was used and among of BSF depositions according to selected application rates and spraying nozzles are given the below with subtitles.

BSF Depositions of Standard Flat Fan Nozzle, Air Induction, and Dual Pattern, Nozzles at an Application Rate of 250 L/ha.

The average amounts of tracer material accumulated on the filter papers in the top and bottom layers of the cotton plant are shown in Table 3. The average BSF deposition, i.e. the average of all selected sampling areas of the cotton plants according to upper and lower layers, was highest for M2 (air induction nozzle, 6,08 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), followed by M1 (standard flat fan nozzle, 5,48 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) and M3 (dual pattern nozzle, 4,67 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

After M1 and M3, the highest topcoat deposition result is M2, which is the best topcoat performance. In addition, M2 achieved a better result in the lower layers than both M1 and M3 (Table 3).

Table 3. Deposits ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) in Standard flat fan nozzle, Air induction, and Dual pattern, spraying based on a 250 L/ha Deposit application rate.

Methods	Mean Deposit($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		
	Plant layers		Average. *
	Top	Bottom	
M1	6.43	4.52	5.48 b
M2	7.20	4.95	6.08 a
M3	5.52	3.82	4.67 c
LSD	1.59*		

*: The values shown with the same letters on a vertical column are not significant in the level of $p < 0,05$

Findings of BSF in Standard flat fan nozzle, Air induction, and Dual pattern Spraying at an application rate of 400 L/ha

The Table 4 indicates that the deposit rate provided by all of the methods used was highest on the upper and lower surface of the leaf. It was found that the amount of BSF adhering on the plant, particularly in the air induction nozzle method, was significantly ($3.48 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) adhered to the upper surface of the leaf. According to the experiment's a significant portion of the spray sprayed with the dual pattern nozzle method was adhered to the upper leaf surfaces ($2.97 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), while standard flat fan nozzle methods was adhered to the upper leaf surfaces ($2.97 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). As can be seen from these results, while the majority of the deposit measured on the plant using the air induction nozzle method was adhered to the upper surface of the leaf, a better deposit amount of BSF was obtained on the plant using the air induction nozzle method.

Table 4. Deposits ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) in Standard flat fan nozzle, Air induction, and Dual pattern, spraying at a deposit application rate of 400 L/ha.

Methods	Mean Deposit($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		
	Plant layers		
	Top	Bottom	Average. *
M1	3.63	2.32	2.97 b
M2	4.31	2.65	3.48 a
M3	3.86	2.09	2.97 b
LSD	1.06*		

*: the values shown with the same letters on a vertical column are not significant in the level of $p < 0.05$

Coverage Rates in Standard flat fan nozzle, Air induction, and Dual pattern, Spraying at 250 L/ha application rate

Likewise, the Table 5. illustrates that the air induction nozzle method obtained the highest average coverage (26.9%) in 250 L/ha application volume, followed by the standard flat fan nozzle method, which is statistically the same and in the upper group with a value of 18.6%. The dual pattern nozzle method, on the other hand, was statistically included in a subgroup with a 10.4% average coverage rate. When the average coverage rates obtained in 400 L/ha application volume were examined in the same method, the air induction nozzle method obtained the optimal value with 17.1%.

Table 5. Coverage rate values (%) at 250 L/ha Standard flat fan, Air induction, and Dual pattern nozzle

Methods	Coverage rate (%)		
	Plant layers		
	Top	Bottom	Average. *
M1	25.70	11.51	18.6 b
M2	38.99	14.84	26.9 a
M3	16.65	4.22	10.4 c
LSD	2.90*		

*: the values shown with the same letters on a vertical column are not significant in the level of $p < 0.05$

Coverage Rates in Standard flat fan, Air induction, and Dual pattern nozzle, Spraying at 400 L/ha application rate
 When Table 6 is examined, the standard flat fan nozzle method obtained the highest average coverage rate of 19.7%, followed by the air induction nozzle method, which statistically belongs to the same group with a value of 17,1%. The dual pattern nozzle method, on the other hand, was statistically included in a subgroup with an average coverage rate of 7.5%. It is seen that this value is low in the dual pattern nozzle method both of the upper and lower leaf of the plants.

When the standard flat fan nozzle both upper and lower leaf coverage rate values are considered, it is observed that the highest value is 19.7%. The lowest value in dual pattern nozzle both upper and lower leaf coverage rate is 7.5%. The optimal coverage rate in air induction nozzle is 17,1%. When all coverage rates in a standard flat fan nozzle are considered, it is clear that upper and lower leaf coverage rates are superior.

Table 6. Coverage rate values (%) at 400 L/ha Standard flat fan, Air induction, and Dual pattern nozzle

Methods	Coverage rate (%)		
	Plant layers		
	Top	Bottom	Average. *
M1	21.20	18.13	19.7 a
M2	25.96	8.31	17.1 b
M3	8.50	6.48	7.5 c
LSD	4.94*		

*: the values shown with the same letters on a vertical column are not significant in the level of $p < 0.05$

The efficacy of the defoliant, the total amount of defoliant applied and the different spraying methods had a significant effect on the defoliation efficacy. The analysis of variance between defoliation efficacy and the different defoliant spraying methods in relation to cotton parameters is shown in Table 7. The leaf abscission started four days after the spraying and the application rate had a significant influence on the defoliation efficacy; the defoliation rate of the leaves in the upper layer was more than 76% in all

three spraying methods. The defoliation rate then gradually increased, and after seven and twelve days of spraying, the defoliation rate of the upper layer of leaves was more than 76% for the three different spray nozzles. The defoliation rate was 76% at the application rate of 250 L/ha with the air induction nozzle method, which was significantly higher than the two low spray methods. The defoliation rates were 72%, 76% and 70% for 250 and 400 L/ha, respectively.

Table 7. Defoliation Efficacy

Methods	Days of counting	Leaf (count)		% Defoliation rate
		Before treatment	After treatment	
M1	1.4	185	50	72
M2	7	187	45	76
M3	12	160	48	70

Boll Opening

As shown in Table 8, there was a significant increase in the opening effect of the cotton bolls after spraying with the different spray nozzles. The rate of boll opening was slightly higher with the high rate of application, but there was no significant difference. However, the cotton leaves wilted without falling and the impurity content in the cotton improved with the highest spray rate with the air induction nozzle method.

Table 8. Effect of defoliant application rate on boll opening by different spray nozzles

Methods	Days of counting		Number of total bolls		Boll Opening rate (%)
	Number of bolls opening (Number)		(Number)		
M1	1.4	50	60		83
M2	7	72	84		85
M3	12	70	85		82

Yield Characters and Fiber Quality

The timing of defoliant application has a major impact on cotton yield and quality. However, there have been few studies on the effects of defoliant application rates and spraying methods on cotton yield and quality. The study shows that the application rate of defoliants and the different spraying methods did not have a significant effect on the yield and fibre quality of seed cotton (Table 9). All treatments had similar results for each of these parameters when three different application methods were used.

Table 9. Effect of defoliant different spraying methods on yield characters and fiber quality of cotton sprayed by PTO field crop sprayer

Treatment	UHML/mm	UI/%	Mic	Str/g·tex	Elg/%	MR	SF (%)
M1	27.36 bc	83.8 b	4.72 a	28.4 b	5.9 a	0.87 a	7.9 a
M2	28.70 a	86.7 a	4.75 a	29.2 b	5.9 a	0.87 a	7.2 b
M3	28.44 b	84.8 b	4.76 a	31.3 a	5.0 a	0.88 a	7.6 b

a–c ($p < 0,05$; Duncan’s Test); UHML, Upper half mean length; UI, Uniformity index; Mic, Micronaire; Str, Strength; Elg, Elongation; MR, Maturity; SFI, Short fiber index.

4. Conclusion

The aim of the present study was to investigate the relationships between three different types of nozzles and the spray quality and efficacy of defoliant spraying in cotton using a power take-off (PTO) tractor mounted sprayer.

There are many factors that have an influence on the success of the spray operation. The main criteria used to express the success of the sprayer include the amount of target crop deposited, the area coverage, the uniformity of the target crop deposited, the number of drops per unit area and the drop diameter. The researchers use one or more of these criteria in their studies in order to decide on the quality of the spraying operation.

According to the research results of this study, the highest performance of the nozzles in the standard flat fan and air induction nozzle increased the amount deposited on the crop and increased the upper leaf coverage values. It was found that the increase in spray rate in the dual pattern nozzle method had little effect on the leaf coverage rate and had the effect of reducing the amount of deposition.

The deposition and coverage rate of BSF increased with the spray volume at an application rate of 250 litres per hectare. The deposition and coverage of BSF increased when the spray volume was less than 400 L/ha. Based on the results of the trial, a spray rate of 250 L/ha, combined with cotton defoliation, boll opening, fibre quality and BSF deposition and leaf coverage, is recommended to be used by growers when applying defoliants using air induction nozzles. The results of the study could be used as a basis for further optimisation of the spraying parameters of cotton defoliants.

In this study, it was observed that air induction nozzle provided good underleaf coverage at both high and low chemical application rates (250 L/ha, 400 L/ha), while dual pattern nozzle systems provided poorer underleaf coverage at both low and high chemical application rates (250 L/ha, 400 L/ha).

From the results of this experimental study, it was found that the air induction nozzle followed by the standard flat nozzle gave the best deposition and coverage rate value at both low and high chemical application rates. The best values for the coverage rate in the under leaf spraying were also obtained with the air induction nozzle. It is concluded that this nozzle position is essential for defoliant spraying,

as the penetration of the defoliant to the underside of the plant leaves increases the efficacy of the chemical.

Acknowledgments

I would like to express my heartfelt thanks Prof. Dr. Ali BAYAT, for his unwavering support for the accomplishment of this article.

Besides my supervisor, I would like to thank Assoc. Prof. Dr. Ali BOLAT for his exceptional assistance with this study. This study was carried out in the sprayer laboratory, Department of Agricultural Machinery and Technology, Çukurova University.

References

- Anonymous 2019. International Cotton Advisory Committee (ICAC) [<http://www.icac.org/>], Erişim Tarihi: 30.07.2019.
- Denizdurduran N. Kahramanmaraş koşullarında yaprak döktürücü uygulama zamanlarının pamukta (*G. hirsutum* L.) verim ve kalite özelliklerine etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 2008.
- Edmisten KL., Collins GD. Cotton defoliation. Cotton Information. North Carolina Cooperative Ext. Serv., Raleigh, NC 2019; 153-170.
- Robertson WC., Weatherford B., Benson R. Defoliation timing based on heat units beyond cutout. In Proc. Beltwide Cotton Conference. Ntl. Cotton Council Am., Memphis, TN 2003; 1924-1924.
- Stewart AM., Edmisten KL., Wells R. Boll openers in cotton: effectiveness and environmental influences. Field Crops Res 2000; 67: 83-90.
- Yang C., Greenberg SM., Everitt JH., Sappington TW., Norman JW. Evaluation of cotton defoliation strategies using airborne multispectral imagery. Transactions of the ASAE 2003; 46(3): 869-876.
- Young KM., Clay PA., Taylor EL. Evaluation of contact herbicides as a follow-up defoliation treatment in upland cotton. Cotton: A College of Agriculture and Life Sciences Report 2006.

Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye Geliştirilmesi

Ömer Çağrı YAVUZ^{1*}, Furkan ERKAN²

¹Trabzon Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 61335, Trabzon

²Atatürk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 25240, Erzurum

¹ <https://orcid.org/0000-0002-6655-3754>

² <https://orcid.org/0000-0001-5707-8886>

*Sorumlu yazar: omercagriyavuz@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 20.12.2023

Kabul tarihi: 17.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

El bombası

Fünye

İvmelenme ve şok sensörleri

Mesafe tespit sistemleri

ÖZ

Günümüzde kullanılan el bombaları, çalışma prensibine bağlı olarak kullanıcılar için hayati tehlikeler içermektedir. Bu çalışma kapsamında Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterinde yer alan el bombalarından farklı olarak mesafe kontrollü, infilak optimizasyonu sağlayan Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen sistemle istenmeyen durumlarda bombanın infilak etmesinin önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen sistem, konvansiyonel el bombasının fünyesini ortadan kaldırarak, olumsuz dış etkenlerden (fiziksel, manyetik, termal vb.) etkilenmeyen, mikro saniye tabanlı ark ateşleme yapabilen, kullanıcının atış gücüne bağlı olarak infilak zamanını tayin edebilen, kazara veya hatalı yapılan atışlarda patlamayı iptal edebilen yeni nesil fünye geliştirmeyi kapsamaktadır. Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye ile sunulan hedefler doğrultusunda yüksek başarımla elde edilerek yeni nesil bir el bombası fünyesi ürünü ile tamamlanmıştır. M67 parça tesirli savunma tipi el bombası gövdesine birebir uyum sağlayan yeni nesil fünye ürünü için gerçekleştirilen tüm testlerden başarıyla geçmiş ve Türk Silahlı Kuvvetlerinin mühimmat standartlarına uygun hale gelmek üzere mühimmat konusunda etkin ve yetkin kişi, kurum ve kuruluşlara sunuma hazır halde beklemektedir.

Development of Distance Control and Electronic Firing Supported Fuse

Research Article

Article History:

Received: 20.12.2023

Accepted: 17.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Hand grenade

Fuse

Acceleration and shock sensors

Distance detection systems

ABSTRACT

Current hand grenades used today pose potential life-threatening risks to users based on their operational principles. Within the scope of this study, the aim is to develop a Distance Control and Electronic Ignition Support Fuse that provides explosion optimization unlike the hand grenades present in the inventory of the Turkish Armed Forces. The objective is to prevent unwanted detonation of the bomb through the developed system. This system aims to eliminate the conventional hand grenade's fuse by creating a new-generation detonator that remains unaffected by adverse external factors (physical, magnetic, thermal, etc.). It is capable of microsecond-based arc firing, allows determination of explosion time based on the user's firing strength, and can cancel detonation in cases of accidental or erroneous firing. The development encompasses creating a new-generation detonator with high performance according to the objectives presented by the Distance Control and Electronic Ignition Support Fuse, culminating in a new-generation hand grenade detonator product. The new detonator, which perfectly fits the M67 fragmentation hand grenade body, has successfully passed all tests and is ready for presentation to competent individuals, institutions, and organizations responsible for ammunition.

1. Giriş

Günümüzde kullanılan el bombalarının çalışma prensibi; ateşleme levyesi serbest bırakıldığında, horoz yayının, üzerinde depolanan potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çevirerek horozu çarpma kapağına doğru hareket ettirmesi, çarpma kapağına çarpan horozun, kimyasal geciktiriciyi aktif etmesi, aktif edilen kimyasal geciktiricinin ise patlayıcıyı saniyeye bağımlı bir şekilde infilak ettirmesi şeklindedir (Hogg, 1998). El bombalarına ait bu çalışma prensibi, el bombasının icat edildiği ilk andan itibaren çok minimal ölçülerde teknik iyileştirmelerle geliştirilmiş olmasına rağmen kullanan personel için devam eden hayati tehlikeler içermektedir.

El bombaları, bir patlayıcı madde, bir ateşleyici mekanizma ve bir metal ya da plastik borudan oluşur. Patlayıcı madde olarak, genellikle amonyum nitrat, TNT, C-4 veya diğer benzer patlayıcılar kullanılır. Ateşleyici mekanizma ise, genellikle basit bir fitil veya zaman ayarlı bir cihazdır (Rottman, 2015). Kullanımı sırasında el bombalarının kontrollü patlatılması çok zordur. Bu durum ciddi yaralanmalara ve can kayıplarına yol açmaktadır (Lee ve Chen, 2004).

2000 yılı itibarıyla Çin, İsrail, Almanya ve Hindistan gibi ülkelerin yıllara göre askeri harcamaları önemli ölçüde artış göstermektedir (The World Bank, 2022). Benzer şekilde ülkemizde de askeri harcamaların ve Ar-Ge faaliyetlerine ayrılan bütçenin artış gösterdiği belirtilmektedir (Has ve Çınar, 2022). Ek olarak teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanılan teçhizat ve mühimmatlar da gün geçtikçe gelişme göstermektedir. Örnek olarak geçmişte metal küre içerisine yerleştirilen barutun fitil yardımıyla ateşlenmesiyle elde edilen el bombaları, yerini zırhlı araçlar için bile tehlike oluşturabilen tahrip gücü yüksek Sovyet yapımı RKG-3 anti tank el bombası gibi mühimmatlara bırakmıştır (Harvey, 1993). Fakat bu tür bombalarda kullanılan ateşleme tekniği, askeri alanda kullanılan emniyet fitilinin yanma reaksiyonunun değişen koşullara bağlı oluşu ve çeşitli fiziksel kuvvetlerden olumsuz etkilenmesi sebebiyle büyük bir güvenlik zafiyetine neden olarak ciddi yaralanmalara ve ölümlere yol açmaktadır (Mei ve ark., 2016). 2016-2019 yılları arasında gerçekleşen 267 askeri iş kazasında 162 askeri personel hayatını kaybetmiştir. Bu kazalarda eğitimde yaşanan kazalar ve bomba patlamalarında hayatını kaybeden askeri personelin sayısı yüksektir (Karadağ ve Dayıoğlu, 2022). Bu tür olayların önüne geçilmesi amaçlanarak güvenlik zafiyetinin minimum seviyeye indirilmesine yönelik bir takım önlemler alınması ve bu önlemlerin uygulanması önem arz etmektedir. Bu doğrultuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Örnek bir çalışmada su altı tehditlerine odaklanılarak derinlik aktivasyonu ile güvenli bir ara yüz sunan bir mühimmat geliştirilmiştir. Zaman ve hedef derinlik başta olmak üzere beklenen örüntülerin gerçekleşmesine bağlı olarak ateşleme sağlanmaktadır. Ateşleme sağlanması için mevcut durumda gerekli niteliklerin sağlanması gerekmektedir. Bu durum mühimmat kullanan personelin güvenliği açısından önemli görülmektedir (Soto ve ark., 2009). Başka bir çalışmada güvenlik araçları içeren elektronik bir el bombası geliştirilmiştir. Fırlatılma durumunda cismin hareketi ve ivmesini tespit etmek amacıyla bir ivmeölçer kullanılmıştır. Ayrıca patlama bileşenin kontrolünün sağlanması amacıyla

kontrolör geliştirilmiştir. Geliştirilen ürün temel olarak güç kaynağı, fünye, kontrolör, ivmeölçer ve patlama ünitesinden oluşmaktadır (Henry ve ark., 2017). Bir başka çalışmada da mevcut el bombalarının büyüklüğü, güvenlik zaafiyeti ve patlama sırasında parçaların öldürücülüğü gibi sorunlara odaklanılarak yeni bir model tasarlanmıştır. Bahsedilen sorunlar doğrultusunda mevcut el bombalarından farklı olarak ek bir kilitleme tokası tasarlanmıştır. Tasarlanan modelin doğrulanması amacıyla bir simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Ek olarak bağlantı yapısının güvenliği, kırılma testi ve dağılan parçalar için güvenlik testi yapılmıştır. Çalışma sonucunda bomba ağırlığının yüzde 40'a yakın bir oranda azaltıldığı, güvenli fırlatma imkânı sunulduğu, güvenlik gerekliliklerinin karşılandığı vurgulanmıştır (Yang ve ark., 2020). Yine benzer bir çalışmada uzaktan kontrollü otomatik bir el bombası geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde el bombasının elden çıkmasıyla patlamasını sağlayan buton ve istenen şartların sağlanması durumunda ateşlemeyi sağlayan fünye bulunmaktadır. Ayrıca askeri eğitimlerde sensörler yardımıyla dijital ve fiziksel etkiler üreten bir aktivasyon cihazı bulunmaktadır (Pachpore, 2021).

Çeşitli optimizasyon problemlerini optimize etmek için yeni bir evrimsel algoritma sunmayı amaçlayan başka bir çalışmada da El Bombası Patlama Metodu sunulmuştur. Sunulan yöntem temelde patlama esnasında ortaya saçılan şarapnel parçalarının tahrip ettiği nesnelere odaklanmaktadır. Patlama uzunluğu, şarapnel parçası başına verilen tahribata odaklanılarak el bombalarının atılması için en uygun bölgenin bulunması amaçlanmaktadır. Patlama bölgesinde bulunan nesnenin yok edilmesi, amaç fonksiyonunun uygunluğunu ifade etmektedir (Ahrari ve Atai, 2010).

Bir başka çalışmada savunma sanayiine yönelik kamikaze drone uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen proje silahlı ve silahsız olarak iki farklı şekilde planlanmıştır. Silahsız versiyonda ağırlığın kısıtlı olması sebebiyle daha uzun bir uçuş süresi sunulmaktadır. Silahlı olarak planlanan ikinci versiyonda ise cihaza el bombası yerleştirilerek hedeflerin imha edilmesi amaçlanmaktadır (Sakarya ve Alkan, 2021).

Geliştirilen Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye ile Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterinde yer alan el bombalarından farklı olarak mesafe kontrolü yeteneği ile zenginleştirilmiş, üstün tahrip algoritması ile infilak optimizasyonu sağlanan, yazılım ve donanım desteği ile istenmeyen durumlarda bombanın infilak etmesinin önüne geçilerek güvenliğin sağlanması amaçlanmaktadır. Konvansiyonel bir savunma tipi el bombasında, infilakın gerçekleşebilmesi için personelin öncelikle emniyet pimini çıkartması, ardından bombayı hedeflediği bölgeye fırlatana kadar ateşleme levyesini sıkarak horozun mandaldan çıkmasını engellemesi ve bombayı hedef bölgeye doğru fırlatması ve hemen akabinde siper alması gerekmektedir. Konvansiyonel el bombasının icat edildiği andan günümüze kadar, kalıtsal mirası olan zamana veya darbeye bağımlı çalışma prensibi bulunmaktadır. Bu tertibat yerine olumsuz dış etkenlerden etkilenmeyen, mikro saniye tabanlı ark ateşlemesi yapabilen, kullanıcının atış gücüne bağlı olarak infilak zamanını tayin edebilen, kazara veya hatalı yapılan atışlarda patlamayı iptal edebilen yeni nesil fünye geliştirilmesi amaçlanmıştır.

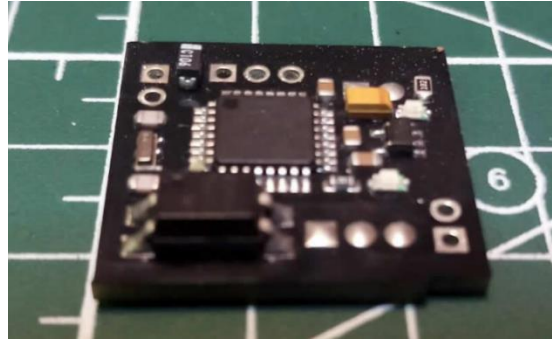
2. Materyal ve Metot

Günümüzde ordu envanterleri incelendiğinde personelin kullanımına sunulan bütün el bombaları; profesyonel orduların kullanıma yönelik olarak 1914 yılında fünyesinin ve gövdesinin yeniden revize edilmesi ve ufak tefek iyileştirmeler yapılması haricinde en büyük gelişmeyi kimya alanında yaşamıştır. Kimya alanındaki bu gelişmeler el bombalarının iki ana materyaline odaklanmıştır. İlki fünyelerin içindeki, fitil olarak adlandırılan ve patlamanın en önemli etkeni olarak kabul edilen zamanlamayı kontrol eden geciktiricidir. Fitiller kimyasal olarak farklı gruplara ayrılrsa da el bombalarında genellikle askeri tür olarak kabul edilen siyah fitiller kullanılmaktadır. Fakat muhteviyatındaki kimyasallar sebebi ile çeşitli ortam ve koşullarda (aşırı nem, düşük/yüksek ısı, aşırı basınç, su altı, yüksek irtifa, aşındırıcı gazlar vb.) kararsızlaşarak istenilenden çok daha farklı ve genellikle olumsuz tepkiler verebilmektedirler. İkinci olarak el bombası ana gövdesi içerisinde muhafaza edilen patlayıcı kimyasal bloktur. Bu kimyasal blok üzerinde yapılan geliştirmeler (duyarsızlaştırma) oldukça başarılı sonuçlar vererek mühimmatın daha istikrarlı ve performanslı kullanılmasını sağlamıştır. El bombaları ile yapılan Araştırma-Geliştirme faaliyetleri büyük oranda patlayıcı kimyasal blok üzerine odaklandığı için geri kalan tertibat üzerinde çok fazla ilerleme kaydedilememiştir. Bu çalışmada günümüzde konvansiyonel el bombalarında kullanılan kimyasal/mekanik çalışma prensibine dayalı fünye tertibatının yerine tamamen elektronik olarak çalışan yeni nesil fünye sistemi geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca bu doğrultuda personelin can güvenliğini tehdit eden kimyasal/mekanik fünyelerin kararsız çalışma prensibinin ortadan kaldırılmasıyla birlikte mühimmatların modernize edilmesi amaçlanmaktadır.

Geliştirilen sistemde fünyesi, yeni nesil fünye ile değiştirilmiş olan el bombasının aktifleştirilmesi için taşıyan personelin sistemin çalışmasını sağlayacak olan butonun koruma kapağını açarak butona basması gerekmektedir. Mevcut sistemin içerisinde bulunan ivme/hareket sensörü, kullanıcının el bombası üzerine uyguladığı harekete bağlı gücü, sistem aktif olduğu andan itibaren 7 saniye boyunca izleyerek ürettiği verileri mikrodenetleyiciye anlık olarak gönderir. Personel bu 7 saniye içerisinde el bombasını önceden belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatmazsa mikrodenetleyici ivme/hareket sensöründen aldığı veri doğrultusunda el bombasının herhangi bir hedefe doğru atılmadığına karar vererek sistemi otomatik olarak kapatır. Personel ilk 7 saniye içerisinde el bombasını önceden belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatırsa mikrodenetleyici ivme/şok sensöründen aldığı veriler doğrultusunda el bombasının fırlatıldığına karar verir ve yeni bir zaman sayacı başlatır. Bu sayaç; herhangi bir insanın el bombası kütesine ve şekline sahip bir cismi, el bombaları için güvenli mesafe olarak kabul edilen 15 metre uzaklığa en az kaç saniyede fırlatabildiği verisi kullanılarak oluşturulan bir geri sayım süresidir. Geliştirilen sistemde bu sayaç; iptal sayacı olarak isimlendirilmiştir. Mikrodenetleyici el bombası fırlatıldığında iptal sayacını devreye sokar. Eğer iptal sayacı geri sayımını bitirmeden el bombası hedeflenen bölge yerine herhangi katı bir cisme (duvar, ağaç vb.) çarparak yön değiştirirse veya olası bir senaryoda personel el bombasını elinden düşürürse ivme/şok sensörü tarafından el bombasının ivmesindeki bu değişiklik mikrodenetleyiciye iletilir, mikrodenetleyicinin sistemi kapatması sağlanır. Personel ilk 7 saniye içerisinde el bombasını önceden

belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatırsa mikrodenetleyici ivme/şok sensöründen aldığı veriler doğrultusunda el bombasının fırlatıldığına karar verir ve iptal sayacını başlatır. El bombası, iptal sayacının geri sayımını bitirdiği durumda herhangi istenmeyen bir nesneye çarpmadıysa mikrodenetleyici bu sefer infilak moduna geçer ve bombanın hedeflenen bölgeye (veya yakınına) çarpma anında ivme/şok sensörünün el bombasının ivmesindeki bu değişimi algılamasıyla gönderdiği veriyi işleyerek nihai varış noktasına geldiği belirlenerek ateşleme modülünü aktif hale getirilir ve el bombasının patlaması sağlanır. Bahsedilen sistemin geliştirilmesinde 17 temel materyal kullanılmıştır. Bu materyaller ve her bir bileşenin sistem içerisindeki görevi aşağıda sunulmuştur.

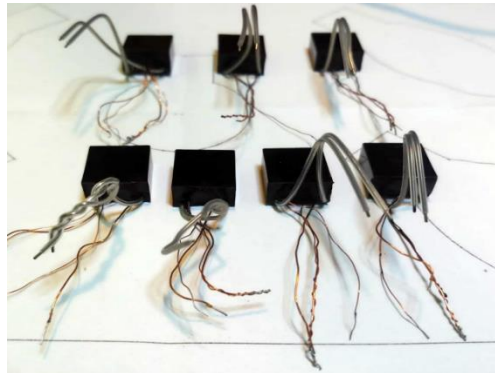
Ana Devre Kartı: İvme/şok algılama sensörü kontrol devre kartını ve ateşleme modülü kontrol devre kartını yöneten mikrodenetleyici, güç regülatörlerini, elektronik aktif/pasif filtre bileşenlerini, ikiz akım mosfetlerini, bildirim ışığı bileşenlerini, bildirim sesi bileşenini ve mikrodenetleyici bataryasını ihtiva eden ana devre kartıdır. Çalışmada kullanılan devre kartı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ana devre kartı

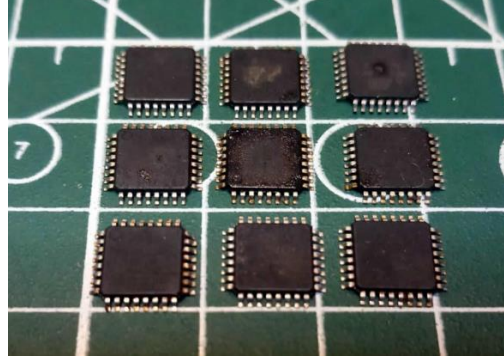
İvme/Şok Algılama Sensörü Kontrol Devre Kartı: İvme/Şok algılama sensörünü ve sensörün sağlıklı çalışması için ihtiyaç duyduğu aktif/pasif bileşenleri ihtiva eden devre kartıdır.

Ark Ateşleme Modülü Kontrol Devre Kartı: Ark ateşleme modülünün sağlıklı çalışabilmesi için, pasif elektronik bileşenleri ve ark ateşleme bataryasını ihtiva eden devre kartıdır. Çalışmada kullanılan modüller Şekil 2’de verilmiştir.



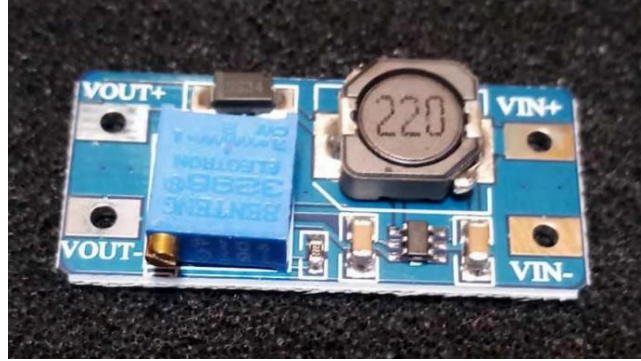
Şekil 2. Ark ateşleme modülleri

Mikrodenetleyici: Sistemin sağlıklı ve senkronize çalışabilmesini sağlayabilmek amacıyla, içerisinde sisteme özel olarak üretilmiş ve test edilmiş gömülü sistem yazılımını ihtiva eden ve sisteme bağlı tüm modülleri kontrol eden ana işlem bileşenidir. Bu bileşen Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Mikrodenetleyici bileşeni

Güç Regülatörleri: Şekil 4’te sunulan fûnye sistemine bağlı tüm aktif bileşenlere stabil enerji gönderilmesinden sorumlu güç düzenleyici bileşenlerdir. Sistem 3.7 ve 5 volt olmak üzere iki farklı doğru akım değeri ile çalışmaktadır.



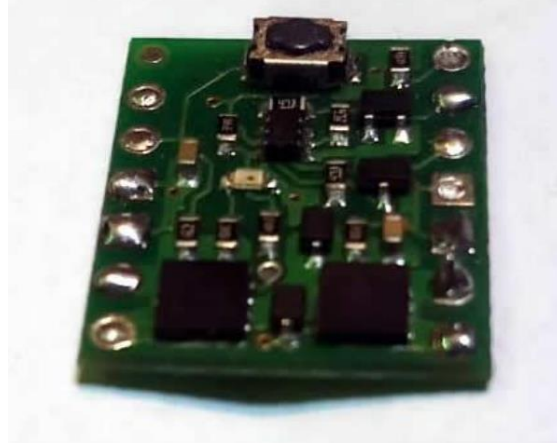
Şekil 4. Güç regülatör bileşeni

Elektronik Aktif/Pasif Filtre Bileşenleri: Mikrodenetleyicinin, ivme/şok sensörünün ve ark ateşleme kontrol ünitesinin sağlıklı çalışabilmesini sağlayan bant geçiren ve bant durduran filtre devresinin ana bileşenleridir.

Statik Elektrik İzolatör Bileşenleri: Ark ateşleme modülünün çalışması sırasında sensör ve ana kontrol devresinin kilitlenmesini veya kontrol dışı yeniden başlatılmasını (Resetleme) engelleyen elektronik yalıtım bileşenidir.

Ark Ateşleme Modülü: El bombasının ihtiva ettiği patlayıcı bloğunun infilakını sağlamakla yükümlü ana bileşendir. Bu bileşen çalışma komutunu Ark Ateşleme kontrol devresinden almaktadır.

İkiz Akım Mosfetleri: P Kanal ve N kanal olmak üzere iki mosfet bileşeninden oluşmaktadır. Fünye sisteminin tek bir buton ile aktif/pasif olmasını ve güç tasarrufu amacıyla yazılım komutu ile donanımsal olarak kendisini kapatmasını sağlayan bileşen Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Mosfet devre kartı

Bildirim Işığ Bileşenleri: Fünye sisteminin aktif/pasif durumda olduğunun tespiti amacıyla kullanılan led bileşenidir.

Bildirim Sesi Bileşeni: Fünye sistemi patlayıcı blok olmadan çalıştırılmak istendiğinde infilakın gerçekleşip gerçekleşmediğini kullanıcıya bildiren buzzer bileşenidir.

İvme/Şok Algılama Sensörü: Kullanıcının el bombasını fırlatması anında ve el bombasının hava hariç herhangi bir yüzey ile teması anında oluşan ivmeyi x, y ve z eksenlerinde doğrusal veya açısal olarak ayrı ayrı ölçebilen ana veri sensörüdür.

Ark Ateşleme Modülü Bataryası: Fünye sisteminin elektronik bileşenlerinin ark ateşleme modülünün zararlı etkisinden izolasyonunu sağlamak ve ark ateşleme modülünün çok daha güçlü bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla sadece ark ateşleme kontrol devresine bağlı olan bataryadır. 3.7 volt, 400 mAH ve ½ C değerine sahip olan bu batarya güç regülatör bileşenleri tarafından 5 volt değerine yükseltilmektedir.

Mikrodenetleyici Bataryası: Ana devre kartı ve ivme/şok algılama sensörü kontrol devre kartına güç sağlamak amacıyla sistemde kullanılan süper kapasitör bileşenidir.

M67 Savunma Tipi El Bombası Fünye Kasası: M67 el bombasında standart olarak kullanılan M214 Fünyesi temel alınarak Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye sisteminin muhafaza kasası yeniden tasarlanmış ve üretimi tamamlanmıştır.

M67 Savunma Tipi El Bombası Kasası: Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye sistemini, patlayıcı bloğu ve şarapnel ceplerini ihtiva eden bomba ana gövdesidir. Çalışma kapsamında M67 El bombası modellenerek üretimi gerçekleştirilmiştir.

Açma/Kapatma Butonu: Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye sisteminin aktif veya pasif duruma geçmesini sağlayan butondur.

Geliştirilen sistemde; yeni nesil fünyenin aktif edilmesi için butona basılması gerekir. Sonrasında sistemin içerisinde bulunan ivme/şok sensörü, kullanıcının el bombası üzerine uyguladığı harekete bağlı gücü, sistem aktif olduğu andan itibaren saniye biriminde zamanı yazılımsal olarak ayarlanabilen bir süre boyunca izleyerek ürettiği verileri mikrodenetleyiciye anlık olarak gönderir. Saniye biriminde zamanı yazılımsal olarak ayarlanabilen bu süre içerisinde el bombası, önceden belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatılmazsa mikrodenetleyici ivme/şok sensöründen aldığı veri doğrultusunda sistem otomatik olarak kapatılmaktadır. Ancak el bombasını önceden belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatırsa mikrodenetleyici ivme/şok sensöründen aldığı veriler doğrultusunda saniye temelli yeni bir zaman sayacı başlatır. İptal sayacı olarak isimlendirilen bu sayaç; herhangi bir insanın el bombası kütesine ve şekline sahip bir cisim, el bombaları için güvenli mesafe olarak kabul edilen 30 metre uzaklığa en az kaç saniyede fırlatabildiği verisi kullanılarak oluşturulan bir geri sayım süresidir. El bombası fırlatıldığında iptal sayacı devreye sokulmaktadır. El bombası sayım tamamlanmadan hedeflenen bölge yerine herhangi bir cisme (duvar, ağaç vb.) çarparak yön değiştirirse veya olası bir senaryoda personel el bombasını elinden düşürürse ivme/şok sensörü tarafından el bombasının ivmesindeki bu değişiklik mikrodenetleyiciye iletilmekte ve mikrodenetleyici tarafından sistem kapatılmaktadır. Bu durumdan farklı olarak geri sayım tamamlandığında el bombasının nihai hedefe ulaşmasıyla ark ateşleme modülü aktif hale getirilerek el bombasının patlaması sağlanır.

Geliştirilen sistemin çalışma senaryoları baz alınarak örneklem çalışma grubu olarak M67 el bombası ve M214 fünye türü modelinde kullanılmak üzere ivme/şok sensörleri, mikrodenetleyiciler, regülatör bileşenleri, batarya bileşenleri, ark ateşleme modülü bileşenleri ve üretilen devre kartı bileşenleri tanımlanmıştır. Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye çalışmasında, araştırma deseni olarak nicel araştırma deseni üst başlığıyla tam deneysel ve tek denekli araştırma deseni kullanılmıştır. Veri toplama yöntemi sürekli, araçla (bilgisayar) ve katılarak yapılan gözlemdir. Bu bağlamda prototipi üretilen atışa hazır ürünler rastgele özelliklere sahip atıcılara verilmiş ve prototip ile araç (bilgisayar) arasında kablosuz veri bağlantısı gerçekleştirilerek atıcıya fırlatma komutu verilmiştir. Eylem sonucunda toplanan nicel veriler ürün geliştirme sürecinde kullanılmıştır.

Fünyenin çalışma anından infilak anına veya infilakı iptal ederek kendini kapatma anına kadar olan süreçte ivme/şok sensörü verileri, mikrodenetleyici içerisinde bulunan gömülü sistem yazılımının sağlıklı ve operasyona uygun şekilde çalışmasını sağlayan değişkenlere ait veriler, el bombasının fırlatılma hızı verisi, el bombasının fırlatılma ivmesi verisi, el bombasının havada geçirdiği mili saniye cinsinden zaman verisi, el bombasının atış profili verisi (eğik atış, dik atış, yatay atış vb.), el bombasının hava hariç herhangi bir yüzeye temas anındaki ivme ve zaman verisi, el bombasının aktif durumda olduğu süre boyunca tespit edilen çevresel elektromanyetik alan kuvvet verisi, el bombasının aktif durumda olduğu süre boyunca tespit edilen iç ve dış sıcaklık verisi ve el bombasının aktif durumda olduğu süre boyunca tespit edilen batarya verileri veri analiz sürecinin amacı olarak tanımlanmıştır.

Fünyenin çalışma anından infilak anına veya infilakı iptal ederek kendini kapatma anına kadar olan süreçte amaçlanan verilerin kablosuz olarak elde edilmesini sağlamak amacıyla Bluetooth, Radyo

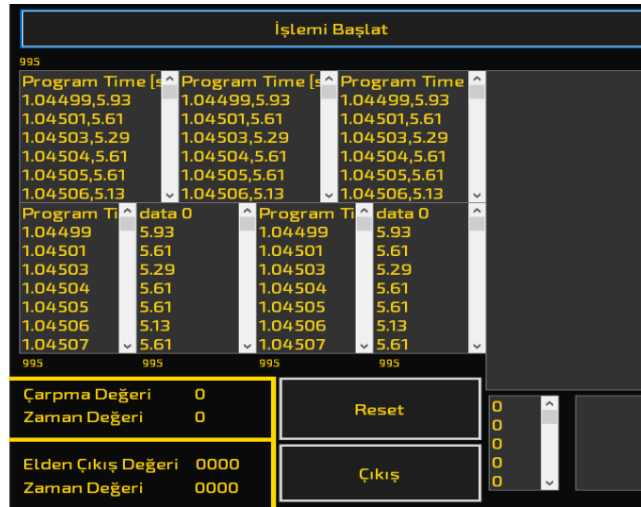
Frekans ve Wi-Fi (Wireless Fidelity) iletişim kanalları ayrı ayrı kullanılmış ve ilgili veriler bilgisayar sisteminde kayıt altına alınmıştır. Amaçlanan verilerin kayıt altına alınması işleminin ardından verilerin değerlendirilme sürecine uygunluğunun tespiti aşamasında proje ekibi tarafından bu konuya özel olarak üretilmiş bir yazılım kullanılmış ve veriler analiz için gerekli temizlenme ve formatlanma sürecine dâhil edilmiştir. Uygunluğu tespit edilen veriler proje ekibi tarafından analiz edilmiş, gömülü sistem algoritmaları ve elektronik tasarım ve değişiklikler, yapılan bu analizler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Yukarıda bahsi geçen ilk dört madde de yapılan işlemler toplam test atış sayısı olan 1075 defa tekrar edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

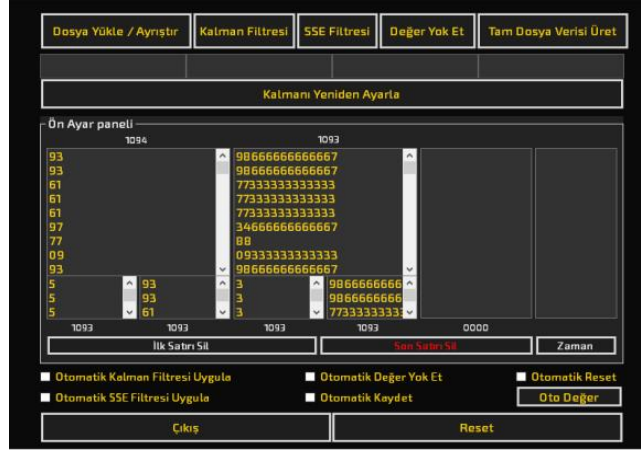
Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünnye projesinde elde edilen veriler, proje ekibi tarafından özel olarak üretilen veri işleme yazılımı tarafından optimize ve analiz edilmiştir. Veri işleme yazılımına ait paneller Şekil 6, 7 ve 8’de verilmiştir.



Şekil 6. Veri işleme yazılımı ana paneli



Şekil 7. Filtre paneli



Şekil 8. Olay tespit paneli

Çalışmanın başlangıcından itibaren geçen altı aylık süreçte analiz edilen veriler, laboratuvar ortamında bulunan ivme/şok sensörü, mikrodenetleyici, regülatör ve ark ateşleme modülünün elektromanyetik girişim (Electromagnetic Interference, EMI) ve elektronik elemanların elektromanyetik uyumluluk (Electromagnetic Compatibility, EMC) seviyelerini kapsamaktadır.

Sonraki altı aylık süreçte mikrodenetleyici ve ark ateşleme modülü bileşeninde, kullanılması planlanan bileşenlerin piyasada stoklarının azalması ve maliyetlerinin artması sebebiyle değişikliğe gidilmiştir. Değiştirilen bileşenlerin tespit ve temin işlemlerinin ardından test süreci tamamlanmıştır. Bu süreçte elektromanyetik girişim (Electromagnetic Interference, EMI), elektronik elemanların elektromanyetik uyumluluk (Electromagnetic Compatibility, EMC), güç üretimi, ark mesafesi, kapasite, senkronizasyon ve stres testleri yapılmıştır. Aynı dönemde projede kullanılması planlanan ivme/şok sensörü bileşeninin performans ve veri istikrar sorunları sebebiyle aynı marka ve model ivme şok sensörünün 10 ve 15G tetik değerli dijital versiyonu tespit ve temin edilmiştir. Temin sürecinde gerek tedarik firması gerek lojistik firması kaynaklı çeşitli engellemeler ile karşılaşılması, ürünün teminini geciktirmiştir. Bu sebeple ilgili sensör yurt içi piyasadan tedarik edilmiştir. İlgili sensör 2023 yılı itibariyle Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından üretilmektedir.

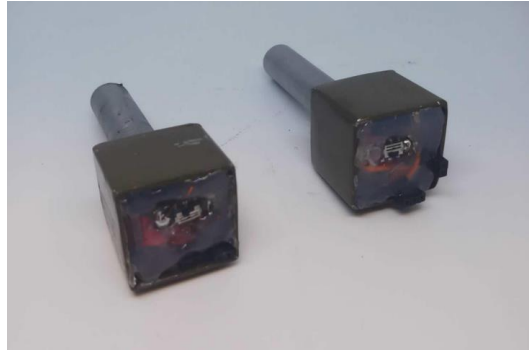
Sistem geliştirme aşamasında ateşleme modülünün planlanan şekilde sisteme dahil edilmesinin ciddi güvenlik sorunlarına sebep olabileceği belirlenmiştir. Bu sebeple ark ateşleme modülünün hem çevresel etkenlerden hem de fünye sisteminden yalıtılmasına yönelik çeşitli girişimler başlatılmıştır. Ayrıca ark ateşleme modülüne enerji sağlayan sistem bataryasının, tüm sistemi çalıştırmak için yeterli olmadığı tespit edilerek sisteme ek bir batarya dahil edilmiştir. Aynı dönemde sipariş edilen 10G ve 15G değerlerine sahip şok sensörlerinin temini tamamlanmış olup ilgili sensörlerin, iç ve dış mekân elektromanyetik girişim (EMI Electromagnetic Interference) ve elektromanyetik uyumluluk (EMCElectromagnetic Compatibility) testleri başarıyla tamamlanmıştır. Temin edilen sensörlerin uygulanan şoku sadece tek yönlü (one-direction) algılamasının sorun teşkil etme potansiyeli gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın başlangıcından itibaren istikrarlı veri üretimi, fiziksel

boyutu ve maliyeti sebebiyle kullanımı tercih edilen sensörlerin, çok eksenli algılama yapabilen aktif türde ve analog çıkışa sahip yeni bir sensör ile değiştirilmesine karar verilmiştir.

Çalışmanın son kısmında ark ateşleme modülünün izolasyon problemi büyük oranda çözülmüş, batarya güç problemi tamamen ortadan kaldırılmış ve alternatif sensör temini tamamlanmıştır. Aynı zaman dilimi içerisinde M67 el bombasının fünye ve gövde imalatı tamamlanmıştır. İmalat sürecinde toplamda 52 tasarım gerçekleştirilmiştir. Yüksek adetli tasarımı tamamlanan M67 el bombası, fiziki olarak hem ergonomi hem de fonksiyon açısından çeşitli test ve geliştirmelere tabi tutulmuştur. Test ve geliştirme sürecinin ardından en uygun fiziki tasarım tespit edilmiş ve üretim süreci standart M67 el bombası gövdesinin geliştirilmesi ile başarıyla tamamlanmıştır. Tamamlanan el bombası Şekil 9’da, testlerde kullanılan örnek füyeler de Şekil 10’da sunulmuştur.



Şekil 9. Üretilen füyenin M67 el bombasına entegre edilmiş hali



Şekil 10. Testlerde kullanılan örnek fünye

Geliştirme sürecinde yeni temin edilen veya değiştirilen elektronik bileşenleri destekleyen yeni bir gömülü sistem yazılımı üretilmiş ve sistem içerisinde bulunan mikrodenetleyici bileşenine entegre edilmiştir.

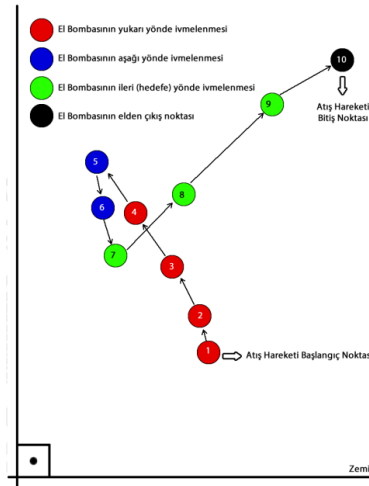
Yeni yazılımın entegrasyonu sonrası bağıl değişkenlerin kalibrasyonuna yönelik test atışları yapılmıştır. Çalışmanın planlama aşamasında ortaya konulan gereksinimler yapılan test atışlarıyla test edilmiş ve yüksek başarımlar sağlanmıştır. Aynı dönem içerisinde “Makine ve Kimya Endüstrisi (MKE) A.Ş.” den talep edilen boş el bombası gövdesinin temin süreci tamamlanmış ve geliştirilen füyenin bağlantı

bölümü ilgili kurum tarafından tahsis edilen MOD46 el bombasına uygun bir şekilde yeniden tasarlanmıştır. MKE tarafından sağlanan boş gövdeler Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. MKE tarafından sağlanan boş gövde

Fünye sisteminde yapılan minör ve majör değişikliklerin ardından 1075 defa tekrarlanan el bombası atış testlerinde üretimi tamamlanan fünyenin çalışma anından elden çıkış anına kadar olan süre zarfında fiziksel ortamda izlediği yollar geliştirilen veri görselleştirme yazılımı kullanılarak analize tabi tutulmuş ve el bombasının istikrarlı olarak ayakta ve ileri doğru atışlarda her zaman aynı atış profilini sergilediği gözlemlenmiştir. Sergilenen profil Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. El bombası eğik atış profili

Bu durum el bombasının atıcının elinden çıkma anının, havada geçirdiği zamanın (TOF/ Time of Flight) ve hedefe temas anının tam olarak tespit edilmesini sağlayarak fünye sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışmasına büyük katkı sağlamıştır.

4. Sonuç

Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterinde yer alan el bombalarından farklı olarak mesafe kontrolü yeteneği ile zenginleştirilmiş, üstün tahrip algoritması ile infilak optimizasyonu sağlanan, yazılım ve donanım desteği ile istenmeyen durumlarda bombanın infilak etmesinin önüne geçilerek güvenliğin sağlanması amaçlanarak geliştirilen Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünje sistemiyle planlama aşamasında yer alan hedeflere ürünün yetenekleri bakımından tamamen ulaşılmıştır. Ancak planlama aşamasında kullanılması planlanan elektronik bileşenlerde ciddi değişiklikler yapılmış, birçok bileşen alternatifleri ile değiştirilmiş, çalışması öngörülen bileşenlerin saha (kontROLSÜZ ve dış etkenlere açık) ortamında çalışmadığı veya hatalı çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda çalışma, planlama aşamasında sunulan elektronik bileşenlerin kullanımıyla elektronik ateşleme destekli fakat mesafe kontrollü olmayan bir ürün ile sonuçlanacaktır.

Çalışmanın gerçekleştirilme süresi boyunca elektronik bileşenlerde yapılan köklü değişiklikler, tasarımsal iyileştirmeler, yazılımsal geliştirmeler ve sahada yapılan yüksek adetli kalibrasyon test atışları neticesinde tamamlanma süresinin sonunda sunulan hedeflere tamamen ulaşılmıştır. Çalışmada öngörülemeyen en büyük iki sorun ivme/şok sensörü ve batarya güç yetersizliğidir. İvme/şok sensörünün tespiti konusunda, sensörün üretici firmasının piyasaya sunduğu üretimi tamamen kendi kontrolünde olan sensöre ait teknik bilgilerin eksikliği, üçüncü şahıslara satışının gerçekleştirilmesi hususundaki hassasiyet ve isteksizlik, zaman ve kaynak harcayan problem süreçlerine sebebiyet vermiştir. Yazılım kategorisinde üretilen ürünlerin elektronik bileşenlere tam bağımlılığı sebebiyle değiştirilen her bir elektronik bileşen yazılım türünde olan tüm ürünlerin değiştirilmesine ve yeniden üretilmesine neden olmuştur. Elektronik bileşen kaynaklı bu durum, planlanan tamamlanma süresinin uzamasıyla birlikte bütçenin aşılmasına sebep olmuştur.

Çalışmada öngörülemeyen diğer bir sorun ise bataryanın güç yetersizliği problemidir. Üretimi tamamlanan ürün tamamen elektronik olduğu için elektrik enerjisine tam bağımlı bir şekilde çalışmaktadır. Bu durum sistemde kullanılması planlanan bataryanın güç kapasitesini sistem için yetersiz hale getirmiş ve ilk etapta çoğu elektronik bileşenin kararsız çalışmasına sebep olmuştur. Fünje sisteminin fiziksel boyut bakımından oldukça küçük bir hacim kaplaması sebebiyle daha güçlü bir batarya sistem içerisinde kullanılamamış bunun yerine süper kapasitör ile soruna alternatif bir çözüm getirilmiştir. Ayrıca üretimi tamamlanan fünje, Türkiye Cumhuriyeti Millî Savunma Bakanlığında talep ve temin edilen MOD46 savunma tipi el bombalarının fünje dış sistemine tam uyum sağlamamıştır. Bunun sebebi MOD46 el bombalarının temin sürecinde ki yaşanan gecikmedir. Üretimi tamamlanan fünje ürününün mevcut dış yapısı 0.3 mm kalınlaştırılarak MOD46 el bombası dış sistemine tam uyum sağlayabilmektedir.

Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünje ile sunulan hedefler konusunda tam başarı sağlayarak yeni nesil bir el bombası fünjesi ürünü ile tamamlanmıştır. M67 parça tesirli savunma tipi el bombası gövdesine birebir uyum sağlayan yeni nesil fünje ürünü için gerçekleştirilen tüm testlerden başarıyla geçmiş ve Türk Silahlı Kuvvetlerinin mühimmat standartlarına uygun hale gelmek üzere

mühimmat konusunda etkin ve yetkin kişi, kurum ve kuruluşlara sunuma hazır halde beklemektedir. Üretilen fûnye sisteminin araştırma-geliştirme faaliyetinin devamı neticesinde söz konusu el bombası fûnyesinin sadece cephe hattında değil aynı zamanda meskûn mahalde de kullanılabilir hale getirilmesi mümkün görülmektedir. El bombasının sunuma hazır hali Şekil 13'te sunulmuştur.



Şekil 13. El bombasının sunuma hazır hali

Teşekkür

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP, Proje Numarası: 10189) tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Ahrari A., Atai AA. Grenade explosion method—a novel tool for optimization of multimodal functions. *Applied Soft Computing* 2010; 10(4): 1132-1140.

Harvey AD. The hand grenade in the first world war. *The RUSI Journal* 1993; 138(1): 44-47.

Has B., Çınar S. Türkiye'de askeri harcamalar ve ekonomik büyüme: eşbütünleşme ve nedensellik analizi. *Avrupa Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* 2022; 9(2): 256-270.

- Henry C., Elder JH, Martin E. Electronically activated hand grenade. United States Patent Application Publication 2017; US 0234666 A1.
- Hogg IV. Ammunition: Small arms, grenades and projected munitions. Greenhill Books, London, United Kingdom; 1998.
- Karadağ T., Dayıoğlu H. Askeri birliklerde meydana gelen iş kazalarının ay, yıl, mevsim, coğrafi bölgesi açısında kıyaslanması. Assam 2022; 9(20): 35-48.
- Lee HM., Chen WC. A Kinematic analysis of grenade throwing. Journal Of Medical Sciences-Taipei 2004; 24(5): 243-248.
- Mei Z., Mei C., Tao Y., Yao L. Study of risk factors, organization method, and risk assessment in troops' live hand grenade training. In International Conference on Man-Machine-Environment System Engineering 2016; 481-487, Springer, Singapore.
- Pachpore P., Arora S., Sharma, P. A System of automated hand grenade with remote detonation and human sensor based detonation capability. QuickCompany, 44/2021, Application ID:202111048551.
- Rottman GL. The hand grenade. Bloomsbury Publishing, London, United Kingdom; 2015.
- Sakarya E., Alkan A. Savunma sanayiinde kullanılabilecek kamikaze iha uygulaması. Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi 2021; 2(1): 24-28.
- Soto G., Calvin C., Haddon M., Shultz J. Underwater grenade. United States Patent Application Publication 2009; US 2009/0260534 A1.
- The World Bank. Military expenditure. https://data.worldbank.org/indicator/MS.MIL.XPND.CD?end=2020&locations=IN-CN-IL-FR-SA-RU-DE&name_desc=true&start=2000. 27 Eylül 2022.
- Yang D., Ma Y., Zhao F. Layout and test of stun grenade of a certain mode. In Journal of Physics: Conference Series 2020; 1578(1): 012168.

Asteraceae Familyasından Beş Türün Karyomorfolojik Özellikleri

Yaşar KIRAN^{1*}

¹Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Elazığ

¹<https://orcid.org/0000-0002-3225-2080>

*Sorumlu yazar: ykiran@firat.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 29.12.2023

Kabul tarihi: 18.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Kromozom miktarı

Karyomorfoloji

Karyotip formülü

Asteraceae

Dünya genelinde kozmopolit bir yayılışa sahip olan Asteraceae familyası geniş cins ve tür zenginliği ile önemli bitki familyaları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, Asteraceae familyasına ait dört farklı cinsten beş farklı türün (*Chardinia orientalis* (L.) Knutze, *Cnicus benedictus* L., *Lactuca seriola* L., *Lactuca intricata* Boiss., ve *Sonchus oleraceus* L.) kromozom miktarı ve detaylı karyomorfolojik incelemeleri yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; *Lactuca seriola* ve *Lactuca intricata* türleri $n=9$, *Cnicus benedictus* ve *Chardinia orientalis* türleri $n=11$ somatik kromozom takımı içermektedir ve diploittir. *Sonchus oleraceus* türü ise $n=8$ kromozom takımı içermekte olup, tetraploid olarak belirlenmiştir.

Karyomorphological Characteristics of Five Species of the Asteraceae Family

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 29.12.2023

Accepted: 18.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Amount of chromosomes

Karyomorphology

Karyotype formulae

Asteraceae

The Asteraceae family is widely distributed throughout the world and is considered one of the most important plant families due to its vast genus and species richness. This study conducted amount of chromosome and detailed karyomorphological analysis of five species from four different genera of the Asteraceae family, including (*Chardinia orientalis* (L.) Knutze, *Cnicus benedictus* L., *Lactuca seriola* L., *Lactuca intricata* Boiss., and *Sonchus oleraceus* L. The study found that *Lactuca seriola* and *Lactuca intricata* species are diploid and contain $n=9$ somatic chromosome sets, while *Cnicus benedictus* and *Chardinia orientalis* species are also diploid and contain $n=11$ somatic chromosome sets. *Sonchus oleraceus* species, on the other hand, was determined to be tetraploid and contains $n=8$ chromosome sets.

To Cite: Kiran Y. Asteraceae Familyasından Beş Türün Karyomorfolojik Özellikleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1568-1578.

1. Giriş

Türkiye, sahip olduğu bitki çeşitliliği açısından zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Bu zenginlik Türkiye'nin bulunduğu konum sayesinde Akdeniz, İran-Turan ve Avrupa-Sibiryaya flora bölgelerini içermesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca ülkemizde görülen farklı iklim tipleri, değişik toprak yapısı ve çeşitli jeomorfolojik özellikleri de floristik çeşitliliği arttıran nedenler arasındadır (Avcı, 2014).

Asteraceae (Papatyagiller) familyası, ismini, yıldız şeklinde çiçekleri bulunan *Aster* L. (Kasımpatı) cinsinden almıştır. *Aster* ismi yunanca yıldız sözcüğünden türemiş olup, bu bitkilerin kompozit çiçek

yapısı, familyanın Compositae olarak anılmasına neden olmuştur. Geniş bir yayılışa sahip olan Asteraceae, 1702 cins ve çok sayıda tür bulundurması ile dünya genelinde çiçekli bitkilerin en büyük familyası olarak kabul edilmektedir (<http://powo.science.kew.org>). Türkiye Florası'nda 136 cins ve 1195 tür ile temsil edilen Asteraceae familyası, ülkemizin de en zengin cins ve tür sayısına sahip olan familyasıdır. Ayrıca 446 endemik tür ve %37.3 endemizm oranı ile ülkemizin en çok endemik tür bulunduran ailesidir (Davis, 1975; Davis ve ark., 1985-1988; Güner ve ark., 2000).

Familya üyeleri uçucu yağ ve acı madde içermeleri ile tıbbi bitki olarak (*Artemisia absinthium* L. 'Pelin otu', *Artemisia cina* O.C. Berg & Schmidt 'Horasani', *Tussilago farfara* L. 'Öksürükotu', *Helichrysum siculum* (Spreng) Boiss. 'Ölmez çiçek', *Achillea millefolium* L. 'Civanperçemi', *Inula helenium* L. 'Andız', *Arnica montana* L. 'Arnika çiçeği', *Silybum marianum* L. 'Meryemana dikenli' gibi), inülin ve sabit yağ içermeleri ile besin olarak (*Helianthus annuus* L. 'Ayçiçeği', *H. tuberosus* L. 'Yer elması', *Cyanara scolymus* L. 'Enginar', *Gundelia tournefortii* L. 'Kengerotu' *Artemisia dracunculus* L. 'Tarhun', *Carthamus tinctorius* L. 'Aspir', *Taraxacum* F.H. Wigg 'Karahindiba' gibi) kullanılırlar. *Tanacetum cinerariifolium* Sch. Bip. 'Dalmaçya papatyası' ve *Tanacetum coccineum* (Willd.) Grierson 'Pire otu' türleri içerdikleri etken madde olan 'piretrin' sayesinde böcek öldürücü olarak kullanılırlar. Ayrıca pek çok türü park ve bahçelerde süs bitkisi olarak (*Dahlia* 'Yıldız çiçeği', *Chrysanthemum* 'Krizantem', *Aster* 'Yıldızpatı', *Senecio* 'Kanaryaotu', *Helichrysum* 'Ölmez çiçeği' *Cosmos* 'Kozmos', *Cineraria* 'Sinerelya' gibi) yetiştirilmektedir (Baytop, 1991).

Cnicus benedictus L. Asteraceae (papatyagiller) familyasına ait bir bitkidir. Bostanotu, Akkız, Topdiken ve Şevketotu gibi isimlerle bilinir. Ana vatanı Batı Asya ve Güney Avrupa olarak bilinen Şevketibostan, ülkemizde Karadeniz, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde kırlarda, bahçelerde ve tarla kenarlarında yabani olarak yetişmektedir (Davis, 1985). Ege bölgesinde, İzmir çevresinde sebze olarak kullanıldığı bilinmektedir (Abak, 1989; Berkan, 1977). Bitki 50-60 cm yüksekliğine kadar büyüeyebilen dikenli yapraklara sahiptir. Yaprak ve sap kısımlar tüylü, yaprakları yeşil, sapı beyazca ve sarı çiçekleri vardır (Blumenthal ve ark., 1998). *C. benedictus* idrar söktürücü, ateş düşürücü, adet söktürücü, karaciğer güçlendirici, iştah arttırıcı, sarılık azaltıcı, sindirime yardımcı ve gaz depolanmasını azaltıcı birçok hastalığın tedavisinde güçlendirici olarak kullanılmıştır. Böbreklerdeki taş ve kumu düşürmek amacıyla da kullanılmıştır. Ayrıca antimikrobiyal, anti-inflamatuar ve antikanser gibi özellikleri incelenmiş ve olumlu sonuçlar elde edildiği raporlanmıştır (Emre, 2003).

Lactuca L. Asteraceae familyasına ait, 100'ün üzerinde türe sahip olan önemli bir cinstir. Özellikle ılıman ve sıcak bölgelerde yayılış gösteren bu cins Avrupa, Asya, Kuzey Amerika, Avustralya ve Afrika'da yaygın olarak yetişmektedir. Cinsine ait bitkiler hem ekonomik, hem de tıbbi açıdan önemli türleri bulundurmaktadır (Sevindik ve ark., 2016). Örnek olarak; *L. sativa* L. (marul) popüler bir salata bitkisi olarak dünya genelinde kültürü yapılan ve tüketilen bir türdür (Afsharypuor ve ark., 2018). *Lactuca* cinsi genellikle tüm çiçeklerinin dilsli olması ve lateks taşıması ile karakterizedir. Cinsin adı Türkçe'de "süt" anlamına gelen Latince "Lac" kelimesinden türemiştir (Bhellum ve Singh, 2015). *Lactuca* türleri genellikle kserofit olup, kurak iklim şartlarına oldukça iyi adapte olmuşlardır. *Lactuca*

cinsine ait türler geleneksel olarak tedavi amaçlı yıllardır çeşitli şekillerde kullanılmıştır. Örnek olarak *L. serriola* L. türü halk arasında antiseptik, antispazmotik, diüretik, ekspektoran ve pürgatif olarak tüketilir. Bitkinin lateksinden elde edilen “Lactucarium” droğu sedatif ve hipnotiktir. Ekonomik açıdan bakıldığında ise *L. serriola*’dan elde edilen yağ asitleri sabun, boya ve vernik yapımında kullanılmaktadır. Bazı türleri de sahip olduğu çeşitli renklerdeki çiçeklerinden dolayı peyzaj bitkisi olarak kullanılmaktadır (Bano ve Qaiser, 2011; Bhellum ve Singh, 2015).

Sonchus cinsi üyeleri tek yıllık, iki yıllık veya çok yıllık bitkilerdir. Gövde yaprakları genellikle amplexikaul (gövdeyi sarıcı), pinnatifit, sapsız ve dikencikli-dişli durumdadır. Cinsin bazı üyeleri öksürük kesici ve balgam söktürücü olarak kullanılmaktadır (Tarakçı, 2006). Bazı türlerinin yaprakları da antifloigistik ve antibakteriyal özelliktedir (Pei ve ark., 2012). Ayrıca *Sonchus asper* L. Hill. türünün de karaciğer hastalıklarının tedavi edici olarak kullanıldığı bilinmektedir (Khan ve ark., 2012). Yöresel adı eşek marulu ya da süt otu olan *Sonchus oleraceus* L. türünün yaprakları süt yapıcı, kuvvet verici, idrar çoğaltıcı ve ateş düşürücü özelliktedir. Ayrıca sebze olarak da tüketilen bitki (Tarakçı, 2006; Gündüz, 2005) yüksek oranda C vitamini ve fenolik bileşikler içermektedir (Cambie ve Ferguson, 2003). Ayrıca anti-kanserojen aktiviteye sahiptir (Thomson ve Shaw, 2002).

Asteraceae familyasına ait *Chardinia* cinsi, Türkiye’de sadece Yukarı Fırat alt bölgesinde doğal yayılış gösteren monofiletik bir cinistir. Türkçe adıyla “Çağlaotu” olarak bilinen *C. orientalis* 300-2050 m yükseklikler arasında, bozkırlar, kireçtaşı yamaçlar, nadas tarlaları ve yol kenarlarında gözlenebilir. 5-27 cm boylanabilen bir türün çiçeklenme dönemi Mayıs-Temmuz ayları arasındadır. Halk arasında çiçekli ve yapraklı dalları mide ağrıları için kullanılan türün, antimikrobiyal ve antifungal aktivite de gösterdiği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Kırbağ ve ark. 2005).

Karyotipler biyosistemikte önemli ayırt edici özelliklerden biridir. Kromozom sayısı, yapısı ve davranışını içeren karyotip özellikleri, tür, cins ve hatta familya düzeyinde sınıflandırmalarda taksonomik kanıt olarak kullanılabilir. Kromozom sayısı, kromozom kolları arasındaki büyüklük ve oran farklılıkları ve uydu bölgelerinin konumu arasındaki farkların sitolojik veri kaynağı olduğu kanıtlanmış olup morfoloji, anatomi ve palinoloji gibi taksonomik çalışmalarda tamamlayıcı bir araç olarak kabul edilmektedir (Odah ve Oran, 2007). Bu çalışmada Compositae familyasına ait beş farklı türün (*Chardinia orientalis*, *Cnicus benedictus*, *Lactuca serriola*, *Lactuca intricata* ve *Sonchus oleraceus*) karyolojik yapısının belirlenmesi ve detaylı bir şekilde tanımlanması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Doğal yayılış gösteren bitki örnekleri, 2022-2023 yılları arasında çiçekli ve meyveli dönemlerinde toplanmıştır (Tablo 1). Bitki örnekleri gazete kağıtları arasında kurutulup, kartonlara yapıştırılarak Fırat Üniversitesi Herbaryumu’nda muhafaza edilmiştir. Örneklerin teşhisinde, Türkiye Florası (Davis, 1975) adlı eserin 5. cildinden yararlanılmıştır.

Tablo 1. Çalışılan Taksonlar ve Lokaliteleri

Taksonlar	İl	Lokalite
<i>Chardinia orientalis</i>	B7: Elazığ	Harput, Harput Kalesi çevresi, 1250 m
<i>Cnicus benedictus</i>	B7: Elazığ	Harput, Buzluk Mağarası çevresi, 1250 m
<i>Lactuca serriola</i>	B7: Elazığ	Fırat Üniv., Kampüs çevresi, 1067 m
<i>Lactuca intricata</i>	C5: Adana	Aladağ, Küp Şelaleri, yol kenarı, 921 m
<i>Sonchus oleraceus</i>	C5: Adana	Aladağ, Küp Şelalaeri, yol kenarı, 921 m

Petri kaplarının iç kısımları çift katlı filtre kâğıdı ile kaplanarak musluk suyu ile ıslatılmış, 30'ar adet bitki tohumu yeterince nemli olan bu filtre kâğıtlarının üzerine yerleştirilmiştir. Bu şekilde hazırlanan petriler 23-24 C°'de inkübatörde çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenen tohumlardan 1–2 cm boyuna ulaşan kökler kesilip paradiklorbenzen içerisinde oda sıcaklığında 4 saat bekletilerek ön muamele işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra asetik-alkol (1:3) içerisine alınıp +4 °C'de soğutucuda 24 saat bekletilerek fikse edilmiştir. Süre sonunda kök uçları 1N hidroklorikasit içerisinde etüvde 65 °C'de 2-3 dakika hidrolizi yapılmıştır. Daha sonra kök uçları oda sıcaklığında karanlık bir ortamda asetokarmin boyası ile 60 dk boyanmıştır. Daha sonra 2–3 defa musluk suyu ile yıkanmıştır. Apikal meristem kısmı lam üzerine damlatılan bir damla % 45'lik asetik asit içerisinde keskin bir jilet yardımıyla parçalanarak preparat hazırlanmıştır (Elçi, 1982). En iyi 7 somatik hücrenin fotoğrafları Olympus B×51 mikroskobuna (X100) bağlı Olympus dijital görüntüleme cihazı yardımı ile çekilmiştir. Karyomorfolojik incelemeler için kromozomların uzun ve kısa kolları İdeoKar karyotip analiz programı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler yapıldıktan sonra belli bir sıraya konulmuş olan kromozomların, bilgisayarda Microsoft Excel programı kullanılarak ideogramları çizilmiştir. Bu ideogramlar üzerinde sentromer yerleri de belirtilmiştir. Sentromerin yerinin tespitinde Levan ve ark. (1964)'nin adlandırma sistemi kullanılmıştır (Levan ve ark., 1964). İncelenen taksonların kromozomlarının metafazdaki görünümünün fotoğrafları alınarak, kromozomların; uzun kolu, kısa kolu, toplam uzunluğu, kol oranı, nisbi boyu, sentromer indeksi ve sentromer durumu belirlenerek, ideogramları da çizilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Her türdeki yedi metafaz hücresinden; kromozom miktarı, kromozom uzunluk aralığı, haploid kromozom uzunluğu, uzun kol, kısa kol, kol oranı, sentromer indeksi, nisbi boy, sentromer durumu ve karyotip formülü belirlenerek tablolar halinde verilmiştir (Tablo 2 ve 3). Metafaz kromozomlar (Şekil 1) ve idiogramlar (Şekil 2) her tür için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Chardinia orientalis (L.) Knutze türünde somatik kromozom miktarı $2n=2x=22$ (Şekil 1.A), karyotip durumu $5m+3sm+3st$ olarak bulunmuştur. I, V, VI, IX ve XI numaralı kromozomların median (m), II, VII ve VIII numaralı kromozomların submedian (sm), III, IV ve X numaralı kromozomların ise subterminal (st) olduğu gözlenmiştir. Ayrıca II numaralı kromozomun kısa kolunda satellit olduğu tespit edilmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 3,05-6,62 µm, haploid kromozom uzunluğunun 47,89 µm,

kol oranının 1,11-5,14 μm , sentromer indeksinin 0,16-0,47, nisbi boyun ise 6,36-13,82 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2 ve 3). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 2.A'de verilmiştir.

Cnicus benedictus L. türünde somatik kromozom miktarı $2n=2x=22$ (Şekil 1.B), karyotip durumu da $2M+8m+sm$ olarak bulunmuştur. I, II, III, IV, V, VI, VIII ve XI numaralı kromozomların median (m), VII numaralı kromozomun submedian (sm), IX ve X numaralı kromozomların ise noktalı median (M) olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 1,51-3,26 μm , haploid kromozom uzunluğunun 25,47 μm , kol oranının 1,00-2,16 μm , sentromer indeksinin 0,31-0,50, nisbi boyun ise 5,92-12,79 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2 ve 3). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 2.B'de verilmiştir.

Lactuca serriola L. türünde somatik kromozom miktarı $2n=2x=18$ (Şekil 1.C), karyotip durumu $7m+2sm$ olarak bulunmuştur. I, II, III, VII, VIII ve IX numaralı kromozomların median (m), IV ve VI numaralı kromozomun submedian (sm) olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 2,53-4,29 μm , haploid kromozom uzunluğunun 29,67 μm , kol oranının 1,09-2,23 μm , sentromer indeksinin 0,30-0,47, nisbi boyun ise 8,52-14,45 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2 ve 3). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 2.C'de gösterilmiştir. *Lactuca intricata* Boiss. türünde somatik kromozom sayısı $2n=2x=18$ (Şekil 1.D), karyotip formülü $M+4m+4sm$ olarak bulunmuştur. III, V, VIII ve IX numaralı kromozomların median (m), I, II, IV ve VII numaralı kromozomun submedian (sm), VI numaralı kromozomun ise noktalı median (M) olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 2,70-4,83 μm , haploid kromozom uzunluğunun 32,88 μm , kol oranının 1,00-2,07 μm , sentromer indeksinin 0,32-0,50, nisbi boyun ise 8,21-14,68 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2 ve 3). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 2.D'de verilmiştir.

Sonchus oleraceus L. türünde somatik kromozom sayısı $2n=4x=32$ (Şekil 1.E), karyotip formülü $M+14m+sm$ olarak bulunmuştur. I, II, III, IV, V, VII, VIII, X, XI, XII, XIII, XIV, XV ve XVI numaralı kromozomların median (m), IX numaralı kromozomun submedian (sm), VI numaralı kromozomun ise noktalı median (M) olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 1,63-2,54 μm , haploid kromozom uzunluğunun 32,35 μm , kol oranının 1,00-1,85 μm , sentromer indeksinin 0,35-0,50, nisbi boyun ise 5,05-7,87 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2 ve 3). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 2.E'de verilmiştir.

Çalışılan türler içerisinde; kromozom uzunluğu ve haploid kromozom uzunluğu en düşük olan *C. benedictus* türü iken, en fazla kromozom uzunluğu ve en fazla haploid kromozom uzunluğu da *C. orientalis* türünde tespit edilmiştir. Kol oranının en düşük değerine *C. benedictus*, *L. intricata* ve *S. oleraceus* türlerinde, en yüksek değerine ise *C. orientalis* türünde rastlanmıştır. Nisbi boyun en düşük olduğu tür *S. oleraceus* türü iken en yüksek olduğu tür *L. intricata* olarak belirlenmiştir. İncelen türlerin kromozomları genelde median (m) ve submedian (sm) sentromerli iken, *L. intricata*, *C. benedictus* ve *S. oleraceus* türlerinde noktalı median (M), *C. orientalis* türünde ise subterminal (st) sentromerli kromozomlara da rastlanmıştır.

Yabani *Lactuca* türleri sahip oldukları kromozom sayılarına göre üç gruba toplanmıştır. İlk grup 8 kromozom sayısına sahip olan diğer gruplara göre daha ilkel türleri bünyesinde bulunduran çok yıllık

Avrupa ve Himalaya türleridir. İkinci grup *L. sativa* ve ona yakın akraba türlerin (*L. serriola*, *L. saligna*, *L. virosa* ve *L. altaica*) içerisinde bulunduğu 9 kromozomlu ve yoğunlukla Avrupa, Akdeniz, Orta Doğu Afrika ve Hindistan'da yayılış gösteren türlerdir. Son grup ise 17 kromozomlu olup, coğrafik ve genetik olarak izole olan Kuzey Amerika, Kanada ve Florida'da yetişen türlerdir (Martin ve ark., 2015). Bizim çalışmamızda yer alan her iki *Lactuca* türünün de (*L. serriola* ve *L. intricata*) kromozom sayısı $2n=2x=18$ olarak bulunmuştur. Yani her iki türümüzde de temel sayı 9 olduğundan, yukarıda verilen literatür bilgisine göre 2. grupta yer aldıkları söylenebilir, bu durum türlerin yayılışlarına uygunluk göstermektedir. Dolezalova ve ark. (2002) 25 farklı *Lactuca* türü üzerine yaptıkları bir çalışmada, *L. serriola* türünün temel kromozom sayısını $x=9$ olarak rapor etmişlerdir. Ayrıca, Japonya'da yapılan bir çalışmada da *L. serriola* türünün kromozom miktarı $2n=2x=18$ olarak belirlenmiştir (Matoba ve ark., 2007).

Cnicus benedictus türü ile ilgili gerek geçmiş yıllarda gerekse son yıllarda yapılan literatür çalışmalarını incelediğimizde türün kromozom sayısının genelde $2n=22$ olarak rapor edildiği görülmüştür (Ubera, 1979; Morton, 1981; Vogt ve ark., 1999). Öztürk ve ark. (2009) Nizip bölgesinde yaptıkları çalışmada *Cnicus benedictus* türünün kromozom sayısını $2n=2x=22$ olarak belirlerken, karyotip formülünü de $7m + 4sm$ şeklinde ortaya koymuşlardır. Ayrıca ülkemizde tek türü bulunan *Cnicus* cinsinin iki varyetesinin (*C. benedictus* var. *benedictus* ve *C. benedictus* var. *kotschyi*) karyotip durumunun araştırıldığı bir çalışmada, her iki varyetenin de kromozom sayısı $2n=22$ olarak belirlenirken, karyotip formüllerinin de $11 m$ şeklinde olduğu rapor edilmiştir (Martin ve ark., 2015). Bu çalışmada kullanılan ve Elazığ bölgesinden toplanmış olan *C. benedictus* türünde de kromozom sayısı $2n=2x=22$, karyotip formülü de $2M+8m+sm$ şeklinde bulunmuştur.

Sonchus oleraceus türü ile ilgili yapılan kromozom çalışmaları çok eski yıllara dayanmakla birlikte (Parfenov ve ark., 1988; Vogt ve ark., 1999; Pangua ve ark., 1992; Lavrenko ve ark., 1991, Kiehn ve ark., 1991; Al-Bermani ve ark., 1993; Xu ve ark., 1992; Albers ve ark., 1998) günümüze en yakın çalışmalar ise 2005 ve 2006 yıllarında yapılmış olup, türün kromozom sayısı $2n=32$ olarak kayıtlara geçmiştir. Gemeinholzer ve Faustmann (2005)'nin Asteraceae familyasından 44 tür üzerine yaptıkları çalışmada, türün kromozom sayısı $2n=32$, 36 ve 64 olarak bildirilmiştir. Probatova ve ark. (2006) yılında yaptıkları çalışmada *S. oleraceus* türünün kromozom sayısı $2n=32$ şeklinde rapor edilmiştir. Ancak yazarlar aynı çalışmada tür içinde iki farklı temel kromozom sayısının ($x=8$ ve 9) da dikkat çekmişlerdir. Bizim çalışmamızda da türün kromozom sayısı $2n=4x=32$ olarak belirlendiğinden, temel kromozom sayısının 8 olduğu ve tür içi tetraploidinin görüldüğü söylenebilir.

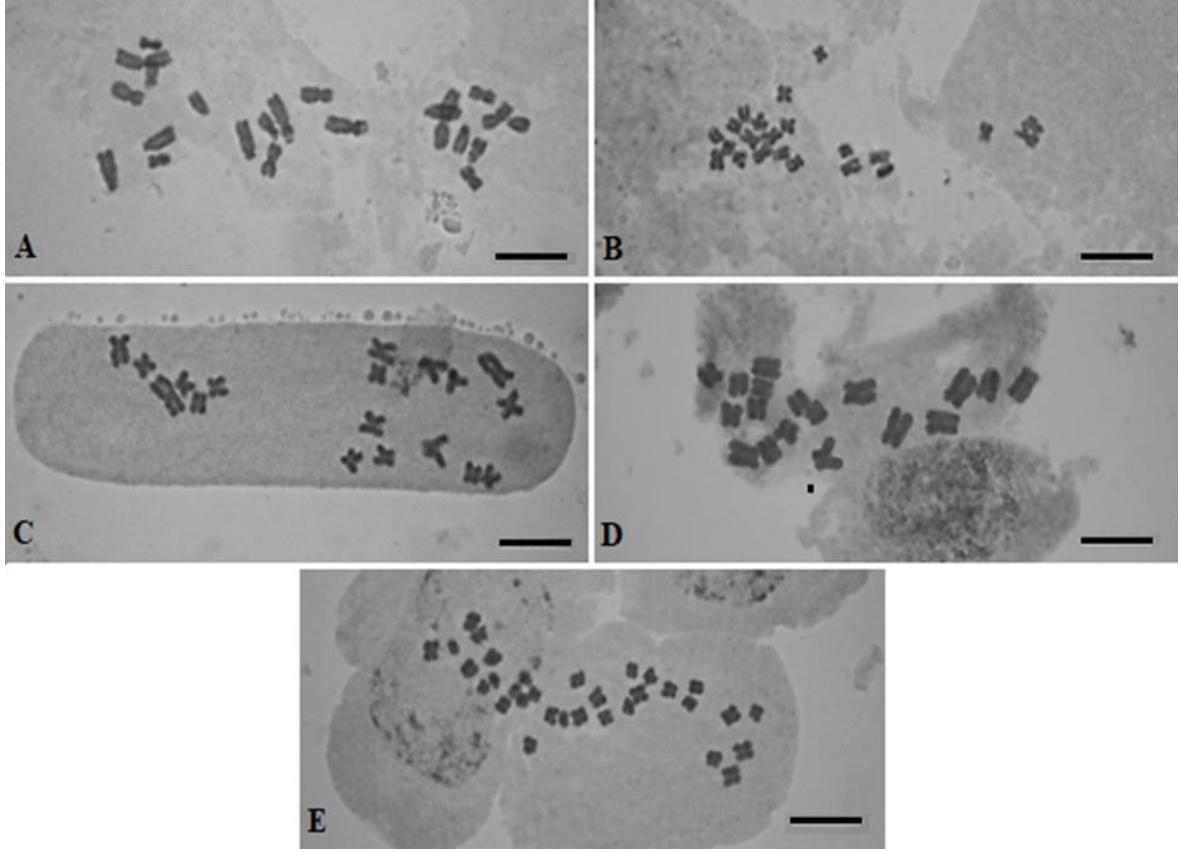
Astanova (1989) ve Garnetje (2004) *Chardinia orientalis* türü üzerine yaptıkları çalışmada; türün kromozom sayısını $2n=22$ olarak tespit etmişlerdir (Astanova, 1989; Garnetje ve ark., 2004). Bizim çalışmamızda da bu türün kromozom sayısı $2n=22$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Taksonların toplam kromozom uzunluğu (TKU), uzun kolu (UK), kısa kolu (KK), kol oranı (U/K) ve sentromer durumu (SD).

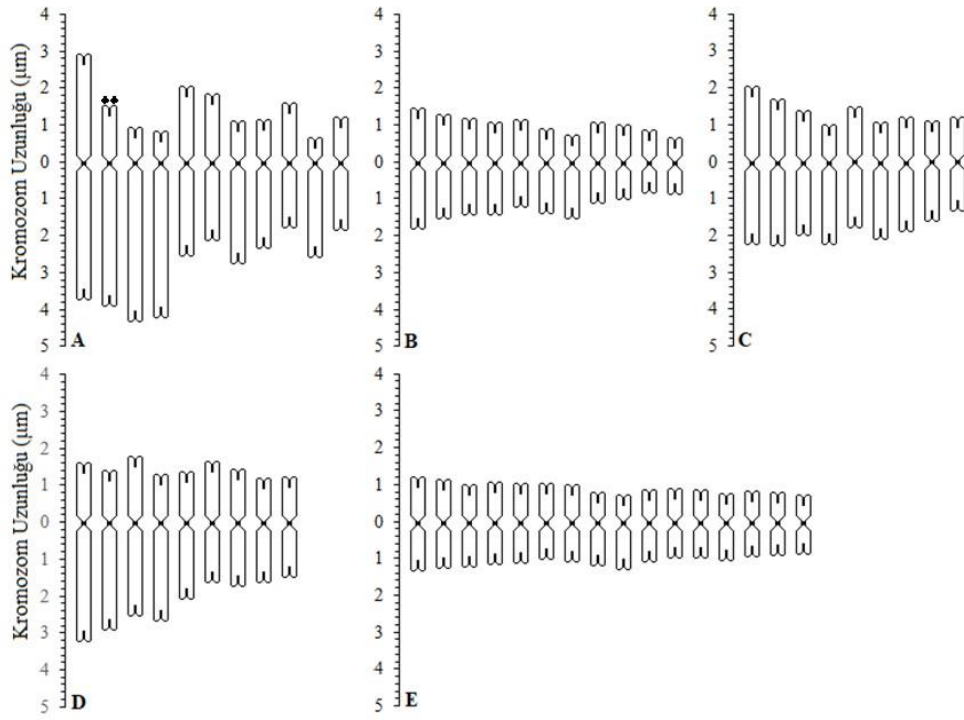
Kromozom No	TKU (µm)	UK (µm)	KK (µm)	U/K (µm)	SD	Kromozom No	TKU (µm)	UK (µm)	KK (µm)	U/K (µm)	SD
<i>Chardinia orientalis</i>						<i>Cnicus benedictus</i>					
1	6,62	3,72	2,9	1,28	m	1	3,26	1,81	1,45	1,24	m
2SAT	5,44	3,90	1,54	2,53	sm	2	2,81	1,54	1,27	1,21	m
3	5,26	4,33	0,93	4,65	st	3	2,60	1,42	1,18	1,20	m
4	5,04	4,22	0,82	5,14	st	4	2,48	1,42	1,06	1,33	m
5	4,57	2,54	2,03	1,25	m	5	2,36	1,22	1,14	1,07	m
6	3,97	2,14	1,83	1,16	m	6	2,27	1,39	0,88	1,57	m
7	3,88	2,76	1,12	2,46	sm	7	2,25	1,54	0,71	2,16	sm
8	3,46	2,33	1,13	2,06	sm	8	2,21	1,14	1,07	1,06	m
9	3,36	1,77	1,59	1,11	m	9	2,02	1,01	1,01	1,00	M
10	3,24	2,60	0,64	4,06	st	10	1,70	0,85	0,85	1,00	M
11	3,05	1,85	1,20	1,54	m	11	1,51	0,87	0,64	1,35	m
<i>Lactuca serriola</i>						<i>Sonchus oleraceus</i>					
1	4,29	2,24	2,05	1,09	m	1	2,54	1,34	1,20	1,11	m
2	3,96	2,28	1,68	1,35	m	2	2,39	1,26	1,13	1,11	m
3	3,37	2,00	1,37	1,45	m	3	2,25	1,25	1,00	1,25	m
4	3,27	2,26	1,01	2,23	sm	4	2,22	1,17	1,05	1,11	m
5	3,26	1,79	1,47	1,21	m	5	2,15	1,12	1,03	1,08	m
6	3,18	2,10	1,08	1,94	sm	6	2,06	1,03	1,03	1,00	M
7	3,09	1,90	1,19	1,59	m	7	2,06	1,08	0,98	1,10	m
8	2,72	1,61	1,11	1,45	m	8	2,00	1,21	0,79	1,53	m
9	2,53	1,34	1,19	1,12	m	9	2,00	1,30	0,70	1,85	sm
<i>Lactuca intricata</i>						10	1,94	1,10	0,84	1,30	m
1	4,83	3,22	1,61	2,00	sm	11	1,88	0,98	0,90	1,08	m
2	4,34	2,93	1,41	2,07	sm	12	1,85	0,99	0,86	1,15	m
3	4,33	2,55	1,78	1,43	m	13	1,81	1,07	0,74	1,44	m
4	3,96	2,66	1,30	2,04	sm	14	1,76	0,95	0,81	1,17	m
5	3,47	2,09	1,38	1,51	m	15	1,71	0,92	0,79	1,16	m
6	3,28	1,64	1,64	1,00	M	16	1,63	0,90	0,73	1,23	m
7	3,15	1,72	1,43	1,20	sm						
8	2,82	1,62	1,20	1,35	m						
9	2,70	1,48	1,22	1,21	m						

Tablo 3. Taksonların Karyolojik Özellikleri

Tür	2n	Haploit Kromozom Uzunluğu (µm)	Nisbi Boy (%)		Sentromer İndeksi		Karyotip Formülü
			Min	Max	Min	Max	
<i>Chardinia orientalis</i>	22	47,89	6,36	13,82	0,16	0,47	5m+3sm+3st
<i>Cnicus benedictus</i>	22	25,47	5,92	12,79	0,31	0,50	2M+8m+sm
<i>Lactuca serriola</i>	18	29,67	8,52	14,45	0,30	0,47	7m+2sm
<i>Lactuca intricata</i>	18	32,88	8,21	14,68	0,32	0,50	M+4m+4sm
<i>Sonchus oleraceus</i>	32	32,35	5,05	7,87	0,35	0,50	M+14m+sm



Şekil 1. Taksonların Metafaz Kromozom Görünümleri (**A:** *C. orientalis*, **B:** *C. benedictus*, **C:** *L. serriola*, **D:** *L. intricata*, **E:** *S. oleraceus*) (Skala bar:10 µm)



Şekil 2. Taksonların Haploid İdeogramları (**A:** *C. orientalis*, **B:** *C. benedictus*, **C:** *L. serriola*, **D:** *L. intricata*, **E:** *S. oleraceus*)

4. Sonuç

Sonuç olarak; bu çalışma ile Asteraceae familyasına ait beş türün karyolojik özellikleri son teknikler kullanılarak güncellenmiş ve bu türler ile ilgili yapılacak diğer çalışmalara temel oluşturacak bulgular ortaya konulmuştur. Çalışılan türlerden dördünün (*Cnicus benedictus*, *L. serriola*, *L. intricata* ve *Chardinia orientalis*) diploit, *Sonchus oleraceus* türünün ise tetraploid olduğu tespit edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Abak K., Düzenli A. Use of some wild plants as vegetables in Turkey, *Acta Horticulturae* 1989; 242: 107-114.
- Afsharypuor S., Ranjbar M., Mazaheri M., Shakibaei F., Aslanı A. Analysis of fatty acid composition of crude seed oil of *Lactuca Sativa* L. by GC-MS and GC methods. *Trends in Pharmaceutical Sciences* 2018; 4(2): 95-98.
- Al-Bermani AKKA., Al-Shammary KA., Gornall RJ., Bailey JP. Contribution to a cytological catalogue of the British and Irish Flora. *Watsonia* 1993; 19: 169-171.
- Albers F., Pröbsting W., Wisskirchen IR., Haeupler H. Standardliste der Farn-und Blütenpflanzen Deutschlands. Bundesamt für Naturschutz & Verlag Eugen Ulmer 1998; Stuttgart.
- Astanova SB. Khromosomnye chisla predstavitelei semeistva slozhnotsvetnykh flory Tadzhikistana. II. Soveshchaniye po kariologii rastenii. Tezisy dokladov. Novosibirsk: Akademiya Nauk, 1989; 89-91.
- Avcı M. Türkiye'nin flora bölgeleri ve 'anadolu diagonali'ne coğrafi bir yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi* 2014; 28: 225-248.
- Bano R., Qaiser MA. Taxonomic revision of the genus *Lactuca* L. (Cichorieae-Asteraceae) from Pakistan and Kashmir. *Pak. J. Bot.* 2011; 43(5): 2259-2268.
- Baytop A. Farmasötik botanik ders kitabı. G. Ü. Basımevi ve Film Merkezi 1991; 255-260, İstanbul.
- Berkan T. Şevketi Bostan Bitkisinde Yapılan Farmakolojik Çalışmalar, Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi Farmakoloji Kürsüsü, Bornova, İzmir, 1977.
- Bhellum B., Singh B. Taxonomic novelties of the genus *Lactuca* L. in Jammu and Kashmir (India): Diversity, Phenology and Distribution. *Current Life Sciences* 2015; 1(3): 93-102.
- Blumenthal M., Busse WR., Goldberg A., Gruenwald J., Hall T., Riggins CW. The complete german commission e monographs: Therapeutic guide to herbal medicines. *Integrative Medicine Communications* 1998; 216.

- Cambie RC., Ferguson LR. Potential functional foods in the traditional maori diet. Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis 2003; 523: 109-117.
- Davis PH., Mill RR., Tan K. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh Univ. Press 1998; UK. vol: 10.
- Davis PH. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh Univ. Press 1975; UK. vol. 5.
- Davis PH. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh University Press 1985-1989; Vol.1-9.
- Dolezalova I., Lebeda A., Janecek J., Cihalikova J., Kristkova E., Vranova O. Variation in chromosome numbers and nuclear DNA contents in genetic resources of *Lactuca* L. Species (Asteraceae). Genetic Resources and Crop Evolution 2002; 49: 383-395.
- Elçi Ş. Sitogenetikte Gözlemler ve Araştırma Yöntemleri. Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları,1982.
- Emre G. Ezine (Çanakkale) yöresinin geleneksel halk ilacı olarak kullanılan bitkileri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2003.
- Garnatje T. Molecular cytogenetics of *Xeranthemum* L. and related genera (Asteraceae, Cardueae). Pl. Biol. (Stuttgart) 2004; 6(2): 140-146.
- Gemeinholzer B., Faustmann I. New chromosome counts for some lactuceae (Compositae). Comp. Newsl. 2005; 42.
- Gündüz Ş. Turunçgil bahçelerindeki yabancı otlar ve bazı bitkilerin ekolojik faktörlere tepkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye,2005.
- Güner A., Özhatay N., Ekim T., Başer KHC. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh Univ. Press 2000; UK. vol:11.
- <https://powo.science.kew.org> Erişim Tarihi: 04.11.2022.
- Khan RA., Khan MR., Sahreen S., Shah NA. Hepatoprotective activity of *sonchus asper* against carbon tetrachloride-induced injuries in male rats: A randomized controlled trial. BMC Complementary and Alternative Medicine 2012; 12: 90.
- Kırbağ S., Kürşat M., Kırbağ Zengin F. Elazığ'da tıbbi amaçlar için kullanılan bazı bitki ekstraktlarının antimikrobiyal aktiviteleri. Fırat Üniveristesesi, Doğu Araştırmaları Dergisi 2005; 3(3): 168-171.
- Kiehn M., Vitek E., Hellmayr E., Walter J., Tschenett J., Justin C., Mann M. Beiträge zur Flora von Österreich: Chromosomenzählungen. Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien 1991; 128: 19-39.
- Lavrenko AN., Serditov NP. Chromosome numbers in some plant species from The South-West of The Komi ASSR. Botanicheskii Zhurnal (Moscow & Leningrad) 1991; 76: 769-771.
- Levan A., Fredga K., Sandberg AA. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. Hereditas 1964; 52: 201-220.
- Martin E., Çetin Ö., Duran A., Doğan B., Trag Z. New karyotypes in some species of asteraceae from Turkey. Cytologia 2015; 80(2): 237-248.

- Martin E., Doğan B., Duran A., Şeker M., Kaplan A., Aslan GM. *Cnicus benedictus* var. *benedictus* ve *Cnicus benedictus* var. *kotschyi* Taksonlarının Karyotip Analizi. Posta Bildiri, 2015.
- Matoba H., Mizutani T., Nagano K., Hoshi Y., Uchiyama H. Chromosomal study of lettuce and its allied species (*Lactuca* spp., asteraceae) by means of karyotype analysis and fluorescence in situ hybridization. *Hereditas* 2007; 144: 235-243.
- Morton JK. Chromosome numbers in compositae from Canada and The U.S.A. *Botanical Journal of the Linnean Society* 1981; 82: 357-368.
- Odah M., Oran S. Karyological study of the genus *ornithogalum* (liliaceae) in Jordan. *Dirasat Pure Science* 2007; 34(2): 210-220.
- Öztürk M., Martin E., Dinç M., Duran A., Özdemir A., Çetin Ö. A cytogenetical study on some plants taxa in Nizip Region (Aksaray, Turkey). *Turkish Journal of Biology* 2009; 33: 35-44.
- Pangua E., Prada C., Pajaron S., Salvo E. A new *Asplenium* hybrid from Valencia (Spain) related to *A. majoricum*. *Journal of the Linnean Society Botany* 1992; 108(1): 1-13.
- Parfenov VI., Dmitrieva SA. Kariologičeskaja karakteristika predstavitelej flory sosudistyxh rastenij berezinskogo biosfernogo zapovednika. *Zapovedniki Belorussii Issledovaniia* 1988; 12: 3-8.
- Pei D., Xu X., Feng Y. First report of powdery mildew caused by *golovinomyces cichoracearum* on *Sonchus asper* in China. *Plant Disease* 2012; 96(5): 766.
- Probatova NS., Barkalov VY., Rudyka EY., Pavlova NS. Further chromosome studies on vascular plant species from sakhalin, Moneran and Kurile Islands. *Biodiversity and Biogeography of the Kuril Islands and Sakhalin* 2006; 2: 93-110.
- Sevindik E., Veysel U., Coşkun F. Sequence analysis of the internal transcribed spacer (its) region of the nuclear ribosomal dna (nrDNA) and chloroplast trnL-f region (CpDNA) of some *Lactuca* L. (Asteraceae) species in Turkey. *Notulae Scientia Biologicae* 2016; 8(4): 444-450.
- Tarakçı S. Beykoz civarındaki tıbbi özellik taşıyan bitkiler üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- Thomson B., Shaw IA. Comparison of risk and protective factors for colorectal cancer in the diet of New Zealand Maori and NonMaori. *Asian Pacific Journal Cancer Prev.* 2002; 3: 319-324.
- Ubera JL. In *numeros cromosomicos para la flora Española*. *Lagascalia* 1979; 9: 115-130.
- Vogt R., Aparicio A. Chromosome numbers of plants collected during iter *Mediterraneum IV* in Cyprus. *Bocconeia* 1999; 11: 117-169.
- Xu BS., Weng RF., Zhang MZ. Chromosome numbers of shanghai plants I. *Invest. Stud. Nat.* 1992; 12: 48-65.

Trijenerasyon Santrallerinde Gaz Türbini Giriş Hava Sıcaklığının Elektrik Üretim Verimine Etkisi

Engin BÜYÜKKABAKCI¹, Ahmet YÖNETKEN^{2*}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Afyonkarahisar

²Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Afyonkarahisar

¹<https://orcid.org/0000-0001-9088-1005>

²<https://orcid.org/0000-0003-1844-7233>

*Sorumlu yazar: yonetken@aku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 02.08.2023

Kabul tarihi: 19.02.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Trijenerasyon santralleri Kojenerasyon santralleri

Gaz türbini

Enerji santralleri

Enerji verimliliği

ÖZ

Bu çalışmada, trijenerasyon santrallerinde enerji üretmek için kullanılan gaz türbinlerinin, çeşitli sıcaklıklardaki türbin giriş hava ile çalışması araştırılmıştır. Günümüz dünyasında enerjinin ve enerjiyi verimli kullanabilmenin önemi gittikçe artmaktadır. Gelişen nüfus ve teknolojiler ihtiyaç duyduğumuz enerjiyi arttırmış ve bununla birlikte enerji maliyetleri ciddi seviyelere ulaşmıştır. Tüm bunlar enerjinin verimli kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur. Trijenerasyon santralleri yüksek verime sahip olması, yerinde elektrik üretimi ile hat kayıplarının önüne geçmesi ve bileşik enerji üretimi sağlaması sebebiyle konvansiyonel üretime göre daha az fosil yakıt tüketimi sağlamaktadır. Çalışmamızda trijenerasyon santralinde kullanılan Solar Turbines Taurus 60 gaz türbininin giriş hava sıcaklığının soğutulmasıyla elektrik üretim verimindeki artış incelenmiştir. Türbin giriş hava sıcaklığının 41,2 °C'den 9,1 °C'ye soğutulmasıyla elektrik üretiminde aktif güç veriminde %30,08 artış olduğu tespit edilmiştir.

The Effect of Gas Turbine Inlet Air Temperature on Electricity Production Efficiency in Trigeration Power Plants

Research Article

Article History:

Received: 02.08.2023

Accepted: 19.02.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Trigeration plants

Cogeneration plants

Gas turbines

Energy plants

Energy efficiency

ABSTRACT

In this study, the operation of gas turbines used to generate energy in trigeration plants with turbine inlet air at various temperatures was investigated. In today's world, the importance of energy and its efficient use is increasing. Developing population and technologies have increased the energy we need, and thus energy costs have reached serious levels. All these reveal the necessity of using energy efficiently. Trigeration power plants provide less fossil fuel consumption than conventional production because they have high efficiency, prevent line losses with on-site electricity generation, and provide combined energy production. In our study, the increase in electricity production efficiency by cooling the inlet air of the Solar Turbines Taurus 60 gas turbine used in the trigeration power plant was examined. It was determined that there was a 30.08% increase in active power efficiency in electricity production by cooling the turbine inlet air from 41.2 °C to 9.1 °C.

To Cite: Büyükkabakçı E., Yönetken A. The Effect of Gas Turbine Inlet Air Temperature on Electricity Production Efficiency in Trigeration Power Plants. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1579-1599.

1.Introduction

Energy is one of the cornerstones of modern life and is used in a large part of our daily activities. However, effective and efficient use of energy is an important issue due to limited energy resources and environmental effects. The effective and efficient use of energy provides many benefits both economically and environmentally.

Efficient use of energy means doing the same job by consuming less energy. This means that increasing energy efficiency has direct economic benefits. As energy efficiency increases, energy costs decrease and businesses, households and industries consume less energy to provide the same services. At the same time, dependence on energy imports is reduced and energy security is increased. Energy efficiency also increases the competitiveness of businesses, creates new job opportunities and supports economic growth.

In this study, we have examined the active power increase in electricity generation by cooling the turbine inlet air in gas turbines in order to use energy effectively and efficiently, and we have observed and discussed the results together.

Cooling the turbine inlet air is a technique used in power generation facilities, especially in gas turbines. This technique aims to increase the performance and efficiency of the turbine. Turbines are important equipment used to generate electrical energy. However, turbines may have high operating temperatures, which may result in some energy losses. To solve this problem, the method of cooling the turbine inlet air is used (Çiftkaya, 2010; Özdemir, 2017; Demirel, 2019; Kareem, 2023).

First, cooling the turbine inlet air increases the density of the air. With the cooling process, the air temperature drops and the density of the air increases. Denser air carries more oxygen molecules in the same volume. This optimizes the combustion process and allows fuel to burn more efficiently. As a result, more energy is produced and the efficiency of the turbine increases. Second, cooling the turbine inlet air reduces the expansion effect on the turbine blades. The heated air expands as it passes through the turbine blades, which can cause energy loss. However, with the cooling process, the temperature of the inlet air decreases and this expansion effect decreases. This enables the blades of the turbine to operate more efficiently, reduces energy losses and increases turbine efficiency (Kutbi, 2022; Al-Affas, 2016).

In order to examine all these in detail, in our study, data were collected by observing the operation of a 5.2 MW Solar Turbines Taurus 60 model gas turbine at various temperatures. By analyzing data we have obtained, clear findings and conclusions on the subject have been revealed.

2.Material and Methods

Energy is one of the most important of modern society and is widely used in industry, commerce, housing and transportation sectors. However, the use of energy can cause depletion of natural resources, environmental pollution and global climate change. Therefore, energy management is important to ensure the effective use of energy and to minimize these negative effects. Energy management can be

defined as a disciplined and organized work in which energy use is structured efficiently, without compromising product safety, quality, environmental conditions and reducing production. Designing highly energy efficient buildings today is much more cost-effective than in the past. Due to the energy savings they will provide during operation, additional costs for energy savings will pay off in a short time. These positive developments will directly reduce the amount of energy needed and contribute positively to air pollution and greenhouse gas emissions (Yildirim, 2022).

2.1. Trigenation Plants

Trigenation power plants are one of the most efficient systems used for power generation. These systems are designed to simultaneously produce electricity, hot water, steam and cooling. These four different forms of energy can be used for different aspects of energy needs. For example, electrical energy can be used for building lighting, electronic equipment, and motor vehicles, while hot water and steam energy can be used for industrial processes, heating and cooling purposes (Figure 1). Trigenation plants run on fossil fuels such as natural gas. The heat generated by the combustion of fossil fuels is used in a gas turbine. The gas turbine generates electrical energy via a generator, using the high-speed gas flow. This process continues by directing hot gases towards a steam turbine. A steam turbine uses steam to generate more electrical energy with a generator (Kandemir, 2019).

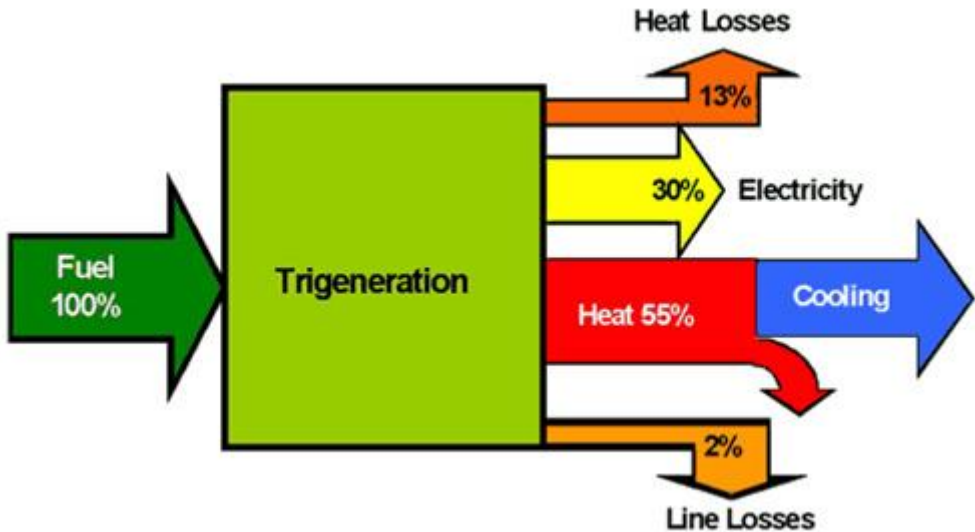


Figure 1. Trigenation diagram (int. res. 2)

2.2. Generators

Electric generators, also known as dynamos, are devices that convert mechanical energy into electrical energy. Their primary purpose is to transmit and distribute electricity through power lines to residential, commercial, and industrial customers. In addition, generators provide the necessary electrical power for vehicles such as cars, airplanes, ships, and trains. The mechanical power required for an electric

generator is typically obtained from a rotating shaft multiplying the shaft torque by the rotational or angular velocity.

The construction and speed of generators can vary significantly based on the specific characteristics of the mechanical setup. When it comes to feeding electrical power grids, most generators produce alternating current (AC) with a fixed frequency of either 50 or 60 Hertz per second. This alternating current periodically reverses its polarity. It is crucial for multiple generators connected to the power grid to operate at the same frequency to enable simultaneous generation. As a result, these generators are referred to as synchronous generators or alternators in some cases (Tufan 2013).

An alternator or synchronous generator operates based on the principle of electromagnetic induction. According to this principle, when the flux linking with a conductor changes, an electromotive force (EMF) is induced in the conductor. In the case of an alternator, when the armature winding is exposed to the rotating magnetic field, voltage is generated in the armature winding. By energizing the rotor field winding with direct current from the exciter, alternating north and south poles are formed on the rotor. As the rotor rotates counterclockwise driven by a prime mover, the armature conductors placed on the stator are intersected by the magnetic field created by the rotor poles. Consequently, due to electromagnetic induction, an alternating EMF is induced in the armature conductors. This alternating EMF is a result of the alternating passage of the north and south poles of the rotor through the armature conductors (Uçmaz, 2008).

The direction of the generated EMF can be determined by Fleming's true rule, and its frequency is given by:

$$f=(N_s \cdot P) / 120 \quad (1.0)$$

2.3. Gas Turbines

A gas turbine engine operates in a similar manner to an internal combustion engine and utilizes gas to generate rotational motion. This engine type is specifically designed to turn a turbine by employing gas as its working fluid. The term "gas turbine engine" is also used to refer to a complete internal combustion engine that consists of at least one compressor, a turbine, and a combustion chamber.

The gas turbine engine is capable of producing useful work or propulsive thrust. It can drive various devices such as generators, pumps, or propellers. In the case of a pure jet aircraft engine, the turbine accelerates the exhaust flow through a nozzle, resulting in the development of thrust. Despite being smaller and lighter than reciprocating internal combustion engines, gas turbine engines can generate a significant amount of power. Unlike reciprocating engines, which rely on the piston's up and down movement, gas turbine engines provide direct rotary shaft power. This eliminates the need for converting motion through a crankshaft arrangement.

While a gas turbine engine may seem conceptually simple, the components of an efficient unit must be meticulously designed and manufactured using expensive materials due to the high temperatures and stresses experienced during operation.

Most gas turbine engines operate in an open loop cycle. In this cycle, the engine draws air from the atmosphere and compresses it using an axial flow or centrifugal compressor. The compressed air is then directed to the combustion chamber. Inside the combustion chamber, fuel is introduced and burned together with a portion of the compressed air at a consistent pressure. Additional compressed air is diverted around the combustion section and mixed with the high-temperature combustion gases. This extra compressed air helps to lower the temperature at the outlet of the combustion chamber, allowing the turbine to run continuously. If the engine aims to generate shaft power, the combustion products expand to atmospheric pressure within the turbine. In most cases, the turbine's output is utilized to provide the necessary power for operating the compressor, with only the remaining portion used to perform shaft work for devices such as pumps, generators, or other equipment. Jet engines are designed to deliver sufficient output to drive the turbine, compressor, and auxiliary devices. Finally, the gas flow exits through an intermediate pressure level nozzle, generating thrust (Toprak, 2007).

2.4. Transformers

A transformer is an electrical energy converter. It is used to increase or decrease the amplitude level of AC electrical energy while keeping the frequency constant. Transformers are widely used in the electrical power distribution system and are also used in many industrial applications such as electric motors, lighting systems and electronic devices. A transformer consists of two or more coils and these coils are surrounded by an iron core or air gap. Transformers can come in different shapes and sizes depending on their function and the application they are used in. Transformers are inductive devices and their operation OR transformer is an inductive device and its operation begins when the AC voltage applied to the primary (input) coil creates a magnetic field in the primary coil. This magnetic field moves through the iron core or air gap of the transformer, causing the magnetic field to induce a voltage in the secondary (output) coil. This secondary voltage is directly proportional to the ratio of the voltage at the primary. The working principle of a transformer is based on Faraday's law of electromagnetic induction. This law says that a magnetic field will induce an electric current due to a changing magnetic flux through a loop or coil. Transformers can be used for many different applications and are available in different sizes and powers. Small transformers are used as power sources in electronic devices, while large transformers are used in electrical power distribution system.

2.5. Method of Study

In this study, the operation of a gas turbine has been examined in detail in order to examine the effects of inlet air cooling in gas turbines, and the effects of turbine inlet air changes on the increase in the power value and efficiency of the electricity produced in the turbine examined. Taurus 60 gas turbine and Leroy Somer generator connected to it were used in the system to be studied and analyzed. With this system, the thermal and electricity needed of the enterprise are met by on-site production. An

absorption chiller system with Li-Br solution was used for cooling and this entire system works with trigeneration.

The operating structure of the system was to produce electricity with a generator connected to the same shaft by providing combustion in the gas turbine with natural gas, and by using the 510 °C hot gas taken from the gas turbine in paper drying, after consuming its energy, steam was produced in waste heat boilers at 320 °C. Then, by entering the economizer at 220 °C, the hot water production of the enterprise was met and waste gas was released to the atmosphere at 115 °C (int. res. 3). With the hot water produced in the economizer, the hot water requirement of 100 degrees for the absorption chillers is met, and the absorption chiller cools the cold water to 7 degrees with its own cycle and works to cool the water that returns as 12 degrees on the return (Figure 2). The inlet air cooling method was examined in order to increase the electricity production and increase the electricity efficiency by using the cooling provided from the trigeneration system for the cooling of the turbine inlet air, and to positively affected the total power plant efficiency (ECC, 2023).

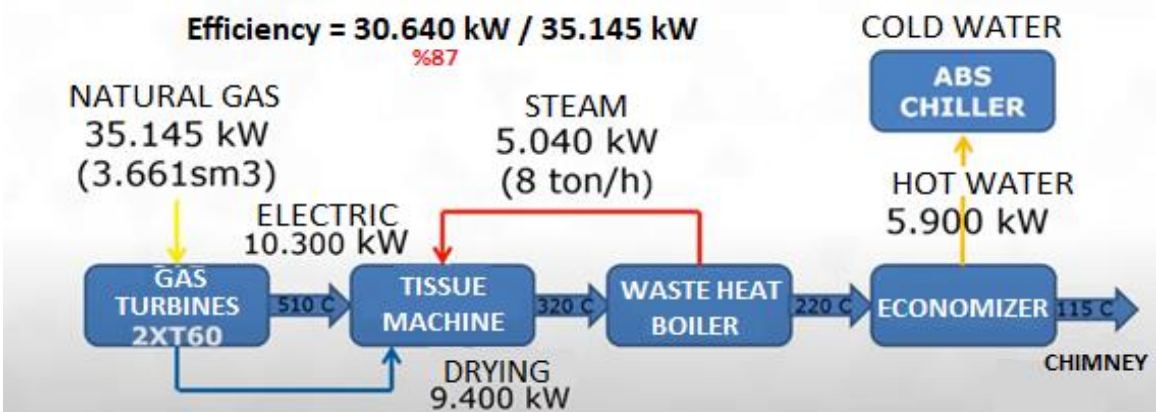


Figure 2. Flow chart of the system (int. res. 3)

We were examined that the change in the amount of electricity generation of the turbine inlet air at various temperatures in 1 gas turbine belonging to this system and discuss the results.

The data of the Taurus 60 gas turbine in ISO conditions, that is, at 15 °C and at sea level, are shared (Figure 3). These data may vary as altitude, temperature, relative humidity and turbine operating hours change. It has the capacity to meet the data specified in the general conditions.

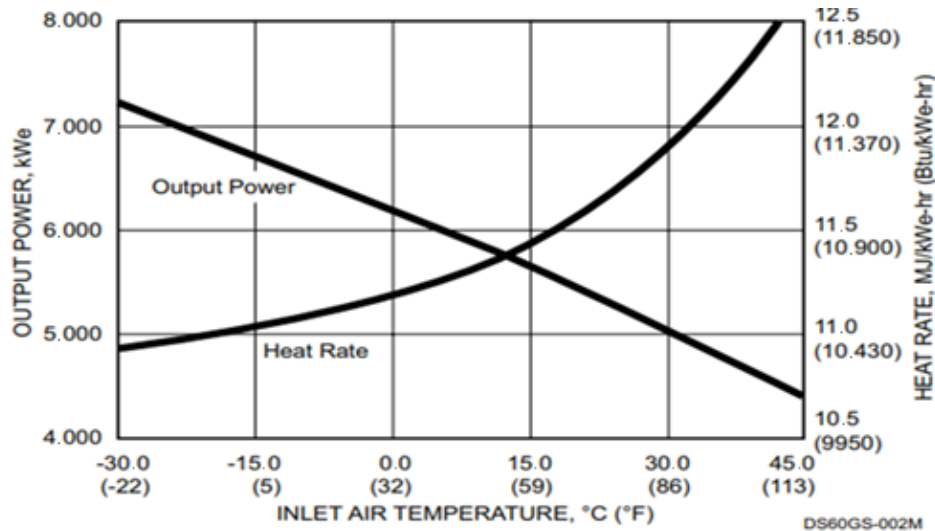


Figure 3. Taurus 60 performance graph (int. res. 1)

By using an absorption chiller, both the operating and turbine inlet air are cooled. With this cooling, the electrical efficiency of the turbine has been increased and also the trigeneration efficiency has been increased by making more use of waste heat (Ashley et al., 2011).

We examined with data how turbine inlet air temperature change affects production. Due to the nature of gas turbines, as the inlet air gets colder, the amount of air per unit area that can enter the compressor becomes greater. The reason for this is that the amount of air per unit area increases as the air gets colder, and as the gas expands as it warms up, the amount of air per unit area decreases. Air enters the turbine combustion chamber by being compressed in the compressor, and since it is cold, it provides better combustion due to the high amount of unit air inside. Since combustion takes place in cold air, the turbine can reach the limit temperature that the combustion chamber can reach by producing more power (Ünver et al., 2005; Rabeea, 2016; Karaali et al., 2017; Effiom et al., 2019).

3. Results and Discussion

In this study, we collected the data of turbine electricity generation active power values at various inlet air temperatures in Solar Turbines Taurus 60 gas turbine to examine the effect of the change of inlet air temperature on electricity production in gas turbines. We examined and observed the change in electricity generation active power at turbine inlet air temperatures between 9.1°C and 41.2 degrees with data. We analyzed these observations as to whether they were compatible by performing regression and correlation analysis and determined that the data were compatible with the graphs. Turbine electricity production varied between 5098 kW and 3919 kW at temperatures between 9.1 °C and 41.2 °C, depending on the turbine inlet air temperature change (Figure 4).

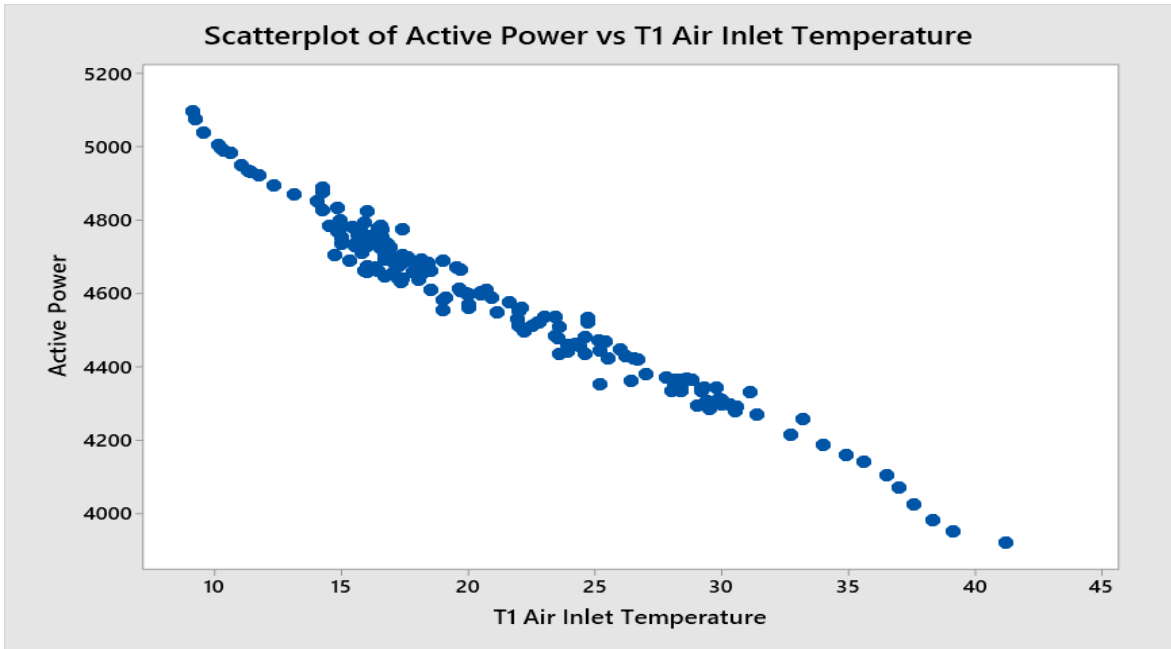


Figure 4. Active power/turbine inlet air temperature relationship

When we were analyzed that the temperature and active power data taken at 174 different times in the graph, we observe that the findings of the data give us an increase in electricity production with the cooling of the turbine inlet air, with the T1 turbine inlet air cooled at the turbine T5 temperature of 677 °C, where the turbine combustion chamber reach the maximum.

We can say that this increase was compatible with the decrease in turbine inlet air temperature and the increase in electricity production. The point that should be known here was that when making this comparison, the highest level of the turbine combustion chamber will give the healthiest result. All the data we receive are data taken at 677 °C, which is the T5 temperature at which the turbine can reach its maximum. The generator adjusts the excitation current in order to produce the maximum electricity it can produce at the shaft power that it can maintain its frequency and speed in electricity production.

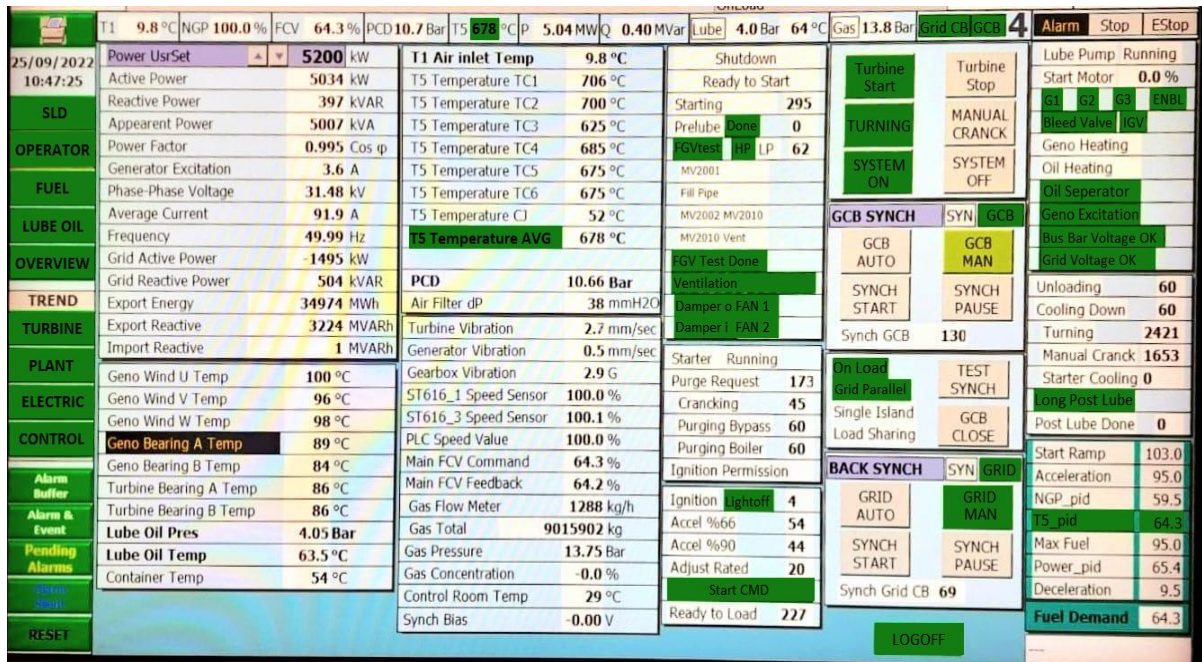


Figure 5. Turbine control screen

In the turbine control interface shared above, the T1 turbine inlet air temperature is 9.8 °C and the T5 combustion chamber was at a maximum temperature of 678 °C (Figure 5). In the cooled inlet air, the electricity generation performance of the gas turbine increased, resulting in 5034 kW active power generation.

If gas consumption is to be evaluated and efficiency analyzes are to be made in power plants using natural gas, the actual consumed natural gas consumption should be determined by making a consumption correction according to the calorific value of natural gas. The natural gas measurement volume corrector device calculates the consumption by assuming the natural gas is at a standard value of 9155 kcal. In order to find the correct consumption, we must divide the current average calorific value by the amount of 9155 kcal and multiply it by the value in the volume corrector.

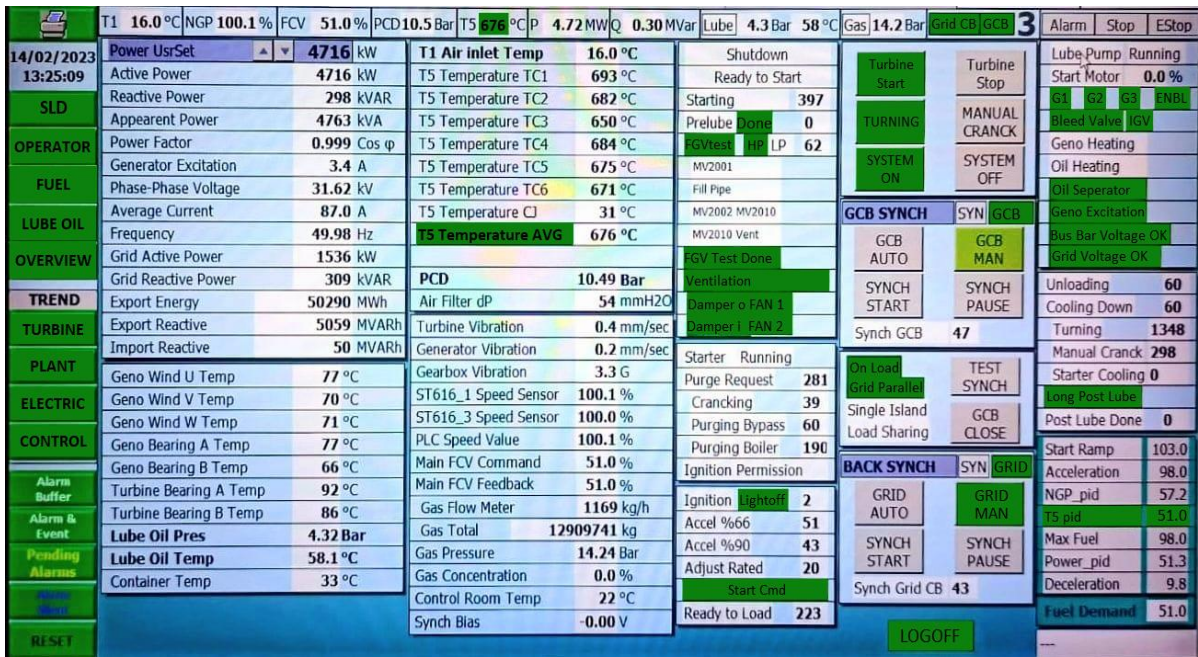


Figure 6. Turbine control screen

In Figure 6, the turbine inlet air was (T1) 16 °C and the combustion chamber is at T5 temperature, and 4716 kW of electricity can be produced.

Table 1. Turbine control panel difference data

Value	Turbine inlet air (T1) °C	Electricity generation (kW)
Value 1	9.8	5034
Value 2	16	4716
Difference	6.2	318
Difference %	%-38.75 temperature decrease	%6.74 production increase

For the 2 data compared, a temperature drop of 6.2 °C showed a significant increase in turbine electricity production (Table 1). 318 kW of power generation gain and when we look at it from another dimension, we actually increase the capacity. We would not have a chance to produce more than 4716 kW at 16 °C. By cooling the inlet air, we increased the dynamics of the turbine and provided power gain. We performed the regression analysis of 174 data that we mentioned before. These data were taken at the maximum temperature of the turbine combustion chamber (T5) and the active power generation with turbine inlet air (T1) at different temperatures was investigated.

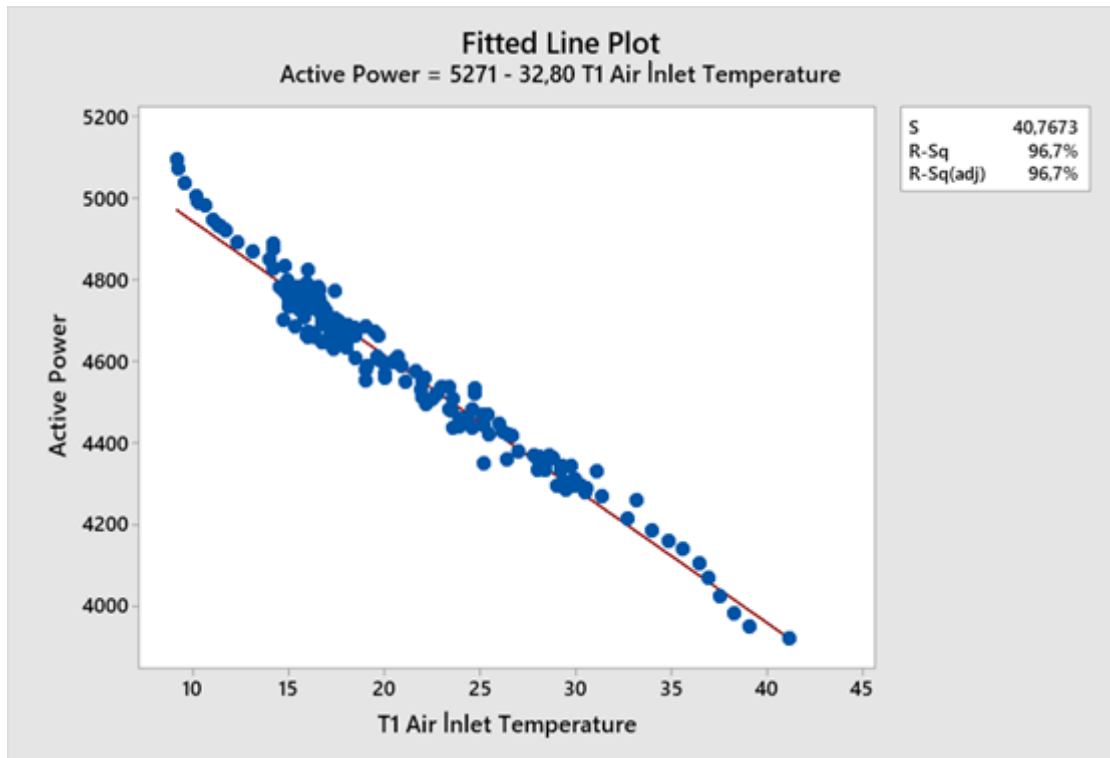


Figure 7. Active power/T1 temperature regression

The regression graph of the electricity production amount data according to 174 turbine inlet air seems to be compatible. With the cooling of the turbine inlet air temperature, the increase in electrical active power generation was confirmed with 96.7% agreement. Here, the dependent variable is the active power, while the independent variable T1 is the turbine inlet air temperature. As a result of the regression analysis, the following formula was formed (Figure 7).

$$\text{Active Power} = 5271.2 - 32.797 \cdot (\text{T1 Inlet Air Temperature}) \quad (1.1)$$

We also observed a relationship between turbine inlet air temperature and PCD pressure. We have tested the regression analysis of the turbine inlet air temperature and PCD data to see if this relationship is significant. PCD refers to the pressure value that the compressor compresses and sends to the combustion chamber. This value decreases with the increase of turbine inlet air.

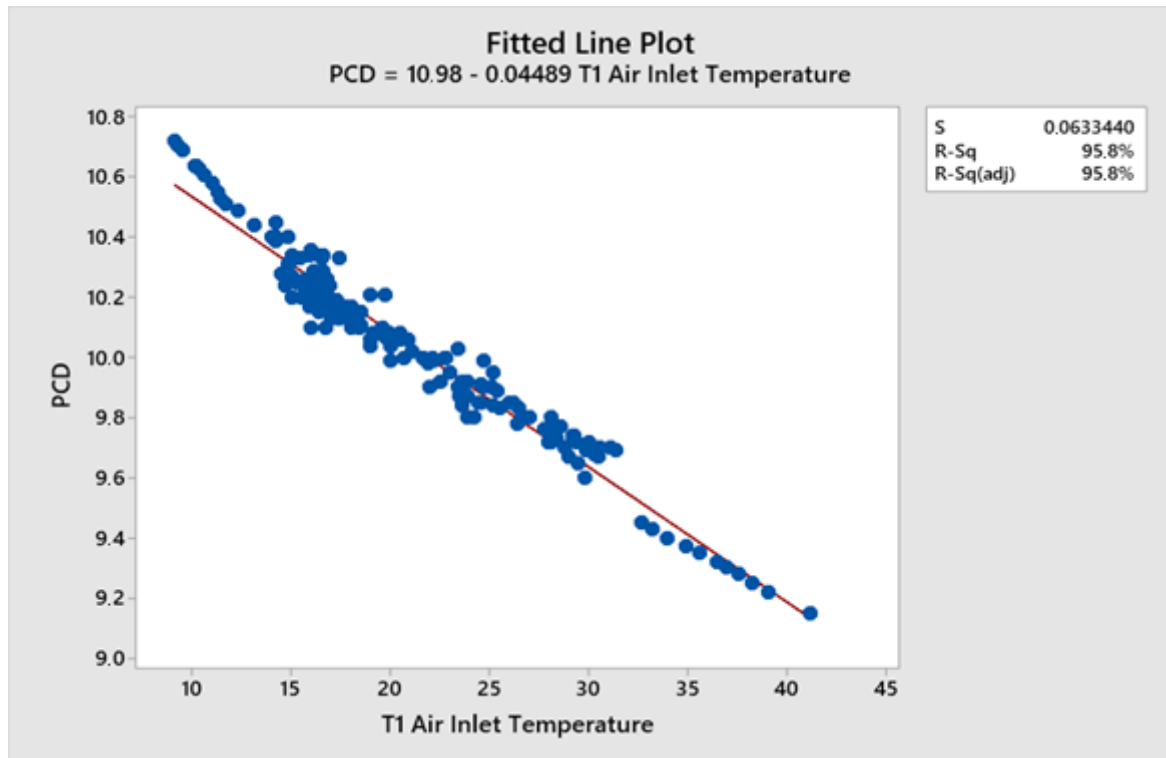


Figure 8. PCD/T1 temperature regression

With the regression analysis, we can say with 95.8% agreement that the cooling of the gas turbine compressor inlet air increases the PCD, that is, the compressor outlet pressure (Figure 8). Compressor pressure was varied between 10.72 bar and 9.15 bar between 9.1 °C and 41.2 °C temperatures. Here, the dependent variable was PCD, while the independent variable T1 is the turbine inlet air temperature.

The regression formula for T1 inlet air temperature with PCD is the following formula.

$$PCD = 10.98 - 0.04489 \cdot (T1 \text{ Inlet Air Temperature}) \tag{1.2}$$

There was a direct relationship between turbine intake air, PCD and active power. In order to make sense of this relationship, we examined PCD and active power variation from a different perspective.

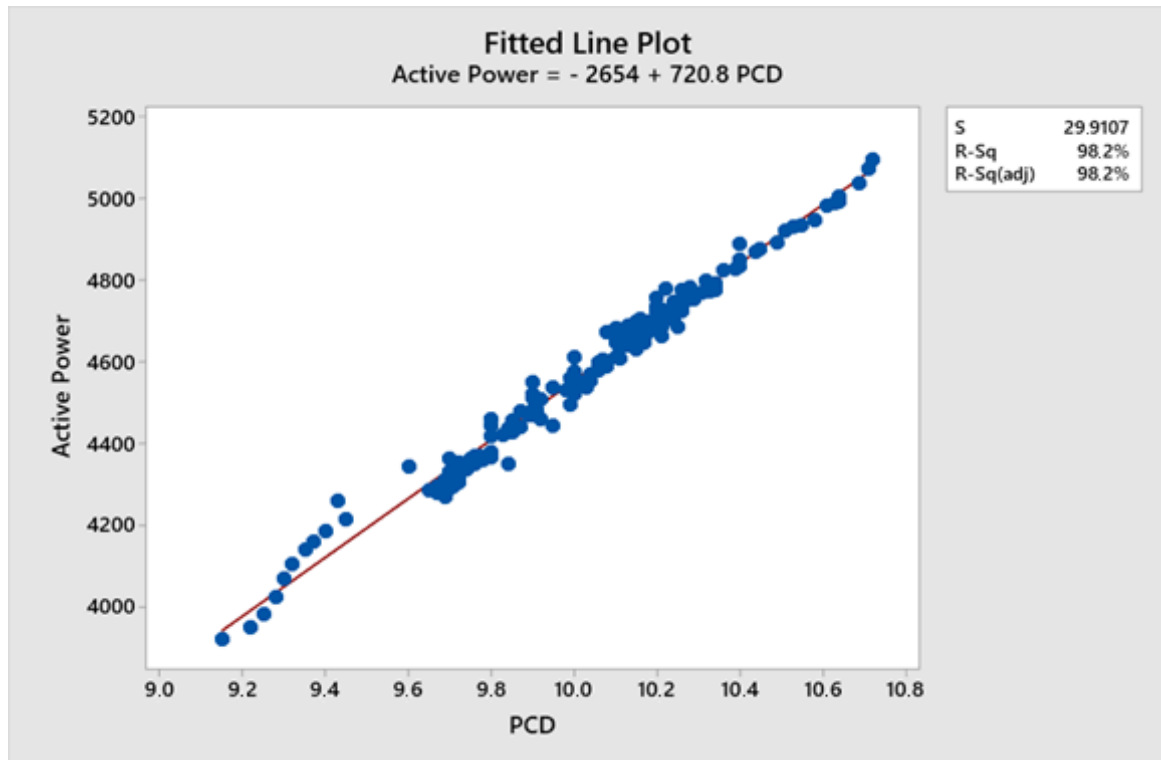


Figure 9. Active power/PCD regression

We can say with 98.2% agreement that the increase in compressor pressure also increases the active power. Here, the dependent variable is the active power while the independent variable was the PCD data. When we take PCD and T1 inlet air temperature as the dependent variable and two independent variables, we found a 98.6% agreement between them (Figure 9).

Model Summary

<i>S</i>	<i>R - sq</i>	<i>R - Sq(adj)</i>	<i>R - sq(pred)</i>
26.1618	98.66%	98.60%	

The regression formula for active power, PCD and T1 inlet air temperature is the following formula.

$$Active\ Power = -161 + 494.6\ PCD - 10.60 \cdot T1\ Inlet\ Air\ Temperature \quad (1.3)$$

When we have examined the received data, it is observed that 5098 kW active power generation at 9.1 °C and PCD pressure is 10.72 bar. It has been observed that the active power generation of 3919 kW at 41.2 °C and the PCD pressure is 9.15 bar.

Table 3. Turbine inlet air and active power generation difference data

Value	Turbine inlet temperature (T1)°C	Electricity generation (kW)
Value 1	9.2	5098
Value 2	41.2	3919
Difference	32	1179
Difference %	%-77.67 Temperature decrease	%30.08 production increase

As we understood from the aforementioned data, when we cooled down the turbine inlet air from 41.2 °C to 9.2 °C, we have increased the electrical active power output from the turbine by 1179 kW (Table 3).

Table 4. Turbine inlet air temperature and PCD difference data

Value	Turbine inlet temperature (T1) °C	PCD
Value 1	9.2	10.72 bar
Value 2	41.2	9.15 bar
Disparity	32	1.57 bar
Disparity %	%-77.67 temperature decrease	%17.16 pressure increase

When we cooled down the turbine inlet air temperature from 41.2 °C to 9.2 °C, the PCD (compressor outlet pressure) we have obtained from the turbine increases by 1.57 bar (Table 4).

4. Conclusion

The increase in energy efficiency achieved by cooling the turbine inlet air provides several advantages in the power generation process. First, more energy is produced. Increasing the density of the cooled air and burning the fuel more efficiently results in more power being produced. This means getting more electrical energy with the same capacity gas turbine.

Second, cooling the turbine inlet air reduces losses in the power generation process. Reduction of the expansion effect and more efficient combustion minimizes energy losses. This increases the energy efficiency of the facility and provides a more sustainable energy production.

In this study, we concluded that a 5.2 MW Solar Turbines Taurus 60 model gas turbine provided a significant increase in electricity production by cooling the turbine inlet air.

We analyzed the electricity productions at variable turbine inlet air temperatures with 174 different data using regression analysis. As a result of the regression analysis of the data taken from 41.2 °C to 9.1 °C, between 3919 kW and 5098 kW, we can say that the cooled turbine inlet air provided an increase of 96.7% in electricity production.

While we could produce 3919 kW of electricity at a turbine inlet air temperature of 41.2 °C, when we cooled the turbine inlet air temperature of 41.2 °C to 9.1 °C, we produced 5098 kW of active power.

By cooling the turbine inlet air by 32 °C, an increase was achieved from 3919 kW of electricity generation to 5098 kW, and an increase of 30.08% was achieved.

It has been determined that the compressor outlet pressure, which we define as PCD, is also increased by cooling the turbine inlet air. While the PCD pressure was 9.15 bar at 41.2 °C, a cooling of 32 °C was provided, and a 17.16% pressure increase was achieved as 10.72 bar when the turbine inlet air decreased to 9.2 °C. In addition, when we perform the regression analysis of the PCD pressure change according to the change in the turbine inlet air with the data we obtained, we can say that the cooling of the inlet air increases the PCD pressure by 95.8%. This is how we came to the conclusion that there is a direct relationship between the PCD pressure increase and the electricity production increase. Our regression analysis also supports this result with 98.2% agreement.

As a result, it showed that the cooling of the inlet air of the gas turbines used in trigeneration power plants provides an increase in PCD pressure and electricity production with 98.6% regression analysis compatibility.

In some literature studies on the cooling of turbine inlet air (Kwon et al. 2018, Dizaji & Pourhedayat 2019, Demiral 2019, Al-Affas 2016, Ünver & Kılıç 2005, Effiom et al. 2019), the effect of inlet air temperature on active power production is generally discussed. In my study, I determined that the compressor outlet pressure, defined as PCD, is also directly effective and provided the necessary data and findings to the literature.

Conflict of Interest Statement

The authors of the article declare that there is no conflict of interest.

Contribution Rate Statement Summary of Researchers

The authors declare that they contributed 50% to the article.

References

- Ashley SD., Sarim A. Gas turbine performance at varying ambient temperature. *Applied Thermal Engineering*, 2011; 31: 2735-2739.
- Al-Affas R, Evaluation the impact of using different cooling technologies on power boosting of the gas turbine unit in Duhok Power Station–Iraq. University of Turkish Aeronautical Association, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2016; 92. Ankara.
- Çiftkaya B. Investigation and simulation of gas turbines used in electricity production, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2010; 129. İstanbul.
- Demirel E. The Effect of gas turbine inlet air cooling with absorption chiller on gas turbine performance. Kocaeli University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2019; 55. Kocaeli.
- Dizaji HS., Pourhedayat S. Using novel integrated maisotsenko cooler and absorption chiller for cooling of gas turbine inlet air. *Energy Conversion and Management*, 2019;195: 1067-1078.

- Effiom S., Agwu O., Oboh A. Economic evaluation of mechanical chiller for power recovery in a gas turbine unit in Nigeria. *European Journal of Engineering and Technology*, 2019; 7: 6-17.
- Kareem AF. Thermodynamic and exergo-economic analysis of a combined power plant on gas turbine cycle and organic rankine cycle. Karabuk University, Graduate School of Education, Master Thesis, 2023; 83. Karabük.
- Kandemir P. Analysis and application of multi-purpose energy use. Uludag University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2019; 94. Bursa.
- Karaali R., Öztürk IT. Effects of environmental conditions on the performance of gas turbine cogeneration cycles. *Journal of Thermal Science and Technology*, 2017; 37(1): 93-102.
- Kutbi JF., Georgiou I. Enhancing power generation utilizing turbine inlet air cooling. Society of Petroleum Engineers, 2022; SPE-211308-MS.
- Kwon H., Kim TS., Sohn JL., Kang D. Performance improvement of gas turbine combined cycle power plant by dual cooling of the inlet air and turbine coolant using an absorption chiller. *Energy*, 2018; 163:1050-1061.
- Özdemir E. Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle. Namık Kemal University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2017; 74. Tekirdağ.
- Rabeea AA. Evaluation the impact of using different cooling technologies on power boosting of the gas turbine unit in duhok power station–iraq, Turkish Aeronautical Association University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2016; 92. Ankara.
- Toprak S. The importance of cooling gas turbine blades and investigation of cooling methods. Trakya University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2007; 79. Trakya.
- Tufan F. Modeling of synchronous generator static excitation system and investigation of its effects on network stability. Tunceli University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2013; 151. Tunceli.
- Uçmaz MI. Comparison of synchronous and asynchronous generators for maximum power generation in power plants, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, 2008; 85. İstanbul.
- Ünver Ü., Kılıç M. The effect of ambient temperature on the performance of a combined cycle power plant. *Journal of Uludağ University Faculty of Engineering and Architecture*, 2005; 10(1): 49-58.
- Yıldırım A. Establishment of iso 50001 energy management system in public institutions: Example of Selçuk University, Necmettin Erbakan University. Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis, 2022; 118. Konya.

Internet Resources

1. https://www.solarturbines.com/en_US/products/power-generation-packages/taurus-60.html#tabs-9ca438aeaa-item-fbded0ef9f-tab ,(14.01.2024).
2. <https://www.aksa.com.tr/tr-tr/kojenerasyon-trijenerasyon> ,(14.01.2024).
3. <https://youtu.be/N1FAw0Ff4Ac> ,(14.01.2024).

Additional. Turbine temperature, electricity production in kW units and PCD data

Data received date time	Active power (kW)	Turbine inlet air (T1)	PCD (Bar)	Combustion Chamber Temperature (T5)
1.06.2022 00:00	4612	19.6	10.1	677
1.06.2022 06:00	4728	15.5	10.2	677
2.06.2022 10:00	4569	20	10.4	677
2.06.2022 12:00	4333	28.4	9.73	677
2.06.2022 14:00	4561	20	9.99	677
2.06.2022 18:00	4640	17.4	10.13	677
2.06.2022 20:00	4688	15.3	10.25	677
3.06.2022 00:00	4660	16	10.1	677
3.06.2022 02:00	4704	14.7	10.24	677
4.06.2022 12:00	4631	17.3	10.15	677
4.06.2022 14:00	4641	17.2	10.14	677
4.06.2022 22:00	4270	31.4	9.69	677
5.06.2022 02:00	4351	25.2	9.84	677
5.06.2022 04:00	4555	19	10.04	677
5.06.2022 06:00	4581	19	10.06	677
5.06.2022 12:00	4589	19.1	10.08	677
5.06.2022 14:00	4610	18.5	10.11	677
5.06.2022 18:00	4673	16	10.18	677
5.06.2022 20:00	4671	16.3	10.17	677
6.06.2022 16:00	4871	13.1	10.44	677
6.06.2022 18:00	4950	11	10.58	677
6.06.2022 20:00	4983	10.6	10.61	677
6.06.2022 22:00	4990	10.3	10.63	677
7.06.2022 00:00	5098	9.1	10.72	677
7.06.2022 02:00	4648	16.7	10,1	677
7.06.2022 06:00	4661	16.4	10.15	677
7.06.2022 08:00	4663	15.9	10.17	677
8.06.2022 12:00	4774	17.4	10.33	677
8.06.2022 20:00	4877	14.2	10.45	677
8.06.2022 22:00	4890	14.2	10.4	677
9.06.2022 02:00	4824	16	10.36	677
9.06.2022 06:00	4688	19	10.21	677

9.06.2022 22:00	4534	24.7	9.99	677
10.06.2022 02:00	4665	19.7	10.21	677
10.06.2022 04:00	4785	16.5	10.33	677
10.06.2022 06:00	4776	16.6	10.34	677
10.06.2022 08:00	4777	16.4	10.34	677
10.06.2022 10:00	4834	14.8	10.4	677
10.06.2022 12:00	4793	15.9	10.34	677
10.06.2022 20:00	4443	25.2	9.95	677
11.06.2022 02:00	4537	23.4	10.03	677
11.06.2022 04:00	4755	16.6	10.29	677
11.06.2022 10:00	4779	15.7	10.22	677
11.06.2022 12:00	4736	16.8	10.26	677
11.06.2022 14:00	4726	16.9	10.24	677
11.06.2022 16:00	4724	16.5	10.26	677
11.06.2022 18:00	4800	14.9	10.32	677
11.06.2022 20:00	4749	16.3	10.24	677
12.06.2022 14:00	4364	28.3	9.75	677
14.06.2022 08:00	4331	31.1	9.7	677
14.06.2022 10:00	4363	28.8	9.7	677
14.06.2022 14:00	4418	26.7	9.8	677
14.06.2022 18:00	4828	14.2	10.39	677
14.06.2022 20:00	4783	15.4	10.33	677
15.06.2022 06:00	4851	14	10.4	677
15.06.2022 14:00	4756	16.1	10.29	677
15.06.2022 16:00	4782	15	10.4	677
15.06.2022 20:00	4923	11.7	10.51	677
15.06.2022 22:00	4770	14.8	10.31	677
16.06.2022 12:00	4338	29.2	9.74	677
16.06.2022 14:00	4296	30	9.71	677
16.06.2022 16:00	4290	30.6	9.7	677
16.06.2022 18:00	4306	29.4	9.72	677
16.06.2022 22:00	4575	21.6	10	677
17.06.2022 00:00	4663	18.5	10.15	677
17.06.2022 04:00	4649	18	10.17	677
17.06.2022 08:00	4531	21.9	9.98	677

17.06.2022 10:00	4497	22.2	9.99	677
17.06.2022 14:00	4509	23.6	9.92	677
17.06.2022 16:00	4459	23.9	9.92	677
17.06.2022 20:00	3919	41.2	9.15	677
17.06.2022 22:00	3950	39.1	9.22	677
18.06.2022 00:00	3980	38.3	9.25	677
18.06.2022 02:00	4022	37.6	9.28	677
18.06.2022 04:00	4068	37	9.3	677
18.06.2022 06:00	4103	36.5	9.32	677
18.06.2022 08:00	4139	35.6	9.35	677
18.06.2022 10:00	4158	34.9	9.37	677
18.06.2022 12:00	4186	34	9.4	677
18.06.2022 14:00	4258	33.2	9.43	677
18.06.2022 16:00	4214	32.7	9.45	677
18.06.2022 18:00	4690	17.6	10.15	677
18.06.2022 20:00	4705	17.4	10.16	677
18.06.2022 22:00	4690	17.4	10.16	677
19.06.2022 00:00	4700	17.1	10.18	677
19.06.2022 02:00	4685	17	10.16	677
19.06.2022 04:00	4895	12.3	10.49	677
19.06.2022 06:00	4931	11.4	10.53	677
19.06.2022 08:00	4935	11.3	10.55	677
19.06.2022 10:00	5007	10.1	10.64	677
19.06.2022 12:00	4995	10.2	10.64	677
19.06.2022 14:00	5040	9.5	10.69	677
19.06.2022 16:00	5076	9.2	10.71	677
19.06.2022 18:00	4646	18	10.15	677
19.06.2022 20:00	4698	17.3	10.19	677
19.06.2022 22:00	4692	16.7	10.21	677
20.06.2022 02:00	4759	15.6	10.2	677
20.06.2022 04:00	4736	15	10.2	677
20.06.2022 06:00	4737	15.5	10.25	677
20.06.2022 08:00	4710	15.8	10.22	677
20.06.2022 10:00	4675	17.2	10.15	677
20.06.2022 12:00	4333	28	9.72	677

20.06.2022 14:00	4294	29	9.67	677
20.06.2022 16:00	4284	29.5	9.65	677
21.06.2022 00:00	4440	23.9	9.87	677
21.06.2022 02:00	4444	23.9	9.8	677
21.06.2022 04:00	4655	17	10.13	677
21.06.2022 22:00	4436	23.6	9.84	677
22.06.2022 02:00	4479	23.5	9.87	677
22.06.2022 06:00	4483	23.4	9.9	677
22.06.2022 12:00	4700	16.7	10.18	677
22.06.2022 14:00	4730	16	10.21	677
22.06.2022 16:00	4776	14.8	10.26	677
22.06.2022 18:00	4784	14.5	10.28	677
23.06.2022 04:00	4723	16.7	10.21	677
23.06.2022 06:00	4726	16.8	10.2	677
23.06.2022 08:00	4658	17.8	10.17	677
23.06.2022 12:00	4422	26.5	9.83	677
23.06.2022 14:00	4365	28.1	9.8	677
23.06.2022 16:00	4295	30.3	9.68	677
23.06.2022 18:00	4278	30.5	9.67	677
23.06.2022 20:00	4470	25.1	9.9	677
24.06.2022 04:00	4683	18.4	10.1	677
24.06.2022 06:00	4672	19.5	10.08	677
24.06.2022 08:00	4669	18	10.15	677
24.06.2022 10:00	4684	17.4	10.18	677
24.06.2022 12:00	4670	18	10.14	677
24.06.2022 14:00	4691	18.1	10.13	677
25.06.2022 16:00	4312	29.9	9.69	677
25.06.2022 18:00	4549	21.1	10.02	677
25.06.2022 20:00	4636	18	10.11	677
26.06.2022 10:00	4666	18.2	10.13	677
26.06.2022 12:00	4369	27.8	9.76	677
26.06.2022 14:00	4600	19.9	10.08	677
26.06.2022 16:00	4603	20.5	10.08	677
26.06.2022 18:00	4588	20.9	10.06	677
27.06.2022 02:00	4753	15	10.27	677

27.06.2022 04:00	4752	15	10.27	677
27.06.2022 06:00	4741	15.7	10.26	677
27.06.2022 08:00	4678	18.1	10.16	677
27.06.2022 10:00	4448	26	9.85	677
27.06.2022 12:00	4349	28.4	9.76	677
27.06.2022 14:00	4344	29.3	9.74	677
27.06.2022 16:00	4342	29.8	9.6	677
27.06.2022 18:00	4380	27	9.8	677
27.06.2022 20:00	4429	26.2	9.85	677
27.06.2022 22:00	4481	24.6	9.91	677
28.06.2022 00:00	4520	24.7	9.9	677
28.06.2022 02:00	4521	22.7	10	677
28.06.2022 04:00	4536	23	9.95	677
28.06.2022 06:00	4520	22.8	10	677
28.06.2022 08:00	4469	25.4	9.89	677
28.06.2022 10:00	4368	28.6	9.77	677
28.06.2022 12:00	4334	29.2	9.73	677
28.06.2022 14:00	4310	30	9.72	677
28.06.2022 18:00	4550	22	9.9	677
28.06.2022 20:00	4611	20.7	10	677
28.06.2022 22:00	4598	20.5	10.06	677
29.06.2022 00:00	4596	20	10.06	677
29.06.2022 04:00	4607	19.7	10.07	677
29.06.2022 16:00	4561	22.1	10	677
29.06.2022 18:00	4731	16.4	10.2	677
30.06.2022 00:00	4654	18.1	10.14	677
30.06.2022 08:00	4422	25.5	9.83	677
30.06.2022 10:00	4352	28.1	9.72	677
30.06.2022 12:00	4360	26.4	9.78	677
30.06.2022 14:00	4457	24.4	9.85	677
30.06.2022 16:00	4461	24.2	9.8	677
30.06.2022 18:00	4436	24.6	9.85	677
30.06.2022 20:00	4511	22	9.9	677
30.06.2022 22:00	4510	22.5	9.92	677

Salicylic Acid is also Effective Along with Abscisic Acid and Gibberellic Acid in the Orchid Post-Pollination Process

Mehmet AYBEKE^{1*}

¹Department of Biology, Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-9512-5313>

*Correspondence: mehmetaybeke@gmail.com

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 03.11.2023

Accepted: 29.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Himantoglossum

Hormone

Orchid

Post-pollination phenomena

Flower

The aim of this study is to determine the endogenous hormone activities of abscisic acid (ABA), Jasmonic acid (JA) and Salicylic acid (SA) in compatible (Intraspecific = ISP) and incompatible pollination (Intergeneric = IGP) in stigmatic ovaries during orchid post-pollination process. ISP pollination experiments were conducted among *Himantoglossum robertianum* flowers. In IGP experiments, pollination was carried out between the flowers of *Himantoglossum robertianum* and *Orchis italica*. For this, polynariums taken from *O. italica* have been applied with needles to the flower stigmas of *H. robertianum*. Ovaries with stigma from both pollination types were taken separately for each day for a total of 10 days and quantitative endogenous hormone analyzes have been performed by LC-MS/MS. After all, SA hormone has been detected for the first time in both ISP and IGP, but only ISP values were significant. The statistical analysis revealed that while SA is significant in only ISP, ABA values were found to be highly significant in both ISP and IGP. ISP9 also showed high significance. Additionally, ABA values were generally higher than SA values, especially in IGP experiments. The results also emphasized the importance of ovarian endogenous hormone activities for the first time. JA was not detected in the analysis.

Salisilik Asit Orkidelerin Tozlaşma Sonrası Sürecinde Absisik Asit ve Gibberellik Asit ile Birlikte Etkilidir

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 03.11.2023

Kabul tarihi: 29.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Himantoglossum

Hormon

Orkide

Post-pollination fenomen

Çiçek

Bu çalışmanın amacı orkide stigmatalı ovaryumlarında uyumlu (Intraspesifik = ISP) ve uyumsuz tozlaşmada (Intergeneric = IGP) absisik asit (ABA), Jasmonik asit (JA) ve Salisilik asitin (SA) endojen hormon aktivitelerini belirlemektir. ISP tozlaşma deneyleri *Himantoglossum robertianum* çiçekleri arasında yapılmıştır. IGP deneylerinde tozlaşma, *Himantoglossum robertianum* ve *Orchis italica* çiçekleri arasında gerçekleştirildi. Bunun için *O. italica*'dan alınan polinariumlar, *H. robertianum*'un çiçek stigmalarına özel iğnelerle uygulanmıştır. Her iki tozlaşma tipine ait stigmatalı ovaryumlar toplam 10 gün boyunca her gün için ayrı ayrı alınmış ve LC-MS/MS ile kantitatif endojen hormon analizleri yapılmıştır. Sonuçta SA hormonu ilk kez hem ISP'de hem de IGP'de tespit edildi ancak yalnızca ISP değerleri anlamlı çıkmıştır. Yapılan istatistiksel analizde SA'nın sadece ISP'de anlamlı olduğu, ABA değerlerinin ise hem ISP'de hem de IGP'de oldukça anlamlı olduğu görüldü. ISP9 da yüksek önem gösterdi. Ayrıca ABA değerleri, özellikle IGP deneylerinde genellikle SA değerlerinden yüksekti. Sonuçlar aynı zamanda ilk kez ovaryum endojen hormon aktivitelerinin önemini de vurguladı. Analizlerde JA tespit edilmemiştir.

To Cite: Aybeke M. Salicylic Acid is Also Effective Along with Abscisic Acid and Gibberellic Acid in the Orchid Post-Pollination Process. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1600-1616.

1. Introduction

Considered being the largest family of plants, Orchidaceae consists of 25,000–35,000 species (Attri et al., 2020). Orchids have been the focus of attention of many researchers and animals with their labellums, which varied in shape and color, and their patterned flower structures consisting of 3 petals and 3 sepals. Orchids are considered as unusual among flowering plants (Withner et al., 1974). Food deceptive and rewarding flowers, which are seen as pollination strategies, or attractive flower structures that secrete sex deceptive and chemical pheromones attract the attention of many pollinator agents (Lanzino et al., 2023). After such reciprocal pollination events with pollinator insects, the complex events in flower structures and metabolisms are entitled as “post pollination phenomena” and the findings on this subject are outlined below:

The first action that triggers hormonal events in post-pollination is the penetration of auxin in the pollen into the stigma (Arditti and Flick, 1976; Strauss and Arditti, 1984). Auxin from pollen diffuses through the column and stimulates ethylene production, which triggers perianth senescence (Clifford and Owens, 1988). Orchid flowers are very sensitive to ethylene (Dijkman and Burg, 1970). Ethylene is also released in the flower after the polynarium leaves the flower by a pollinator insect (Arditti et al., 1973; Strauss and Arditti, 1984) and with the activity of auxin, the amount of ethylene increases even more in the flower (Strauss and Arditti, 1984). Therefore, in the post-pollination processes, the rostellum and stigmatic parts of the flower are the controlling regions of many events. Rostellum is a median stigma region that initiates and regulates a series of post-pollination phenomena (Arditti and Flick 1974; Arditti 1979a) by producing ethylene, and the flower segments display localized effects only within its area in this process. For instance; Absisic acid (ABA) and Naphtalen acetic acid (NAA), ethylene and partially Gibberellic acid (GA) in the lateral petals, sepals and labellum, yellowing and hooding in the dorsal sepal, senescens and anthocyanin synthesis are initiated. Again in this process; ovule development (Zhang and ONelll, 1993), swelling, development and coordination of male and female gametophytes (Zhang and ONelll, 1993) are provided in the ovary, while a change in curvature is observed in pedicel. In addition, stigmatic closure with auxin in the stigma, auxin promotion in the column and Ethylene production after pollination, RNA synthesis, synthesis of anythocyanin, swelling, straightening and greening are seen. With these, movement of substrates from the perianth to the ovary and column is observed (Arditti, 1969; Arditti et al., 1971; Arditti, 1979b). This post-pollination process is monitored in all orchid taxa, autogamic or allogamic.

Various research findings indicate that auxin and ethylene alone are not responsible for the post-pollination phenomenon of orchid flowers and enzymes, besides RNA and DNA are also effective in this process by spreading from the germinating pollen (Arditti 1979b). Thus, orchid pollinia and/or stigmas trigger a series of post-pollination events due to the synthesis or release of these substances in addition to auxin (Strauss and Arditti, 1982).

Pollen has auxin (Arditti 1979a). Although auxin is secreted from pollen, some researchers have emphasized that other factors affecting post pollination should be examined (Strauss and Arditti, 1982).

Therefore, in our first trials, the presence of Salicylic acid, Abscisic acid and Jasmonic acid hormones have been detected in polinia, apart from auxin. Because different studies have also referred to the presence of JA in pollen (Yamane et al., 1982). For this reason, it has been noted that there is a lack of knowledge in the form of whether there are other hormones in flowers after post-pollination and to what extent the activities of these hormones change in pollination between different taxa. For this reason, the first aim of the study is to investigate the hormones that could not be detected before during post pollination, its secondary objective is to determine the activities of newly discovered and lesser-known hormones such as SA and ABA in pollination experiments performed within the same taxon or with different taxa.

2. Material and Method

In the study, two different pollination experiments have been conducted: 1. Compatible pollination made with members of the same taxon (Intraspecific= ISP), 2. incompatible cross pollination experiments have been carried out with specimens from different genera (Intergeneric= IGP) to prevent fertilization as much as possible. As material, samples belonging to *Himantoglossum robertianum* (Loisel.) P. Delforge and *Orchis italica* Poir. have been used in the experiments (Figure 1a-d). The samples were collected from Muğla and Çanakkale in the previous year, some of them were dried and recorded in the herbarium (EDTU 22869, 10417), and some of them were kept in pots. Manual pollination experiments were carried out on specimens blooming in March the following year (Figure 1a-d). In order to confirm the accuracy of the samples, they were also identified (Deniz, 2022; Güler, 2022).

For this reason, polynariums taken from *H. robertianum* flowers (1 or 2 day-old flowers that have just opened and are suitable for pollination) by hand were placed on the stigmas of the flowers of the same taxon with the help of needle and forceps. Additionally, some polynariums from *O. italica* were also applied to another *H. robertianum* flower stigma. Therefore, both in-species pollination and hybridization between different genera were tested (Figure 1e-f). The ovaries with the stigma of the flowers taken from both types of pollination for 10 days were taken into liquid nitrogen and then kept in defreeze at -80 °C until hormonal tests.

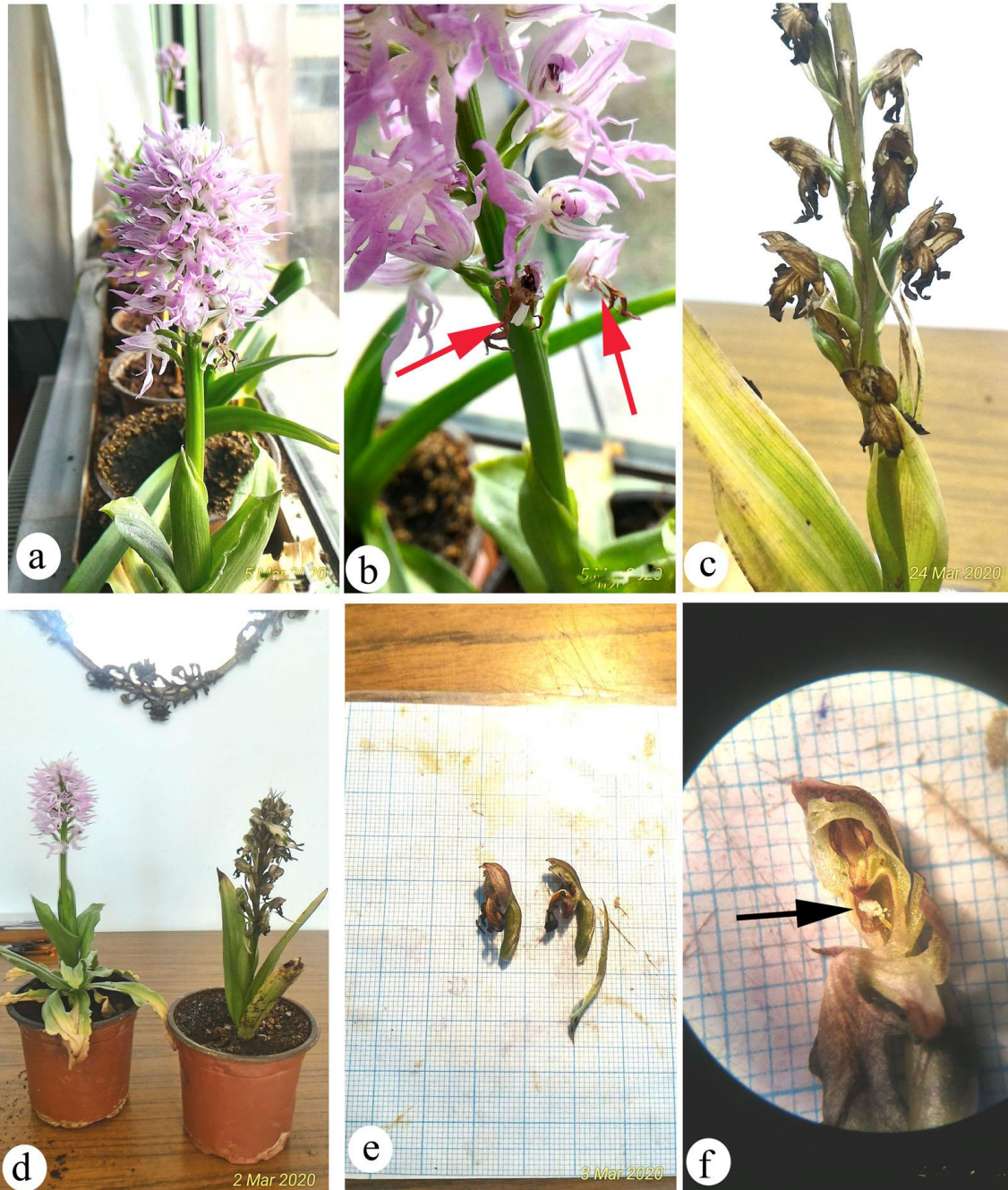


Figure 1: a. *O. italica* general view and, b. blackened labellums after pollination (red arrows), c. *H. robertianum* flowers and, d. *O. italica* and *H. robertianum* trial samples, e. dissected flowers of *H. robertianum* for hormone analysis, f. a polynarium (arrow) from *O.italica* on *H. robertianum* stigma.

Extracts were prepared according to the procedure of Müller and Munné-Bosch (2011) with some modification. The samples were pulverized using a grinder. After that, powdered samples were dissolved in 10 mL ethanol (95%) followed by ultrasonic assisted extraction in an ultrasonic cleaning bath for 60 min at 40 °C. This mixture was centrifuged at 5000 rpm for 30 min at +4 °C and the supernatant was collected into a volumetric flask. Extraction procedure was repeated twice. 5 mL ethanol was added to

the sample again and ultrasonic bath was performed at 40 °C for 30 min and centrifuged. Finally, the supernatants were combined into a 25 mL volumetric flask and the volume was made up to the mark with ethanol (95%). 100 µL of sample was mixed with 900 µL extraction solution (water, methanol, formic acid: v: v: v, 79: 20: 1), and samples were vortexed for 30 s. After that, the mixture was homogenized using sonicator at 45 °C 10 min. Samples were centrifuged at 13500 rpm for 5 min and supernatant injected into the LC–MS/MS system for quantitative analysis.

LC was performed using an Agilent 6460 (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) LC system. Data acquisition and processing were accomplished using MassHunter, the Agilent LC-MS software (Fischer et al., 2011). The concentration of the hormones in each sample was calculated using the calibration curve. Samples were prepared on the same day and analyzed in the same analytical run. All calibration curves were prepared with the following concentrations: blank (water, methanol, formic acid: v: v: v, 79: 20: 1), 5, 10, 25, 50, 100 ng / mL and injected all points three times. The linearity of all the hormone was $R^2 \geq 0,995$. These samples were analyzed according to the procedure described for sample preparation.

Hormone analysis was performed by using an LC system (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany). MS/MS analyses were conducted on an Agilent 6460 triple quadruple LCMS equipped with an electrospray ionization interface. 1 g sample was taken into falcon and on it 10 mL extra-pure water was added. The solution was vortexed for 1 min and sonicated for 15 min at 45 °C. BB and BP samples were centrifuged for 5 min at 13500 rpm. Then, 50 mL clear supernatant was mixed with 50 mL internal standard and 900 mL extraction solution (mobile phase A, methanol, acetonitrile: v :v :v, 5: 15: 15, Mobile phase B Acetic acid (1%) in 1:1 acetonitrile-methanol), and the sample was injected to LC-MSMS system. High-performance liquid chromatography parameters: Column Agilent Zorbax SB-C8 column 150 mm × 3,0 mm, 3,5 µm; particle size (Agilent Technologies). Autosampler temperature 4 °C, Flow rate 0,7 ml·min⁻¹, Column temperature 35 °C, Injection volume 10 µl, Total run time 12 min. Mass spectrometry parameters: Ionization mode Electrospray ionization negative, Gas temperature 300 °C, Gas flow 10 l·min⁻¹, Nebulizer 275 790,29 Pa, Sheath gas temperature 400 °C, Sheath gas flow 10 l·min⁻¹, Capillary voltage 3 500 V, Nozzle voltage 0 V, Scan type Dynamic multiple reaction monitoring.

In each daily experiment, samples were taken from the flowers of a total of 6 different plants, 3 for ISP pollination and 3 for IGP pollination, and both types of 10-day trials were repeated three times and the differences in the hormonal values were compared using ANOVA with means separation by the Duncan's test using the SPSS 26 software at a significance level of $P \leq 0.05$.

3. Results and Discussion

In SA analyses, the highest ISP values were ISP1 and ISP3 (Table 1), and these values were significantly higher than ISP5,7,8 and 10 (Table 2). Although ISP4 and ISP9 values were also partly high, this increase was not significant (Tables 1-2). In SA's IGP experiments, the highest value was in IGP9,

followed by IGP4, IGP1, and IGP10, respectively, but there is no significant difference between the values (Tables 1,3).

When ABA values were considered, the highest ISP value was in ISP9, followed by ISP4, 1, 10, 6, and 5, respectively, and all comparisons with ISP9 were significant (Tables 4,5). In ABA, the highest IGP value was in IGP5, followed by IGP3, 6, and 4, respectively, and these high values in IGP3 and IGP5 were significant in comparisons (Tables 4,6).

In SA, ISP and IGP values were generally high, with almost similar values on days 1, 3, and 4. Additionally, the values on the 9th and 10th days of IGP also increased partially (Table 1). In ABA, IGP values were higher than ISP values, and only the ISP9 value was higher than all (Table 4).

Regarding the SA and ABA values in ISP, it is noteworthy that ABA values were generally higher than SA, except for ISP2–3 (Table 1.4). In IGP, ABA activities were higher at almost all values than in SA (Tables 1,4).

Table 1. Basic descriptives and Anova test results belonging to SA hormone activities in the all ISP and IGP groups

95% Confidence Interval for Mean					
Groups	N	Mean ^a	SD ^b	SE ^c	Sig.
ISP1	3	2,4834	0,03755	0,02168	0
ISP2	3	1,8595	0,04407	0,02544	0
ISP3	3	2,4924	0,08805	0,05083	0
ISP4	3	2,056	0,182	0,10508	0
ISP5	3	1,5001	0,41715	0,24084	0
ISP6	3	1,8036	0,20813	0,12017	0
ISP7	3	1,4887	0,07332	0,04233	0
ISP8	3	1,2611	0,16519	0,09537	0
ISP9	3	1,9972	0,51759	0,29883	0
ISP10	3	1,6422	0,45481	0,26259	0
IGP1	3	2,2167	0,0583	0,03366	0,131
IGP2	3	1,7056	0,12711	0,07339	0,131
IGP3	3	2,0482	0,18857	0,10887	0,131
IGP4	3	2,4742	0,52223	0,30151	0,131
IGP5	3	1,6239	0,06184	0,0357	0,131
IGP6	3	1,8196	0,09824	0,05672	0,131
IGP7	3	1,3545	0,22917	0,13231	0,131
IGP8	3	1,3852	0,20125	0,11619	0,131
IGP9	3	3,3163	2,09457	1,2093	0,131
IGP10	3	2,1167	0,93076	0,53737	0,131

^a: ng/gr; ^b: Standard deviation, ^c: Standard Error, *F*: 6,599; *df*: 9.

Considering all ISP and IGP values, ABA IGP values on days 2, 3, 4, 5, and 6 were higher than all other ISP and SA IGP values on the same days, except the ABA ISP9 value, which is at the top of all other hormonal values (Tables 1, 4). JA was not found in any of the analyses.

Table 2. Mean comparison of SA activities in ISP experiments based on Duncan's test.

		Subset for alpha = 0.05				
	Grup	N	1	2	3	4
Duncan ^a	ISP8	3	1.2611			
	ISP7	3	1.4887	1.4887		
	ISP5	3	1.5001	1.5001		
	ISP10	3	1.6422	1.6422	1.6422	
	ISP6	3		1.8036	1.8036	
	ISP2	3		1.8595	1.8595	
	ISP9	3		1.9972	1.9972	1.9972
	ISP4	3			2.0560	2.0560
	ISP1	3				2.4834
	ISP3	3				2.4924
	Sig.		.137	.059	.115	.057

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Table 3. Mean comparison of SA activities in IGP experiments based on Duncan's test.

		Subset for alpha = 0.05		
	Grup	N	1	2
Duncan ^a	IGP7	3	1.3545	
	IGP8	3	1.3852	
	IGP5	3	1.6239	
	IGP2	3	1.7056	
	IGP6	3	1.8196	
	IGP3	3	2.0482	2.0482
	IGP10	3	2.1167	2.1167
	IGP1	3	2.2167	2.2167
	IGP4	3	2.4742	2.4742
	IGP9	3		3.3163
	Sig.		.130	.077

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Table 4. Basic descriptives and Anova test results belonging to ABA hormone activities in all ISP and IGP groups

95% Confidence Interval for Mean					
Groups	N	Mean^a	SD^b	SE^c	Sig.
ISP1	3	4.2916	0.9364	0.54067	0.024
ISP2	3	1.7215	0.7252	0.41869	0.024
ISP3	3	1.04	0.3629	0.20956	0.024
ISP4	3	4.4433	2.8011	1.61725	0.024
ISP5	3	3.5281	0.2137	0.12342	0.024
ISP6	3	3.9603	1.4670	0.84701	0.024
ISP7	3	2.9267	0.91526	0.52843	0.024
ISP8	3	2.5784	1.99725	1.15311	0.024
ISP9	3	23.876	21.1418	12.20623	0.024
ISP10	3	3.8856	0.29605	0.17093	0.024
IGP1	3	2.0567	0.07105	0.04102	0.001
IGP2	3	7.0968	2.14384	1.23775	0.001
IGP3	3	11.115	7.59987	4.38779	0.001
IGP4	3	8.6526	0.42758	0.24686	0.001
IGP5	3	11.861	0.60766	0.35083	0.001
IGP6	3	9.3455	4.48871	2.59156	0.001
IGP7	3	1.318	0.87161	0.50322	0.001
IGP8	3	2.9797	0.05337	0.03082	0.001
IGP9	3	4.8108	0.6834	0.39456	0.001
IGP10	3	2.9254	0.66757	0.38542	0.001

^a: ng/gr; ^b: Standard deviation, ^c: Standard Error, *F*: 5,387; *df*: 9.

Table 5. Mean comparison of ABA activities in ISP experiments based on Duncan's test.

		Subset for alpha = 0,05		
	Grup	N	1	2
Duncan ^a	ISP3	3	1.0400	
	ISP 2	3	1.7215	
	ISP 8	3	2.5784	
	ISP 7	3	2.9267	
	ISP 5	3	3.5281	
	ISP 10	3	3.8856	
	ISP 6	3	3.9603	
	ISP 1	3	4.2916	
	ISP 4	3	4.4433	
	ISP9	3		23.8765
	Sig.			.597

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 6: Mean comparison of ABA activities in IGP experiments based on Duncan's test.

		Subset for alpha = 0,05				
	Grup	N	1	2	3	4
Duncan ^a	IGP7	3	1.3180			
	IGP 1	3	2.0567	2.0567		
	IGP10	3	2.9254	2.9254		
	IGP 8	3	2.9797	2.9797		
	IGP 9	3	4.8108	4.8108	4.8108	
	IGP 2	3		7.0968	7.0968	7.0968
	IGP 4	3			8.6526	8.6526
	IGP 6	3			9.3455	9.3455
	IGP 3	3				11.1154
	IGP 5	3				11.8617
	Sig.			.201	.069	.094

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

SA is a signaling factor generally related to hormone regulation and systemic resistance of plants, and SA has a key role in seed germination, seedling formation, cell growth, respiration, enhancement of enzyme activity, regulation of plant growth and development, interaction with other organisms, and photosynthesis under adverse environmental conditions. (Chen et al., 2012). In fact, it has been stated that SA has a regulatory role that potentially affects plant growth and productivity when applied (Martin-Mex et al., 2005). For example; Carrot has also been used in tissue culture media to promote somatic embryogenesis of *Coffea arabica*, *Astragalus adurgens* and *Avena nuda* (Hong et al., 2008). Because SA increases the expression of somatic embryogenesis proteins by inhibiting ethylene biosynthesis (Luo et al., 2001). Inasmuch as; according to Behrouzyar and Yarnia (2015), SA is a potent regulator that can effectively manage a variety of plant growth metabolism. In recent studies, it has been shown that SA is very effective in plant growth, development and even reproductive organs (Medina et al., 2017; Belt et al., 2018). Therefore, this wide range of effects of this hormone is due to the fact that SA is present in all organs of the plant and can be transported to different organs via phloem (Baktır, 2010). SA also has to do with flower functions: For instance; SA manages the metabolism related to thermogenicity in flowers in *Cycas*, *Annonaceae*, *Araceae*, *Aristolochiaceae*, *Cyclanthaceae*, *Nymphaeaceae* and *Palmae* taxa (Oçkun, 2013).

SA plays important roles in regulating pollen viability, flower fertility and the development of normal female flowers (Liu et al., 2019). It has even been demonstrated that reactive oxygen species (ROS) homeostasis and SA hormone positively affect spikelet development and pollen fertility (Zhou et al., 2021). Again, SA and its derivative, MeSA, played a role in pollen tube growth of *Camellia oleifera* (Lu et al., 2021). Some studies have shown that SA is closely related to pollination and fertilization. For instance, in the pollinated pistil of the pear, the amount of SA increased significantly and promoted in vitro pollen germination and pollen tube elongation, and significantly increased the fruit formation rate (Zhao et al., 2012). Therefore, it is not surprising that SA is also involved in the orchid pollination process, as shown in our findings, and is supported by the literature analyzes shown above. Besides, the first discovery of endogenous SA in post-pollination events in orchids was provided by these findings, and the levels of this hormone should be determined in future studies regarding the development of the ovule during the transformation process from the ovary to the fruit. Thus, all SA activity from pollination to fruit and seed development will be clearer.

ABA is an important plant hormone that regulates plant growth, dormancy and responds to challenges. Apart from these ABA also contributes widely to the differentiation of male and female flowers (Xiao et al., 2003), embryo development (Cheng et al., 2014), fruit development and maturation. (Zhang et al., 2018). For instance, Gao et al. (2015) reported that ABA is involved in the development of different flower sexes in melon. In fact, ABA also participates in the development of plant reproductive structures. For example; ABA has been implicated in promoting microspore-derived embryos in *Brassica napus* (Zou et al., 1995). In another study (Carrier et al., 1999), the highest ABA content was observed in the female gametophyte at the 11th day after pollination when cellular activities changed. In another study

(Vernieri et al., 1989), it was emphasized that ABA in the ovule, nucellus and integuments increased continuously at close levels and until anthesis and remained constant before pollination. ABA also has an effect on seed development and the development of sporophyte and gametophyte tissues (Chen et al., 2020).

ABA is also related to pollen sterility. For instance, ABA levels in sterile orange blossoms were higher than normal pollen (Harris and Dugoer, 1986). Additionally, ABA is also effective on pollen activity. Thus, ABA level of the stigma during pollination is very important in the process from the adhesion of pollen grains to their germination (Kovaleva and Zakharova, 2003). For instance, pollen tube plasma membrane H^+ concentration and related ATPase activity are related to Ca^+ and K^+ channels and by increasing the activity of free Ca^+ and reactive oxygen species (ROS) and H^+ -dependent ATPase of ABA in the pollen tube, it contributes to the elongation of the pollen tube (Bright et al., 2009). Additionally, ABA also modulates the activity of other hormones, such as ethylene, to regulate pollen germination and tube elongation prior to fertilization (Firon et al., 2012). It was also stated that ABA is important in incompatible pollination (Barendse et al. 1970). As a result, in the light of the detailed literature review above, the fact that ABA hormone, which is effective at every stage from the flowering process, the functions of the reproductive organs, the pollen and seed, fruit development process to their activities and infertility, parthenocarpy, compatible and self-incompatible pollination states, showed different activities in ISP and IGP experiments in our studies is not surprising. As a matter of fact, in post-pollination studies (Arditti et al., 1971), the effect of ABA was investigated by external exogenous application, and endogenous hormone amount analysis was not performed. According to the study of Arditti et al. (1971), it was stated that exogenous ABA application only increased anthocyanin synthesis in the post-pollination process. However, according to our study, the values of ABA in ISP pollination were generally lower than in IGP pollination (Table 4). At this point, as stated by Goldschmit (1980) and (Kojima et al., (1993), ABA is important in the process of pollen germination in the stigma and especially in the progression of the pollen tube in the stylus in compatible pollination and it has been stated that it promotes this situation. Likewise, ABA amounts have always remained at high levels in incompatible pollination (Barendse et al. 1970). In addition, as indicated in Table 4, the fact that the amount of endogenous ABA is higher in IGP pollination, especially between 2-6 days and partially on the day 9, compared to ISP, indicates that this hormone ceases the pollen tube progression and controls the stylus functions in this direction, and thus the ovary remains stable before fertilization. This indicates the importance of ABA in keeping it in a state (Hu et al., 2019). In brief, ABA prevented fertilization with its high values in IGP pollination, while it was an incentive at low values in ISP. ABA realized this especially with her functions in the stigma and stylus. Thus, Cheng et al. (2002) suggested that ABA has dual functions as inhibitor and activator and emphasized that low endogenous ABA levels are activating this hormone. It is seen that our findings are compatible with the detailed literature data given above and ABA is notably active in the post-pollination process in orchids. Naturally, supporting the development of the stylus, stigma and ovule simultaneously with embryological studies will increase

the accuracy of these ideas. As a matter of fact, the ABA ISP9 value is the highest hormonal value, and additional embryological histological studies will reveal why ABA increases significantly on the 9th day of ISP.

During our literature analysis, no cross pollination experiments such as IGP were encountered in post-pollination studies in orchids. Therefore, our findings represent a novelty as they are aimed at detecting both endogenous hormone levels and SA activity and ABA activity for the first time in both pollination experiments. Therefore, it our original findings here have revealed that it will be possible to understand the natural responses of the plant to pollination by monitoring endogenous hormone levels. In our future studies, the activity of these hormones will be better understood and contribute to the reproductive biology of orchids by examining the expression levels of some enzyme genes in the post-pollination process together with embryological studies. SA has many functions in flower development, including regulation of stamen development, flowering time, and ovary development (Luo et al., 2022). SA regulates pollen tube elongation during pollination; namely; regulates local pollen tube growth depending on SA content in plant pistils (Lu et al., 2021). Also, pear pollen tubes showed that stamens produced SA in large amounts after pollination to promote pollen tube germination and pollen tube elongation (Luo et al., 2022). SA regulates ovarian development, epispERM and endospERM development. after fertilization. Also Sa effected stress-induced flowering and flower development. The association between plant immunity and the flowering process has been studied in *Arabidopsis*, where pathogen attack suppresses the nuclear factors YB2 and YB3 to induce the endogenous hormones SA and Jasmonic acid (JA) which then promote flowering (Xie, 2021). It was found by direct pollination extraction that IAA is related to ABA, SA, and some GAs during the post-pollination process. In this study, hormones in the polynia were studied, but hormones in the ovary were not examined (Netlak et al., 2022). In our study, hormonal changes after pollination were detected for the first time in the scientific world. In another study, JA was found to activate the self-incompatibility mechanism and to do this especially in the ovary. (Liu et al., 2022). For pollination drop in *Ginkgo biloba*, DEGs (differentially expressed genes) related to jasmonic acid (JA) metabolism and signal transduction were identified (Wanqing et al., 2021). Seedless fruit is a feature appreciated by consumers, and it has been found that GA, JA, ethylene, and SA are active together in the ovule abortion process for seedless fruit in some plants (Wang et al., 2021). JA activity has been found to be important in stamen filament elongation in *Arabidopsis* (Zhao et al., 2021). The plants whose brief analysis is given above are plants other than orchids. To date, the findings mentioned in this article have not been observed in any orchid, including *Himantoglossum* spp.

Conclusions

In SA analyses, the highest ISP values were ISP1 and ISP3, and these values were significantly higher than ISP5,7,8 and 10. Although ISP4 and ISP9 values were also partly high, this increase was not significant. In SA's IGP experiments, the highest value was in IGP9, followed by IGP4, IGP1, and

IGP10, respectively, but there is no significant difference between the values. Also in SA, ISP and IGP values were generally high, with almost similar values on days 1, 3, and 4. Additionally, the values on the 9th and 10th days of IGP also increased partially. In ABA analyses, the highest ISP value was in ISP9, followed by ISP4, 1, 10, 6, and 5, respectively, and all comparisons with ISP9 were significant. The highest IGP value was in IGP5, followed by IGP3, 6, and 4, respectively, and these high values in IGP3 and IGP5 were significant in comparisons. Also In ABA, IGP values were higher than ISP values, and only the ISP9 value was higher than all.

Acknowledgments

The author would like to thank Prof. Dr. Oğuzhan Doğanlar for his help in statistical tests.

Compliance with ethical standards

The author declare that they have no conflict of interest. This article does not contain any studies involving animals or human participants as objects of research.

References

- Arditti J. Post pollination phenomena in orchid flowers. *Australian Orchid Reviews* 1969; 34: 155-158. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1973.tb05985.x>
- Arditti J., Jeffrey DC., Flick BH. Post-pollination phenomena in orchid flowers iii. Effects and interactions of auxin, kinetin or gibberellin. *New Phytologist* 1971; 70: 1125-1141. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1971.tb04595.x>
- Arditti J., Nanette MH, Chadwick AV. Post-pollination phenomena in orchid flowers. IV. Effects of ethylene *American Journal of Botany* 1973; 60(9): 883-888. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1973.tb05985.x>
- Arditti J., Flick BH. Post-pollination phenomena in orchid flowers. V. Participation by the rostellum and gynostemium tip. *American Journal of Botany* 1974; 61: 643-651. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1974.tb12284.x>
- Arditti J., Flick BH. Post pollination phenomena in orchid flowers. VI. Excised floral segments of *Cymbidium*. *American Journal of Botany* 1976; 63(2): 201-211. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1976.tb11803.x>
- Arditti J. Aspects of the physiology of orchids. *Advances in Botanical Research* 1979a; 7: 421-655. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60091-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60091-9)
- Arditti J. Aspects of the physiology of orchids. in: Woolhouse HW. (Ed.) *Advances in Botanical Research*, Academic press, London, UK 1979b; 7: 421-655.
- Attri LK., Bhanwra RK., Nayyar H. Pollination induced embryology studies in *Aerides multiflora* (ROXB.). *International Journal of Botanical Studies* 2020; 5(4): 211-215.
- Baktır İ. Bitki büyüme düzenleyicileri özellikleri ve kullanımları. Hasad Yayınları 2010.

- Barendse GWM., Rodriguespereira AS., Berkers PA., Driessen FM., Vaneyden-Emons A. et al. Growth hormones in pollen, styles and ovaries of *Petunia hybrida* and of *Lilium* species. *Acta Botanica Neerlandica* 1970; 19(2): 175-186.
- Behrouzfar EK., Yarnia M. Physiological response of sweet corn (*Zea mays* var. Merit) to foliar application of salicylic acid under water deficit stress. *Bangladesh Journal of Botany* 2015; 44(4): 659-663. <https://doi.org/10.3329/bjb.v44i4.38647>
- Belt ISP., Huang S., Thatcher LF., Casarotto H., Singh ISP. et al. Salicylic acid-dependent plant stress signalling via mitochondrial succinate dehydrogenase. *Plant Physiology* 2018; 176(1): 1-30. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00060>
- Bright J., Hiscock SJ., James PE., Hancock JT. Pollen generates nitric oxide and nitrite: a possible link to pollen-induced allergic responses. *Plant Physiology and Biochemistry* 2009; 47: 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.09.005>
- Carrier DJ., Edward JK., Cheryl AB., Cunningham JE., Dunstan DI. Water content, lipid deposition, and (+)-abscisic acid content in developing white spruce seeds. *Journal of Experimental Botany* 1999; 50(337): 1359–1364
- Chen ZL., Li XM., Zhang H. Effect of salicylic acid pretreatment on drought stress responses of zoysiagrass (*Zoysia japonica*). *Russian Journal of Plant Physiology* 2012; 61(5): 619-625. <https://doi.org/10.1134/S1021443714050057>
- Chen ISP., Guo-Jun Li, Bressan RA., Chun-Peng S., Jian-Kang Z. et al. Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants. *Journal of Integrative Plant Biology* 2020; 62(1): 25–54. <https://doi.org/10.1111/jipb.12899>
- Cheng WH., Endo A., Zhou L., Penney J., Chen HC. et al. A unique short-chain dehydrogenase/reductase in *Arabidopsis* glucose signaling and abscisic acid biosynthesis and functions. *Plant Cell* 2002; 14: 2723–2743.
- Cheng ZJ., Zhao XY., Shao XX., Wang F., Zhou C. et al. Abscisic acid regulates early seed development in *Arabidopsis* by ABI5-mediated transcription of Short Hypocotyl Under Blue1. *Plant Cell* 2014; 26: 1053–1068. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.121566>
- Clifford SC., Owens SJ. Post-pollination phenomena and embryo development in the oncidinae (Orchidaceae). Sexual reproduction in higher plants. Proceedings of the Tenth International Symposium on the Sexual Reproduction in Higher Plants 1988 Siena, Italy.
- Deniz İG. *Himantoglossum* Spreng. Orchidaceae, in: Güner A., Kandemir A., Menemen Y., Yıldırım H., Aslan S. et al. (Eds.) Resimli Türkiye Florası, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Basımı Cilt 3a, 1st edition, İstanbul, 2022, pp. 235-236 (in Turkish).
- Dijkman MJ., Burg SP. Auxin induced spoiling of vanda blossoms. *American Orchid Society Bulletin* 1970; 39: 799-804.

- Firon N., Nepi M., Pacini E. Water status and associated processes mark critical stages in pollen development and functioning, *Annales of Botany* 2012; 109: 1201–1214. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs070>
- Fischer UA., Carle R., Kammerer DR. Identification and quantification of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel, mesocarp, aril and differently produced juices by HPLC-DAD–ESI/MSn. *Food Chemistry* 2011; 127: 807–821. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.156>
- Gao P., Sheng YY., Luan FS., Ma HY., Liu S. RNA-Seq transcriptome profiling reveals differentially expressed genes involved in sex expression in melon. *Crop Science* 2015; 55(4): 1686-1695. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.06.0444>
- Goldschmidt ED. Abscisic acid in citrus flower organs as related to floral development and function. *Plant Cell Physiology* 1980; 21(1): 193–195.
- Güler N. *Orchis* L., Orchidaceae. in: Güner A., Kandemir A., Menemen Y., Yıldırım H., Aslan S. et al. (Eds.) *Resimli Türkiye Florası, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Basımı, Cilt 3a, 1st edition, İstanbul, 2022, pp 165-167 (in Turkish).*
- Harris MJ., Dugger WM. Levels of free and conjugated abscisic acid in developing floral organs of the navel orange (*Citrus sinensis* IL.). *Plant Physiology* 1986; 82: 1164- 1166. <https://doi.org/10.1104/pp.82.4.1164>
- Hong PI., Chen JT., Chang WC. Effects of salicylic and acetylsalicylic acid on direct somatic embryogenesis in oncidium. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 2008; 17(2): 149-153. <https://doi.org/10.1007/BF03263276>
- Hu Z., Lan S., Zhao N., Su N., Xue Q. et al. Soft-X-irradiated pollens induce parthenocarpy in watermelon via rapid changes of hormone-signalings and hormonal regulation. *Scientia Horticulturae* 2019; 250: 317–328.
- Kojima K., Kuraishi S., Sakurai N., Fusao K. Distribution of abscisic acid in different parts of the reproductive organs of tomato. *Scientia Horticulturae* 1993; 56(1): 23-30. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(93\)90098-B](https://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90098-B)
- Kovaleva L., Zakharova E. Hormonal status of the pollen-pistil system at the progamic phase of fertilization after compatible and incompatible pollination in *Petunia hybrida* L. *Sexual Plant Reproduction* 2003; 16: 191–196.
- Lanzino M., Palermo AM., Pellegrino G. The effect of inflorescence display size and flower position on pollination success in two deceptive and one rewarding orchid. *Plant Biology* 2023; <https://doi.org/10.1111/plb.13505>
- Liu ML., Li WY., Zhao G., Fan XM., Long HX. et al. New insights of salicylic acid into stamen abortion of female flowers in tung tree (*Vernicia fordii*). *Frontiers in Genetics* 2019; 10: 316. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00316>

- Liu Y., Zhou J., Lu M., Yang J., Tan X. The core jasmonic acid-signalling module CoCOI1/CoJAZ1/CoMYC2 Are involved in jas mediated growth of the pollen tube in *Camellia oleifera*. *Current Issues in Molecular Biology* 2022; 44: 5405–5415. <https://doi.org/10.3390/cimb44110366>
- Lu M., Junqin Z., Yiyao L., Jin Y., Xiaofeng T. CoNPR1 and CoNPR3.1 are involved in SA- and MeSAMediated growth of the pollen tube in *Camellia oleifera*. *Physiologia Plantarum* 2021; 172: 2181–2190. <https://doi.org/10.1111/ppl.13410>
- Luo JP., Jiang WT., Pan LJ. Enhanced somatic embryogenesis by salicylic acid of *Astragalus adsurgens* Pall.: relationship with H₂O₂ production and H₂O₂-metabolizing enzyme activities. *Plant Science* 2001; 161: 125-132.
- Luo Y., Liu M, Cao J, Cao F, Zhang L. The role of salicylic acid in plant flower development. *Forestry Research* 2022; 2: 14. <https://doi.org/10.48130/FR-2022-0014>
- Martin-Mex R., Nexticapán-Garcés A., Larque-Saavedra A. Effect of salicylic acid in sex expression in *Carica papaya* L. 10th International Symposium on Plant Biorregulators in Fruit Production 2005 Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Medina AM., Appels FVW., Van Wees SCM. Impact of salicylic acid and jasmonic acid-regulated defences on root colonization by *Trichoderma harzianum* T-78. *Plant Signaling & Behavior* 2017; 12(8): e1345404. <https://doi.org/10.1080/15592324.2017.1345404>
- Müller M., Munné-Bosch S. Rapid and sensitive hormonal profiling of complex plant samples by liquid chromatography coupled to electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Plant Methods* 2011; 7: Article number: 37.
- Netlak P., Imsabaia W., Munné-Bosch S., Leethiti P., Van Doorn WG., Identification of indole-3-acetic acid as an important hormone in post– pollination of *Dendrobium* orchids and interaction of other hormones. *Agriculture And Natural Resources* 2022; 26: 149-158.
- Oçkun MA. Bağcılıkta metil jasmonat (meja), jasmonik asit (ja) ve salisilik asitin (sa) aşıda kallun oluşumu üzerine etkileri. Namık Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- Strauss MS., Arditti J. Postpollination phenomena in orchid flowers. X. transport and fate of auxin. *Botanical Gazette* 1982; 143(3): 286-293. <https://doi.org/10.1086/337302>
- Strauss MS., Arditti J. Postpollination phenomena in orchid flowers. Xii. Effects of pollination, emasculation, and auxin treatment on flowers of *Cattleya porcia* 'cannizaro' and the rostellum of *Phalaenopsis*. *Botanical Gazette* 1984; 145(1): 43- 49. <https://doi.org/10.1086/337424>
- Vernieri P., Perata P., Lorenzi R., Ceccarelli N. Abscisic acid levels during early seed development in *sechium edule* sw. *Plant Physiology* 1989; 91: 1351-1355. doi: 10.1104/pp.91.4.1351.
- Wang H., Zhang S., Qu Y., Gao R., Xiao Y., Wang Z., Zhai R., Yang C., Xu L. Jasmonic acid and ethylene participate in the gibberellin-induced ovule programmed cell death process in seedless

- pear '1913' (*Pyrus* hybrid). *International Journal of Molecular Sciences* 2021; 22: 9844. <https://doi.org/10.3390/ijms22189844>
- Wanqing C., Danyang M., Tiantian Z., Bei J., Zhaogeng L., Wang L. Phytohormone requirements for pollination drop secretion in *Ginkgo biloba* ovules. *Botany* 2021; 99: 251–260. [dx.doi.org/10.1139/cjb-2020-0113](https://doi.org/10.1139/cjb-2020-0113)
- Withner CL., Nelson PISP., Wejksnora PJ. The anatomy of orchids, in: Withner CL. (Ed.) *The Orchids, Scientific Studies*, John Wiley and Sons, New York, USA, 1974; 267-347.
- Xiao HS., Lv LX., Chen ZT. Dynamic changes of endogenous hormone in litchi (*Litchi chinensis* sonn.) pistil and stamen during flower development. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* 2003; 9: 279–283.
- Xie W. Molecular mechanisms of NF-YB2 and NF-YB3 balancing flowering time and disease resistance in plants. Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang Province, Thesis, China, 2021.
- Yamane H., Abe H., Takahashi N. Jasmonic acid and methyl jasmonate in pollens and anthers of three camellia species. *Plant Cell Physiology* 1982; 23(6): 1125–1127. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076443>
- Zhang XS., Onell SD. Ovary and gametophyte development are coordinately regulated by auxin and ethylene following pollination. *The Plant Cell* 1993; 5: 403-418. <https://doi.org/10.1105/tpc.5.4.403>
- Zhang YS., Li Q., Jiang L., Kai WB, Liang B. et al. Suppressing type 2 C protein phosphatases alters fruit ripening and the stress response in tomato. *Plant Cell Physiology* 2018; 59: 142–154. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcx169>
- Zhao S., Zhang Y., Zhao Y. Effect of salicylic acid on pollen germinating and pollen tube growth of pear. *Hubei Agricultural Sciences* 2012; 51: 1366–1369.
- Zhao S. Studies on effects of salicylic acid on pollination and phenolic metabolism in pear (*Pyrus* L.). Heibe Agricultural University, Baoding, Heibe Province, Thesis, China, 2004.
- Zhao Y., Jiang T., Li L., Zhang X., Yang T., Liu C., Chu J., Zheng B. The chromatin remodeling complex imitation of switch controls stamen filament elongation by promoting jasmonic acid biosynthesis in *Arabidopsis*. *Journal of Genetics and Genomics* 2021; 48: 123e133. DOI: 10.1016/j.jgg.2021.02.003
- Zhou D., Shen W., Cui Y., Liu Y., Zheng X. et al. Apical spikelet abortion (*asa*) controls apical panicle development in rice by regulating salicylic acid biosynthesis. *Frontiers in Plant Science* 2021; 12: 636877. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.636877>
- Zou J., Abrams GD., Barton DL., Taylor DC., Pomeroy MISP. et al. Induction of lipid and oleosin biosynthesis by (+)-Abscisic Acid and its metabolites in microspore-derived embryos of *Brassica napus* L.cv reston (Biological responses in the presence of 8'-Hydroxyabscisic Acid). *Plant Physiology* 1995; 108: 563–571. <https://doi.org/10.1104/pp.108.2.563>.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemiyle İşletmelerin Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Yazılımından Beklediği Fayda Kriterlerinin Önem Derecesine Göre Sıralanması: Mobilya Sektöründe Araştırma

Berkant DULKADİR^{1*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Gölbaşı MYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, 02500, Adıyaman

¹<https://orcid.org/0000-0002-6074-9473>

*Sorumlu yazar: bdulkadir44@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.01.2024

Kabul tarihi:04.04.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Analitik hiyerarşi prosesi

Bilişim teknolojileri

Çok kriterli karar verme

Kurumsal kaynak planlaması

Seçim kriterleri

ÖZ

Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) sistemi; işletmenin hammadde tedarikinden ürünün müşteriye ulaşmasına kadar tüm süreçleri bir araya getirebilen, izleyebilen ve yönetebilen bütünlük bilgisi kaynağı yazılımlardır. İşletmeler için önemi ve yüksek maliyeti nedeni ile Kurumsal Kaynak Planlaması yazılımı seçiminde işletmelerin ilk seferde doğru karar vermesi gerekmektedir. Beklenen faydanın tespit edilmesi ile bu seçime katkı sağlayabilecek yöntemlerden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöneticilerin önceliklerini dikkate alan ve nitel/nicel değişkenleri bir arada değerlendirerek analiz eden matematiksel bir araştırma yöntemidir. Çok kriterli karar verme tekniklerinden olan bu yöntem, çok sayıda kriterin öncelik derecesine göre sıralanması esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda kriterleri için önem derecelerinin ortaya konulması ve sistemin seçim sürecinde yöneticilere karar desteği sağlayabilecek analitik bir yöntem oluşturulması amaçlanmıştır. Analitik Hiyerarşi Prosesinin ana unsuru olan kriterleri belirlemek amacı ile literatürdeki akademik çalışmalardan yararlanılmış ve Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen faydalar dikkate alınarak 11 kriter belirlenmiştir. Ardından İstanbul'da faaliyet gösteren, çalışan sayısı 150 üzeri olan ve Kurumsal Kaynak Planlamasını kullanan 18 mobilya üretim işletmesinde yüz yüze mülakat yapılmıştır. 18 yöneticiden elde edilen ikili karşılaştırma verileri geometrik ortalama ile AHP'ye uygun hale getirilmiştir. Veriler AHP uygulaması ile analiz edilerek kriterler önem derecesine göre sıralanmıştır.

Ranking the Benefit Criteria Expected by Enterprises from Enterprise Resource Planning (ERP) Software According to Their Level of Importance Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) Method: Research in the Furniture Sector

Research Article

Article History:

Received: 30.01.2024

Accepted: 04.04.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Analytical hierarchy process

Information technologies

Multi criteria decision making

Enterprise resource planning

Selection criteria

ABSTRACT

Enterprise Resource Planning (ERP) systems are integrated information source software that can bring together, monitor and manage all processes of the business, from raw material supply to the delivery of the product to the customer. Due to its importance and high cost for businesses, businesses need to make the right decision the first time while choosing Enterprise Resource Planning software. Analytical Hierarchy Process (AHP), which is one of the methods that can contribute to this selection by determining the expected benefit, is a mathematical research method that takes into account the priorities of managers and analyzes qualitative/quantitative variables by evaluating them together. This method, which is one of the Multi-Criteria Decision Making techniques, is based on the principle of ranking a large number of criteria according to their priority

level. In this study, it is aimed to reveal the importance levels of the benefit criteria expected from the Enterprise Resource Planning system and to create an analytical method that can provide decision support to managers in the system selection process. In order to determine the criteria, which are the main elements of the Analytical Hierarchy Process, academic studies in the literature were used and 11 criteria were determined, taking into account the benefits expected from the Enterprise Resource Planning system. Then, face-to-face interviews were conducted in 18 furniture production companies operating in Istanbul, with more than 150 employees and using enterprise resource planning. Pairwise comparison data obtained from 18 managers were adapted to AHP with geometric mean. The data were analyzed with AHP application and the criteria were ranked according to their importance.

To Cite: Dulkadir B. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) İle Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Yazılımından Beklenen Fayda Kriterlerinin Önem Derecesine Göre Sıralanması: Mobilya Sektöründe Araştırma. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1617-1634.

1. Giriş

Karar verme; problem ile ilgili çözüm seçenekleri arasından en uygun olanı tercih etmek olarak tanımlanabilmektedir. Karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ise karar vericilere yardımcı olan matematiksel bir modeldir. Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kompleks olan bir problemde amaç, hedefler ve alternatifler arasında bir model oluşturmakta ve üstünlük esasına dayanan model yardımı ile verinin rasyonel uygulanmasına imkân vermektedir. Bu yönü ile karar vericiye bilgi desteği sağlamaktadır (Ünal, 2012).

Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi çok farklı alanlarda kullanıldığı gibi bilişim teknolojisindeki gelişmelerde de kullanılmaktadır. Bilişim teknolojileri alanındaki gelişmeler her geçen gün hızlı bir şekilde ilerlemekte olup, işletmeler için önemli yer tutan bilişim teknolojisi öğelerinden birisi de Kurumsal Kaynak Planlaması, diğer bir ifade ile ERP yazılımlarıdır. Kurumsal Kaynak Planlama sistemi işletmelere uzun vadede bölümlerin etkin ve verimli yönetilmesinin yanında operasyonel verimliliği ve iş etkinliğini artırarak sektördeki rakip firmalarla var olan rekabette büyük fayda sağlamaktadır (Yağmur ve Berkdemir, 2013). Bilginin yönetilmesinde büyük avantaj sağlayan Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi işletmelerin başarısını etkileyen büyük bir etken olmuştur. İşletmeler günümüzdeki baş döndürücü rekabet koşullarında iş tasarımı, raporlamayı ve süreçleri daha verimli yönetmek zorundadırlar. Bunun için ise Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda kriterleri için önceliklerin iyi bilinmesi gerekmektedir. Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi avantajlarının tüm yönleriyle bilinmesi ve hangi özelliğin daha fazla fayda sağlayacağını tespiti önem arz etmektedir. İşletmelerde bilgi yönetimi sisteminin geliştirilmesinde temel konu amaçlara uygun en yüksek avantajı sağlayacak durumun oluşmasıdır. Yapılan bu çalışmada Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda öncelikleri detaylı bir şekilde açıklanmaya çalışılmış ve her iki yöntemin de karar verme konusunda önemli bir araç olduğu vurgulanmıştır. Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda kriterleri belirlenirken literatür çalışmalarından yararlanılmıştır. Ulaşılmak istenen ana amaca bağlı olarak Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda öncelik sırası belirlenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

2. Kavramsal Çerçeve

Bu bölümde çalışmanın ana unsurları olan Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi ve Analitik Hiyerarşi Prosesi hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile benzer kapsamlardaki çeşitli akademik çalışmalar ele alınmıştır.

2.1. Kurumsal Kaynak Planlaması

Günümüzdeki rekabetçi koşullarda Kurumsal Kaynak Planlaması sistemine geçiş ve sistemin seçimi önemli bir karardır. Seçimi oluşturan çok sayıda kriter olduğundan doğru kararın verilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanmak yararlı olacaktır (Özel ve Türkel, 2018). İşletmeler, faaliyetlerine devam etmek için gelişen teknolojik değişimleri takip etmekte ve bu değişime uyum sağlayarak zorlu rekabet koşulları ile baş etmeye çalışmaktadır. İşletmelerin çoğunda rekabet stratejisinin önemli bir parçası ise işletmedeki bilgiyi en iyi şekilde kullanabilmek ve yönetebilmektedir. Bunlar için olmazsa olmaz teknolojilerden birisi bilgi ve iletişim teknolojileri alt yapısının varlığıdır (Beheshti, 2006). Gelişimi sağlayabilecek önemli teknolojik unsurlardan olan ERP'ler; işletme içerisindeki tüm kaynakların ortak bir şekilde kullanılmasını ve erişimini hızlandıran, bilginin paylaşılmasına kolaylık sağlayan ve verimlilik artışı için tüm iş süreçlerini bir bütün haline getiren yazılım sistemleri olarak adlandırılabilir (Shen ve ark., 2016). Kurumsal Kaynak Planlama sisteminde iş modelleri ve çeşitli endüstriler için tasarlanan pek çok uygulama bulunmaktadır. Bunlardan geniş yazılım ağı oluşturabilenler işletmeler için önemli bir görev üstlenmektedir (Savenkova ve Gorbunova, 2018). Yönetim faaliyetleri sırasında doğru karar verebilmenin önemli unsurlarından biri verilerin doğru bir şekilde elde edilmesi ve bilgiye dönüştürülmesi için kullanılmasıdır. Bilgi temelli ve odaklı olan Kurumsal Kaynak Planlama sistemi bu yönü ile karar verme sürecinde önem taşır. Yöneticilerin doğru ve güvenilir verileri elde etmesine, bunları karar verme sürecinde kullanılabilir bir hale getirmesine ve adımların doğru atılmasına katkı sağlamaktadır (Bulut ve Aslan, 2022). Kurumsal Kaynak Planlama sistemlerinin temeli; işletme için bütünlük ve standartlaşma sağlama amacıdır. Birbirine bağlı tüm sistemin var olmasıyla teknik altyapı, bilginin yenilenerek devam etmesi ve işlemlerin kalitesi için çalışmaktadır. İşletme süreçlerinde esneklik sağlayarak verimli bir şekilde sistemin çalışmasına imkân sağlamaktadır (Bendoly ve Jacobs, 2002). Tekin ve ark. (2017) kurumsal kaynak planlama sisteminin firmalara sağladığı faydaları; işletme maliyetlerini azaltmak, satış sürecinin iyileşmesini sağlamak, gelen siparişlerin karşılanması yönünde faydayı artırmak, nakit akışını düzenleyip iyileştirmek, mağaza optimizasyonu sağlamak, üretim faaliyetlerinin en iyi şekilde yönetilmesini sağlamak, karar verme sürecine katkı sağlamak olarak ifade etmişlerdir. Kurumsal Kaynak Planlaması sistemlerinde genel olarak satın alma, üretim, pazarlama ve finans modülü yer alırken, işletmelerin ihtiyaçlarına bağlı olarak planlama, depolama, nakliye yönetimi, satın alma, servis, proje ve kalite gibi modüller de bu yazılımlara dâhil edilebilmektedir. Kurumsal Kaynak Planlaması sistemleri aracılığı ile işletmelerde sipariş, üretim, insan kaynakları ve finans yönetimi, finansal muhasebe, stok kontrol, depolama ve dağıtım fonksiyonları, satış-pazarlama otomasyonu, elektronik

ticaret ve tedarik sistemleri bir arada organize edilebilmektedir. Sağlanan bu entegrasyon işletme içinde dolaşan bilginin kalitesini yükseltmekte ve hızlı dolaşımını sağlamaktadır. Bu sayede de yönetimce alınan kararlar daha gerçekçi ve doğru olmaktadır (Çelikkol, 2019). Kurumsal Kaynak Planlama sistemleri merkezi ve kullanıcı temelli denetim mekanizmalarıyla sistemde oluşacak hataları en aza indirgeyerek riskleri yok etmekte ve güvenilirliği sağlamaktadır.

2.2. Literatür Taraması

Literatür taraması yapıldığında çeşitli sektör ve konularda Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Kurumsal Kaynak Planlaması üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları incelenerek aşağıda özetlenmiştir.

Şen ve ark. (2009), Kurumsal kaynak planlaması sisteminin seçiminde sistematik olarak bir analiz yapabilmek için nicel ve nitel hedefler içeren en uygun alternatifin bulunarak karar verilmesi için bir model önermişlerdir. Çolakoğlu ve Şahin (2022) Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi proje yönetiminde öncelikler üzerine çalışma yapmışlardır. Planlama, uygulama, denetim, canlı uygulamaya geçiş kriterleri ve bunların alt kriterlerini incelemişlerdir. İşletmelerin dijital dönüşüm süreçlerine geçişinde projelendirme ile ilgili kriterlerini belirleyip önem sırasını tespit etmeleri gerekmektedir. İşgücü, maliyet, zaman etüdü ve proje takvimi oluşturarak projelerin hayata geçirilmesinin uygun olacağını belirlemişlerdir. Koska ve Erdem (2021) gıda sektöründe Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile çalışma yapmış ve yazılım seçimindeki karar verme konusunda üst ve alt kriterleri içeren seçim kriterlerinden fonksiyonelliğin en önemli kriter olduğunu tespit etmişlerdir. Aşan ve Ayçin (2020) Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi seçiminde önem arz eden “Best-Worst Metodu” karar verme yöntemini kullanmışlar ve fonksiyonelliğin önemli, marka imajının ise önemsiz kriter olduğu belirlenmiştir. Koçak (2003) Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemiyle yazılım seçiminde 20 kriterden oluşan bir ihtiyaç listesi belirlemiştir. Bu kriterlerin sayısının işletmenin büyüklüğüne göre değişeceği ve detaylı analiz edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bal (2020) Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi seçiminde önemli olan konular ile işletmenin özellikleri arasındaki ilişkiyi iki farklı şekilde incelemiştir. İlk yöntemde Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi seçiminde danışman özelliklerine önem veren işletmelerin maliyeti önemsemediğini, maliyete önem veren işletmelerin ise danışman özelliklerine önem vermediğini analiz etmiştir. İkinci yöntemde ise yazılımın işlevselliği ve teknik altyapı arasında pozitif ilişki olduğunu, danışman özellikleri ile kullanım kolaylığı arasında ise negatif bir ilişki olduğunu belirlemiştir. Çelebi ve Bulut (2016) Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminin faydaları konusunda bir işletmeyi incelemiş, çalışma sonucunda ERP kullanımı ile verimliliğin arttığı ve iş yükünün azaldığını belirlemişlerdir. Daha önceden yerine getirilmeyen faaliyetlerin de yerine getirildiği ve performansın olumlu yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Bharathi ve ark. (2012) Kurumsal Kaynak Planlaması sistemine geçiş sürecinde maliyet, zaman gibi 30 kritik başarı kriteri belirleyerek Analitik Hiyerarşi Prosesi ile analizini yapmışlardır. Küçük ve orta ölçekli işletmelerde Kurumsal Kaynak Planlaması

sistemi kültürü, talep, malzeme planlaması ve bilişim teknolojisi altyapı analizi gibi öncelikli başarı kriterlerini tespit etmişlerdir. Ünal ve Güner (2008) araştırmalarında tekstil sektöründe Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılarak Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi tedarikçi seçim faktörleri belirlenmiştir. Toplam 9 faktör belirlenmiş olup bu faktörler; fonksiyonellik, katkı, maliyet, güven, tecrübe, esneklik, müşteri merkezlilik, uygulama ve gelecek stratejisidir.

Literatür taramasında Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi konusunda çok sayıda çalışma bulunsa da beklentileri içeren bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile İstanbul'da mobilya sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenti kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi ve sıralanması amaçlanmaktadır. Bu çalışma Kurumsal Kaynak Planlaması beklentilerini ortaya koyarak alternatiflerin ağırlıklara göre puanlanmasına ve seçim sürecinin kolaylaşmasına katkı sağlayacaktır. Mobilya sektörüne uygulanan bu yöntem farklı sektörler ve alt sektörler için de kullanılabilecektir.

3. Metodoloji

Çalışmada ilk olarak Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda kriterlerinin belirlenmesi için Aydoğan (2008) tarafından hazırlanan çalışmadan yararlanılmıştır. Çalışmada yer alan kriterler, katılımcılara makul ikili karşılaştırma sayısı sunabilmek ve asli kriterleri ön plana çıkararak kendi aralarında sıralamak için halihazırda Kurumsal Kaynak Planlaması kullanıcısı olan kişilerin ve bu alanda akademik çalışması bulunan akademisyenlerin fikirleri alınarak tekrar değerlendirilmiştir. Ayrıca literatürde yer alan çeşitli çalışmalar detaylı incelenmiş ve fayda sağlama açısından önemli görülen 11 kriter tespit edilmiştir. Tespit edilen 11 kritere ikili karşılaştırma anketleri yapılmıştır. Böylece Analitik Hiyerarşi Prosesi ile analiz edilecek olan veri seti oluşturulmuştur. Verilerin AHP ile analizi sonucu bulgular ve öneriler ortaya konulmuştur. Bu bölümde araştırmanın amacı, önemi, evreni, örnekleme, ölçme araçları ve veri analizi hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Araştırmacının Amacı ve Önemi

Kurumsal Kaynak Planlaması sistemleri, işletmenin tüm departmanlarını bir arada toplayarak aralarında yazılımsal olarak etkileşim sağlayan bilişim sistemleridir. Bu sistemler seçilirken beklenen faydanın bilinmesi seçim sürecinde işletmenin kararını kolaylaştıracaktır. Maliyeti yüksek olan Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden işletmelerin beklentileri de yüksek olmaktadır. Analitik Hiyerarşi Prosesi gibi matematiksel karar verme yöntemiyle Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda kriterleri için önceliğin tespit edilmesi işletmelere karar verme konusunda katkı sağlayacak ve seçim işleminin daha rasyonel yapılmasını sağlayabilecektir.

3.2. Araştırmanın Evren ve Örnekleme

Çalışma; İstanbul'da faaliyet gösteren, çalışan sayısı 150 üzeri olan ve Kurumsal Kaynak Planlamasını kullanan mobilya işletmelerinde yapılmıştır. Bu kapsamda İstanbul Sanayi ve Ticaret Odası web sitesi

üzerinden yapılan araştırmada İstanbul'da orman ürünleri sanayi, büro ve mobilya mağazaları sanayi, ev mobilyaları sanayi alanında faaliyet gösteren ve çalışan personel sayısı 150'nin üstünde olan işletme sayısı 18 olarak tespit edilmiştir. Kurumsal kaynak planlaması kullanan 18 işletmede karar verme yetkisine sahip yöneticiler ile görüşülmüştür.

3.3. Ölçme Araçları

Çalışmada veri toplamak için literatür ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Öncelikle literatürde yer alan ve işletmelerin Kurumsal Kaynak Planlaması sistemini kullanma amaçlarını içeren çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Anketler ilgili yöneticilerce cevaplanmış ve geometrik ortalaması alınarak sonuçlar araştırma kapsamında analiz edilmiştir. İşletmelerin rakipleri karşısında daha ön planda olması, istenilen amaç ve hedeflere rahat bir şekilde ulaşabilmesi için Kurumsal Kaynak Planlama sistemlerinin işletmeye sağlamış olduğu çok fazla yarar bulunmaktadır (Graham, 2009). Kurumsal Kaynak Planlama sistemi ile ilgili çalışmalar ve elde edilen sonuçlara literatür kısmında genel olarak değinilmiştir. Literatür kısmında belirtilmiş olan Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminin faydaları konusundaki araştırmaların haricinde çok fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu kapsamda Aydoğan (2008). Kurumsal Kaynak Planlaması çalışmasından yararlanılmıştır. Çalışmada Kurumsal Kaynak Kullanımından işletmelerin beklentileri hakkında bilgiler verilmiştir. Bu kapsamda veriler derlenerek çalışma kapsamında ele alınacak 11 kriter tespit edilmiştir. Değerlendirmeler sonucu tespit edilen beklentiler alfabetik sıra ile Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kurumsal Kaynak Planlaması Sisteminden Beklenti Kriterleri Seçiminde Kullanılan Kriterler

Sıra No	İşletmelerin Kurumsal Kaynak Planlaması Sistemi Seçiminde Beklenen Fayda Kriterleri
1	Değişikliklere hızlı ayak uydurabilme
2	Doğru yatırım kararlarında iyileşme
3	Finansal bilgilerde iyileşme
4	İş süreçlerinde iyileşme
5	İşletme içi koordinasyon artışı
6	İşletme maliyetlerinde azalma
7	Kaynakların etkin kullanımı
8	Müşteri memnuniyetinde artış
9	Siparişlerin gerçekleştirilmesinde iyileşme
10	Stokların optimizasyonu
11	Üretim/imalat işlem hızlarının artışı

Elde edilen kriterler ikili karşılaştırma ile puanlanmıştır. Tablo 1'de yer alan 11 kriter, Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemine uygun olarak toplamda 55 karşılaştırma ile puanlanmıştır. Tablo 2'de ikili karşılaştırma için bir örnek verilmiştir.

Tablo 2. İkili Karşılaştırma Örneği

1. Kriter	Puan									2. Kriter
Değişikliklere Hızlı Ayak Uydurabilme	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Doğru Yatırım Kararlarında İyileşme

Karşılaştırma yapılırken katılımcının 2 kriter arasında nasıl bir ilişki olduğunu belirtmesi istenmiştir. Bu işlemin Analitik Hiyerarşi Prosesi yönteminde kullanılan ve Tablo 3’te verilen ölçeğe uygun yapılması sağlanmıştır (Saaty, 1980). Örneğin; eğer katılımcı iki kriterin eşit düzeyde önemli olduğunu düşünüyorsa 1’i, “Değişikliklere Hızlı Ayak Uydurabilme”nin “Doğru Yatırım Kararlarında İyileşme” ye kıyasla “Kuvvetli Derecede Önemli” olduğunu düşünüyorsa sol taraftaki 5’i, tam tersini düşünüyorsa sağ taraftaki 5’i işaretlemiştir.

Çalışmadaki kriterlerin karşılaştırmaları, karşılıklı olarak buldukları üstünlük derecelerine göre bire bir yapılmaktadır. Karşılaştırmalar yapılırken Tablo 3’te verilen Saaty’nin 1-9 önem ölçeğinden yararlanılmıştır (Saaty, 2008).

Tablo 3. Önem Skalası

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit Önemli
3	Birinin diğerine göre çok az önemli olması
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Kaynak: (Saaty, 1980).

3.4. Veri Analizi

Çalışmada veri analizi için AHP yöntemi kullanılmıştır. Alternatiflerin veya kriterlerin önem derecelerine göre sıralanmasını hedefleyen çeşitli çok kriterli karar verme yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden TOPSIS, AHP, ELECTRE, VIKOR, PROMETHEE ve MAUT araştırmalarda ön plana çıkmaktadırlar. Literatürdeki yakın sıralama çalışmaları incelenerek en sık kullanılan yöntemin AHP olduğu görülmüş ve çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu yöntem kendi içinde AHP ve Bulanık (Fuzzy) AHP olarak farklılaşsa da Bulanık AHP, katılımcı inançlarının yargıları etkileyebileceği durumlarda kullanılmakta olan ve anket hazırlama aşamasından itibaren tamamen farklılaşan bir analiz tekniğidir. Örneğin bir taksi şoförüne ulaşım ile ilgili sorunları içeren bir anket yapıldığında her şeyin yolunda olduğunu göstermeye çabalayabilecektir, bu kapsamdaki bir çalışmada Bulanık AHP kullanılması uygun olacaktır (Shaygan ve Testik: 2019). Bu çalışmada ise katılımcıların yargılarını etkileyecek bir çıkar ilişkisi veya inançları olmadığından, üreten şirketlerle ticari bir bağı olmadığından, sadece Kurumsal Kaynak Planlaması kullanıcısı olduklarından ve benzer çalışmalarda da AHP yöntemi tek başına kullanıldığından sadece AHP yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışma 18 farklı işletmede yapıldığından öncelikle anket verilerinin geometrik ortalaması alınmış ve tek bir veri haline dönüştürülmüştür. Sonrasında Analitik Hiyerarşi Prosesi ile analiz edilmiştir. Analiz edilen verilere bağlı olarak çalışmanın tutarlılık gösterip göstermediği denetlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda tutarlılık oranı 0,1'den küçük olduğundan çalışma verileri tutarlı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın tutarlı çıkmasına bağlı olarak verilerle ilgili sunulacak öneriler oluşturulmuştur.

4. Yöntem ve Bulgular

Analitik Hiyerarşi Prosesi; 1970 yılında ilk olarak Thomas Saaty tarafından önerilen bir kavramdır. Saaty 1971'de ilk olarak olasılık planlama problemlerine yönelik olarak Analitik Hiyerarşi Prosesi uygulamasını kullanmıştır. Bunun ardından 1972'de Amerika'daki bir projede Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılmıştır. 1974-1978 yılları arasında da Analitik Hiyerarşi Prosesi'nin gelişimini tamamlamıştır (Brodetsky ve ark., 2014). Analitik Hiyerarşi Prosesi, alternatiflerin karar verecek olan kişilerin kriterlerini ne kadar ve ne derecede iyi karşıladığına bağlı olarak alternatiflerin en uygun şekilde sıralanmasını sağlayan ve sayısal olarak skor geliştiren bir süreç olarak tanımlanabilir (Russel ve Taylor III, 2003). Analitik Hiyerarşi Prosesi, karmaşık olan karar verme problemlerinin hiyerarşik olarak gösterimine imkân sağlamaktadır. Karar verme problemlerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi süreci kolaylaştırmaktadır.

Analitik Hiyerarşi Prosesi; karar verecek olan kişiler için karar alternatiflerini sıralayan ve en uygun kararın seçilmesine katkı sağlayan nicel bir metottur. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile alternatiflerden "hangisi" sorusuna cevap aranmaktadır. Karar verebilme sürecinde problemin anlaşılması ve tanımlanmasına katkı sağlamaktadır. Yine karar verme konusunda subjektif ve objektif kararların sürece katılımına imkân sağlamakta, ihtiyaca göre grup kararı almak için de kullanılabilir (Yılmaz, 2022). Analitik Hiyerarşi Prosesinin aşamaları tanımları ile aşağıda verilmiştir (Doğuş ve ark., 2023).

1. Adım: Problem tanımlanarak karar vermek için kriterler ve öncelikler belirlenir. En üstte amaç, altında ana kriter ile varsa alt kriterleri ve en altta alternatifler oluşturulur. Böylece iki veya üç aşamalı olarak hiyerarşik yapı kurulur. Problemin durumu ve karmaşıklığına göre katmanlar artırılabilir. Her aşamadaki kriter ve seçenekler birbirinden bağımsızdır. Karşılaştırma boyutu $n \times n$ 'dir. Temel ve alt kriterlerin karşılaştırıldığı ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matris, ikili önceliklerin 1'den 9'a kadar belirlenen katsayılar ile gösterildiği tablodur. Karşılaştırma matrisinde köşegenlerin katsayıları 1 ile ifade edilmektedir. Her bir matris elemanı a_{ij} , i ve j kriterlerinin karşılaştırmasını gösterir. $a_{ji} = 1/a_{ij}$ olarak hesap edilir.

2. Adım: Matristeki her adım sütun toplamına bölünüp ikili karşılaştırma matrisleri normalleştirilir.

3. Adım: Normalleştirilmiş matrisin her satırının toplamı, matrisin boyuna bölünerek ortalaması alınarak öncelik vektörü hesaplanır.

4. Adım: İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak, her kriter için ağırlık vektörü oluşturulur. Kriterler için elde edilen öncelik vektörleri birleştirilerek tüm öncelikler matrisi elde edilir. Sonuç vektörü tüm

öncelikler matrisi ile karar seçeneklerinin öncelik vektörü çarpılarak elde edilir. Sonuç vektöründe ağırlığı en yüksek olan karar seçeneği elde edilir.

5. Adım: Matrislerin tutarlılığı hesaplanır. İkili yargılama karşılaştırması sonucunda oluşan bir A matrisinin tutarlı olup olmadığını belirlemek için “Tutarlılık İndeksi (CI)” katsayısı hesaplanmalıdır.

Analitik Hiyerarşi Prosesi yönteminin ilk aşamasında tespit edilen veriler kullanılarak karar matrisi hazırlanmıştır. Tablolara kriterlerin tam adının yazılması biçimsel olarak sorun yaratacağından matrisler hazırlanırken kriterler için oluşturulan Tablo 4’teki kodlar kullanılmıştır.

Tablo 4. Kriter Kodları

Sıra No	İşletmelerin Kurumsal Kaynak Planlaması Sistemi Seçiminde Beklenen Fayda Kriterleri
K1	Değişikliklere hızlı ayak uydurabilme
K2	Doğru yatırım kararlarında iyileşme
K3	Finansal bilgilerde iyileşme
K4	İş süreçlerinde iyileşme
K5	İşletme içi koordinasyon artışı
K6	İşletme maliyetlerinde azalma
K7	Kaynakların etkin kullanımı
K8	Müşteri memnuniyetinde artış
K9	Siparişlerin gerçekleştirilmesinde iyileşme
K10	Stokların optimizasyonu
K11	Üretim/İmalat işlem hızlarının artışı

Karar matrisine veri girişi sırasında kriterlerin ikili karşılaştırmada baskın gelen kriterin satırı tespit edilmiş ve elde edilen veri baskın olmayan kriterin sütunu ile kesişen hücreye girilmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi yönteminde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi (1) numaralı formülde verilmiştir. 1 numaralı formülde verilen matrise uygun olarak, satırı tespit edilen kriter ile diğer kriterin sütununun kesiştiği hücreye bulunan veri girilmiştir. Zayıf olarak belirlenen kriterin satırı ile baskın olarak belirlenmiş kriterin sütununun kesiştiği hücreye ilk sayının çarpımına göre tersi girilmiştir. Eğer kriterler eşit derece öneme sahip ise her iki hücreye de 1 yazılmaktadır (Saaty, 1980).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1) numaralı matrise uygun olarak hazırlanmış çalışma ikili karşılaştırma matrisi Tablo 5’te verilmiştir. Çalışma 18 farklı işletmede yürütüldüğünden tüm işletmelerden alınan verilerin her karşılaştırma için geometrik ortalaması alınmış ve elde edilen değerlerle ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 5. Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
K1	1,00	0,17	0,52	0,14	0,13	0,13	0,14	0,26	0,17	0,22	0,16
K2	5,88	1,00	6,54	0,54	0,18	0,20	0,27	6,42	3,61	5,18	0,83
K3	1,92	0,15	1,00	0,20	0,13	0,14	0,15	0,30	0,21	0,26	0,20
K4	6,94	1,85	4,99	1,00	0,39	0,32	0,36	4,71	3,01	3,64	1,06
K5	7,97	5,62	7,61	2,57	1,00	1,23	2,70	7,60	6,85	7,27	4,83
K6	7,75	4,92	7,17	3,09	0,81	1,00	1,15	6,21	5,71	5,85	3,76
K7	7,27	3,71	6,56	2,76	0,37	0,87	1,00	5,66	4,89	5,36	2,96
K8	3,83	0,16	3,28	0,21	0,13	0,16	0,18	1,00	0,20	0,82	0,19
K9	5,73	0,28	4,67	0,33	0,15	0,18	0,20	4,89	1,00	2,73	0,36
K10	4,52	0,19	3,83	0,27	0,14	0,17	0,19	1,22	0,37	1,00	0,46
K11	6,15	1,21	4,89	0,94	0,21	0,27	0,34	5,15	2,79	2,16	1,00

Tablo 5’teki bilgilerden yola çıkılarak; “Doğru Yatırım Kararlarında İyileşme” ile “Değişikliklere Hızlı Ayak Uydurabilme” kriterlerin ikili karşılaştırmasında “Doğru Yatırım Kararlarında İyileşme” kriterinin 5,88 puanla baskın çıktığı söylenebilir. Bu nedenle “Doğru Yatırım Kararlarında İyileşme” (K2) satırının “Değişikliklere Hızlı Ayak Uydurabilme” (K1) sütunu ile kesiştiği hücreye 5,88 yazılmıştır. Tam tersinde bulunan “Değişikliklere Hızlı Ayak Uydurabilme” (K1) satırı ile “Doğru Yatırım Kararlarında İyileşme” (K2) sütununun kesiştiği hücreye ise 5,88’in çarpmaya göre tersi olan 0,17 yazılmıştır.

İkinci aşamada A matrisinde yer alan her bir hücre kendi sütununun toplamına bölünerek normalizyon işlemi yapılmış ve bu işlem (2) numaralı formül kullanılarak yapılmıştır (Saaty, 1980).

$$y_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

İşlem tüm hücrelere uygulandığında (3) numaralı formülle gösterilen ve Y ile ifade edilen normalize edilmiş matris elde edilmiştir (Saaty, 1980).

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Çalışmada kullanılan ve Tablo 5'te yer alan karar matrisinin (2) numaralı formül ve (3) numaralı matris uygulanarak normalize edilmiş hali Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Normalizasyon Sonucu Oluşan Matris

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
K1	0,017	0,009	0,010	0,012	0,035	0,028	0,021	0,006	0,006	0,006	0,010
K2	0,100	0,052	0,128	0,045	0,049	0,044	0,040	0,148	0,125	0,150	0,052
K3	0,033	0,008	0,020	0,017	0,036	0,030	0,023	0,007	0,007	0,008	0,013
K4	0,118	0,096	0,098	0,083	0,107	0,069	0,054	0,108	0,104	0,106	0,067
K5	0,135	0,292	0,149	0,213	0,276	0,263	0,404	0,175	0,238	0,211	0,305
K6	0,131	0,255	0,140	0,256	0,224	0,214	0,172	0,143	0,198	0,170	0,238
K7	0,123	0,193	0,128	0,229	0,102	0,186	0,150	0,130	0,170	0,155	0,187
K8	0,065	0,008	0,064	0,018	0,036	0,034	0,026	0,023	0,007	0,024	0,012
K9	0,097	0,014	0,091	0,028	0,040	0,038	0,031	0,113	0,035	0,079	0,023
K10	0,077	0,010	0,075	0,023	0,038	0,037	0,028	0,028	0,013	0,029	0,029
K11	0,104	0,063	0,096	0,078	0,057	0,057	0,051	0,119	0,097	0,063	0,063

Üçüncü aşamada (4) numaralı formül kullanılarak normalize edilmiş matrisin her satırı toplanarak kriter sayısına (11'e) bölünmüştür.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ij}}{n} \quad (4)$$

(4) numaralı formülün uygulanması ile (5) numaralı formülde verilen özvektör matrisi elde edilmiştir. Özvektör olarak elde edilen veriler yüzdesel olarak ifade edilerek kriterlerin ayrı ayrı ağırlıkları elde edilmektedir (Saaty, 1980). Vektörün tüm hücrelerindeki değerlerin toplamı 1'e eşittir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

(4) numaralı formülün uygulanması ile elde edilen araştırmanın özvektör değerleri ve kriter ağırlık oranları Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 7. Özvektör ve Ağırlık Yüzdeleri

Kriter Kodları	Özvektör	Ağırlık (%)
K1	0,0145	1,45
K2	0,0848	8,48
K3	0,0182	1,82
K4	0,0919	9,19
K5	0,2419	24,19
K6	0,1948	19,48
K7	0,1594	15,94
K8	0,0289	2,89
K9	0,0535	5,35
K10	0,0351	3,51
K11	0,0770	7,70

Dördüncü aşamada elde edilen kriterlerin yüzdesel olarak ağırlık değerleri büyükten küçüğe sıralanmaktadır. Böylece kriterler önem derecelerine göre sıralanmış olur (Saaty, 1980). Araştırmada elde edilen verilerin Analitik Hiyerarşi Prosesi ile analizi sonucu ortaya çıkan önem sıralaması Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Kriterlerin Önem Sırası ve Yüzdesel Ağırlıkları

Kriter Kodları	Kriterler	Ağırlık (%)
K5	İşletme içi koordinasyon artışı	24,19
K6	İşletme maliyetlerinde azalma	19,48
K7	Kaynakların etkin kullanımı	15,94
K4	İş süreçlerinde iyileşme	9,19
K2	Doğru yatırım kararlarında iyileşme	8,48
K11	Üretim/İmalat işlem hızlarının artışı	7,70
K9	Siparişlerin gerçekleştirilmesinde iyileşme	5,35
K10	Stokların optimizasyonu	3,51
K8	Müşteri memnuniyetinde artış	2,89
K3	Finansal bilgilerde iyileşme	1,82
K1	Değişikliklere hızlı ayak uydurabilme	1,45

Beşinci aşamada Analitik Hiyerarşi Prosesi ile analizi yapılan verilerin tutarlı olup olmadığının tespit edilmesi amacı ile tutarlılık oranının belirlenmesi gerekmektedir. Analitik Hiyerarşi Prosesi için oluşturulmuş veri havuzunda kriterlerin önem derecesinin $A > B$ ve $B > C$ olması durumunda A kriterinin önem derecesinin C kriterinin önem derecesinden daha yüksek olması beklenmektedir. Bu durumun tersi gerçekleşiyorsa verilerin, dolayısıyla çalışmanın tutarsız olduğu kabul edilir (Saaty, 2002).

Bilimsel çalışmalarda geçerlilik, güvenilirlik gibi kontroller diğer analizlerden önce yapılmaktadır. Analitik Hiyerarşi Prosesi yönteminde nihai verilerin kullanılarak analiz edilmesi çalışmanın son aşamasında yapılmıştır. Tutarlılık oranının tespit edilmesi için Tablo 6’da yer alan normalize edilmiş

karar matrisi ile Tablo 8’de yer alan özvektör matrisi birbiri ile çarpılmaktadır. Bu işlemin formülize edilmiş hali (6) numaralı formülde verilmiştir. Aynı işlem her satır için ayrı ayrı yapılmaktadır. Böylece özdeğer matrisi elde edilmektedir (Saaty, 2002).

$$D = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

(6) numaralı formül kullanılarak oluşturulan özdeğer matrisi Tablo 9’da verilmiştir.

Kriter Kodları	Özdeğer
K1	0,166
K2	1,089
K3	0,206
K4	1,162
K5	3,092
K6	2,499
K7	2,053
K8	0,323
K9	0,643
K10	0,399
K11	0,974

Sonraki aşamada özvektör matrisinin her satırındaki değerle özdeğer matrisinde aynı satırda bulunan değer çarpılır ve bulunan bu çarpım değerleri toplanır. Elde edilen bu değer toplam kriter sayısına (11’e) bölünmektedir (Saaty, 2002). Bu işlemin formül hali 7 numaralı formülde verilmiştir.

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i}}{n} \quad (7)$$

Yapılan bu işlem sonrasında en büyük özdeğer (λ_{\max}) 12,176 olarak tespit edilmiştir. Tutarlılık indeksinin tespit edilmesi için (8) numaralı formül kullanılmış ve araştırmanın tutarlılık indeksi 0,1176 bulunmuştur.

$$\text{Tutarlılık İndeksi} = x = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{12,176 - 11}{11 - 1} = 0,1176 \quad (8)$$

Tutarlılık indeksinin belirlenmesinden sonra rassallık göstergeleri tablosu kullanılmaktadır. Kriter sayısına göre verilen rassallık indeksi değeri belirlenir (Güngör ve ark., 2010). Araştırmada 11 kriter kullanıldığından Tablo 10’da verilen rassallık göstergelerine göre rassallık indeksi 1,51’dir.

Tablo 10. Rassallık Göstergeleri

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Tutarlılık oranının tespit edilmesi için aşağıda belirtilen (9) numaralı formül kullanılmaktadır (Saaty, 2002).

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\text{Tutarlılık İndeksi}}{\text{Rassallık İndeksi}} = \frac{0,1176}{1,51} = 0,078 \quad (9)$$

Belirtilmiş olan (9) numaralı formül ile veriler hesaplandığında tutarlılık oranı 0,078 olarak tespit edilmiştir. Tutarlılık oranının 0,1’den küçük olması nedeniyle araştırmaya konu olan verilerin tutarlı olduğu belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi karmaşık olan karar seçeneklerini organize edip analizini yapmak için kullanılan matematiksel bir karar verme tekniğidir. Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi sektör fark etmeksizin tüm alanlarda kullanılan bir yöntem olduğu gibi bilişim sektöründe de yer bulmaktadır. Bilgisayar kullanımının artmasına bağlı olarak birçok donanımsal ve yazılımsal teknoloji de gün geçtikçe kendini göstermeye başlamıştır. Bunlardan birisi de Kurumsal Kaynak Planlaması sistemidir. İşletmelerin pazarlama, üretim/hizmet, insan kaynakları yönetimi, tedarik-lojistik ve muhasebe-finansman gibi faaliyetlerinin daha verimli kullanılması ve karar verme konusunda etkinliğini artırmak için Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi önem arz etmektedir. İşletmelerin günümüzde faaliyetlerini en uygun şekilde devam ettirmelerinin temellerinden birisi de; bilişim teknolojileri ve bunlar ile verilecek kararlar olduğu bir gerçektir. Kurumsal Kaynak Planlaması sistemleri de bilişim teknolojisi unsurlarından birisidir. Dolayısıyla bu sistemlerden beklenen fayda kriterleri de kendi içinde farklılık göstermektedir. Çünkü bu sistemler karar verme açısından rekabet ve maliyet gibi birçok önemli kriterin sağlıklı bir şekilde yönetilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Kurumsal Kaynak Planlaması sistemleri ve çok kriterli karar verme teknikleri karar verme sürecinde kolaylık sağladığından karar vericiler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır.

Araştırmada, karar verme konusunda yöneticilere kolaylık sağlayan Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda kriterleri ağırlıklandırılmış ve karar vermenin etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla İstanbul’da mobilya üretimi yapan ve 150 üzeri çalışanı olan 18 farklı işletmenin yöneticileri ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Anket tekniği ile elde edilen verilerin öncelikle geometrik ortalama alınmış ve tek veri seti haline getirilmiştir. Böylece veriler Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemiyle analize uygun hale getirilmiştir. Verilerin analizi ile

işletmelerin Kurumsal Kaynak Planlamasından beklentilerini içeren 11 kriterin önem dereceleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda birinci sırayı %24,19 ile “İşletme içi koordinasyon artışı”, ikinci sırayı %19,48 ile “İşletme maliyetlerinde azalma”, üçüncü sırayı %15,94 ile “Kaynakların etkin kullanımı” ve dördüncü sırayı %9,19 ile “İş süreçlerinde iyileşme” kriterleri almaktadır. Diğer kriterlerin sıralamaları ise “Doğru yatırım kararlarında iyileşme”, “Üretim/İmalat işlem hızlarının artışı”, “Siparişlerin gerçekleştirilmesinde iyileşme”, “Stokların optimizasyonu”, “Müşteri memnuniyetinde artış”, “Finansal bilgilerde iyileşme” ve “Değişikliklere hızlı ayak uydurabilme” kriterleri şeklindedir. Analizler sonucunda tespit edilen öncelik sıralamasına bakıldığında elde edilen verilerin işletmelerin Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklentileri ile hemen hemen örtüştüğü görülmektedir. Çünkü Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi çoğu işlemlere hızlı bir şekilde cevap vererek koordinasyon, rekabet, maliyet azaltma, kaynakların etkin ve verimli olarak kullanılması gibi faydalar sağlamaktadır. Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminden beklenen fayda kriterlerinin Analitik Hiyerarşi Prosesi ile önem derecesine göre sıralanması ile sistematik ve analitik bir öncelik belirlenmesini sağlamıştır. Günümüz şiddetli rekabet koşullarında işletmelerin en doğru kararı vermesi her açıdan önemlidir. Çünkü yanlış karar ciddi maliyet olarak geri dönmektedir. Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi yöneticilere bu konuda yardımcı olmaktadır. İşletmeler bu yazılımları beklenen fayda kriterlerine göre sistematik bir öncelikle belirleyebilecek ve daha etkin kararlar alabilecektir.

Araştırma mobilya sektöründe yapılmıştır. Yapılan literatür taramasında mobilya sektöründe Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminin faydalarının önemini araştıran bir çalışma bulunamamıştır. Bu araştırma sonucu mobilya sektörü için uygulamaya geçişte öncü olabilir. Mobilya sektöründe işletmeler Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemiyle Kurumsal Kaynak Planlaması sisteminin faydalarını analiz ederek daha uygun kararlar verebilecektir. Aynı kriterlerin farklı sektörler için kullanılması veya farklı sektörlerde farklı kriterlerin kullanılması ile işletmelerin Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi kullanımı hakkında çalışmalar yapılabilir. Literatürde Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi ve Analitik Hiyerarşi Prosesi arasında bağlantı kurularak yapılan çalışmalar bulunduğu fakat beklenen fayda kriterlerinin önceliğini tespit etmiş bir çalışma olmadığı görülmüştür. Uygulamaya bağlı olarak Kurumsal Kaynak Planlaması sistemi ve Analitik Hiyerarşi Prosesi ile ilişkilendirilerek yapılacak çalışmaların devam etmesi literatüre konunun önemi anlamında ciddi katkılar sağlayacaktır. Konunun işletmelere zaman, maliyet, büyüme ve diğer alanlarda fayda sağlayacağı muhtemeldir ki; zaten işletmelerin temel amacı kâr elde etmektir. Kurumsal Kaynak Planlaması sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi; her iki yöntem de karar verme konusunda yöneticilere kolaylık sağlayan teknik analiz uygulamalarıdır.

Teşekkür

Araştırma İstanbul’da mobilya sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde yürütülmüştür. Araştırmaya değerli zamanlarını ayırarak yardımcı olan Mobilya sektöründeki yöneticiler ve bilgi işlem personeline teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Aşan H., Ayçin E. Kurumsal kaynak planlaması sistemlerinin seçimindeki kriterlerin best-worst metodu ile değerlendirilmesi, Bitlis Eren Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Akademik İzdüşüm Dergisi 2020; 5(2): 114-124
- Aydoğan S. Kurumsal kaynak planlaması. Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi 2008; 12(2): 107-118.
- Bal MB. Kurumsal kaynak planlaması seçimi için analitik hiyerarşi proses ve apriori algoritması uygulaması, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi 2020.
- Beheshti HM. What managers should know about ERP/ERP II, Management Research News 2006; 29(4): 184-193.
- Bendoly E., Jacobs FR. Alignment in operational and IT solution strategies: Performance implications of within and between-context mismatch. Working paper, Emory University Press 2002.
- Bharathi SV., Vaidya O., Parikh S. Prioritizing and ranking critical success factors for ERP adoption in SMES. AIMS International Journal of Management, 2012; 6(1): 23-40.
- Brodetsky GL., Gusev DA. Possibility of generalizing the processes of the analytical hierarchy when choosing a solution according to many criteria for optimizing supply chains, Logistics and Supply Chain Management 2014; (2): 63-77.
- Bulut B., Aslan MM. Yönetimde karar verme süreçlerine ilişkin bir öneri: kurumsal kaynak planlaması (ERP), Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2022; 9(2): 1260-1270.
- Çelebi F., Bulut Y. Kurumsal kaynak planlaması (ERP) ve ERP yazılımı kullanan bir işletmenin incelenmesi. Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi 2016; (57): 166-177.
- Çelikkol MM. Bilgi yönetim sürecinde kurumsal kaynak planlamasının finansal boyutları ve bir firmada uygulanması. Üçüncü Sektör Ulusal Ekonomi Dergisi 2019; 54(1): 662-680.
- Çolakoğlu N., Şahin Z. AHP yaklaşımı ile proje yönetiminde önceliklerin belirlenmesi, Performans değerlendirilmede analitik hiyerarşi prosesi (AHP) uygulamaları. Avrasya Bilimler Akademisi İşletme ve İktisat Dergisi 2022; (30): 39-63.
- Doğuş Ö., Kardeş O., Şahinbaş K. İş süreçlerinin otomasyonunda analitik hiyerarşi süreci yöntemiyle yazılım seçimi için karar destek sistemi. Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi 2023; 16(1): 87-93.

- Graham J. Enterprise resource planning implementation in higher education. University of Missouri, Columbia 2009.
- Güngör İ., Bakan H., Aksu M., Kiremitçi S., Göksu A., Göçen S. Türkiye’de il olması uygun olan ilçelerin AHP yöntemiyle belirlenmesi. Alanya İşletme Fakültesi Dergisi 2010; 2(2): 1-16.
- İmren E. Mobilya endüstrisinde analitik hiyerarşi prosesi (AHP) le kuruluş yeri seçimi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, Yüksek Lisans Tezi 2011.
- Koska A., Erdem MB. Gıda sektöründe kurumsal kaynak planlaması yazılımı seçimi: Analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile bir uygulama. İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi, 2021; 6(16): 555-571
- Koçak M. Yazılım seçiminde analitik hiyerarşi yöntemi yaklaşımı ve bir uygulama. Ege Akademik Bakış Dergisi, 2003; 3(1): 67-77.
- Özel S. Türkel A. AHP yöntemi kullanılarak ERP sistemlerinin karşılaştırılması ve uygun sistemin belirlenmesi, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 2018; (3): 305-317.
- Russel RS., Taylor III BW. Operations management. 4. Baskı. Pearson Education International, New Jersey 2003.
- Saaty, TL. Decision making with the analytic hierarchy process. Scientia Iranica 2002; 9(3): 215-229.
- Saaty TL. The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: Applications to decisions under risk, European Journal of Pure and Applied Mathematics 2008; 1(1): 122-196.
- Saaty TL. The analytic hierarchy process. McGraw-Hill International Book Company, USA 1980.
- Savenkova EA., Gorbunova ON. Features of choosing an ERP system for an enterprise, Socio-Economic Phenomena and Processes, 2018; 13(1): 117-121.
- Shaygan A., Testik ÖM. A fuzzy AHP-based methodology for project prioritization and selection. Soft Computing 2019; 4(23): 1309-1319.
- Shen YC., Chen PS., Wang CHA. A study of enterprise resource planning (ERP) system performance measurement using the quantitative balanced scorecard approach. Computers in Industry 2016; (75): 127-139
- Şen CG., Baraçlı H., Şen S., Başlıgil H. An integrated decision support system dealing with qualitative and quantitative objectives for enterprise software selection. Expert Systems with Applications, 2009; 36(3): 5272-5283
- Tekin M., Soba M., Altınay A., Akyüz F., Baş D. The importance of the integrated cost accounting management with sustainable competitive enterprise resource planning. An Examination on The Ceramic Sector 2017; 745-752.
- Ünal C., Güner GM. Selection of ERP suppliers using AHP tools in the clothing industry. International Journal of Clothing Science and Technolog 2009; 21(4): 239-251.
- Ünal ÖF. Performans değerlemede analitik hiyerarşi prosesi (AHP) uygulamaları, Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi 2012; 1(37): 37-55.

- Yağmur M., Berkdemir S. Kurumsal kaynak planlaması sistemlerinde uygulamaya geçiş yaklaşımları. Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2013; 2(4): 55-64.
- Yılmaz Ö. Analitik hiyerarşi proses ile üniversite tercihini etkileyen kriterlerin belirlenmesi: SDÜ örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2022; 6(1): 36-51.

Tüberküloz Hastalığının Tespiti için Derin Öğrenme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Çiğdem BAKIR^{1*}, Mehmet BABALIK²

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 43000, Kütahya

²Kütahya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 43000, Kütahya

¹<https://orcid.org/0000-0001-8482-2412>,

²<https://orcid.org/0000-0002-1473-0157>

*Sorumlu yazar: cigdem.bakir@dpu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.08.2023

Kabul tarihi: 13.04.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Evrişimsel sinir ağı

Tüberküloz

VGG19

Yapay sinir ağları

Transfer öğrenme

ÖZ

Yapay zeka, sağlık alanında kanser gibi birçok hastalığın teşhis edilmesinde, doktorlar tarafından yapılan tetkiklerde, cihazlarla gerçekleştirilen tanı ve tedavilerde sıklıkla kullanılmaktadır. Çünkü doktorlar herhangi bir hastalığın doğru tanı ve doğru teşhisini manuel olarak ortaya koymak gerek zaman gerekse maliyet açısından oldukça zordur. Bu hastalıklardan en önemlisi olan tüberküloz (verem), dünyanın birçok yerinde sonu ölümlü sonuçlanan bulaşıcı ve tehlikeli hastalıklardan biridir. Tüberküloz için uzman radyologlar göğüs röntgenlerine bakarak teşhis koyarlar. Fakat radyologlar bu teşhisi koyarken kimi zaman çok sayıda göğüs röntgeni inceledikleri için yanlış tanı ve teşhis koyabilmektedir. Bu durumda manuel bir teşhis yerine daha hızlı ve daha doğru kararlar verebilen bilgisayar destekli analizler gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı yapay zekâ yöntemleri kullanılarak akciğer röntgen verilerinden tüberkülozlu ve sağlıklı görüntülerin otonom olarak tespiti ve sınıflandırılmasını yapacak bir model oluşturmaktır. Bu çalışmada tüberküloz hastalığının bilgisayar destekli analiz ve tespitini gerçekleştirmek amacıyla yapay zekanın bir alt kümesi olan derin öğrenme metotlarından Yapay Sinir Ağları (ANN), Evrişimsel Sinir Ağları (CNN) ve çeşitli transfer öğrenme modelleri kullanılmıştır. Önerilen modelinin ilk aşamasında akciğer röntgen filmlerinden elde edilen 1000 görüntüden Çekişmeli Üretici Ağ (GAN) gibi veri artırma yöntemleri ile sentetik görüntüler oluşturulmuştur. Görüntüler 5 farklı senaryoya göre etiketlenmiştir. Görüntülerin doğru, hızlı ve minimum maliyetle teşhisi için farklı ve yeni ağ yapısı oluşturularak verilerdeki önemli öznitelikler belirlenmiştir. Ayrıca önerilen CNN ve Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network –ANN) modeli doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1-Skor gibi farklı değerlendirme metrikleri kullanılarak detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Kullanılan her model için de performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada CNN ve ANN modelinin sınıflandırma başarısı sırasıyla %98,91 ve %90,41 olarak bulunmuştur. Önerilen CNN modeli ANN modeline göre tüberküloz hastalığının doğru teşhis ve sınıflandırılmasında daha başarılı sonuçlar vermiştir. Önerilen modellerin başarısı ön eğitilmiş modellerin başarısı ile karşılaştırılmıştır ve farklı çapraz doğrulama değerlerine göre başarısı hesaplanmıştır.

Comparison of Deep Learning Methods for Detection of Tuberculosis Disease

Research Article

Article History:

Received: 13.08.2023

Accepted: 13.04.2024

Published online: 16.09.2024

ABSTRACT

Artificial intelligence is frequently used in the field of healthcare to diagnose many diseases such as cancer, in examinations performed by doctors, and in diagnoses and treatments performed with devices. Because it is very difficult for doctors to manually diagnose any disease in terms of both time and cost.

Keywords:

Convolutional neural network
Tuberculosis
VGG19
Artificial neural networks
Transfer learning

Tuberculosis, the most important of these diseases, is one of the infectious and dangerous diseases that results in death in many parts of the world. Specialist radiologists diagnose tuberculosis by looking at chest x-rays. However, when making this diagnosis, radiologists can sometimes make the wrong diagnosis because they examine many chest X-rays. In this case, instead of a manual diagnosis, computer-aided analyzes that can make faster and more accurate decisions are required. The aim of this study is to create a model that will autonomously detect and classify tuberculosis and healthy images from lung x-ray data using artificial intelligence methods. In this study, Artificial Neural Networks (ANN), Convolutional Neural Networks (CNN) and various transfer learning models, which are deep learning methods that are a subset of artificial intelligence, were used to perform computer-aided analysis and detection of tuberculosis disease. In the first stage of the proposed model, synthetic images were created from 1000 images obtained from lung x-ray films using data augmentation methods such as Adversarial Generative Network (GAN). Images are labeled according to 5 different scenarios. Important attributes in the data were determined by creating a different and new network structure for accurate, fast and minimum cost diagnosis of images. Additionally, the proposed CNN and Artificial Neural Network (ANN) model was compared in detail using different evaluation metrics such as accuracy, sensitivity, precision and F1-Score. Performance analyzes were carried out for each model used. In this study, the classification success of the CNN and ANN models was found to be 98.91% and 90.41%, respectively. The proposed CNN model gave more successful results in accurate diagnosis and classification of tuberculosis disease than the ANN model. The success of the proposed models was compared with the success of pre-trained models and their success was calculated according to different cross-validation values.

To Cite: Bakır Ç., Babalık M. Tüberküloz Hastalığının Tespiti için Derin Öğrenme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1635-1665.

1. Giriş

Tüberküloz (TB), genellikle akciğerleri etkileyen tehlikeli, bulaşıcı, zehirli ve ölümcül bir hastalıktır. Göğüs bölgesinin yanı sıra lenf ve beyin gibi diğer organları da etkileyebilen karmaşık bir hastalık olarak kabul edilmektedir. Akciğer tüberkülozuna sahip olan bireyler, öksürme ve konuşma gibi basit eylemlerle hastalığı kolaylıkla sağlıklı insanlara bulaştırabilirler. Bu nedenle tehlikeli kabul edilirler. Ayrıca, beslenme yetersizliği ve zayıf bağışıklık sistemi gibi durumları olan insanların savunma dirençleri düşüktür (Lakhani ve ark., 2017).

Tıbbi teşhis (tanı), bir hastalığın veya sağlık sorununun belirlenmesi ve adlandırılması sürecidir. Bu süreçte, bir hekim veya sağlık uzmanı, hastanın semptomlarını değerlendirir, tıbbi geçmişini inceler, fiziksel muayene yapar ve gerekli görülmesi durumunda laboratuvar testleri, görüntüleme yöntemleri veya diğer tanı araçlarına başvurur. Tıbbi tanı, bir hastalığın doğru bir şekilde belirlenmesi için klinik bulguların ve laboratuvar sonuçlarının birleştirilmesini gerektirir. Tıbbi tanının (teşhis) başarı derecesi; doğru hasta değerlendirmesi, klinik deneyim, tanı araçları, iletişim becerileri ve hasta uyumu gibi faktörlerin bir kombinasyonuna bağlıdır. Bu faktörlerin optimal bir şekilde bir araya gelmesi, doğru ve etkili bir tıbbi tanı konulmasını sağlar (Pardue ve ark., 1994).

Araştırmacılar, her geçen yıl yanlış veya geç teşhis sayısının arttığı ve bunların dünya genelindeki insanların ölümüne yol açtığını belirtmektedir ((Woolever, 2005; Gruson ve ark., 2019). Örnek olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde meydana gelen ölümler incelendiğinde, tıbbi hatalarla ilişkili ölümlerin

kardiyovasküler hastalıklar ve kanserden sonra üçüncü sırada geldiği tespit edilmiştir. Erken teşhis konan hastaların tedavi başarısı genellikle zamanında yapılan teşhise bağlı olarak artmaktadır. Ayrıca, erken tanı konan hastaların rehabilitasyon maliyetleri, geç teşhise göre daha düşüktür.

Araştırmalar, doğru ve zamanında teşhisin önemini vurgulamaktadır. Yanlış veya geç teşhislerin ciddi sonuçlara yol açabileceği, hastaların tedavi şansını azaltabileceği ve hatta ölümlerle sonuçlanabileceği gözlemlenmiştir. Özellikle ölümcül hastalıkların erken evrelerinde tanının konulması, tedavi seçeneklerinin daha etkili olmasını sağlayabilir ve hastaların sağ kalım oranını artırabilir. Tıbbi hataların kaynakları arasında yeni hastalıkların ortaya çıkması, yetersiz araştırma çalışmaları ve doğru karar vermeyi destekleyen araçların eksikliği önemli rol oynamaktadır. Bu nedenlerle, sürekli olarak yeni hastalıkların incelenmesi, tıp alanında daha fazla araştırma yapılması ve doktorlara doğru teşhis koymada yardımcı olacak teknolojilerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Pannu, 2015). Karmaşık hastalıkların bazılarında doğru bir teşhis koymak oldukça zor ve bazen imkânsız hale gelebilmektedir. Bu nedenle, araştırmacılar, özellikle iş, mühendislik, tıp gibi önemli alanlarda karar destek sistemlerinin kullanımıyla ilgilenmektedir. Bu sistemler, doktorlara teşhis sürecinde yardımcı olabilir ve daha doğru kararlar almalarını sağlayabilir (Angeli, 2010).

Günümüzde, doktorların hastalıkları teşhis etme ve karar verme süreçlerinde yardımcı olan güçlü araçlar arasında karar destek sistemleri önemli bir yer tutmaktadır. Karar destek sistemleri, doktorlara daha kolay bir şekilde tanı koymalarına yardımcı olacak birçok çalışma üzerine odaklanmıştır. Bu bağlamda, uzman sistemler, derin öğrenme ve yapay zekâ teknikleri, çeşitli tıp branşlarında farklı problemlerin çözümünde başarıyla kullanılmaktadır. Bu sistemler, doktorlara klinik verileri analiz etme, teşhis koyma sürecinde destek sağlama ve tedavi seçeneklerini değerlendirme konusunda yardımcı olmaktadır. Karar destek sistemlerinin kullanımı, hastaların daha hızlı ve doğru teşhis almasına, tedavi süreçlerinin iyileştirilmesine ve sağlık hizmetlerinin etkinliğinin artırılmasına katkıda bulunmaktadır (Er ark., 2010). Birçok hastalık, insan sağlığını yaşam sürekliliği ve kalitesi açısından tehdit ederek farklı yönlerden etkileyebilir. Bu hastalıklar arasında, tüberküloz (TB), kronik obstrüktif akciğer hastalığı (COPD - KOAH), zatürre, astım ve akciğer kanseri gibi göğüs hastalıkları hem gelişmekte olan ülkelerde hem de gelişmiş ülkelerde ciddi sağlık komplikasyonları ve ölüm nedenleri arasında öncelikli yer almaktadır. Göğüs hastalıkları, solunum sistemini etkileyen ve solunum fonksiyonlarını olumsuz etkileyen rahatsızlıklardır. Tüberküloz gibi bulaşıcı hastalıklar, özellikle düşük gelirli ülkelerde yaygın olarak görülmektedir ve önemli bir halk sağlığı sorunu teşkil etmektedir. Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), Zatürre, astım ve akciğer kanseri gibi hastalıklar da ciddi sağlık sorunlarıdır ve dünya genelinde önemli ölüm nedenleri arasında yer almaktadır (Er ve ark., 2010).

Tüberküloz, Dünya Sağlık Örgütü'ne göre dünya genelinde çok sayıda ölüme sebep olan 10 hastalıktan biri olarak kabul edilmiştir. Bulaşıcı bir şekilde hızla yayılan bu hastalık erken tanı konulup tedavi edilmezse başta ölüm olmak üzere göğüs hastalıkları, nefes darlığı gibi birçok sağlık sorununa yol açmaktadır. Tüberküloz hastalığının bulaşıcı etkisini azaltmak, ölüm oranını en aza indirmenin en önemli adımı erken teşhis ve tedavidir. Erken teşhis, akciğer röntgen filmlerinde hastalığın tespit

edilmesi ile gerçekleşir. Bunun için de yapay zeka ve derin öğrenme yöntemlerini içeren bilgisayar destekli analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bilgisayar destekli analiz için kullanılan bu yöntemler ile tüberküloz hastalığının tespiti, erken tanı konulması, tedavi sürecinin uygulanması, hastanın durumunu izleme ve kişiye uygun ilaçlar üretilir. Yapay zeka yöntemleri hasta bakımı, tıbbi görüntülerin belirlenmesi, ilaç geliştirme, cerrahi planlama ve ilaç önerme gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Böylelikle büyük hacme sahip elektronik sağlık verileri hastalığın önlenmesi için analiz edilir (Elveren ve ark., 2011).

Bizim çalışmamızda, doktorların tüberküloz (TB) hastalığını röntgen görüntüleri üzerinden teşhis etmesine yardımcı olmak için bazı yapay zeka tekniklerini kullanan karar destek sistemlerinin kullanılması üzerinde çalışılmıştır. Bu tekniklerden Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network – ANN) ve Evrişimli Sinir Ağları, (Convolutional Neural Network - CNN) ve hibrit (VGG19+CNN) model kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Hastalık sınıflandırması için farklı ağ yapısına sahip sinir ağı modellerin oluşturulması, eğitim ve test kümelerinin belirlenmesi, ağın eğitimi, test görüntü kümelerinin farklı değerlendirme kriterleri ile performansının ölçülmesi, modellerin değerlendirilmesi, karşılaştırılması tez kapsamında ele alınmıştır. Önerilen yöntemler Kaggle veritabanından alınan bir veri kümesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Önerilen CNN ve VGG19+CNN modeli yapay sinir ağları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, doktorların röntgen görüntüleri üzerinden tüberküloz (TB) hastalığına tanı ve teşhis etmesini sağlamak için bazı derin öğrenme modellerini kullanan karar destek sistemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network - ANN), Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network - CNN) ve hibrit model (VGG19 + CNN) kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Hastalık sınıflandırması için farklı ağ yapısına sahip sinir ağı modellerin oluşturulması, eğitim ve test kümelerinin belirlenmesi, ağın eğitimi, test görüntü kümelerinin farklı değerlendirme kriterleri ile performansının ölçülmesi, modellerin değerlendirilmesi, karşılaştırılması ele alınmıştır. Önerilen CNN ve VGG19+CNN modeli yapay sinir ağları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızın bilimsel katkısı CNN'nin ağ ve katman yapısını kendimiz oluşturarak modelin başarısını arttırdık. Ayrıca GAN gibi veri arttırma teknikleri ile oluşturulan sentetik veriler oluşturulmuştur ve farklı sayıda etiketlenmiş görüntüler üzerinde önerilen modellerin başarısı hesaplanmıştır. Böylelikle başarı ve performans artırılmıştır ve bu çalışma ileride yapılacak olan farklı hastalık türlerinin tespit edilmesinde önemli katkılar sağlayacaktır.

2. İlgili Çalışmalar

Günümüzde tüm dünyada COVID-19 sağlık ve ekonomiyi olumsuz etkilemiştir. COVID-19 akciğer kanseri, tüberküloz ve pnömi gibi birçok göğüs hastalıkları ile benzer semptomlar içermektedir ve ileride bu hastalıklara neden olmaktadır. Malik ve arkadaşları Covid-19'un akciğer hastalıklarına vermiş olduğu yıkıcı etkileri en aza indirmek amacıyla CDC Net adlı bir evrişimli sinir ağı kullanarak bir model geliştirmişlerdir (Malik ark., 2023). Bu model ile COVID-19 erken aşamada teşhisi edilmesi

hedeflenmiştir. Göğüs röntgeni görüntülerinden COVID-19 verileri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma doğruluğu için precision, recall, F1 Score metrikleri kullanılmıştır. Ancak radyoloji sistemlerinin entegrasyonu, bakımı, çekilen röntgen filmlerinin kalitesi ve kullanılabilirliği aşamasında modelin iyileştirilmesi için birçok sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütüne göre tüberküloz ve COVID-19 birçok insanın ölümüne sebep olan çok ciddi hastalıklardır. Bu hastalıkların belirtileri arasında hışırtı, öksürme ve nefes darlığı semptomlar görülmektedir. Bu semptomları belirlemek amacıyla Karaddi ve arkadaşları CNN ağı kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Karaddi ark., 2023). Bu akciğer hastalıklarını tanımlamaya ve kategorize etmek amacıyla göğüs röntgeni görüntü veri seti kullanmışlardır. Yapılan çalışmada Alexnet, Darknet-19, Darknet-53, Densenet-201, Googlenet, InceptionResnetV2, MobilenetV2 ve Resnet-18 gibi ağlar kullanılması tavsiye edilmektedir. Eğitim aşamasında 30 epoch ve adam optimizere kullanmışlardır. Akciğer hastalıklarıyla ilgili daha hızlı ve doğru sınıflandırma ve tespit edilmesi amacıyla daha fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Lestari ve arkadaşları Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı ile tüberküloz hastalığını tespit etmeye çalışmışlardır (Lestari ve ark., 2023). Geri yayılım algoritması denetimli öğrenme kullanır ve yakınsama düzeyine ulaşmada olumsuz yönleri vardır. Kuzey Sumatra İl Sağlık Müdürlüğünden alınan son 2 yıllık veriler üzerinde çalışma yapmışlardır. %81,82 doğruluk oranı ile başarı sağlamışlardır. Ortalama Kare Hata değerinin öğrenme oranının üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir.

Gichuhi, tüberküloz tedavisinde Lojistik regresyon (LR), yapay sinir ağları (ANN), destek vektör makineleri (SVM), Random Forest (RF) ve AdaBoost modeli kullanmıştır (Gichuhi, 2023). Bu beş model AdaBoost (%91,05), RF (%89,97), LR (%88,30) ve ANN'ye (%88,30) ve SVM %91,28 doğruluk göstermiştir. Yaptıkları çalışmayla makine öğrenimi tekniklerinin tüberküloz tedavisinde hastalık faktörlerini belirlemeyi sağlamıştır.

Lubis ve arkadaşları, HOG (Histogram OF Oriented Gradients) methodu ile tüberküloz görüntülerinin özellik çıkarımını gerçekleştirmişlerdir (Lubis, 2021). Tüberküloz görüntülerin algılanması için KNN (K-En Yakın Komşu) ve SVM (Support Vector Machine) yöntemleri kullanmışlardır. HOG özellikleriyle tüberkülozu tespit etmek ve görüntü şeklindeki verilerin KNN ile saptanmasında %77,95, negatif olanlar ise %77,95 doğruluk elde ederken; SVM ile Tüberküloz Röntgeni sonuçlarında ise HOG tespiti sonuçları pozitif olan görüntülerde %65,75, negatif olanlarda ise %79,39 doğruluk elde etmişlerdir.

Shakya ve arkadaşları 1000 görüntüden oluşan göğüsCT taraması görüntülerinden tüberküloz hastalığının tespitini gerçekleştirmişlerdir (Shakya ve ark., 2022). Çalışmalarında SVM ve KNN sınıflandırıcısı kullanmışlardır. Test sırasında önerilen methodlar için 10 iterasyon uygulamışlardır. SVM yöntemi KNN yöntemine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak çalışma küçük veriler için uygulanmıştır.

Tüberküloz hastalığı dünyanın birçok yerinde kötü huylu bulaşıcı bir hastalık olarak bilinir. Bu sebeple göğüs röntgen verilerinin doğru ve hızlı olarak sınıflandırılması hastalığın erken tanı ve tedavisinde oldukça önemlidir. Nafisah ve arkadaşları bu amaçla Chest X-Rays (CXR) görüntüleri üzerinde derin öğrenmeye dayalı yöntem kullanmışlardır (Nafisah ark., 2022). Tüberkülozun CXR görüntülerinden tespitinin elde edilmesi için orijinal ve bölümlenmiş görüntüler önerilen modele girdi olarak verilmiştir. ResNet, Inception, Xception, MobileNet ve EfficientNet ile her görüntüden öznetelikler çıkarılmıştır. Modellerin performansı farklı öznetelik ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

Ammar ve arkadaşları, MRI görüntülerini kullanarak tüberküloz hastalığı tanıma için hibrit optimal derin öğrenmeye dayalı bir model kullanmışlardır (Ammar ve ark., 2022). Bu çalışmayla Vision Transformer (ViTs) ve Efficient-Net modelleri ile sınıflandırma doğruluğunu arttırmayı hedeflemişlerdir. Önerdikleri modelin başarısını shenzhen ve montgomery veri seti üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada hibrit derin öğrenme modellerin başarısı değerlendirilmiştir. Ancak derin öğrenme yöntemlerinin parametrelerini farklı veri setleri üzerinde otomatik olarak belirlemek kolay değildir.

Derin öğrenme yöntemleri özellikle sağlık alanında hastalığın doğru ve hızlı tespiti amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Evrişimli sinir ağı radyoloji ve tomoğrafi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan derin öğrenme yöntemidir. Venkataramana ve arkadaşları, SMOTE (Sentetik Minority Oversampling Technique) algoritması ile X-ray veya CT tarama görüntülerini arttırmışlardır (Venkataramana ve ark., 2022). Böylelikle sınıfların dağılımlarının dengeli dağıtarak derin öğrenme yöntemlerinin başarısını arttırmışlardır. Ancak farklı göğüs hastalıklarının tespiti için farklı veri artırma yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Asakawa ve arkadaşları, tüberküloz için lezyon tespiti için göğüs BT görüntülerinin analizini gerçekleştirmişlerdir (Asakawa ve ark., 2022). ImageCLEF 2022 verisi ile akciğer BT görüntülerinde akciğer kavernleri özellikleriyle ilişkili akciğer kavern bölgelerini tespit etmek ve deneyimli radyologlar tarafından önerilen kavernlerin üç ikili özelliğini tahmin etmek için CNN modeli önermişlerdir. Birden fazla CNN özelliğinden gelen girdileri kullanmışlardır ve üç etiketli medyan tabanlı tahmin algoritması ile akciğerlerde oluşan lezyonlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Rahman ve arkadaşları, COVID-19'un güvenilir ve hızlı bir şekilde tanımlanması, hastalığın hızlı yayılmasını önlemek, karantina kısıtlamalarını hafifletmek ve halk sağlığı altyapıları üzerindeki baskıyı azaltmak için farklı görüntü ve veriler kullanılarak SARS-CoV-2 virüsünün tespiti için çeşitli yöntem ve teknikler kullanmışlardır (Rahman ve ark., 2022). Bu çalışmada altı farklı derin öğrenme modeli (ResNet18, ResNet50, ResNet101, InceptionV3, DenseNet201 ve MobileNetv2) ve iki sınıflı (normal, COVID-19 olmak üzere) 1937 görüntüden oluşan EKG verileri kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, EKG verilerinden COVID-19 ve diğer kardiyovasküler hastalıkları tespit etmektir.

Dünya Sağlık Örgütü, tüberküloz teşhisi için ön ve temel tanı tekniği olarak lekeli balgam yayma örneklerinin görsel olarak incelenmesini önermektedir. Görsel inceleme süreci laboratuvar için çok zaman gerektirir ve hataya açıktır. Ayas ve arkadaşları, bu amaçla otomatikleştirilmiş için yeni bir

rasgele orman (Random-Forest- RF) tabanlı bölümlenme ve sınıflandırma yaklaşımlarını önermişlerdir (Ayas ve ark., 2014). RF tekniği denetimli öğrenme yöntemi, herbir lekelerdeki renk dağılımlarına bağlı olarak her bir pikseli sınıflandırmak için geliştirilmiştir. Bu pikseller bağlantılı bileşen analizi kullanılarak sınıflandırılır. Görünüm tabanlı tüberküloz bakteri tanımlama algoritmalarını kullanmak bir sınırlayıcı kutu içinde merkezi olarak konumlandırılır. Son olarak, eğitim görüntülerinde manuel olarak işaretlenmiş TB bakteri bölgeleri üzerinde eğitilen önerilen RF öğrenme algoritması kullanılarak her bölge sınıflandırılır. Önerilen sınıflandırıcının duyarlılığı ve özgüllüğü piksellerin bölütlenmesi için sırasıyla %75,77 ve %96,97'nin üzerindedir.

Tüberküloz (TB), dünya çapında insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturan ve her yıl milyonlarca ölüme neden olan bulaşıcı bir hastalıktır. Bu hastalığın tedavisinde erken tanı ve teşhis oldukça önemlidir. Bilgisayar destekli teşhis (CAD) hastalığın ölümcül etkilerini azaltılmasında umut verici olmuştur. Yapay zeka ve makine öğrenimi yöntemleri CAD için sıklıkla kullanılmaktadır (Singh ve ark., 2022). Hindistan'da 2006-2014 yılları arasında çok sayıda kişinin ölümüne sebep olan TB hastalığının erken tanı ve teşhisi için %83,78 ve %67,55 hatırlama ve kesinliğe sahip yeni bir Derin Sinir Ağı tabanlı ilaca duyarlı TB tespit metodolojisi önerilmiştir (Kant ve ark., 2018). Bu yöntem, girdi olarak uygun yakınlaştırma düzeyine sahip bir mikroskop görüntüsü ile TB mikroplarının konumunu çıktı olarak döndürür. Böylelikle Hindistan'da ortaya çıkan TB bulaşıcı hastalığının yayılmasının önlenmesi hedeflenmiştir.

Bilgisayar bilimi, modern dinamik sağlık sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Teşhis süreci tüm yönleriyle ele alındığında bilgisayar teknolojisi sağlık uzmanlarına ve kuruluşlarına olduğu kadar hastalara, ailelere, araştırmacılara ve karar vericilere önemli hizmetler sunmaktadır. Bu süreci olumlu yönde etki eden tüm yenilikler sağlık hizmetleri alanları için çok önemlidir. Hastalıkların birçoğu ilk aşamada yani erken tanı konulup, teşhis edilirse hastalıklar önlenebilir. Hrizi ve arkadaşları, bu amaçla ImageCLEF 2020 veri setini kullanarak tüberküloz hastalığının tespitini gerçekleştirmişlerdir (Hrizi ve ark., 2022). TB ile ilgili görüntülerden en uygun doku özelliklerini çıkaran ve sınıflandırıcıların hiper parametrelerini seçen optimize edilmiş makine öğrenimi tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Doğruluk oranını artırmak ve çıkarılan özellik sayısını en aza indirmek ortaya koymuş olduğu problemlerdir. Optimizasyonu sağlamak amacıyla veri setindeki en önemli özelliklerin seçilmesi gerekmektedir. Bu amaçla genetik algoritma uygulamışlardır ve sınıflandırma için de SVM modeli yaptıkları çalışmada kullanmışlardır. Bu çalışmada tüberküloz (TB) hastalık sınıflandırması problemini ele alınmıştır. SVM sınıflandırıcısının performansını iyileştirmek için genetik algoritmaya dayalı iki yeni teknik kullanılmıştır. İlk teknik için, eğitim ve test aşamalarında mümkün olan en yüksek doğruluğu garanti etmek amacıyla bir dizi değerden en uygun parametreleri belirlemek için uyarlanabilir. İkinci teknik, fazla uydurmayı önlemek ve verilerin boyutunu azaltmak için az sayıda orijinal özelliği seçmektir. Bu çalışmada tartışılan metodoloji, tıbbi görüntü işleme alanında kullanılan birkaç teknik vurgulanmaktadır. Dalgacık dönüşümü, veri setinden özellikleri çıkarmak için uzamsal gri düzey

bağımlılık yöntemiyle kullanılmıştır. Yapılan çalışmayla, çıkarılan özelliklerin kalitesinin görüntü sınıflandırmasının etkinliği üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu gösterilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalarla sağlık alanında hastalık tanı, teşhis ve tedavisinde yapay zeka ve makine öğrenimi tekniklerinin kullanıldığı gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar son yıllarda artmakla beraber bu alanda her geçen gün daha da bilgisayar destekli analizin de gerekliliğinin ve ihtiyaç arttığı gözlenmiştir. Tablo 1’de CNN yöntemleriyle farklı veri setleri üzerinde yapılan bazı çalışmalar gösterilmiştir. Bizim çalışmamızda tüberküloz örneklerinin daha doğru ve tutarlı tahmin edilebilmesi amacıyla tüberküloz hastalığı tespit probleminde derin öğrenme tabanlı modeller kullanılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak CNN sınıflandırma doğruluğunu arttırmak için özgün bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Beş farklı senaryoya göre “tüberkülozlu” ve “sağlıklı” olarak etiketlenen görüntüler için tüm derin öğrenme modellerinin doğruluk sonuçları, k=5 ve k=10 için çapraz doğrulama, doğru olarak tespit edilen “tüberkülozlu” verilerin sayıları gösterilmiştir. Tüberküloz hastalığının bulaşıcı etkisini ve ölüm oranını azaltmak amacıyla bir sınıflandırma modeli geliştirilmiştir. Önerilen bu model, başka hastalıkların tespiti için de bir yol gösterici olma niteliği taşımaktadır. Çalışmamız diğer çalışmalardan farklı olarak tüberküloz hastalığına hem doğru hem hızlı tanı koyarken hem de maliyet açısından düşük maliyete sahiptir.

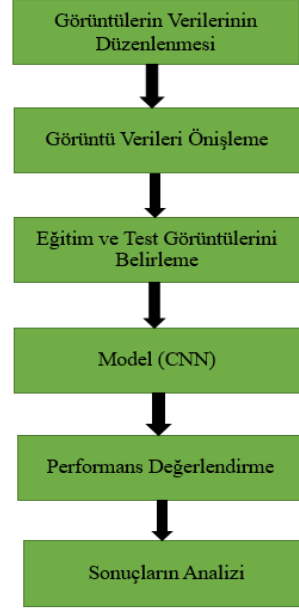
Tablo 1. Literatürde göğüs röntgeni görüntüleri üzerinde CNN ile yapılan çalışmalar

Çalışma	Kullanılan Veri Seti	Doğruluk (%)
Liu, 2017	Peru’da oluşturulan göğüs röntgeni görüntüleri	85,68
Li, 2022	COVIDX8	95,02
Khatri, 2020	-	83,30
Breve, 2022	COVIDx8B	98,15
Hafeez ve ark, 2023	Kaggle COVID-19	97,00
Iqbal ve ark., 2023	Tüberküloz	95,10
Bisht ve ark., 2023	Github COVID-19	87,50
Cao ve ark., 2021	NLM	90,38
Rahman ve ark., 2021	NLM,RSNA,NIAID	96,47

3. Materyal ve Metot

Önerilen modelin iş akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan görüntü verilerinin çeşitli filtreler kullanılarak ön işlemeden geçirilmiştir. Veri ön işleme adımlarında filtreleme, görüntü netleştirme, yumuşatma, gürültü azaltma, normalleştirme ve görüntüyü yeniden boyutlandırma gibi bir dizi ön işleme adımları gerçekleştirilmiştir. Gauss filtresiyle görüntünün gürültüsü giderilmiştir ve

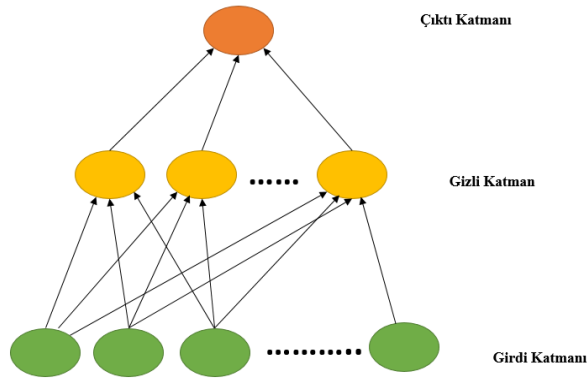
görüntü daha net hale getirilmiştir. Ayrıca görüntü keskinleştirilmiştir. 1000 görüntü verisinin ilk aşamada %70'i eğitim, %30'u test için kullanılmıştır. Daha sonraki aşamalarında farklı eğitim, test ve doğrulama örneklerine ayrılarak önerilen modellerin başarısı test edilmiştir. Önerilen CNN modelinin katmanlı yapısı oluşturularak elde edilen sonuçlar farklı değerlendirme kriterleri ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.



Şekil 1. Önerilen modelin iş akış şeması

3.1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network – ANN)

ANN, insan beyninin işleyişinden ilham alarak oluşturulan ve karmaşık problemleri çözmek için kullanılan bilgisayar tabanlı matematiksel modellerdir. Bu model, birbirleriyle etkileşimli çalışan yapay sinir hücrelerinden (nöronlardan) oluşur ve bilgi işleme ve öğrenme yetenekleriyle dikkat çeker.



Şekil 2. Tek katmanlı ANN temel yapısı

Tek katmanlı ANN yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Girdi ve çıktı katmanından oluşur. ANN, eğitim süreciyle bilgiyi öğrenir ve çıkarımlar yapar. Eğitim aşamasında, ağa örnek veriler sunulur ve ağ bu

verilere dayanarak parametrelerini günceller. Bu süreçte, ağ hata hesaplar ve bu hataları azaltmaya çalışır. Eğitim süreci tamamlandığında, yapay sinir ağı belirli bir görevi gerçekleştirmek üzere optimize edilmiş hale gelir ve yeni girdilere dayalı sonuçlar üretebilir. ANN, büyük ölçekli ve karmaşık verileri işleyebilme yeteneği sayesinde pek çok alanda kullanım potansiyeline sahiptir (Al-Shayea, 2011). Özellikle yapay zekâ, robotik, otomasyon, tıbbi teşhis, finansal analiz gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Gelişen teknolojilerle birlikte yapay sinir ağları daha da geliştirilecek ve daha karmaşık problemlerin çözümünde daha etkili bir araç haline gelecektir.

Önerilen ANN modelinin parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Öğrenme katsayısı için 0,01, 0,001, 0,2, 0,3 denenmiştir ve en uygun öğrenme katsayısı olarak 0,01 seçilmiştir. “Uniform” ağırlığı başlatma fonksiyonu olarak seçilmiştir ve “relu” aktivasyon fonksiyonu ile ağırlık değerlerinin ayarlanmıştır. Çıkış katmanında ise iki sınıflı tübeküloz veri seti için “softmax” aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Kayıp fonksiyonu için “categorical_crossentropy” ile hata oranı azaltılmaya çalışılmıştır. Hiper parametrelerin ayarlanması için ince ayarlanması için Adagrad, Stokastik Gradyan İniş (Stochastic Gradient Descent – SGD), Momentum, RMSProp, Adadelta ve Adam optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. “Adam” diğerlerine göre performans ve hız açısından daha başarılı sonuçlar verdiği için çalışmaya “adam” optimizasyon algoritmasının sonuçları verilmiştir. “Adam” algoritması ile önerilen modeller için hiper-parametreleri optimize edilerek en uygun parametreler belirlenmiştir. İleri çalışmalarda rastgele, grid ya da bayes optimizasyonu kullanılarak farklı veriler için daha uygun parametrelerin belirlenip belirlenmeyeceği araştırılacaktır. Önerilen ağ yapısı klasik ağ yapısından farklı oluşturularak modelin sınıflandırma doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir. Kullanılan tüberküloz verisine uygulandığında sınıflandırma performansının arttığı gözlemlenmiştir.

3.2. Evrimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network – CNN)

CNN, derin öğrenme alanında oldukça etkili bir yapay sinir ağı modelidir (Bozkurt, 2023). Özellikle görüntü işleme ve görüntü tanıma gibi alanlarda önemli başarılar elde etmiştir. CNN, beyin tarafından algılanan biçimde, görsel bilgileri işleyebilmek ve karmaşık desenleri tanımlayabilmek için tasarlanmıştır.

CNN’in temel amacı, bir veri kümesindeki özellikleri öğrenmek ve bu özellikleri temsil eden bir model oluşturmaktır. Bu modeller, evrim (convolutional), havuzlama (pooling), tam bağlantılı (fully connected) katmanlar, yoğunluk katmanı, droup katmanı gibi birbirini takip eden katmanlardan oluşur (Sun ve ark., 2017).

Tablo 2. Önerilen modelinin değerleri

Parametreler	Değer
Epoch Sayısı	150
İterasyon Sayısı	80
Aktivasyon Fonksiyonu	relu
Çıkış Katmanı	sigmoid, softmax
Kayıp Fonksiyonu	categorical_crossentropy
Optimizasyon fonksiyonu	adam
Katman Sayısı	5
Nöron Sayısı	25,25,5
Ağırlığı başlatma fonksiyonu	uniform
Diğer optimizasyon fonksiyonları	sgd, nadam, rmsprop, adamax
Diğer aktivasyon fonksiyonları	softplus, tanh, softsign
Grup ölçüsü	5, 10, 15

Evrışim Katmanı (Convolutional Layer): Convolutional Neural Network yapısının temel bir bileşenidir ve görüntü işleme alanında büyük öneme sahiptir. Evrişim katmanı, bir görüntü verisi üzerinde evrişim işlemini uygulayarak, özellik haritalarını oluşturan bir dizi filtre uygular. Evrişim katmanı, bir filtre veya çekirdek matrisini girdi veri üzerinde hareket ettirerek, her konumda bir nokta çarpımı işlemi yapar. Bu nokta çarpımı işlemi, girdi veri ve filtre arasında bir eleman bazında çarpma ve toplama işlemini içerir. Her bir evrişim işlemi sonucunda, bir filtre tarafından algılanan belirli bir özellik elde edilir.

Havuzlama katmanı (Pooling Layer): Convolutional Neural Network (ConvNet ya da CNN) yapısının bir bileşenidir ve genellikle evrişim katmanının ardından gelir. Havuzlama katmanı, girdi verisindeki özellik haritalarını küçültmek ve önemli bilgileri vurgulamak amacıyla kullanılır. Havuzlama katmanı, girdi verisini daha küçük boyutlara indirirken, özelliklerin ölçek, çevrilme ve yer değiştirme değişikliklerine karşı dayanıklılığını artırır. Ayrıca, parametre sayısını azaltarak hesaplama karmaşıklığını azaltır ve ağıın genellemesini geliştirir.

Tam Bağlantılı Katmanlar (Fully Connected Layers): Tam bağlantılı katmanlar, bir yapay sinir ağının (neural network) bileşenlerinden biridir ve genellikle ağıın çıktı katmanına doğru ilerleyen son katmanlardır. Bu katmanlarda, her bir nöron, önceki katmandaki tüm nöronlarla bağlantılıdır. Önceki katmanın tüm çıktılarını alır ve bu çıktıları kendi nöronlarıyla ilişkilendirir. Her bir nöron, girdi olarak

bir ağırlık matrisiyle çarpılan önceki katmanın çıktılarında bir toplam alır. Ardından, bir aktivasyon fonksiyonu tarafından bu toplam değeri aktive edilir ve nöronun çıktısı elde edilir.

Düzleştirici Katman (Flatten Layer): En son katman için (Fully Connected Layer) verileri hazırlar. Evrişim ve Pooling katmanından gelen değerlerin tek boyutlu halini gösterir. Bundan önceki katmanlarda gerçekleştirilen işlemler matrisler şeklinde gerçekleştirilirken, bu katmanda ise işlemler tek boyutlu yapıda gerçekleştirilir (Bozkurt, 2022).

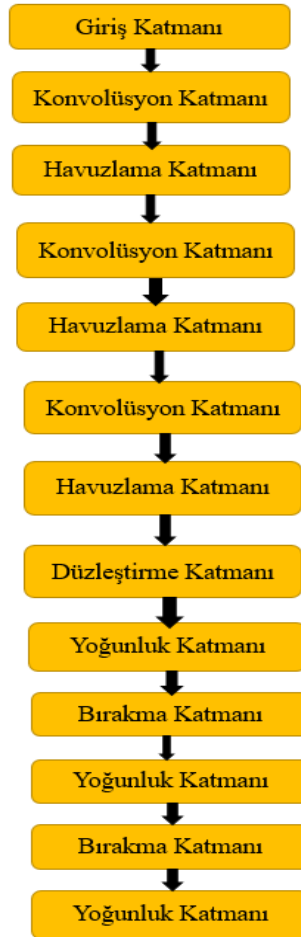
Yoğun Katman (Dense Layer): Relu, Sigmoid ve Tanh gibi aktivasyon fonksiyonlarıyla çıkışı belirler. Girdinin her bir düğümü çıkıştaki düğüme bağlıdır. Her bir katmanın girişi kendisinden önceki katmanın çıkışı ile belirlenir.

Önerilen CNN modelde kullanılan katmanlar, çıkış değerleri ve parametreler ve Şekil 3’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Konvolüsyon ve havuzlama katmanında belirlenen katmanlara softmax ve relu katmanları eklenerek filtre sayısının artırılarak eğitim ve test görüntülerindeki sınıflandırma ve hastalık tespitinin doğru belirlenmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca 3 x 3’lük konvolüsyon ve 2 x 2’lik havuzlama katmanı kullanılmıştır. 3 konvolüsyon katmanı, 2 havuzlama katmanı, 1 düzleştirme, 2 yoğunluk ve 3’te bırakma katmanı kullanılmıştır.

Tablo 3’de kullanılan tüberküloz verileri için kullanılan katmanların ve parametrelerin değerleri, filtre sayıları, kullanılan ve kullanılmayan parametreler ayrıntılı olarak ele alınmıştır. 3 x 3’lük bir filtre giriş görüntüsü üzerinde gezdirilerek öznelikler tespit edilmeye çalışılır. Ağırlık ve bias değerleri sürekli güncellenerek öğrenme süreci oluşturulur. Konvolüsyon katmanı arasında havuzlama katmanı bulunmaktadır. Bu katmanın amacı görüntünün boyutunu küçülterek daha doğru bir sınıflandırma gerçekleştirebilmektedir. 2 x 2’lik maksimum havuzlama katmanı ile görüntü boyutu dörtte bir indirgenir.

Çalışmada 510 x 510 boyutundaki oluşan tüberküloz görüntüleri başlangıçta rastgele seçilen ağırlıklarla işleme onulur. Seçilen ağırlık değerleri her iterasyonda tekrar hesaplanır ve en optimum ağırlıklar tespit edilir. Bu sebeple epoch değeri çok büyük ya da çok küçük seçilmemelidir. Bu çalışmada epoch değeri 50 seçilmiştir ve her 50 epoch için 10 iterasyon belirlenmiştir. Modelin uygun yerde durdurulması için için batch size değeri belirlenir. Katman sayısı olarak da 6 belirlenmiştir. Batch size ile ağırlıklar hesaplanır ve en uygun ağırlıklar için optimize edilir. Konvolüsyon katmanında 256,128 ve 64’lük 3 x 3’lük katmanlar kullanılır. Konvolüsyon katmanında yapılan işlemlerden sonra kullanılan Relu aktivasyon fonksiyonu girilen pozitif herhangi bir a değeri için a değerini alırken, negatif değerler için ise 0 değerini alan doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Havuzlama katmanında ise 2 x 2’lik maksimum değerler ele alınır. Düzleştirme katmanında bu iki katman sonucu elde edilen matris şeklindeki verileri tek boyutta göstererek tam bağlantılı katmana görüntüleri hazırlar. En son katmanda ise softmax aktivasyon fonksiyonu genelde kullanılır. Bu aktivasyon fonksiyonu çoklu sınıflandırma içeren problemlerinde 0-1 arasında veriler üretir.

Önerilen CNN modelinde kullanılan parametre değerleri Tablo 3’ de gösterilmiştir. 50 epoch döngüsü için 100 batch size, konvolüsyon katmanı için 3 x 3 filtreler, havuzlama katmanı için 2 x 2 filtreler, aktivasyon fonksiyonu olarak relu ve softmax kullanılmıştır. Bu çalışmada öğrenme katsayısını 0,01 alırken, optimizier olarak ise adam algoritması seçilmiştir.



Şekil 3. Önerilen CNN modeli

Tablo 4’te CNN için önerilen modelin parametre değerleri gösterilmiştir. Derin öğrenme modellerinde ince ayar (fine tuning) yapılarak hiper parametre seçimini en uygun şekilde gerçekleştirmek için Adagrad, Stokastik Gradyan İniş (Stochastic Gradient Descent – SGD), Momentum, RMSProp, Adadelta ve Adam optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Çalışmamızda bu optimizasyon algortimalarının hepsini hiper parametre seçimi için kullanılmıştır. Ancak “adam” gerek hız gerekse performans açısından diğerlerine oranla daha başarılı sonuçlar vermiştir. Önerilen tüm ağ modellerinde hiper parametreler “adam” ile eğitilmiştir. Başlangıçta öğrenme oranı 0,01 seçilmiştir. Ayrıca tüm ağlar için ağırlık kaybını azaltmak için önceden eğitilen ağırlıklar kullanılmıştır. Bırakma katmanı için 0,5 eşik değeri seçilerek parametre değerleri belirlenmiştir. Hata oranının geri yayılımı sebebiyle çıkış nöronlarında hata en aza indirginmiştir. Çünkü bu çalışmada diğer optimizasyon algoritmalarına göre gerek performans gerekse hız olarak “adam” daha avantajlıdır. Ayrıca “adam” Rmsprop ve momentum

yöntemlerinin olumlu taraflarının birleştirilmesi ile önerildiği için diğerlerine oranla daha başarılı şekilde hiper parametrelere ince ayar sağlayabilir.

Tablo 3. CNN modelinin değerleri

Parametreler	Değer
Konvolüsyon1	510,510,30
Havuzlama1	255,255,30
Konvolüsyon2	253,253,40
Havuzlama2	126,126,40
Konvolüsyon3	124,124,50
Havuzlama3	62,62,50
Düzleştirme1	192200
Yoğunluk1	50
Bırakma1	50
Yoğunluk2	30
Bırakma2	30
Yoğunluk3	2

Tablo 4. Önerilen CNN modelin parametreleri

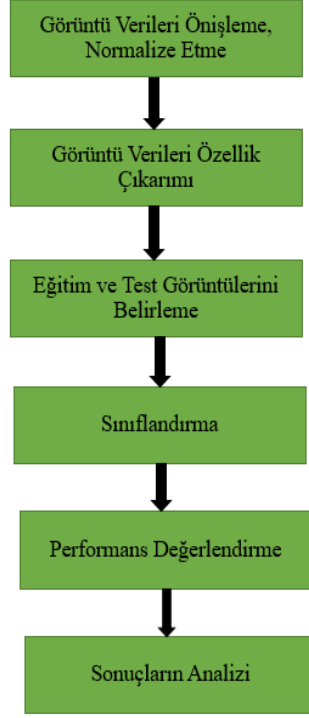
Parametreler	Değer
Epoch Sayısı	50
Filtre Boyutu (konvolüsyon)	3x3
Filtre Boyutu (havuzlama)	2x2
Aktivasyon Fonksiyonu	relu, relu, tan, relu, softmax
Loss Fonksiyonu	categorical_crossentropy
Optimizasyon	adam, SGD
Katman Sayısı	5

3.2. Transfer Öğrenme Modelleri

VGGNet Oxford Üniversitesi Visual Geometry Group (VGG) tarafından araştırılmış bir CNN mimaridir. Bu derin öğrenme modelinde girdi olarak verilen görüntüler 224 x 224 x 3 boyutundadır. 3 x 3 filtreler kullanılır ve 11 ile 19 arasında katman değerleri alabilir. 19 katman sayısını göstermektedir. Bu çalışmada başta VGG19 olmak üzere LeNet, AlexNet, DenseNet, ResNet50, Inception-V3 ve EfficientNet gibi transfer öğrenme modelleri kullanılmıştır. Bu transfer öğrenme modellerinin başarısı k=5 ile k=10 çaprazlama değerine ve farklı eğitim, test ve doğrulama örneklerine göre karşılaştırılmıştır. VGG19 modelinin yapısı Tablo 5’ de gösterilmektedir. VGG19 modelinde 16 konvolüsyon, 3 tam bağlantılı katman, 5 havuzlama katmanı ve 1 softmax katmanı içerir (İbrahim ve ark., 2021).

Tablo 5. VGG19 yapısı

Katman	Değer
2 konvolüsyon katmanı	3x3,64
2 konvolüsyon katmanı	3x3,128
4 konvolüsyon katmanı	3x3,256
4 konvolüsyon katmanı	3x3,512
4 konvolüsyon katmanı	3x3,512
havuzlama katmanı	2x2
tam bağlantılı katman	4096
tam bağlantılı katman	4096
tam bağlantılı katman	4096
softmax	-



Şekil 4. Önerilen transfer öğrenme modellerinin iş akış şeması

Bazı yaygın derin öğrenme modellerinden aşağıda kısaca bahsedilmiştir:

LeNet: Bu ağ, konvolüsyon ağının ilk başarılı uygulaması olarak kabul edilir. 1990'lı yıllarda geliştirilmiş ve posta kodları, basit basamaklar vb. okumak için kullanılmıştır.

AlexNet: Bu ağ, 2012 yılında ImageNet ILSVRC yarışmasında sunulmuştur. Diğer ağlara göre oldukça başarılıdır.

VGGNet: Bu ağ yapısı, sinir ağlarında derinlik kavramının ne kadar önemli olduğu belirtilir. 16 ya da 19 adet evrişimli katman içerir.

ResNet50: ImageNet veri kümesi üzerinde eğitilen 50 katmanlı bir ağdır.

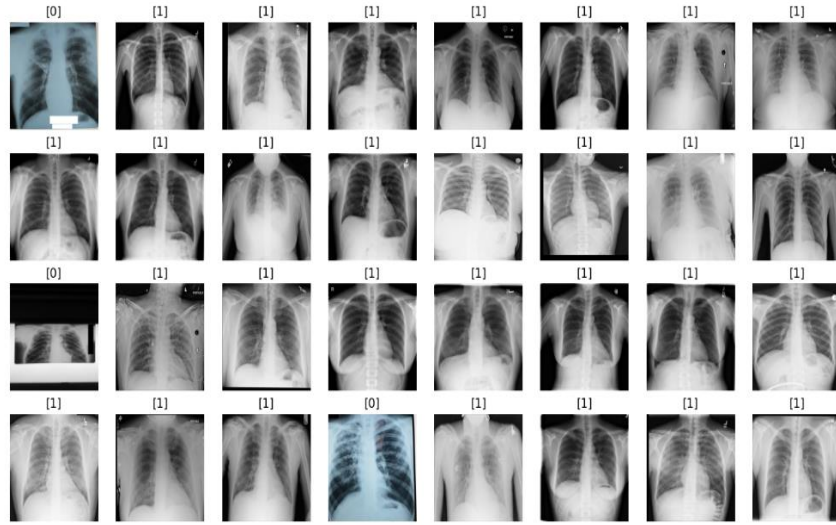
Inception-V3: Çok sayıda konvolüsyonel ve maksimum havuzlama adımlarından oluşan bir nöral ağ modelidir.

EfficientNet: Modeli küçültmeye çalışan bir grup konvolüsyon sinir ağı modelidir. Derinlik, çözünürlük ve genişlik açısından ölçekleme yapar.

4. Bulgular

4.1. Veri Seti

Çalışmamızda kullanılan veri seti kaggle üzerinden (<https://www.kaggle.com/datasets/tawsifurrahman/tuberculosis-tb-chest-xray-dataset>) alınmıştır. Bu veri seti göğüs röntgeni verilerinden Katar ve Dhaka Üniversitesi tarafından Bangladeş'te yaşayan bir grup doktor ile Malezya'dan Hamad Medical Corporation işbirliği ile oluşturulmuştur. Toplamda sağlıklı ve hasta olmak üzere iki sınıflı 700 TB görüntüden oluşmaktadır. Çalışmamızda verilerin eğitimi için 700 görüntü kullanılırken, test işlemi için ise 300 görüntü kullanılmıştır. Bu veri setinden örnek görüntüler Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kullanılan veri seti

Bu çalışmada tüberküloz görüntüleri Python programlama dili ile yapay sinir ağları ve evrimsel sinir ağları ile eğitilmiştir ve test görüntülerinin doğruluğu farklı değerlendirme kriterleri ile hesaplanmıştır. Ayrıca çalışma sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Kullanılan görüntü verileri ilk aşamada çeşitli ön işleme adımlarından geçirilmiştir ve çalışmada daha doğru sınıflandırma sonuçları elde edilmesi için görüntüler çeşitli veri madenciliği yöntemleri ile normalize edilmiştir. Veri ön işleme adımlarında filtreleme, görüntü netleştirme, yumuşatma, gürültü azaltma, normalleştirme ve görüntüyü yeniden boyutlandırma gibi bir dizi ön işleme adımları gerçekleştirilmiştir. Gauss filtresiyle görüntünün gürültüsü giderilmiştir ve görüntü daha net hale getirilerek görüntü keskinleştirilmiştir. Böylelikle görüntü daha belirgin hale gelerek tüberkülozlu görüntüler ile sağlıklı görüntüler daha doğru biçimde birbirinden ayrılması sağlanmıştır. Ayrıca farklı veri artırımı yöntemleri ile verinin artırımı yapılarak önerilen modellerin başarısının değişip değişmediği gözlemlenmiştir. Verinin ön işlemesine ait işlemler önerilen modelin iş akışında anlatılmıştır. Veri setinde sağlıklı görüntüler daha fazla olduğundan dolayı dengesiz dağılım görülmektedir. Bu sorunu çözebilmek amacıyla SMOTE algoritması ile sentetik görüntüler oluşturulmuştur. Böylelikle az sayıda görüntüye sahip olan tüberkülozlu verilerin artırılması sağlanmıştır. Bu da sınıflandırma problemlerinde ortaya çıkan aşırı öğrenme ve ezberleme gibi

sorunların çözülmesini sağlamıştır. Ağırlıkların doğru olarak belirlenmesi için ağırlıklı atama yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca özellik çıkarımı ve seçimi gibi yöntemler de sınıflandırma başarısını arttırmaktadır. Orijinal veri setinde 1000 görüntü verisinin 800’ü “sağlıklı” 200 ise “tüberkülozlu” veridir. Önerilen modelin sınıflandırma doğruluğu hesaplayabilmek için görüntü verileri 0.70 eğitim ile 0.30 test verisi olarak rastgele ve her sınıftan eşit olacak şekilde ayrılmıştır. Bu çalışmada veri dengelemesi için veri setindeki görüntü sayısı her iki sınıf için de (“tüberkülozlu” ve “sağlıklı”) eşit olarak artırılmış. “Tüberkülozlu” ve “sağlıklı” olarak etiketlenmiş görüntülere ait verilere ait sayılar Tablo 6’da gösterilmiştir. Döndürme, çevirme, büyütme, kontrast artırma, görüntünün boyutunu değiştirme, kırpma, bulanıklık ve gürültü ekleme gibi farklı efektler ile veri artırılarak sentetik veriler elde edilmiştir. Örneğin; ilk senaryoda 1602 “tüberkülozlu” görüntü etiketlenirken; 405 “sağlıklı” görüntü etiketlenmiştir.

Tablo 6. Tüm verilere ait etiketlenmiş görüntü sayıları

Senaryo	Tüberkülozlu	Sağlıklı	Toplam
1	1602	405	1007
2	2456	846	3302
3	3427	1278	4705
4	4023	1637	5660
5	4761	2012	6773

4.2. ANN Sonuçları

ANN modelinin uygulama sonuçları eğitim verisi ve test verisi için sırasıyla %93,17 ve %90,41 başarı elde etmiştir. Tablo 7 ve Tablo 8’de ANN modeli için sırasıyla eğitim ve test verileri için görüntülerin belirtilen değerlendirme metriklerine göre sınıflandırma sonuçları verilmiştir.

Tablo 7. Eğitim için değerlendirme sonuçları

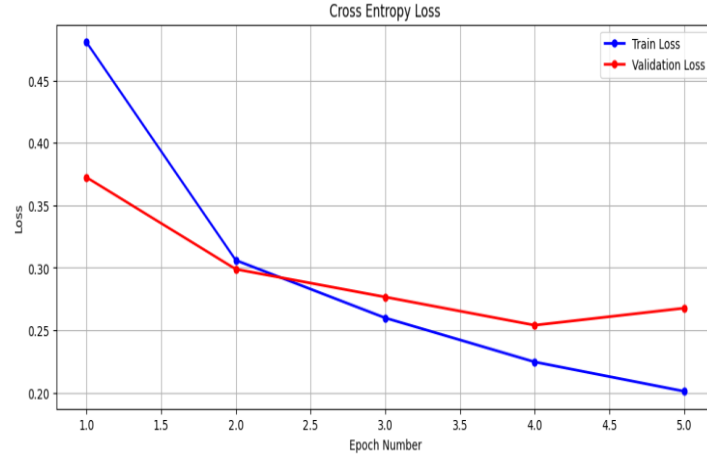
Eğitim Verisi	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puamı
0	0,8559	0,9343	0,8934
1	0,9902	0,9960	0,9931
2	0,8363	0,9382	0,8843
3	0,9544	0,9345	0,9443
4	0,8648	0,9087	0,8862
5	0,9993	0,9610	0,9798
6	0,9152	0,6885	0,7858

7	0,9495	0,9837	0,9663
8	0,9958	0,9935	0,9947
9	0,9762	0,9793	0,9778
Doğruluk	-	-	0,9318
Maksimum Ortalama	0,9338	0,9318	0,9306
Ağırlıklı Ortalama	0,9338	0,9318	0,9306

Tablo 8. Test için değerlendirme sonuçları

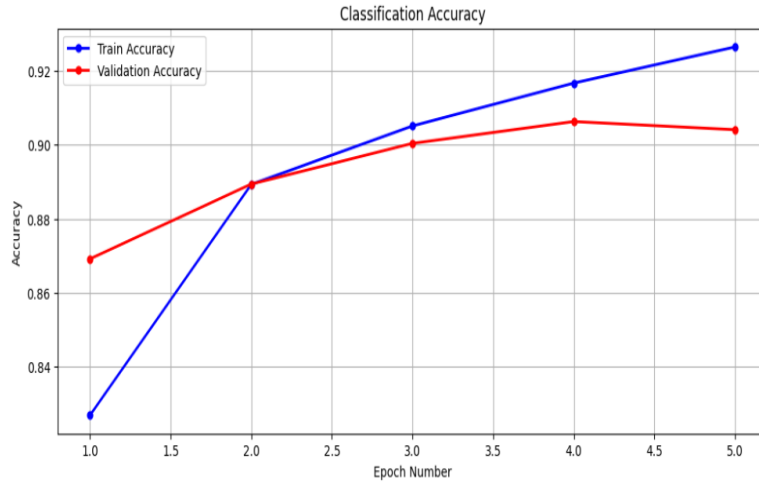
Test Verisi	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puanı
0	0,8338	0,8980	0,8647
1	0,9841	0,9880	0,9860
2	0,7794	0,9150	0,8418
3	0,9305	0,8970	0,9134
4	0,8186	0,8620	0,8397
5	0,9937	0,9480	0,9703
6	0,8419	0,6070	0,7054
7	0,9297	0,9790	0,9537
8	0,9820	0,9830	0,9825
9	0,9650	0,9640	0,9645
Doğruluk	-	-	0,9041
Maksimum Ortalama	0,9059	0,9041	0,9022
Ağırlıklı Ortalama	0,9059	0,9041	0,9022

Tüberküloz veri seti için çapraz entropi (cross entropy) hata değerlerinin değişimi Şekil 6' da epoch değerlerine göre gösterilmiştir. Grafikte anlaşıldığı üzere 1. epoch da hata en yüksek, 5. epoch da hata en düşük olmaktadır.



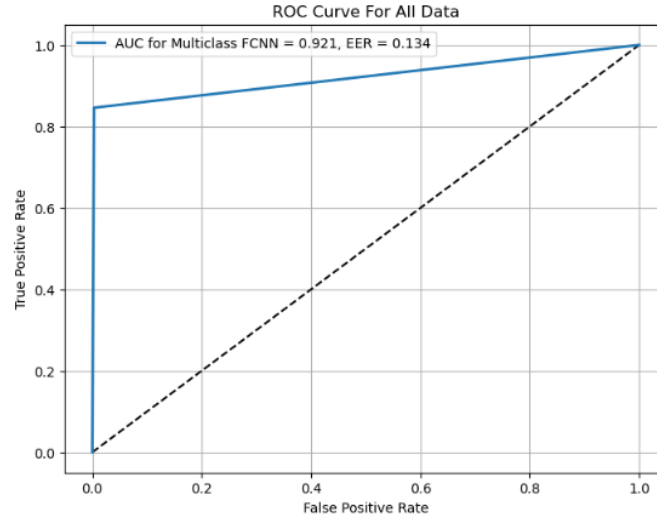
Şekil 6. Çapraz entropi hata grafiği

Ağırlıklar sürekli güncellenmekte olup, en iyi öğrenmenin kaçınıcı epoch da gerçekleştiği Şekil 7’ de gösterilmiştir.

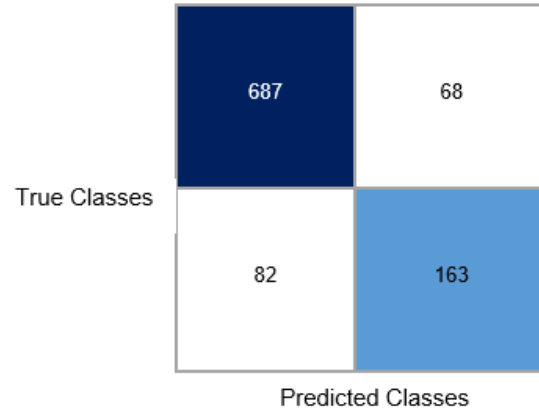


Şekil 7. Sınıflandırma doğruluğu grafiği

Çapraz doğrulama ile yapılan tüm veri için ANN sonuçlarının (k=8 için) ortalaması ROC ve AUG eğrileri Şekil 8’de gösterilmiştir. k=8 için 85,76 başarı elde edilmiştir. k=8 seçilme nedeni ise yapılan tüm analizlerin ortalamasına bakarak önerilen modelin başarısını göstermektir. Ayrıca k=8 çapraz doğrulama için karmaşıklık matrisi Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 8. ANN için ROC ve AUG eğrisi (k=8 için)



Şekil 9. Karmaşıklık matrisi

Tablo 9’da beş farklı senaryoya göre ANN ile doğru olarak tespit edilen “tüberkülozlu” verilerin sayısı verilmiştir.

Tablo 9. ANN Modelinin Senaryolara göre Tahmin Edilen Örnek Sayısı

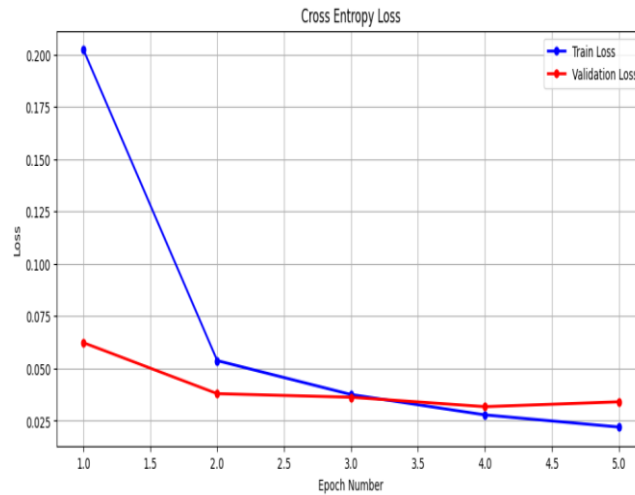
Senaryo	Doğru tahmin edilen “tüberkülozlu” olarak etiketlenen görüntü sayısı
Senaryo 1	1427
Senaryo 2	2015
Senaryo 3	2867
Senaryo 4	3764
Senaryo 5	4033

4.3. CNN Sonuçları

Önerilen CNN modelinin uygulama sonuçları eğitim verisi ve test verisi için sırasıyla %99,44 ve %98,91 başarı elde etmiştir. Tablo 10 ve Tablo 11’de CNN modeli için sırasıyla eğitim ve test verileri için görüntülerin belirtilen değerlendirme metriklerine göre sınıflandırma sonuçları verilmiştir. Tüberküloz veri seti için çapraz entropi (cross entropy) hata değerlerinin değişimi Şekil 10’ da epoch değerlerine göre gösterilmiştir. Grafikte anlaşıldığı üzere 1. epoch da hata en yüksek, 5. epoch da hata en düşük olmaktadır.

Tablo 10. Eğitim için değerlendirme sonuçları

Eğitim Verisi	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puanı
0	0,9930	0,9973	0,9983
1	0,9939	0,9970	0,9955
2	0,9935	0,9970	0,9952
3	0,9954	0,9977	0,9966
4	0,9910	0,9957	0,9933
5	0,9921	0,9983	0,9952
6	0,9988	0,9921	0,9954
7	0,9979	0,9808	0,9893
8	0,9940	0,9954	0,9947
9	0,9883	0,9938	0,9910
Doğruluk	-	-	0,9944
Maksimum Ortalama	0,9944	0,9945	0,9945
Ağırlıklı Ortalama	0,9945	0,9944	0,9944

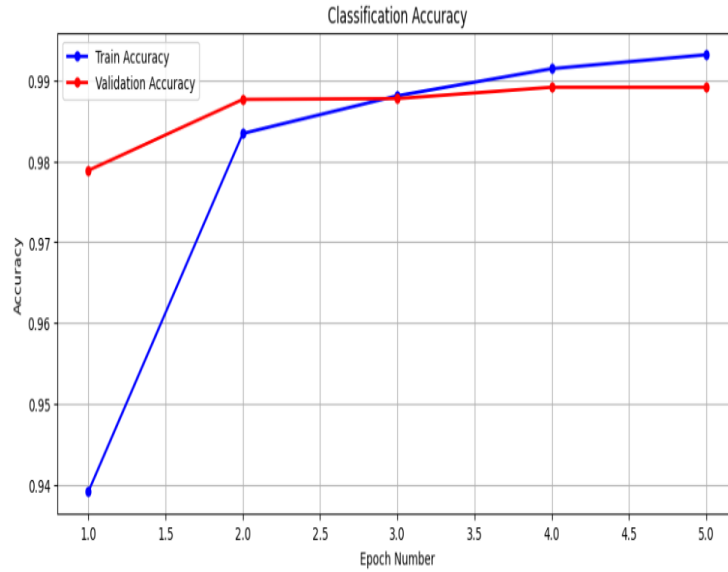


Şekil 10. Çapraz entropi hata grafiği

Tablo 11. Test için değerlendirme sonuçları

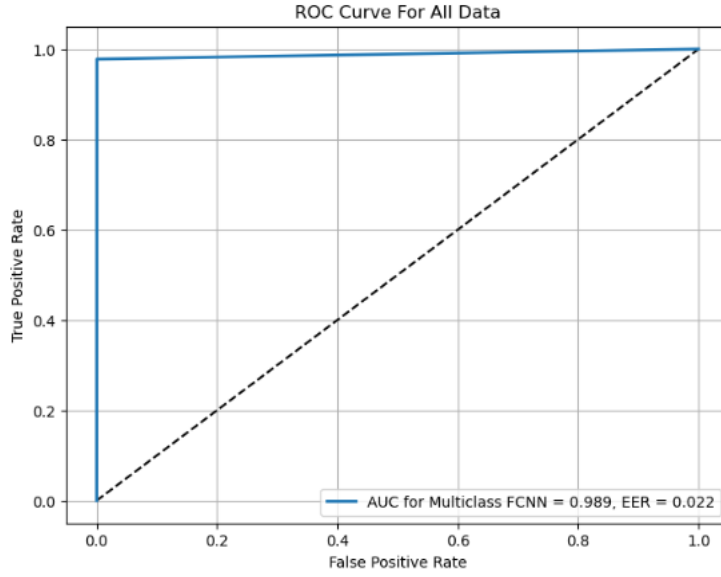
Test Verisi	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puanı
0	0,9969	0,9949	0,9959
1	0,9913	0,9982	0,9947
2	0,9808	0,9922	0,9865
3	0,9863	0,9960	0,9911
4	0,9809	0,9949	0,9879
5	0,9833	0,9910	0,9872
6	0,9968	0,9802	0,9884
7	0,9970	0,9708	0,9837
8	0,9877	0,9928	0,9903
9	0,9910	0,9802	0,9856
Doğruluk	-	-	0,9892
Maksimum Ortalama	0,9892	0,9891	0,9891
Ağırlıklı Ortalama	0,9893	0,9892	0,9892

Ağırlıklar sürekli güncellenmekte olup, en iyi öğrenmenin 5. epoch da gerçekleştiği Şekil 11’ de gösterilmiştir.

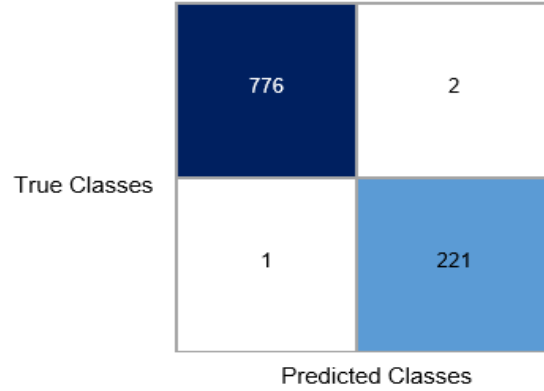


Şekil 11. Sınıflandırma doğruluğu grafiği

Çapraz doğrulama ile yapılan tüm veri için CNN sonuçlarının (k=8 için) ortalaması ROC ve AUG eğrileri Şekil 12’de gösterilmiştir. k=8 için %97,78 başarı elde edilmiştir. k=8 seçilme nedeni ise yapılan tüm analizlerin ortalamasına bakarak önerilen modelin başarısını göstermektir. Ayrıca k=8 çapraz doğrulama için karmaşıklık matrisi Şekil 13’de verilmiştir. Tablo 12’de beş farklı senaryoya göre CNN ile doğru olarak tespit edilen “tüberkülozlu” verilerin sayısı verilmiştir.



Şekil 12. CNN için ROC ve AUG eğrisi



Şekil 13. Karmaşıklık matrisi

Tablo 12. CNN Modelinin Senaryolara göre Tahmin Edilen Örnek Sayısı

Senaryo	Doğru tahmin edilen “tüberkülozlu” olarak etiketlenen görüntü sayısı
Senaryo 1	1591
Senaryo 2	2231
Senaryo 3	3029
Senaryo 4	3862
Senaryo 5	4154

Tablo 13’de farklı eğitim, test ve doğrulama örneklerine göre farklı derin öğrenme modellerinin sonuçları verilmiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde ResNet50 ve VGG16 modellerinin diğer modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Tablo 14’de tüm modellerin k=5 ve k=10 çapraz doğrulama sonucu elde edilen sonuçları verilmiştir.

Tablo 13. Tüm modellerin farklı eğitim,doğrulama ve test verilerine göre doğruluk sonuçları

Metod/Doğruluk (%)	ResNet50	VGG19	Inception-V3	EfficientNet	DenseNet	LeNet	AlexNet
%60 eğitim %40 test	96,42	95,86	92,52	92,73	94,37	92,45	92,07
%70 eğitim %30 test	96,31	96,61	94,71	94,86	95,35	93,82	91,37
%60 eğitim %20 doğrulama %20 test	96,87	96,83	93,64	94,37	96,41	90,37	92,55
%70 eğitim %15 doğrulama %15 test	97,19	98,03	95,37	95,90	97,68	91,61	92,97

Tablo 14. Çapraz doğrulama sonucu elde edilen sonuçlar

Yöntem/Doğruluk (%)	k=5	k=10
ANN	88,23	84,67
CNN	96,72	96,49
ResNet50	95,64	95,06
VGG19	94,94	95,61
Inception-V3	92,40	91,64
EfficientNet	94,81	93,75

DenseNet	94,92	93,91
LeNet	93,41	92,41
AlexNet	92,12	90,37

5. Tartışma ve Sonuç

Tüberküloz, Mycobacterium tuberculosis adı verilen bakterinin neden olduğu bir enfeksiyon hastalığıdır. Tüberküloz, dünya genelinde hala önemli bir halk sağlığı sorunudur ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak görülmektedir. Solunum yoluyla bulaşan bu hastalık, özellikle akciğerleri etkileyerek ciddi semptomlara yol açabilir. Tüberkülozun belirtileri arasında uzun süreli öksürük, nefes darlığı, göğüs ağrısı, zayıflama, ateş, gece terlemeleri ve halsizlik gibi semptomlar bulunur. Hastalığın tanısı, klinik belirtilerin yanı sıra biyomedikal görüntüleme yöntemleri ve laboratuvar testleri ile konulmaktadır.

Hastalığın tespit edilmesinde röntgen, bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRG) gibi teknikleri bulunur. Hastalığın erken teşhisi, hastalığın tedavisi ve yayılmasının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Derin öğrenme yöntemlerinin biyomedikal görüntülerin tüberküloz hastalığının sınıflandırılmasında kullanılması, tanı sürecini hızlandırabilir, doğruluğu artırabilir ve tedaviye daha etkin bir şekilde rehberlik edebilir. Bu tezde, tüberküloz hastalığının derin öğrenme ile sınıflandırılması konusunda önemli bir adım olmayı hedeflemektedir. Önerdiğimiz model farklı akciğer hastalıklarının (TB, COVID-19 ve grip gibi) erken teşhisine yönelik bir çalışma ile bu alanda çalışan radyologlara ve doktorlara yardımcı olabilir.

Bu çalışmada, doktorların göğüs röntgeni ile tüberküloz hastalığını doğru ve hızlı olarak teşhis etmesine yardımcı olmak amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen CNN modeliyle tüberkülozlu ve sağlam olarak etiketlenen test görüntüleri tespit edilmiştir. Farklı ve derin bir ağ yapısı ile hastalığın otomatik olarak tespiti sağlanmıştır. Manuel olarak ortaya çıkabilecek yanlış anı ve teşhisler önlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada ayrıca ANN, önerilen CNN ve önerilen hibrit modelin performans ölçümleri farklı değerlendirme ölçütleri (hassaslık, duyarlık, kesinlik, F1-puanı) ile hesaplanmıştır ve tüm modellerin sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu çalışmada önerilen modellerin ağ yapısı, parametre değerleri, kullanılan katmanlar, doğrulama verileri için elde edilen karmaşıklık matrisleri, doğruluk ve kayıp grafikleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Çalışmamızda literatürde kullanılan sinir ağlarından farklı bir ağ yapısı kullanılarak başarı oranı arttırılmıştır. Tablo 15’de bizim çalışmamız diğer çalışmalarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Önerilen CNN modeliyle %98,91 başarı elde edilmiştir. Ayrıca ön eğitilmiş modellerle de önerilen modellerin başarıları karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan BT görüntüleri 5 farklı senaryo için etiketlenmiş ve tüm senaryoların başarı sonuçlarının ortalama değerleri alınmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan tüm derin öğrenme modellerinin doğruluk sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 15. Literatürdeki çalışmaların karşılaştırılması

Çalışma	Metot	Doğruluk (%)
Hrizi ve ark., 2023	CNN	97,06
Hrizi ve Attia, 2023	SVM,	95,10
	Random Forest,	98,60
	Xgboost,	95,10
	Karar Ağaçları	95,60
Hrizi ve Gasmi, 2023	Genetik Algoritma	97,00
Gasmi ve ark., 2024	Deep Belief Network (DBN)	97,20
Iqbal ve Usman, 2022	TBXNet	95,10
Iqbal ve ark., 2023	CNN-based hybrid model	97,70
Abubakar ve ark., 2024	DNN	98,00
Fatihah ve ark., 2024	SVM	80,00
Önerdiğimiz model	CNN	98,91

CNN modelinde ağın eğitimi, geri yayılım (backpropagation) algoritmasına dayanır. Geri yayılım, ağın çıktılarının gerçek etiketlerden ne kadar uzak olduğunu ölçen bir kayıp fonksiyonu kullanarak hata hesaplar. Bu hata daha sonra ağın tüm katmanlarına geriye doğru iletilir ve ağırlıkların güncellenmesiyle birlikte öğrenme süreci gerçekleştirilir. Bu çalışmada çok hızlı ve doğru sonuçlar ürettiği için “adam” optimizasyon algoritması kullanılmıştır. “Adam” optimizasyon algoritması momentum ve RmsProb algoritmalarını birleştirip kullandığı için diğer optimizasyon algoritmaların dezavantajlı yönlerini de azaltmaktadır. Önerilen modellerin başarısı yeterli görüntü veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmesine rağmen daha büyük görüntülerde ve daha büyük veri kümelerinde önerilen modellerin başarısına bakılması gerekmektedir. İleriki çalışmalarda büyük veri kümeleri üzerindeki başarısı ölçülecektir. Gelecekte çalışmada kullanılan derin öğrenme modellerine ek olarak hibrit yöntemler geliştirilecektir ve hibrit modellerin başarısı çok sınıflı problemler için ölçülecektir. Ayrıca farklı hastalık türleri ve gerçek tıp görüntüleri üzerinde önerilen modeller gerçekleştirilecektir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler. Çalışma Mehmet BABALIK'ın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynakça

- Abubakar MZ., Mustafa K., Sani, KJ. Automated tuberculosis classification with chest x-rays using deep neural networks-case study: Nigerian Public Health. *Turkish Journal of Science and Technology* 2024; 19(1): 55-64.
- Al-Shayea QK. Artificial neural networks in medical diagnosis. *International Journal of Computer Science Issues* 2011; 8(2): 150-154.
- Ammar LB., Gasmi K., Ltaifa IB. ViT-TB: Ensemble learning based ViT Model for tuberculosis recognition. *Cybernetics and Systems* 2022; 1-20.
- Angeli C. Diagnostic expert systems: From expert's knowledge to real-time systems. *Advanced knowledge-based systems: Model, applications & Research* 2010; 1: 50-73.
- Asakawa T., Tsuneda R., Shimizu K., Aono M. Cavens detection and cavens report in tuberculosis: lesion detection based on image using YOLO-V3 and median based multi-label multi-class classification using SRGAN. In *CLEF2022 Working Notes CEUR Workshop Proceedings 2022*, Bologna, Italy.
- Ayas S., Ekinçi M. Random forest-based tuberculosis bacteria classification in images of ZN-stained sputum smear samples. *Signal, Image and Video Processing* 2014; 8: 49-61.
- Bisht R., Mittal K., Prasad G. Evaluation of CNN models for accurate classification of COVID-19, pneumonia, tuberculosis in chest X-ray Images. In *2023 3rd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON) 2023*, IEEE.
- Bozkurt F. Skin lesion classification on dermatoscopic images using effective data augmentation and pre-trained deep learning approach. *Multimedia Tools and Applications* 2023; 2(12): 18985-19003.
- Bozkurt F. Derin öğrenme tekniklerini kullanarak akciğer X-ray görüntülerinden COVID-19 tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; 24: 149-156.
- Bozkurt F. A deep and handcrafted features-based framework for diagnosis of COVID-19 from chest x-ray images. *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 2022; 34(5): 1-19.
- Bozkurt F., Yağanoğlu M. Derin evrişimli sinir ağları kullanarak akciğer X-Ray görüntülerinden COVID-19 tespiti. *Veri Bilimi* 2021; 4(2): 1-8.
- Breve, FA.. COVID-19 detection on Chest X-ray images: A comparison of CNN architectures and ensembles. *Expert systems with applications* 2022; 204: 117549.
- Cao K., Zhang J., Huang M., Deng T. X-ray classification of tuberculosis based on convolutional networks. In *2021 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Design (AIID) 2021*, IEEE.
- Elveren E., Yumuşak N. Tuberculosis disease diagnosis using artificial neural network trained with genetic algorithm. *Journal of Medical Systems* 2011; 35: 329-332.

- Er O., Tanrikulu AÇ., Temurtas F. Tuberculosis disease diagnosis using artificial neural networks. *Journal of Medical Systems* 2010; 34(3): 299-302.
- Fatihah HA., Kurniawan I. Prediction of tuberculosis on HIV patients based on gene expression data using grey wolf optimization-support vector machine. In *2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSYS) 2024*, IEEE.
- Gasmi K., Kharrat A., Ammar LB., Ltaifa IB., Krichen M., Hrizi O. Classification of MRI brain tumors based on registration preprocessing and deep belief networks. *AIMS Mathematics* 2024; 9(2): 4604-4631.
- Gichuhi HW. A machine learning model to explore individual risk factors for tuberculosis treatment refill non-adherence in Mukono District. Makerere Üniversitesi, Yayınlanmış Doktora Tezi 2023.
- Gruson D. Data science, artificial intelligence, and machine learning: opportunities for laboratory medicine and the value of positive regulation. *Clinical Biochemistry* 2019; 69: 1-7.
- Hafeez U., Umer M., Hameed A., Mustafa H., Sohaib A., Nappi M., Madni HA. A CNN based coronavirus disease prediction system for chest X-rays. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 2023; 14(10): 13179-13193.
- Hrizi D., Tbarki K., Attia M., Elasmı S. Lung cancer detection and nodule type classification using image processing and machine learning. In *2023 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC) 2023*, IEEE.
- Hrizi D., Tbarki K., Elasmı S. Lung cancer detection and classification using CNN and image segmentation. In *2023 IEEE Tenth International Conference on Communications and Networking (ComNet) 2023*, IEEE.
- Hrizi O., Gasmi K., Ltaifa I., Alshammari H., Karamti H., Krichen M., Mahmood MA. Tuberculosis disease diagnosis based on an optimized machine learning model. *Journal of Healthcare Engineering* 2022; 2022:1-13.
- Hrizi O., Gasmi K., Ltaifa IB., Alshammari H., Karamti H., Krichen M., Mahmood MA. Tuberculosis disease diagnosis based on an optimized machine learning model. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022.
- Iqbal A., Usman M. An efficient deep learning-based framework for tuberculosis detection using chest X-ray images. *Tuberculosis* 2022; 136, 102234.
- Iqbal A., Usman M., Ahmed Z. Tuberculosis chest X-ray detection using CNN-based hybrid segmentation and classification approach. *Biomedical Signal Processing and Control* 2023; 84: 104667.
- Iqbal A., Usman M., Ahmed Z. Tuberculosis chest X-ray detection using CNN-based hybrid segmentation and classification approach. *Biomedical Signal Processing and Control* 2023; 84, 104667.

- Kant S., Srivastava MM. Towards automated tuberculosis detection using deep learning. In 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI) 18- 21 Kasım 2018 Bangalore, Hindistan.
- Karaddi SH., Sharma, LD. Automated multi-class classification of lung diseases from CXR-images using pre-trained convolutional neural networks. *Expert Systems with Applications* 2023; 211: 118650.
- Khatri A., Jain R., Vashista H., Mittal N., Ranjan P. Pneumonia identification in chest x-ray images using EMD. In *Internet of Things—Applications and Future*; Springer Science and Business Media LLC 2020, Singapore.
- Lakhani P., Sundaram B. Deep learning at chest radiography: automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks. *Radiology* 2017; 284(2): 574-582.
- Lestari V., Mawengkang H., Situmorang Z. Artificial Neural Network Backpropagation Method to Predict Tuberculosis Cases. *Sinkron jurnal dan penelitian teknik informatika* 2023; 8(1): 35-47.
- Li Z., Xu X., Cao X., Liu W., Zhang Y., Chen D., Dai H. Integrated CNN and federated learning for COVID-19 detection on chest X-ray images. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics* 2022.
- Liu C., Cao Y., Alcantara M., Liu B., Brunette M., Peinado J., Curioso W. TX-CNN: Detecting tuberculosis in chest X-ray images using convolutional neural network. In 2017 IEEE international conference on image processing (ICIP) 2017, IEEE.
- Lubis AR., Prayudani S., Fatmi Y.,Lase YY. Detection of HOG features on tuberculosis X-Ray results using SVM and KNN. In 2021 2nd International Conference on Innovative and Creative Information Technology (ICITech) 1-3 September 2021.
- Malik H., Anees T., Din M., Naeem A. CDC_Net: Multi-classification convolutional neural network model for detection of COVID-19, pneumothorax, pneumonia, lung Cancer, and tuberculosis using chest X-rays. *Multimedia Tools and Applications* 2023; 82(9): 13855-13880.
- Nafisah SI., Muhammad G. Tuberculosis detection in chest radiograph using convolutional neural network architecture and explainable artificial intelligence. *Neural Computing and Applications* 2022; 1-21.
- Rahman T., Akinbi A., Chowdhury ME., Rashid TA., Şengür A., Khandakar A., Ismael A. COV-ECGNET: COVID-19 detection using ECG trace images with deep convolutional neural network. *Health Information Science and Systems* 2022; 10(1): 1-10.
- Rahman T., Khandakar A., Kadir MA., Islam KR., Islam KF., Mazhar R. Reliable tuberculosis detection using chest X-ray with deep learning, segmentation and visualization. *IEEE Access* 2020; 8: 191586-191601.
- Shakya T., Jeyavathana RB., Kumar PK. Improved accuracy in automatic detection of tuberculosis disease from lung ct images using support vector machine classifier over K-nearest neighbours classifier. In 2022 International Conference on Cyber Resilience (ICCR) 1-3 October 2022.

- Singh M., Pujar GV., Kumar SA., Bhagyalalitha M., Akshatha HS., Abuhaija B., Gandomi, AH. Evolution of machine learning in tuberculosis diagnosis: a review of deep learning-based medical applications. *Electronics* 2022; 11(17): 2634.
- Sun M., Song Z., Jiang X., Pan J., Pang Y. Learning pooling for convolutional neural network. *Neurocomputing* 2017; 224: 96-104.
- Pannu A. Artificial intelligence and its application in different areas. *Artificial Intelligence* 2015; 4(10): 79-84.
- Pardue H., Schnipelsky P. Use of artificial intelligence in analytical systems for the clinical laboratory. *Clinica Chimica Acta* 1994; 231(2): S1-S34.
- Venkataramana L., Prasad DV., Saraswathi S., Mithumary CM., Karthikeyan R., Monika N. Classification of COVID-19 from tuberculosis and pneumonia using deep learning techniques. *Medical & Biological Engineering & Computing* 2022; 60(9): 2681-2691.
- Woolever DR. The impact of a patient safety program on medical error reporting. *Journal of Medical Regulation* 2005; 91(3): 16-21.

Rasyona Maydanoz (*Petroselinum Crispum*) Tozu İlavesinin Bildircinlarda Performans ve Yumurta Kalitesine Etkisi

Esra Tuğçe GÜL^{1*}, Ahmet Engin TÜZÜN², Osman OLGUN³, Alpönder YILDIZ⁴

^{1,3,4}Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, 42250, Konya

²Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 09010, Aydın

¹<https://orcid.org/0000-0002-2496-685X>

²<https://orcid.org/0000-0003-3493-1623>

³<https://orcid.org/0000-0002-3732-1137>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-3274-7710>

*Sorumlu yazar: esra.gul@selcuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 12.02.2024

Kabul tarihi: 13.04.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Maydanoz tozu

Bildircin

Performans

Yumurta iç kalitesi

Yumurta kabuk kalitesi

ÖZ

Bu çalışma maydanoz tozunun yumurtlayan bildircinlerin rasyonlarında katkı maddesi olarak kullanımının performans ve yumurta kalitesine etkisini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada, 18 haftalık yaşta, toplam 54 adet dişi bildircin her birinde 3 adet bildircin bulunan 6 tekerrürlü 3 muamele grubuna rastgele dağıtılmıştır. Muameleler bazal rasyona 0 (K), 5 (5MT) ve 10 (10MT) g/kg seviyelerinde maydanoz tozu ilavesiyle oluşturulmuştur. Bildircinler muamele rasyonları ile 8 hafta boyunca serbest olarak yemlenmişlerdir. Canlı ağırlık, yumurta verimi, kabuk oranı, sarı indeksi, Haugh birimi ve yumurta sarısı L* değeri rasyona maydanoz ilavesinden etkilenmemiştir ($P>0.05$). Rasyona 10 g/kg maydanoz tozu ilavesiyle yumurta ağırlığı ve yumurta kitlesi azalmış, ancak yumurta kabuk kalınlığı artmıştır ($P<0.05$). Rasyona maydanoz tozu ilavesiyle yem tüketimi lineer olarak azalırken, yemden yararlanma lineer olarak kötüleşmiştir ($P<0.05$). Yumurta sarısı a* ($P<0.05$) ve b* ($P<0.01$) değerleri rasyona maydanoz tozu ilavesiyle önemli derecede artmıştır. Bu sonuçlara göre yumurtlayan bildircin rasyonlarına maydanoz tozunun ilavesi yumurta kabuk kalınlığı ve yumurta sarısı rengini pozitif, ancak performansı negatif etkilemiştir.

Effect of Adding Parsley (*Petroselinum Crispum*) Powder to the Diet on Performance and Egg Quality in Quails

Research Article

Article History:

Received: 12.02.2024

Accepted: 13.04.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Parsley powder

Quail

Performance

Egg internal quality

Egg shell quality

ABSTRACT

This study was conducted to examine the effect of using parsley powder as an additive in the diet of laying quails on performance and egg quality. In the study, a total of 54 female quails at 18 weeks of age were randomly distributed into 3 treatment groups with 6 replicates, each containing 3 quails. The treatments were created by adding parsley powder to the basal diet at levels of 0 (K), 5 (5MT) and 10 (10MT) g/kg. Quails were fed with treatment diets for 8 weeks. Body weight, egg production, eggshell ratio, yolk index, Haugh unit and yolk L* values were not affected by the addition of parsley to the diet ($P>0.05$). With the addition of 10 g/kg parsley powder to the diet, egg weight and egg mass decreased, but eggshell thickness increased ($P<0.05$). With the addition of parsley powder to the diet, feed intake decreased linearly, but feed conversion ratio increased linearly ($P<0.05$). Yolk a* ($P<0.05$) and b* ($P<0.01$) values increased significantly with the addition of parsley powder to the diet. According to these results, the addition of parsley powder to the diets of laying quails positively affected eggshell thickness and yolk color, but negatively affected performance.

To Cite: Gül ET., Tüzün AE., Olgun O., Yıldız A. Rasyona Maydanoz (*Petroselinum Crispum*) Tozu İlavasının Bildircinlarda Performans ve Yumurta Kalitesine Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1666-1671.

1. Giriş

Artan nüfusla beraber insan toplumunun yeterli ve kaliteli gıda gereksiniminin karşılanmasında hayvancılıkta verimliliğin artırılması büyük önem taşımaktadır. Bunun için hayvanlardan daha fazla ve kaliteli ürün elde edilmesi amacıyla hayvanların ve özellikle kanatlı hayvanların beslenmesinde yem katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu amaçla geleneksel olarak insan beslenmesinde kullanılan baharat ve bitkilerin veya bunların yan ürünlerinin kanatlı rasyonlarında katkı maddesi olarak kullanımı günden güne artmaktadır. Bu bitkilerden biri de hayvan besleme çalışmalarında çok kullanılmayan maydanoz bitkisidir.

Maydanoz (*Petroselinum Crispum*) demir, kalsiyum, fosfor ile A ve C vitaminleri bakımından zengin bir bitkidir (Nal ve ark., 2016). Yüksek C vitamini içeriği ile maydanoz hücre oksidasyonunu önlemede ve bağışıklık sistemini geliştirmede etkilidir (Nielsen ve ark., 2003). Maydanoz yaprakları, antiinflamatuvar, analjezik, antiproliferatif ve bazı mantarlara karşı antifungal olarak oldukça etkili olan miristisin adı verilen çok önemli bir yağ içerir (Ojala ve ark., 2010). Bunun yanı sıra maydanoz redoksaktif bileşikler (askorbik asit ve karotenoidler) ve flavonlar (apigenin, luteolin ve gallik asit gibi) antioksidan potansiyeli olan fenolik bileşiklerin önemli bir kaynağıdır (Luthri, 2008; Hossain ve ark., 2011). Ayrıca kurutulmuş maydanozun yaklaşık %23,5 ham protein, %1,40 ham yağ ve %8,70 ham selüloz içerdiği bildirilmektedir (Cornescu ve ark., 2023). Maydanoz bitkisinin kanatlı rasyonlarında kullanımına yönelik az sayıda çalışma sonucunda bildircinlarda yem tüketimini artırdığı (Tahan ve Bayram, 2011) ve ısı stresine maruz kalmış tavuklarda yem tüketimi, yumurta ağırlığı ve yumurta sarısı rengini artırdığı (Cornescu ve ark., 2023), kazlarda kan parametrelerini iyileştirdiği (Al-Daraji ve ark., 2012) belirtilmektedir.

Maydanozun hayvan beslemede katkı maddesi olarak kullanımına yönelik çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı maydanoz tozunun bildircin rasyonlarında katkı maddesi olarak kullanımının performans ve yumurta kalitesine özellikle yumurta sarısı rengine etkisini belirlemektir.

2. Materyal ve Metot

Araştırma Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Hayvan Deneyleeri Yerel Etik Kurulunun 64583101/2023/150 sayılı izni ile Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Bildircin Birimi'nde yürütülmüştür.

2.1. Materyal

Çalışmada 18 haftalık yaşta 54 adet dişi Japon bildircini bazal rasyona 0 (K), 5 (5MT) ve 10 (10MT) g/kg seviyelerinde maydanoz tozu ilave edilmiş rasyonlar ile 8 hafta boyunca yemlenmişlerdir (Tablo 1). Çalışmada bazal rasyon NRC (1994)'nin yumurtlayan bildircinlar için önerilen besin madde seviyeleri baz alınarak hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan maydanoz tozu ve yem hammaddeleri

ticari firmalardan tedarik edilmiştir. Çalışma her birinde üç dişi bildircinin bulunduğu altı tekrardan oluşan üç muamele grubunda yürütülmüştür. Çalışmada 16 saat aydınlatma programı uygulanmıştır.

2.2. Metot

Çalışmada bildircinlere yemler tartılarak verilmiş ve çalışma sonunda kalan yemler tartılarak toplam verilen yemden düşülerek g/gün/bildircin olarak yem tüketimi hesaplanmıştır. Yumurtalar günlük toplanmış ve % yumurta verimi olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın son 3 günü toplanan bütün yumurtalar tartılarak gruplara ait ortalama yumurta ağırlıkları g olarak tespit edilmiştir. Bu verilerden g/gün/bildircin olarak yumurta kitlesi ($yumurta\ verimi \times yumurta\ ağırlığı$) / 100 formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Yem dönüşüm oranı ise $yem\ tüketimi / yumurta\ kitlesi$ formülüne göre hesaplanmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan rasyon ve besin maddeleri içeriği

Hammaddeler	%	Besin maddeleri	%
Mısır	54,40	Metabolik enerji, kkal/kg	2899,08
Soya küspesi, 46% HP	34,40	Ham protein	20,01
Soya yağı	3,65	Ham selüloz	2,83
Mermer tozu	5,60	Ham yağ	5,84
Dikalsiyum fosfat	1,14	Rutubet	12,83
Tuz	0,35	Lisin	1,09
Premiks ¹	0,25	Metiyonin	0,45
DL-metiyonin	0,21	Sistin ²	0,37
Total	100,00	Kalsiyum	2,50
		Toplam fosfor	0,64
		Kullanılabilir fosfor	0,35

¹ Premiks (vitamin-mineral karışımı) her 1 kg yeme sağladığı besin maddeleri vitamin A, 20000 IU; vitamin D₃, 10000 IU; vitamin E, 125 mg; vitamin K₃, 5 mg; vitamin B₁₂, 0.0275 mg; biyotin, 0,30 mg; folik asit, 2,5 mg; nikotinik asit, 112,5 mg; pantotenik asit, 37,5 mg; piridoksin, 3,75 mg; riboflavin, 10 mg; tiamin, 5 mg; bakır, 10 mg; iyot, 3 mg; demir, 50 mg; manganez, 60 mg; çinko, 50 mg; selenyum, 0,75 mg.

Yumurta iç ve dış kalitesi denemenin son üç gününde toplanan yumurtalardan tespit edilmiştir. Temiz bir zemine kırılan yumurtaların kabukları kalıntı kalmayacak şekilde temizlenerek üç gün oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kabuk oranı kuru kabukların yumurta ağırlığına oranlanmasıyla hesaplanmıştır. Yumurtanın kabuk kalınlığı orta, küt ve sivri kısımlardan alınan değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. İç kalite parametreleri için ise yumurta ak ve sarılarının yüksekliği yükseklik mihengiri ile uzunluk ve genişlik ölçümleri ise kumpas ile tespit edilmiştir. Bu verilerden ak indeksi $[(ak\ yüksekliği/ak\ genişliği+ak\ uzunluğu)2] \times 100$, sarı indeksi $(sarı\ yüksekliği/sarı\ çapı) \times 100$ ve Haugh birimi ise $100 \times \log(ak\ yüksekliği+7,57-1,7 \times yumurta\ ağırlığı^{0.37})$ formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yumurta sarısı L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerleri 90°'lik açıyla daha önce üretici firma tarafından belirtilen şekilde kalibre edilmiş kolorimetre cihazı ile (Minolta Chroma Meter CR 400 (Minolta Co., Osaka, Japan) tespit edilmiştir.

Çalışmadan elde edilen verilere SPSS 18.0 yazılım paketinde (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Gruplar arasındaki farklılığın önemli olduğu durumlarda Duncan

çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. İlaveten verilere ortogonal test uygulanarak lineer ve kuadratik etki tespit edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Yumurtlayan bıldırcın rasyonlarına maydanoz tozu (0, 5 ve 10 g/kg) ilavesinin performans parametrelerine etkisi Tablo 2’de gösterilmiştir. Çalışmada başlangıç canlı ağırlık, final canlı ağırlık, canlı ağırlık değişimi ve yumurta verimi üzerine rasyona maydanoz tozu ilavesinin istatistiki bir etkisi olmamıştır ($P>0,05$). Kontrol (0 g/kg) grubu ile karşılaştırıldığında 10MT grubunda yumurta ağırlığı ve yumurta kitlesi lineer olarak azalmıştır ($P<0,05$). Rasyona maydanoz tozu ilavesi yem tüketiminde lineer bir azalmaya ve yem dönüşüm oranında ise lineer bir artışa neden olmuştur ($P<0,05$).

Tablo 2. Rasyona maydanoz tozu ilavesinin yumurtlayan bıldırcınların performansına etkisi

Parametreler	Muamele Grupları			Standart hata	P-değerleri	
	K	5MT	10MT		Lineer	Kuadratik
Başlangıç canlı ağırlık, g	251,7	263,0	259,0	6,43	0,663	0,599
Final canlı ağırlık, g	256,7	270,3	264,7	6,26	0,623	0,494
Canlı ağırlık değişimi, g	5,00	7,33	5,67	3,088	0,935	0,778
Yumurta verimi, %	92,45	91,27	90,47	0,552	0,158	0,871
Yumurta ağırlığı, g	13,47 ^a	12,92 ^{ab}	12,03 ^b	0,227	0,007	0,686
Yumurta kitlesi, g/bıldırcın/gün	12,46 ^a	11,79 ^{ab}	10,89 ^b	0,244	0,006	0,799
Yem tüketimi, g/bıldırcın/gün	34,48	33,74	32,86	0,316	0,037	0,904
Yem dönüşüm oranı	2,78	2,87	3,03	0,047	0,027	0,753

^{a, b}: Aynı satırda farklı üst simgelere sahip ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki olarak önemlidir ($P<0,05$).

Damızlık bıldırcınlarda yapılan bir çalışmada (Tahan ve Bayram, 2011), rasyonda %1,0 seviyesinde maydanoz tozu kullanımı yumurta ağırlığını azaltırken, %1,5 seviyesinde kullanımının yem tüketimini ve yem dönüşüm oranını artırdığı bildirilmiştir. Mevcut çalışmanın aksine ısı stresine maruz kalmış tavuk rasyonlarında %2 seviyesinde maydanoz tozu ilavesinin yem tüketimi ve yumurta ağırlığını artırdığı, diğer performans parametrelerini etkilemediği bildirilmiştir (Cornescu ve ark., 2023). Gavriş ve ark. (2022) ise yumurta tavuklarında performans parametrelerinin %2 maydanoz tozu ilavesinden etkilenmediğini bildirmektedir. Maydanoz tozunun kanatlı hayvanların performansına olan etkisinin tam olarak anlaşılması için daha fazla çalışma gerektiği görülmektedir.

Tablo 3. Rasyona maydanoz tozu ilavesinin yumurta kalitesine etkisi

Parametreler	Muamele Grupları			Standart hata	P-değerleri	
	K	5MT	10MT		Lineer	Kuadratik
Kabuk kalınlığı, μm	221,8 ^b	222,8 ^b	237,8 ^a	3,06	0,026	0,227
Kabuk oranı, %	8,58	8,28	8,84	0,126	0,397	0,122
Sarı indeksi	60,48	62,72	60,96	0,556	0,721	0,100
Ak indeksi	4,03 ^{ab}	3,85 ^b	4,43 ^a	0,094	0,050	0,036
Haugh birimi	101,9	99,5	102,2	0,65	0,806	0,074
L*	63,84	65,62	64,20	0,549	0,790	0,189
a*	-3,19 ^b	-2,37 ^a	-2,17 ^a	0,160	0,005	0,277
b*	48,61 ^b	53,94 ^a	51,73 ^a	0,737	0,034	0,005

^{a, b}: Aynı satırda farklı üst simgelere sahip ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki olarak önemlidir ($P<0,05$).

Maydanoz tozunun yumurtlayan bıldırcın rasyonlarına ilavesinin yumurta kabuk kalitesi ve yumurta iç kalitesine etkisi Tablo 3’de gösterilmiştir. Yumurta kabuk kalitesi parametrelerinden kabuk kalınlığı rasyona maydanoz ilavesinden lineer olarak etkilenirken ($P<0,05$), bu etki kabuk oranında gözlenmemiştir ($P>0,05$). Rasyonuna 10 g/kg seviyesinde maydanoz tozu ilave edilen grubun kabuk kalınlığı, rasyonlarına K ve 5MT gruplarından önemli derecede yüksek bulunmuştur. Tahan ve Bayram (2011) bıldırcın rasyonlarında %1,0 ve 1,5 seviyesinde maydanoz tozu kullanımının kabuk kalınlığını etkilemediğini bildirmişlerdir. Gavriş ve ark. (2022) ile Cornescu ve ark. (2023) yumurta kabuk kalitesi parametrelerinden kabuk ağırlığının %2 seviyesinde maydanoz tozu kullanımından etkilenmediğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar mevcut çalışma sonuçları ile benzerlik göstermemektedir. Yumurta iç kalite parametrelerinden sarı indeksi, Haugh birimi ve yumurta sarısı L^* değeri maydanoz tozu ilavesinden etkilenmemiştir ($P>0,05$). Yumurta ak indeksi 5MT grubuna göre 10MT grubunda önemli derecede yüksek ($P<0,05$), K grubu ile benzer olmuştur. Yumurta sarısı a^* ve b^* değerleri K grubu ile karşılaştırıldığında 5MT (sırasıyla -2,37 ve 53,94) ve 10MT gruplarında önemli derecede artmıştır ($P<0,05$). Benzer sonuçlar ısı stresine maruz kalmış tavuk rasyonlarında %2 seviyesinde maydanoz tozu ilavesinin yumurta sarısı a^* ve b^* değerlerini artırdığını, ancak L^* değerine etkisinin olmadığını bildirilmiştir (Cornescu ve ark., 2023). Gavriş ve ark. (2022) ise yumurta sarısı Roche skalasının %2 maydanoz tozu kullanımında arttığını bildirmişlerdir. Ancak mevcut çalışmanın aksine bıldırcınlarda yapılan bir çalışmada rasyonda %1 seviyesinde maydanoz tozu kullanımının yumurta sarısı renginde açılmaya neden olduğu bildirilmiştir (Tahan ve Bayram, 2011). Yumurta sarısının önemli bir tüketici kriteri olduğu ve daha yoğun bir renk elde etmek için, ucuz ve kolay temin edilebilen, antioksidan özelliği yüksek doğal renklendirici kaynakların kullanılmasının en uygun çözüm olabileceği bilinmektedir. Maydanozda bulunan ksantofil bakımından zengin olması (Gavriş ve ark., 2022) yumurta sarısında (a^* ve b^* değerleri) artışa neden olmuştur. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, rasyonda yem katkı maddesi olarak maydanoz tozu ilavesi kabuk kalınlığını ve yumurta sarısı rengini olumlu etkilemiş, yumurtlayan bıldırcınların performansının düşmesine neden olmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Al-Daraji HJ., Al-Mashadani HA., Al-Hassani AS., Mirza HA., Al-Hayani WK. The Influence of parsley (*Petroselinum crispum*) as feed additive on hematological traits of local Iraqi geese. *Advances in Nutrition Research* 2012; 1(1): 1-5.

- Cornescu GM., Panaite TD., Untea AE., Varzaru I., Saracila M., Dumitru M., Vlaicu PA. Gavris T. Mitigation of heat stress effects on laying hens' performances, egg quality, and some blood parameters by adding dietary zinc-enriched yeasts, parsley, and their combination. *Frontier in Veterinary Science* 2023; 10: 1202058.
- Gavriş T., Cornescu G., Sărăcilă M., Panaite T., Oancea A., Untea A., Dragotoiu D. Effect of parsley and inulin on bioproductive parameters and antioxidant nutrients of eggs provided by laying hens reared under heat stress conditions. *Scientific Papers: Series D. Animal Science* 2022; 65(2): 158-163.
- Hossain MB., Patras A., Barry-Ryan C., Martin-Diana AB., Brunton NP. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify different spices based on in vitro antioxidant activity and individual polyphenolic antioxidant compounds. *Journal of Functional Foods* 2011; 3(3): 179–189.
- Luthri DL. Influence of experimental conditions on the extraction of phenolic compounds from parsley (*Petroselinum crispum*) flakes using a pressurized liquid extractor. *Food Chemistry* 2008; 107(2): 745–752.
- Nal A., Gaakd M., Al-Nasrawi AM. Effect of addition different levels of parsley leaves powder (*Petroselinum sativum*) to the ration on some blood serum biochemical traits of broiler Ross 308. *Journal of Natural Sciences Research* 2016; 7(1B): 18–21.
- Nielsen BL., Thomsen MG., Sorensen P., Young JF. Feed and strain effects on the use of outdoor areas by broilers. *British Poultry Science* 2003; 44(2): 161–169.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th Rev. Ed. Washington, D.C.
- Ojala T., Kuparinen V., Koskinen JP., Alatalo E., Holm L., Auvinen P., Edelman S., Westerlund-Wikström B., Korhonen TK., Paulin L., Kankainen M. Genome sequence of *Lactobacillus crispatus* ST1. *Journal of Bacteriology* 2010; 192(13): 3547–3548.
- Tahan M., Bayram I. Effect of using black cumin (*Nigella sativa*) and parsley (*Petroselinum crispum*) in laying quail diets on egg yield, egg quality and hatchability. *Archiva Zootechnica* 2011; 14(4): 39-44.

Akyatan Lagünü'nde (Çukurova-Adana) Gümüşü Havuz Balığı (*Carassius gibelio* Bloch, 1982) Populasyon Dinamiği Parametrelerinin Belirlenmesi

Meltem MANAŞIRLI^{1*}, Burak AKYOL²

^{1,2}Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, 01330, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-0164-6693>

²<https://orcid.org/0000-0001-7692-5147>

*Sorumlu yazar: mozutok@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 01.12.2023

Kabul tarihi: 21.04.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Carassius gibelio

Akyatan Lagünü

Büyüme

Ölüm parametreleri

Stoktan yararlanma

ÖZ

Akyatan Lagünü'nde (Adana) Mart 2019 - Şubat 2020 tarihleri arasında 12 ay boyunca aylık olarak örneklenen *Carassius gibelio* (Gümüşü Havuz balığının) populasyon parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen toplam 234 adet Gümüşü havuz balığı bireyinin yaş dağılımları 0+ ve VI olarak belirlenen bireylerin ağırlık değerleri 47,73 ile 660,01 g arasında, total boy 14,0 cm ile 33,0 cm arasında tespit edilmiştir. Von Bertalanffy Büyüme sabitleri $TL_{\infty} = 42,180$ cm, $K = 0,18340$ yıl⁻¹, $TW_{\infty} = 1066,9798$ g, $t_0 = -1,196$ yıl ve $\emptyset' = 5,7878$ olarak hesaplanmıştır. Boy- Ağırlık ilişkisi $W = 0,017 * L^{3,0431}$ ($R^2=0,9078$), stoktan yararlanma düzeyi $E = 0,99$ yıl⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Doğal nedenlerle oluşan ölüm $M = 0,00103$ yıl⁻¹, toplam ölüm oranı $Z = 0,306$ yıl⁻¹, balıkçılık nedeniyle ölüm oranı $F = 0,305$ yıl⁻¹ olarak hesaplanmış olup, Akyatan Lagünü'nde Gümüşü Havuz Balığı aşırı derecede çoğalmış olduğu belirlenmiştir.

Determination of Population Dynamics Parameters of Silver Pool Fish (*Carassius gibelio* Bloch, 1982) in Akyatan Lagoon (Çukurova-Adana)

Research Article

Article History:

Received: : 01.12.2023

Accepted: 21.04.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Carassius gibelio

Akyatan lagoon

Growht

Mortality parameters

Exploitation rate

ABSTRACT

Population parameters of Silvery Pond Fish (*Carassius gibelio*), which were sampled monthly for 12 months between March 2019 and February 2020 in Akyatan Lagoon (Adana), were determined. A total of 234 Silvery pond fish were obtained. The weight values of the individuals whose age distribution was determined as 0+ and VI were between 47.73 and 660.01 g, and the total length was determined between 14.0 cm and 33.0 cm. von Bertalanffy Growth constants were found $TL_{\infty} = 42.180$ cm, $K = 0.18340$ year⁻¹, $TW_{\infty} = 1066.9798$ g, $t_0 = -.196$ year and $\emptyset' = 5.7878$. Length-Weight Relationship $W = 0.017 * L^{3,0431}$ ($R^2=0.9078$), exploitation rate was determined as $E = 0.99$ year⁻¹. Mortality caused by natural causes was calculated as $M = 0.00103$ year⁻¹, total mortality rate $Z = 0.306$ year⁻¹, fisheries mortality $F = 0.305$ year⁻¹, and, the Silvery Pond Fish has grown excessively in Akyatan Lagoon.

To Cite: Manaşırlı M., Akyol B. Akyatan Lagünü'nde (Çukurova-Adana) Gümüşü Havuz Balığı (*Carassius gibelio* Bloch, 1982) Populasyon Dinamiği Parametrelerinin Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1672-1684.

1. Giriş

Lagünler; ekolojik ve ekonomik yönden büyük önem taşıyan özel ekosistemlerdir. Kara ve deniz ekosistemlerinin ara yüzeyi olup; kara, nehir ve denizlerden yeryüzüne ait aktif biyokimyasal girdiler alırlar ve akarsuların taşıdığı besleyici tuzlar nedeniyle yüksek birincil ve ikincil üretime sahiptirler (Gilbert, 2001). Bu özelliklerinden dolayı lagünler, biyoçeşitliliğin korunması gereken hassas ve kırılgan ekosistemlerdir (Çevik ve ark., 2008).

Türkiye'nin en büyük lagünü olan Akyatan Lagünü göçmen su kuşlarının uğrak yeridir. Bu nedenle Tabiatı Koruma Alanı (1993), Doğal Sit Alanı (1994) ve Ramsar Alanı (1998) koruma statülerine sahiptir. Akyatan Lagünü'nde geleneksel dalyan balıkçılığı en önemli ekonomik etkinliktir. Ancak lagünün çevresi yoğun üretim yapılan tarım alanlarıyla çevrili olup; bu alanlar son 15-20 yılda lagünü çevreleyen kumulların önemli bir bölümü de tahrip edilerek tarım alanlarına dönüştürülmüştür.

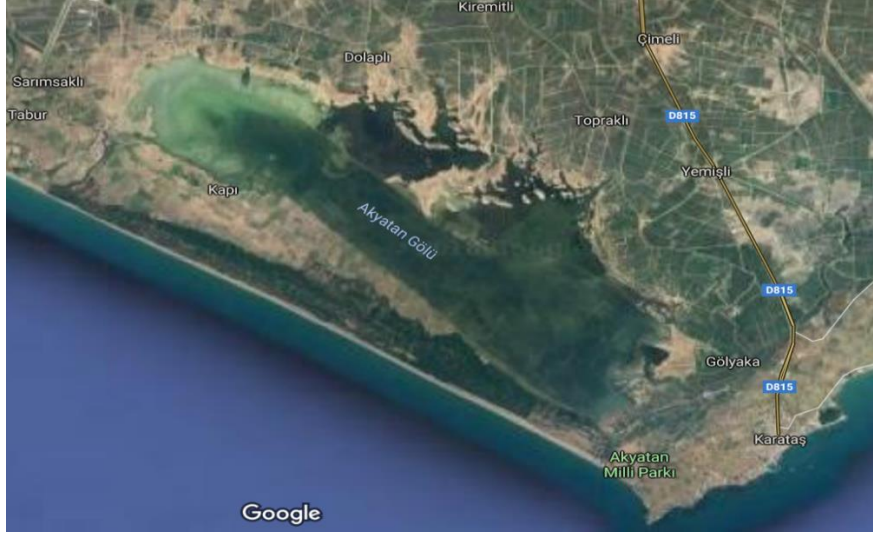
Lagünün deniz yönünde Karataş Birlik Su Ürünleri Kooperatifi tarafından işletilen dalyanda istilacı bir tür olan *Carassius gibelio Bloch*, 1982'nun (Gümüşü Havuz Balığı) son yıllarda yoğunluğunun arttığı belirtilmektedir. *C. gibelio* yayılmacı özellik gösteren türler arasında en yaygın olan ve en çok bilinenlerdendir (İnnal ve Erk'akan, 2006; Özcan, 2007; Kırankaya ve Ekmekçi, 2013). Gümüşü Havuz balığı geniş fizyolojik toleransları ile doğal türlerin bolluk, dağılım ve verimlilikleri ile habitat biyoçeşitliliği üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedirler (Tarkan ve ark., 2006). Aynı zamanda ortamdaki doğal türlerin yok olmasıyla, beslenme kalitesinde değişiklikler olabilir ve yakın türlerin gen havuzunu belirleyebilirler (Diler ve Didinen, 2006). Türkiye iç sularında türün ilk kaydı Baran ve Ongan (1988) tarafından Gala Gölü'nden yapılmıştır. Günümüzde birçok kaynağına taşınmış ve tüm iç su sistemlerimiz *C. gibelio*'nun istilası ile karşı karşıya kalmıştır (İlhan ve ark., 2005; Uğurlu ve Polat, 2006; Uğurlu ve ark., 2008).

Akyatan Lagünü'nde *C. gibelio*'nun popülasyon dinamiği üzerine yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Lagünlerde yapılması gerekli olan yönetim planlarının oluşturulması açısından tür çeşitliliği, türlerin popülasyon dinamiği parametreleri belirlenmesi vb. somut kaynaklara ihtiyaç vardır.

2. Materyal ve Metot

Akyatan Lagünü; Seyhan ve Ceyhan Deltası sulak alan sistemlerinin ekolojik olarak en önemli bileşenlerinden biridir (Şekil 1). Lagünün kuzey kesimleri kurumaya yüz tutmuş ve bataklık şeklini almıştır. Bu nedenle bu bölgede balık örnekleme yapılmamıştır.

Bu çalışma da örnekleme Mart 2019 - Şubat 2020 tarihleri arasında aylık olarak gerçekleştirilmiştir. Avcılık lagünün yasal işletmecisi olan Karataş Birlik Su Ürünleri kooperatifi tarafından sağlanmıştır. Balıklar taze olarak buz içerisinde konarak Su Ürünleri Fakültesi araştırma laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvarında örneklerin, yaş tayini, boy ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 1. Akyatan Lagünü (Erişim, 1)

Yaş tayini pullardan yapılmıştır (Nikolsky, 1978). Daha sonra büyüme parametreleri, boy-ağırlık ilişkisi, Fi üssü değeri, ölüm oranları ve stoktan yararlanma oranı hesaplanmıştır.

Boyca ve ağırlıkça büyümenin belirlenmesi için sırasıyla

$$L_t = L_\infty * (1 - e^{-K(t-t_0)}) \text{ ve}$$

$$W_t = W_\infty * (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

eşitliklerinden yararlanılmıştır (Von Bertalanfy, 1938).

L_t: Balıkların (t) anındaki ortalama boyu (cm),

t: Herhangi bir zaman (gün),

L_∞: Balığın sonușmaz ortalama kuramsal boyu (cm),

K: Brody'nin büyüme katsayısı (gün⁻¹),

t₀: Balığın yumurtadan çıkmadan önceki kuramsal yaşı (gün),

W_∞: Balığın sonușmaz ortalama kuramsal ağırlığı (g).

Boyca ve ağırlıkça büyümenin hesaplanması için gerekli olan L_∞, W_∞, K ve t₀'ın belirlenmesinde Avşar (2005) tarafından önerilen regrasyon tekniğı kullanılmıştır.

Bu türün diğeri habitatta oluşturduğı stoklarla karşılaştırılabilmesi amacıyla Pauly ve Munro (1984)'ün herhangi bir stokun toplam büyüme performansını yansıtan Fi üssü değeri

$$\Phi' = \ln K + 2 * \ln L_\infty$$

eşitliğı kullanılmıştır. Boy-ağırlık ilişki parametrelerini tahmin etmek için'in

$$W = a * L^b$$

eşitliğınden yararlanılmıştır (Ricker, 1975).

Toplam ölüm oranlarını tahmin etmek için Sparre ve Venema (1992)'ye göre Beverton ve Holt (1957)'nin önerdiği așağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Z = K * \left(\frac{L_{\infty} - \bar{L}}{\bar{L} - L'} \right)$$

Bu eşitlikte;

Z: Toplam ölüm oranı

\bar{L} : Büyüme sabitlerinin hesaplanmasında kullanılan bireylerin ortalama boyu,

L' : Büyüme sabitlerinin hesaplanmasında oluşturulan veri setindeki en küçük boy grubunu ifade etmektedir. Stoktaki doğal ölümlerin “M” hesaplanması için ise Ursin (1938)’in

$$M = \bar{W}^{\frac{1}{b}}$$

eşitliğinden faydalanılmıştır. Bu eşitlikte;

\bar{W} : Ağırlıkça büyüme parametrelerinin hesaplandığı bireylerin ortalama ağırlığını ve

b : Aynı stok için hesaplanan boy ağırlık ilişkisinin eğimini ifade etmektedir.

Ölüm oranları sabitlerden (Z) ve (M) kullanılarak, balıkçılık nedeniyle olan ölümlerin üssi katsayısı (F);

$$Z = F+M$$

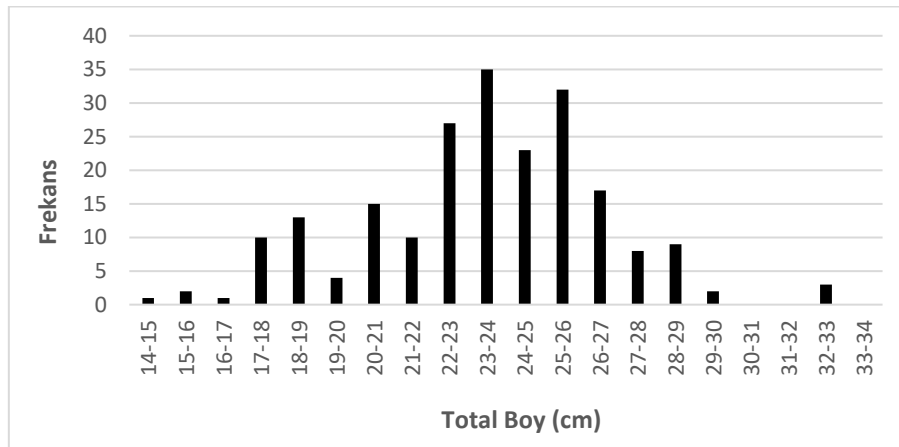
Stoktan yararlanma oranını (E)

$$E = F/Z$$

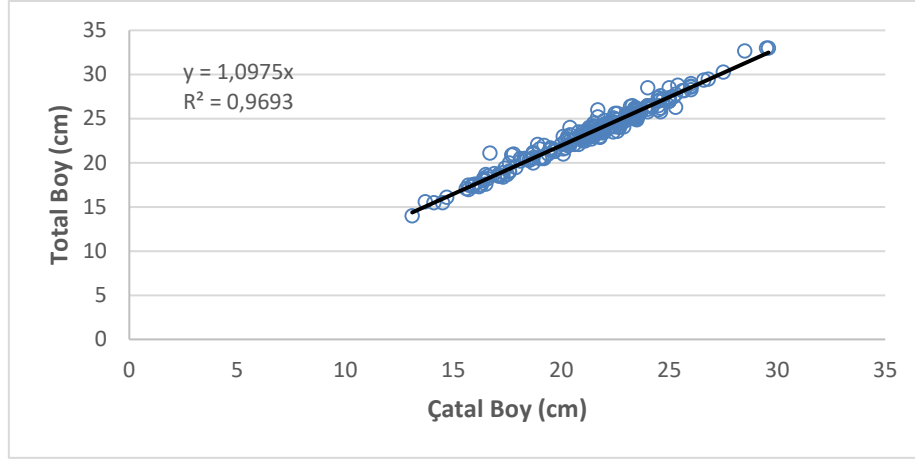
eşitliği kullanılmıştır (Sparre ve Venema, 1992).

3. Bulgular ve Tartışma

İncelenen 234 adet bireyinin total boy-frekans değerleri Şekil 2’de ve çatal boy-total boy ilişkisi Şekil 3 de verilmiştir. Total boyların 14,0 cm ile 33,0 cm arasında değişim gösterdiği, çoğunlukla 22-27 cm arası boy grubunun bulunduğu ve 23-24 cm grubunun ise dominant durumda olduğu belirlenmiştir. Çatal boy ile total boy arasında oldukça kuvvetli doğrusal bir ilişki ve eşitliği $TB = 1,0975 * \text{ÇB}$ ($R^2=0,9693$) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Total boy –frekans



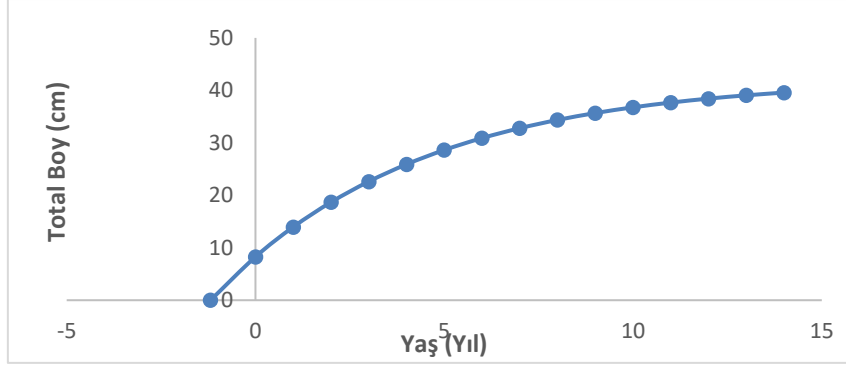
Şekil 3. Çatal boy - total boy ilişkisi

Avlanan balıkların yaşları 0+ - VI yaş arasında dağılım gösterdiği ve bu yaş gruplarının oranlarının ise sırasıyla %2,14, %9,82, %44,87, %26,92, %10,68, %4,70 ve %0,85 olduğu hesaplanmıştır. Yaş dağılımı frekanslarına göre ilgili stokun yaş çoğunluğunu II. ve III. yaş gruplarının oluşturduğu belirlenmiştir. Total boy kullanılarak hesaplanan von Bertalanffy boyca büyüme sabitleri ve \emptyset' (Fi üssü) Tablo 1'de verilmiştir.

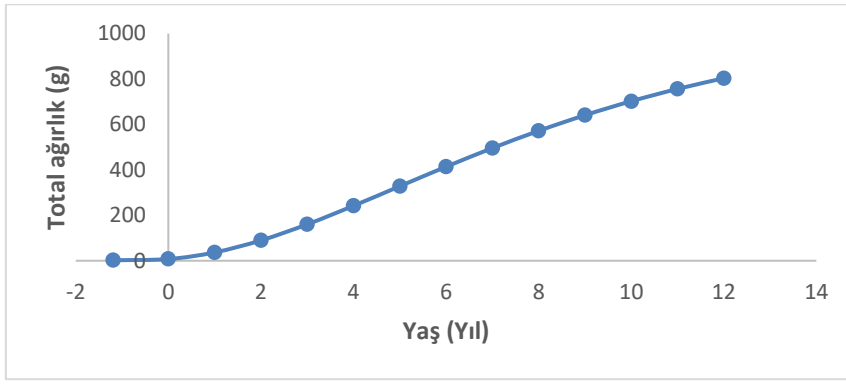
Tablo 1. Total boy kullanılarak hesaplanan V. Bertalanffy boyca büyüme sabitleri

Eşey	von Bertalanffy Büyüme Sabitleri				
	TL _∞ (cm)	K (yıl ⁻¹)	TW _∞ (g)	t ₀ (yıl)	\emptyset' (Fi Üssü)
Dişi+Erkek	42,180	0,18340	1066,9798	-1,196	5,7878

Yaş grupları için von Bertalanffy denklemi her yıl zaman dilimi için çözülmüş olup; bu değerlerin kullanılmasıyla modellenen boyca büyüme eğrisi Şekil 4'de, ağırlıkça büyüme eğrisi Şekil 5'de verilmiştir.

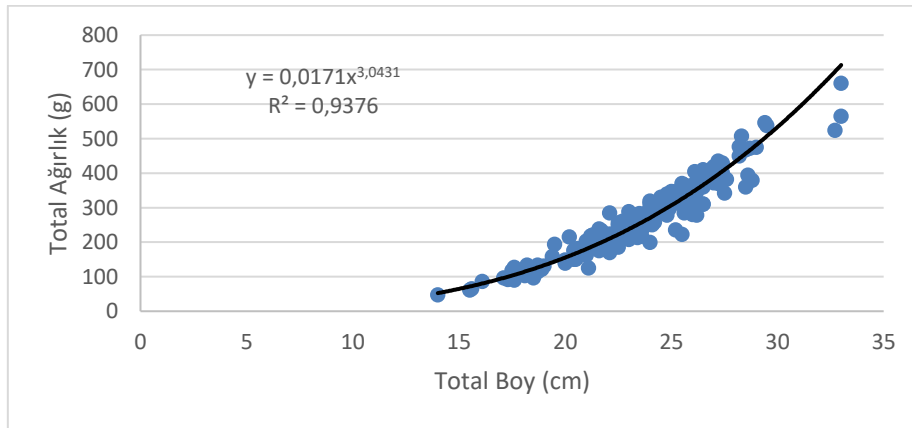


Şekil 4. *Carassius gibelio* bireyleri için modellenen von Bertalanffy boyca büyüme eğrisi



Şekil 5. *Carassius gibelio* bireyleri için modellenen von Bertalanffy ağırlıkça büyüme eğrisi

Boy-ağırlık ilişkisi Şekil 6'da verilmiş ve bireylerinin boy-ağırlık ilişkisi $W = 0,0171 * L^{3,0431}$ ($R^2 = 0,9376$) olarak hesaplanmıştır. Balıklarda vücut formunu ve büyüme özelliğini gösteren b değeri 3,0431 olarak saptanmış ve buna göre bu bireylerin pozitif alometrik büyüme özelliği gösterdiği ve vücut şekillerinin hafif tıknaz yapıda olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 6. Boy-ağırlık ilişkisi

Hesaplamalar sonucunda toplam ölüm oranı (Z) ile balıkçılık nedenlerle olan ölüm oranı (F) birbirlerine çok yakın (0,306 ve 0,305 yıl⁻¹), Doğal nedenlerle meydana gelen ölüm oranı (M) ise çok düşük (0,001 yıl⁻¹) olup; Stoktan yararlanma düzeyi de E = 0,99 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Toplam (Z), doğal (M), balıkçılık nedeniyle olan ölüm (F) oranları ve stoktan yararlanma (E)

Eşey	Ölüm Oranları ve Stoktan Yararlanma Düzeyi (yıl ⁻¹)			
	Z (yıl ⁻¹)	M (yıl ⁻¹)	F (yıl ⁻¹)	E (yıl ⁻¹)
Dişi+Erkek	0,306	0,00103	0,305	0,99

Bir stokta ideal yararlanma oranı E = 0,5 (Avşar, 2005) düşünüldüğünde Akyatan Lagünü'nde ilgili türün aşırı derecede sömürüldüğü, yani tamamıyla balıkçılık faaliyeti ile aşırı avcılık yapıldığı açıkça ortadır.

Diğer göl ve baraj göllerinde yapılan araştırmalarda *C.gibelio*'nun yaş dağılımının Seyhan Baraj Gölü'nde Ergüden (2015), I.-V. ve Manaşırılı ve ark. (2019) 0+ ile V. yaşlar arasında, Gelingüllü Barajı 0-V+ (Kırankaya ve Emekçi, 2013), Seyitler Baraj Gölü I-VII (Bulut ve ark., 2013), Ulubat Gölü I-VII (Emiroğlu ve ark., 2012), Aksu Nehri acısu zonunda I-VI (İnnal, 2012), Buldan Baraj Gölü'nde I-VI (Sarı ve ark., 2008), Marmara Bölgesi'nde I-VI (Tarkan ve ark., 2007), Eğirdir Gölü'nde 0+-IX (Özkök ve ark., 2007), 0+-V (Kuşat ve ark., 2006), 0+-IV (İzci, 2004), I-VI (Balık ve ark., 2004), Beyşehir Gölü'nde 0-V (Çınar ve ark., 2007), Keban Baraj Gölü'nde I-VII (Duman ve Şen, 2002), Yedigöller de II-V (Bulut ve ark., 1997), Hamam Gölü'nde I-IV (Erdem ve ark., 1994) arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise 0+-VI yaş grubu tespit edilmiş olup; diğer birçok araştırma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Diğer taraftan Özkök ve ark. (2007) Eğridir Gölü'nde belirttiği yaş dağılımından farklılık göstermektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda *C. gibelio* popülasyonunun Türkiye göl ve baraj göllerinde ulaşabileceği maksimum boy ve ağırlık değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Bu çalışmada belirlenen sonușmaz boyun ($L_{\infty} = 41,18$ cm) Türkiye göl ve baraj göllerinde türün Dereli ve ark. (2021) tarafından Demirköprü Baraj Gölü'nde verdikleri L değerinden küçük diğerlerinden ise büyük olduğu Tablo 3'den de görülmektedir. Büyüme sabitlerinden belirlenen sonușmaz ağırlık değeri ($W_{\infty} = 1066,979$ g) diğer araştırmacılar; Sarı ve ark. (2008) ile Manaşırılı ve ark. (2019) büyük olmakla beraber, diğer araştırmacıların verdiği değerlerden düşük olarak belirlenmiştir. Akyatan Lagünü'nün diğer göllerden ve baraj göllerinden besin ve iklimsel şartlarından kaynaklandığı gibi, ilgili türün henüz son yıllarda ilgili alanda bulunmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Tablo 3. *Carassius gibelio* popülasyonunun Türkiye göl ve baraj göllerinde Von Bertalanffy büyüme sabitleri

Alan	Eşey	L_{∞} (cm)	K (yıl ⁻¹)	TW_{∞} (g)	t_0 (yıl)	Yazar
Eğirdir Gölü	Dişi	34,2	0,316	1178,3	-0,3474	Balık ve ark., 2004
Eğirdir Gölü	Dişi	39,3	0,1671	1702,71	-1,6091	Özkök ve ark., 2007
Beyşehir Gölü	Dişi	37,4	0,1925	1511,8	-1,3211	Çınar ve ark., 2007
Buldan Gölü	Dişi-Erkek	31,16	0,146	635,91	-2,146	Sarı ve ark., 2008
Aksu Nehri	Dişi	37,56	0,232	1115,8	-0,767	İnnal, 2012
Gelingüllü Rezervuarı	Dişi	36,3	0,212	-	0,205	Kırankaya ve Ekmekçi, 2013
Seyhan Baraj Gölü	Dişi	36,60	0,320	835,475	-0,2986	Manaşırılı ve ark., 2019
Demirköprü Baraj Gölü	Dişi	44,49	0,2	-	-1,92	Dereli ve ark., 2021
	Erkek	38,2	0,25	-	-2,14	
	Dişi-Erkek	44,84	0,2	-	-1,83	
Akyatan Lagünü	Dişi-Erkek	41,18	0,1834	1066,97	-1,196	Bu çalışma

C. gibelio'nun farklı alanlarda hesaplanan boy-ağırlık ilişkisi parametrelerinin verildiği Tablo 4'de de görüldüğü gibi bu türün b değeri 2,597–3,186 arasında değişim göstermektedir.

Tablo 4. Farklı alanlarda yapılan çalışmalarda belirlenen boy-ağırlık ilişkisi parametreleri

Alan	Boy (cm)	A	b	R ²	Yazar
Volga Delta	10-31	0,0667	2,8748	-	Kizina, 1986
Eğirdir Gölü	9-33	0,0165	3,152	0,99	Balık ve ark., 2004
Eğirdir Gölü	-	0,0210	3,0598	0,94	İzci, 2004
Bafra Balık Gölü	16-30	0,0265	2,978	-	Bostancı ve ark., 2007
Eğirdir Gölü	8-28	0,0151	3,177	0,98	Bostancı ve ark., 2007
Eğirdir Gölü	-	0,0160	3,128		Özkök ve ark., 2007

Beyşehir Gölü			3,186		Çınar ve ark., 2007
Buldan Baraj Gölü	9,7-25,5	0,031	2,87	0,985	Sarı ve ark., 2008
Danube Nehrinde		0,0298	2,8664		Gheorghe ve ark., 2012
Aksu Nehri	10,3-30,5	0,0138	3,114	0,9756	İnnal 2012
İkizcetepeler Baraj Gölü	23,0-34,3	0,0617	2,597	0,930	Güngör, 2012
Uluabat Gölü		0,026	3,068	0,979	Emiroğlu ve ark., 2012
Gelingüllü	-	-1,40	3,05	0,95	Kırankaya ve Ekmekçi, 2013
Seyhan Barajı	11,1-29,5	0,0519	2,650	0,933	Ergüden, 2015
Seyhan Barajı	14,5-32,7	0,017	3,0095	0,9391	Manaşırılı ve ark., 2019
Pantemilion Gölü	18,2-24,8	0,0396	2,7583	0,843	Stavrescu-Bedivian ve ark., 2018
Pantemilion Gölü	15,4-29,3	0,0269	2,8639	0,842	Stavrescu-Bedivian ve ark., 2018
Ladik Gölü	13,4-26,5	0,0168	3,149	2,676	Yazıcıoğlu ve ark.,2013
Akyatan Lagünü	14-33	0,0171	3,0431	0,9078	Bu çalışma

Akyatan Lagünü'nde gerçekleştirilen bu çalışmada ölüm oranları ile stoktan yararlanma düzeyi ve Manaşırılı ve ark. (2019) Seyhan Baraj Gölü'nde yaptıkları çalışma sonucu belirttikleri değerler Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Ölüm oranları ve stoktan yararlanma düzeyi

Alan	Z (yıl⁻¹)	M (yıl⁻¹)	F (yıl⁻¹)	E (yıl⁻¹)	Yazar
Seyhan Baraj Gölü	0,77 (0,51-1,72)	0,74	0,03	0,04	Manaşırılı ve ark., 2019
Akyatan Lagünü	0,306	0,00103	0,305	0,99	Bu çalışma

Seyhan Baraj Gölü'nde dişi bireylerin toplam ölüm ve doğal ölüm oranları birbirine çok yakın iken bu çalışmada toplam ölüm ile balıkçılık nedeniyle ölüm oranları birbirine çok yakın olarak tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile Manaşırılı ve ark. (2019) çalışmasında balıkçılık nedeniyle ölüm oranı çok düşük iken,

Akyatan Lagünü'nde doğal nedenlerle olan ölüm oranı çok düşük bulunmuştur. Bunun nedeni Seyhan Baraj Gölü'nde çalışmanın yapıldığı zaman diliminde ilgili alanın ticari balıkçılığa tamamen kapatılması söylenebilir. Akyatan Lagünü'nde ise doğal nedenlerle olan ölüm oranının çok düşük çıkması ilgili türün tamamıyla biyolojik özelliklerinden kaynaklandığı söylenebilir.

4. Sonuç

Akyatan Lagünü'nden elde edilerek incelenen ve büyüme, ölüm parametreleri ve stoktan yararlanma düzeyleri değerleri dikkate alındığında *C. gibelio* ilgili alanda yaşam koşullarına oldukça iyi uyum sağladığı söylenebilir. Akyatan Lagünü ilgili türün doğal yaşam koşulları olan biyolojik ve eko biyolojik özellikleri için çok ideal olduğu anlaşılmaktadır.

Ancak *C. gibelio*'nun istilacı bir tür olmasından dolayı; Akyatan Lagünü'nün özellikle Kuzeydoğu Akdeniz bölgesinin balıkçılık ve biyoçeşitlilik açısından önemi ve yeri dikkate alındığında maalesef hiç istenmeyen bir durumla karşı karşıya kalınmıştır.

İlgili zaman diliminde Akyatan Lagünü'nde balıkçılık yapan işletme tarafından da belirtildiği gibi ilgili tür aşırı derecede çoğalmış ve tamamen istila etmiş durumdadır.

Söz konusu türün zaten istilacı ve egzotik bir tür olması nedeniyle; şu an itibarıyla Akyatan Lagünü'nün ekolojik, biyoçeşitlilik ve balıkçılık açısından toparlanabilmesi için acil olarak bir eylem planı hazırlanıp uygulamaya geçilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma FYL201911610 proje numarası ile Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmayı etkileyebilecek finansal çıkarlar veya kişisel ilişkiler olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Kurgu: MM; Metodoloji: MM, BA; Arazi çalışması: MM, BA; Veri analizi: MM, BA; Makale yazımı: MM, BA, Denetleme: MM. Tüm yazarlar nihai taslağı onaylamıştır.

Kaynakça

Avşar D. Balıkçılık biyolojisi ve popülasyon dinamiği. Nobel Yayınevi; 2005.

Balık İ., Özkök R., Çubuk H., Uysal R. Investigation of some biological characteristics of the silver crucian carp, *Carassius gibelio* (Bloch 1782) population in Lake Eğirdir. Turkish Journal of Zoology 2004; 28(1): 19-28.

- Baran I., Ongan T. Gala Gölü'nün limnolojik özellikleri balıkçılık sorunları ve öneriler (Limnological features of Lake Gala, Fisheries Problems and Suggestions). Gala Gölü ve Sorunları Sempozyumu, 1988; 46-54.
- Beverton RJH., Holt SJ. On the dynamics of exploited fish populations (Ser.2). U.K. Min. Agric. Fish. Invest 1957; 19, 1-533.
- Bostancı D., Polar N., Kandemir Ş., Yılmaz Ş. Bafra Balık Gölü'nde yaşayan Havuz balığı, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782)'nin kondisyon faktörü ve boy-ağırlık ilişkisinin belirlenmesi. SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi 2007; 2(2): 117-125.
- Bulut S., Mert R., Algan B., Özbek M., Ünal B., Konuk M. Several growth characteristics of an invasive Cyprinid fish (*Carassius gibelio* Bloch, 1782). Notulae Scientia Biologicae 2013; 5(2): 133-138.
- Çevik F., Polat S., Dural M. Akyatan ve Tuzla lagünlerinin (Adana, Türkiye) fitoplanktonu ve mevsimsel değişimi. Journal of FisheriesSciences.com 2008; 2(1): 19-29.
- Çınar Ş., Çubuk H., Özkök R., Tümgelir L., Çetinkaya S., Erol KG., Ceylan M. Beyşehir Gölü'ndeki Gümüşi Havuz Balığı (*Carassius gibelio* Bloch, 1782) populasyonunun büyüme özellikleri. Turkish Journal of Aquatic Life 2007; 3(5): 401-409.
- Dereli H., Bayhan B., Ölçek, ZS. Türkiye'de Ege Bölgesi'ndeki Demirköprü Baraj Gölü'nde istilacı bir tür ciprinidlerden *Carassius gibelio'nun* (Bloch, 1782) yaşam öyküsü. North-Western Journal Of Zoology 2021; 17(2): 187-195
- Diler Ö., Didinen BI. Ekzotik türlerin akuatik ekosistemlere etkileri. I. Balıklandırma ve Rezervuar Yönetimi Sempozyumu, Şubat 07-09 2006. Antalya, Türkiye
- Duman E., Şen D. Keban Baraj Gölünde yaşayan *Carassius auratus* L., 1758 da karşılaştırmalı yaş tayini. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi 2002; 22(3): 11-18.
- Emiroğlu Ö., Tarkan AS., Top N., Başkurt S., Sülün Ş. Growth and life history traits of a highly exploited population of non-native Gibel Carp, *Carassius gibelio* from a large eutrophic lake (Lake Uluabat, NW Turkey): is reproduction the key factor for establishment success?. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2012; 12(4): 925-936.
- Erdem Ü., Kırgız T., Güher H., Türeli C. Hamam Gölü'nde (Kırklareli-İğneada) yaşayan kızılkanat (*Scardinius erythrophthalmus* L, 1758) ve havuz balığı (*Carassius carassius* L, 1758) türlerinin bazı biyolojik özellikleri. XII. Ulusal Biyoloji Kongresi, 6-8Temmuz 1994. Edirne, Türkiye.
- Ergüden SA. Age and growth properties of prussian Carp, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) living in the middle basin of Seyhan River in Adana, Turkey. Pakistan Journal of Zoology 2015; 47(5): 1365-1371.
- Erişim 1. <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/2018>.
- Gheorghe DC., Nica A., Cristea V., Răzlog GP. Growth and mortality estimation parameters for the Prusian carp (*Carassius gibelio*, Bloch, 1782) population from Danube River (km 170-196). UASVM Iasi, Lucrari Stiintifice Journal, Seria Zootehnie 2012; 57(17): 164-169.

- Gilabert J. Seasonal phytoplankton dynamics in a mediterranean hypersaline coastal lagoon: Mar Menor. *Journal of Plankton Research* 2001; 23(2): 207-217.
- Güngör HS. İkizcetepeler Baraj Gölü'nde yaşayan gümüşü havuz balığı *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) populasyonunun biyolojik özelliklerinin araştırılması. Master Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- İlhan A., Balık S., Sarı HM., Ustaoglu MR. Batı ve orta Anadolu, güney Marmara, Trakya ve batı Karadeniz bölgeleri iç sularındaki *Carassius* (Cyprinidae, Pisces) türleri ve dağılımları. *E. Ü. Su Ürünleri Dergisi* 2005; 22(3-4): 343-346.
- İnnal D., Erk'akan F. Effects of exotic and translocated fish species in the inland waters of Turkey. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 2006; 16(1): 39-50.
- İnnal D. Aksu Nehri (Antalya-Türkiye) acı su zonunda yaşayan *Carassius gibelio* (Bloch, 1782)'nun (Cyprinidae) yaş ve büyüme özellikleri. *Review of Hydrobiology*, 2012; 5(2): 97-109.
- İzci L. Eğirdir Gölü *Carassius auratus* (L., 1758)'larının bazı populasyon parametreleri. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 2004; 28(1): 23-27.
- Kırankaya ŞG., Ekmekçi FG. Life-history traits of the invasive population of prussian carp, *Carassius gibelio* (Actinopteri: cypriniformes: cyprinidae), from Gelingüllü Reservoir, Yozgat, Turkey. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 2013; 43(1): 31-40.
- Kizina LP. Some data on the biology of the genus *Carassius* from the Lower Reaches of the Volga Delta. *Journal of Ichthyology* 1986; 26(4): 31-40.
- Kuşat M., Koca HU., İzci L. Eğirdir Gölü'nde avlanan havuz balığı *Carassius auratus* (Bloch, 1782)'nin balıkçılık biyolojisi yönünden bazı özelliklerinin araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2006; 1(10): 61-65.
- Manaşırılı M., Azgın C., Ozyurt CE., Goksu MZL. The growth and mortality rates of Silver Crucian carp (*Carassius gibelio* Bloch, 1982) in Seyhan Dam Lake (Southeastern Mediterranean Region: Adana, Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin* 2019; 28(3): 1667-1675.
- Nikolsky GV. The ecology of fishes. TFH Publication Inc Ltd, 1978.
- Özcan G. Distribution of non-Indigenous fish species, Prussian Carp *Carassius gibelio* (bloch, 1782) in the Turkish Freshwater Systems. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2007; 10(23): 4241-4245.
- Özkök R., Çubuk H., Tümgelir L., Uysal R., Çınar Ş., Küçükbara R., Ceylan M. Eğirdir Gölü'ndeki gümüşü havuz balığı (*Carassius gibelio* Bloch, 1782) populasyonunun büyüme özellikleri. *Türk Sucul Yaşam Dergisi* 2007; 3-5.
- Paschos I., Nathanailides C., Tsoumani M., Perdikaris C., Gouba E., Leonardos I. Intra and inter-specific mating options for gynogenetic reproduction of *Carassius gibelio* (Bloch, 1783) in Lake Pamvotis (NW Greece). *Belgian Journal of Zoology* 2004; 134(1): 55-60.
- Pauly D., Munro JL. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates, Fishbyte. The World Fish Center 1984; 2(1): 1-21.

- Ricker WE. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada 1975.
- Sarı HM., Balık S., Ustaoglu MR., İlhan A. Population structure, growth and mortality of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) in Buldan Dam Lake. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2008; 8(1): 25-29.
- Sparre P., Venema SC. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual, FAO Fisheries Technical Paper No. 306.1.Rev.1. 1992. Rome, FAO, 376 p.
- Stavrescu-Bedivan M M., Vasile Scaeteanu G., Madjar R M., Manole MS Investigation of length-weight relationship and condition factor of *Carassius gibelio* related to water quality in Pantelimon II Lake. Agrolife Scientific Journal 2018; 7(1).
- Szczerbowski JA. *Carassius jarocki*, 1822, In P. M. Banarescu., H. J. Paepke (Eds), The Freshwater Fishes of Europea Vol.5/III Cyprinidae 2 (Part III Carassius to Cyprinus) and Gasterosteidae, 2001. Aula-Verlag, Wiebelsheim.
- Tarkan AS., Gaygusuz O., Gursoy C., Acipinar H., Bilge G. A new predator species *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) in Marmara Region: Succesful or not. Balıklandırma ve Rezervuar Yönetimi Sempozyumu, 7-9 Şubat 2006 Antalya, Türkiye.
- Tarkan AT., Gaygusuz Ö., Gürsoy Ç., Acipinar H. Interannual variability of fecundity and egg size of an invasive Cyprinid *Carassius gibelio*: Effects of Density-Dependent and Density-Independent Factors. Journal of Freshwater Ecology 2007; 22(1): 11-17.
- Uğurlu S., Polat N. Miliç Irmağı (Terme Samsun) balık faunası. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 2006; 23(3-4): 441-444
- Uğurlu S., Polat N., Kandemir Ş. Kızılırmak ve Yeşilirmak Deltalarındaki (Samsun) lagün göllerinin balık faunası. Journal of FisheriesSciences.com 2008; 2(4): 475-483.
- Ursin E. Same aspects of fish growth, respiration and mortality. J. Fish. Res. Board Can., Bull. 1967; No 90: 141-147.
- v. Bertalanffy L. A quantitative teory of organic growth. Human Biology 1938; 10; 181- 213.
- Yazıcıoğlu O., Yılmaz S., Yazıcı R., Polat N. Ladik Gölü (Samsun, Türkiye)'nde yaşayan havuz balığı, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782)'nın kondisyon faktörü, boy-ağırlık ve boy-boy ilişkileri. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 2013; 3(9): 72-80.

Yapay Sinir Ağı ve ANFIS Kullanılarak Meteorolojik Verilere Bağlı Güneş Enerjisi Tahmini

Serdar SOMUNCU¹, Canan ORAL^{2*}

¹Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı, 05100, Amasya

²Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya

¹<https://orcid.org/0000-0002-8632-289X>

²<https://orcid.org/0000-0001-9819-3979>

*Sorumlu yazar: canan.oral@amasya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.09.2023

Kabul tarihi: 09.12.2023

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Yenilenebilir enerji

Yapay sinir ağı

Uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı

çıkarma sistemi

Tahmin

ÖZ

Son yıllarda, enerjiye olan talep gün geçtikçe artarken, fosil yakıtların giderek azalması ve çevre kirliliğine olan duyarlılığın başlamasıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan gereksinim her geçen gün artmaktadır. Özellikle güneş enerjisi kullanımı son zamanlarda hızlı bir ivme göstermiştir. Bu çalışmada, güneş enerji santrali üretim verilerinin meteorolojik verilere bağlı olarak yapay zekâ yöntemlerinden çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA) ve uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi (ANFIS) yardımıyla tahmini yapılmıştır. Oluşturulan ÇKYSA ve ANFIS modelleriyle yapılan tahmin değerlerinin ölçülen değerler ile makul düzeyde yakınsadığı saçılma grafiklerinden görülmüştür. ANFIS uygulamasında melez algoritma ve gbellmf üyelik fonksiyonu ve girdi değerleri için 4-4-4 üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. ÇKYSA uygulaması sonucunda R² değeri 0.9569, MSE değeri 0.1434 ve RMSE değeri 0.3786 olarak elde edilmiştir. ANFIS uygulaması sonucunda R² değeri 0.9294, MSE değeri 0.0089 ve RMSE değeri 0.0946 olarak hesaplanmıştır. Test sonuçları sonrası yapılan regresyon eğrilerinde tahminlerin güvenilir ve isabetli olduğu anlaşılmıştır. Enerji sektörü konumunda bulunan santrallerin üretim verileri aynı yöntemlerle hesaplanabilir.

Solar Energy Prediction Based on Meteorological Data Using Artificial Neural Network and ANFIS

Research Article

Article History:

Received: 07.09.2023

Accepted: 09.12.2023

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Renewable energy

Artificial neural network

Adaptive fuzzy neural network

inference system

Prediction

ABSTRACT

In recent years, while the demand for energy is increasing every passing day, the need for renewable energy sources is increasing day by day, with the decrease in fossil fuels and the onset of sensitivity to environmental pollution. Particularly, the usage of solar energy has recently increased significantly. In this study, the estimation of solar power plant production data was made with the help of artificial intelligence methods, multilayer artificial neural networks (MLANN), and adaptive fuzzy artificial neural network inference system (ANFIS), depending on meteorological data. It has been seen from the scatter plots that the predicted values made with the created MLANN and ANFIS models converge reasonably with the measured values. In the ANFIS method, hybrid algorithm, gbellmf membership function, and 4-4-4 membership function are used for input values. The R², MSE, and RMSE are obtained as 0.9569, 0.1434, and 0.3786 respectively for the MLANN model. The R², MSE, and RMSE are obtained 0.9294, 0.0089, and 0.0946 respectively for the ANFIS model. It was understood that the estimations were reliable and accurate in the regression curves made after the test results. The production

data of the power plants in the energy sector can be calculated with the same methods.

To Cite: Somuncu S., Oral C. Yapay Sinir Ağı ve ANFIS Kullanılarak Meteorolojik Verilere Bağlı Güneş Enerjisi Tahmini. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1685-1701.

1. Giriş

Günümüzde ülkeler enerji gereksiniminin büyük bir bölümünü fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Diğer yandan, fosil enerji kaynakları rezervlerinin gün geçtikçe tükenmesi, fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanımından dolayı oluşan iklim değişikliği ve küresel ısınmanın önlenmesi açısından sürdürülebilirliği sağlama ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ve bilgi-iletişim alanındaki gelişmelerden dolayı enerjiye olan bağımlılık gün geçtikçe artmaktadır.

Yenilenebilir enerjinin tükenmez olması, çevre dostu olması, maliyetlerinin düşmesi ile bu kaynaklara olan talep ve yatırımlar son yıllarda hızla artmaktadır. Güneş enerjisi tahmini, güneş enerjisi santrallerinin enerji piyasasındaki rekabet gücünün artırılmasında, ekonomik ve sosyal kalkınmada fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasında kilit bir unsur temsil etmektedir. Enerji üretiminde yenilenebilir enerji oranını artırmak, ekolojik ve dayanıklı bir elektrik sistemi oluşturmak için gerçekten çok önemlidir. Bu bağlamda güneş enerjisi, enerji üretimi için en umut verici yenilenebilir kaynaklardan biri haline gelmiştir. Bununla birlikte enerjinin durumu; fiyat değişimi, talep değişimi ve yenilenebilir enerji üretiminin istikrarsızlığıyla şekillenmektedir. Güneş enerjisi söz konusu olduğunda bu istikrarsızlık, fotovoltaik (FV) hücrelerin üretiminde kullanılan malzemelere ve aynı zamanda durağan olmayan meteorolojik değişkenler gibi diğer faktörlere de bağlıdır. Bu nedenle, güneş enerjisi alanında, öncelikle doğru tahminler sağlamaya yardımcı olabilecek meteorolojik değişkenleri tanımlayabilmek önemlidir. Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem gibi hava koşullarına bağlı olarak günden güne değişen çıkış gücü üretimi doğrusal olmayan davranış sergiler. Başka bir deyişle, meteorolojik parametrelere bağlı bir modelin oluşturulması, FV sisteminin kararlılığının, güvenilirliğinin ve güvenliğinin iyileştirilmesine katkıda bulunacağı için önemlidir (Jebli ve ark., 2021).

Saray ve ark., (2011), tarafından yapay sinir ağı (YSA) yöntemini kullanılarak Amasya ilinin 2010 yılı yaz mevsimi için rüzgâr hızı tahmini yapılmış ve her bir ayın uygulaması için Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square Error: RMSE) ve Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error: MSE) değerleri hesaplanmıştır. Tahmin için YSA içerisinde çok katmanlı geri beslemeli ağ metodu ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Sonuçta YSA'nın üç katmanlı ağ yapısı ile rüzgâr hızı tahmininde kullanılabileceği belirlenmiştir. Özcan ve ark., (2013), Isparta iline ait rüzgâr hızlarını uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi (ANFIS) ve YSA yöntemleriyle tahmin etmiştir. Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden alınan Isparta iline ait, 1975 ve 2008 yılları arasındaki aylık rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. YSA yöntemi kullanılarak yapılan tahminde tansig fonksiyonu kullanılarak en iyi sonucun LM12 algoritmasıyla olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda ANFIS yöntemiyle elde edilen R^2 değerinin YSA ile elde edilen değere nazaran daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Doğancı ve ark., (2016), Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 2007-2014

yılları arasındaki yedi yıllık nem, sıcaklık, rüzgâr hızı, basınç ve yağış verilerini kullanarak YSA modeli ile rüzgâr hızını tahmin etmeye çalışmışlardır. Elde ettikleri tahmini verilerin gerçek değerlerle olan hata sapmalarını hesaplamışlardır. MSE istatistiksel yöntemi kullanarak rüzgâr hızı tahmininde elde ettikleri sonuçları gerçek verilerle karşılaştırmışlar ve MSE değerlerini, İnegöl bölgesi için 0.00176, Bafra bölgesi için 0.00088, Karabük bölgesi için 0.01392 ve Zonguldak bölgesi için 0.00257 olarak elde etmişlerdir. Kaya ve ark., (2016), Kastamonu ili rüzgâr gücü potansiyelini tahmin etmek için YSA ve ANFIS yöntemlerinde farklı rüzgâr türbin verileri kullanarak iki çeşit model oluşturmuşlardır. Güç tahmini için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 2015 yılına ait Kastamonu ili günlük maksimum rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak, kullanılacak rüzgâr türbin modeline göre üretilebilecek maksimum güç değerleri tahmin edilmiştir. Güleç ve Demirel (2017), Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan Kastamonu iline ait 2009- 2016 yılları arasında ölçülen aylık ortalama nispi nem, aylık ortalama sıcaklık, aylık açık gün sayısı, aylık ortalama hava basıncı, aylık ortalama rüzgâr hızı, aylık toplam güneşlenme süresi ve aylık toplam güneş ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak YSA ile ileriye dönük güneş radyasyonunu tahmin etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, YSA yönteminin güneş radyasyon değerlerinin tahmininde başarılı şekilde kullanılabileceği görülmüştür. Dandıl ve Gürgen (2019), altı farklı açısız konuma yerleştirilen FV panel güç çıkışlarının aylık tahmini için, akım ve gerilim değerlerini kullanarak farklı algoritmalar ile öğrenebilen YSA modeli önermişlerdir. Çalışmalarında, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi yerleşkesinde kurulu olan FV panel test düzeneğinden elde edilen verileri kullanmışlardır. Hesaplamalarda parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasına dayalı YSA ile geriye yayılım (GY) ve diğer optimizasyon algoritması Klonal Seçim Algoritması (KSA) ile eğitilen modellerden faydalanılmıştır. Elde edilen doğrulama sonuçları incelendiğinde, hemen hemen bütün aylar için PSO algoritması ile eğitilen YSA yapısının, GY ve KSA algoritmaları ile eğitilen YSA yapısına göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Gabralı ve Aslan (2020), İstanbul İli Büyükçekmece İçerisinde bulunan Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Tarım Bilgi Sistemi Eskice Mevki istasyonundan alınan 2016 yılına ait güneş radyasyonu, toprak üstü sıcaklık, rüzgâr yönü, rüzgâr şiddeti vb. verilerini kullanarak güneş radyasyonu için ileriye dönük kısa ve orta vadeli tahmin çalışması yapmışlardır. Modellemede Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ile YSA kullanmışlardır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, güneş radyasyonu tahmininde YSA sonuçlarının ÇLR sonuçlarından daha başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir. YSA modelinde güneş radyasyonu için R^2 , normalize Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (nRMSE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değerlerini sırasıyla 0.912, %48.5, %28.21 olarak hesaplamışlardır.

Bu çalışma, makine öğrenme tekniklerine dayalı olarak güneş enerjisini tahmin etmek için bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada, Amasya Üniversitesi İpekköy yerleşkesinde kurulu 200 kW güneş enerji santrali üretim verilerinin, meteorolojik verilere bağlı olarak çok katmanlı yapay sinir ağı (ÇKYSA) ve uyarlamalı bulanık yapay sinir ağı çıkarım sistemi (ANFIS) yardımıyla tahmini yapılmıştır. HOBOLINK uzaktan izleme sistemi tarafından kaydedilen rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiy noktası, basınç ve batarya gerilimi değerleri

makine öğrenmesi modelleri için özellik (girdi) olarak kullanılmıştır. Algoritma tarafından öngörülecek çıkış parametresi santralde bulunan eviricilerin çıkış enerjileridir. Elde edilen tahmin algoritmalarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Kümesi ve Özellikler

Bu çalışmada, Amasya Üniversitesi İpekköy yerleşkesinde kurulu 200kW güneş enerji santralinin üretim verileri kullanılmıştır. HOBOLINK, sistemleri uzaktan izlemek için kullanılan web tabanlı bir yazılımdır. Bu yazılım birçok iklimsel veriyi ve üretim bilgilerini kaydederek uzaktan izlenmesini sağlar. Sistemde rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, havadaki nem, çiy noktası, hava basıncı ve batarya gerilimi değerleri HOBOLINK uzaktan izleme sistemi tarafından kaydedilmiştir. Bu değişkenler 5 dakikalık periyotlarda ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen analizlerde 15 dakikalık periyotlarda elde edilen ölçüm sonuçları ve bu anlarda 10 evirici çıkışındaki enerjileri kullanılmıştır. HOBOLINK iklim parametreleri için yapılan ölçümlere ait örnekler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ölçüm istasyonu kayıt sistemi örnek değerleri

Tarih Saat	Rüzgâr Yönü [°]	Rüzgâr Hızı [m/s]	Rüzgâr Hamlesi [m/s]	Güneş Radyasyonu [W/m ²]	Panel Sıcaklığı [°C]	Hava Basıncı [mBar]	Hava Sıcaklığı [°C]	Hava Nemi [%]	Çiy Noktası [°C]	Batarya Gerilimi [V]
1/1/16 11:00:00	190	0.8	2.3	493	8.79	971.5	-1.58	62.3	-7.85	4.57
1/1/16 11:05:00	211	1.5	3.5	353	8.94	972.2	-2.74	65.1	-8.38	4.57
1/1/16 11:10:00	223	1.5	3.3	283	8.07	972.5	-2.68	65.1	-8.33	4.56
1/1/16 11:15:00	225	0.8	2.8	336	8.47	972.2	-2.04	64.6	-7.82	4.57
1/1/16 11:20:00	208	0.3	1.8	251	7.82	972.5	-1.53	63	-7.65	4.57
1/1/16 11:25:00	181	0.5	2.8	279	5.51	972.1	-1.67	62.8	-7.83	4.57
1/1/16 11:30:00	159	0.5	2	311	4.82	972.1	-1.64	62.1	-7.94	4.57
1/1/16 11:35:00	180	0.8	2.5	463	6.53	971.5	-1.24	61.5	-7.69	4.57
1/1/16 11:40:00	192	1.3	3.3	438	6.86	971.3	-1.24	60.4	-7.92	4.57
1/1/16 11:45:00	216	1	2.8	447	8	971.2	-0.96	58.7	-8.02	4.56

Santralde toplam 10 evirici bulunmaktadır. Evirici çıkış enerjileri de HOBOLINK uzaktan izleme sistemi tarafından kaydedilmiştir. 10 eviriciye ait kaydedilmiş olan çıkış enerjileri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Evirici çıkış enerjileri için örnek değerler

Tarih Saat	Evirici1 [kWhAC]	Evirici2 [kWhAC]	Evirici3 [kWhAC]	Evirici4 [kWhAC]	Evirici5 [kWhAC]	Evirici6 [kWhAC]	Evirici7 [kWhAC]	Evirici8 [kWhAC]	Evirici9 [kWhAC]	Evirici10 [kWhAC]
10/01/2016 07:15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/01/2016 07:30:00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
10/01/2016 07:45:00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10/01/2016 08:00:00	0.4	0.4	0.4	0.5	0.8	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
10/01/2016 08:15:00	0.7	0.7	0.5	0.7	1.1	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5
10/01/2016 08:30:00	0.9	0.9	0.6	0.8	1.3	0.9	0.9	0.8	0.8	0.5
10/01/2016 08:45:00	1.7	1.7	0.9	1.2	2	1.1	1.1	1.1	1.3	0.9
10/01/2016 09:00:00	1.9	1.9	0.9	1.1	1.7	1.1	1.1	1	1.5	1
10/01/2016 09:15:00	2.1	2.1	0.9	0.9	2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.1
10/01/2016 09:30:00	2.4	2.4	1.2	1.6	2.1	1.3	1.3	1.3	1.8	1.2

Çalışmada güneş enerjisi üretim verilerinin tahmini için kullanılan özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Santral üretim tahmini için kullanılan özellikler

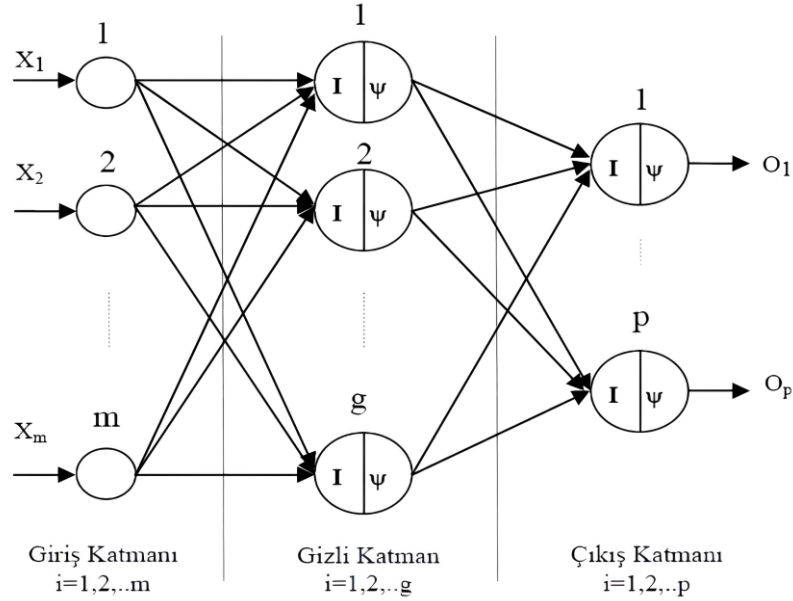
Özellikler	
1. özellik	Ay
2. özellik	Gün
3. özellik	Saat
4. özellik	Rüzgâr yönü (°)
5. özellik	Rüzgâr hızı (m/s)
6. özellik	Rüzgâr hamlesi(m/s)
7. özellik	Güneş radyasyonu (W/m ²)
8. özellik	Hava basıncı (mbar)
9. özellik	Hava sıcaklığı (°C)
10. özellik	Nispi nem (%)
11. özellik	Çiy noktası (°C)
12. özellik	Batarya gerilimi (V)

2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beyninin yapısı esas alınarak geliştirilmiş bir sistemdir. YSA'lar, çok sayıda işlem birimini kendi kendine uyum sağlama, kendi kendini organize etme ve gerçek zamanlı öğrenme gibi bir dizi özellik ile birleştiren uyarlanabilir doğrusal olmayan bilgi işleme sistemleridir. YSA'ların avantajları esas olarak ağ mimarisi ve algoritmalar tarafından temsil edilmesidir. Bir YSA, nöronlar olarak da

adlandırılan bir dizi işlem biriminden oluşur ve bunlar birbirine bağlıdır. Yönlendirilmiş bir grafik olarak tanımlanabilir ve her nöron bir transfer fonksiyonudur. Bir nöron genellikle çok girişli ve tek çıkışlı doğrusal olmayan bir elemandır. Bir sinir ağının mimarisi, ağın tüm bağlantıları ve nöronların transfer fonksiyonları tarafından belirlenir (Ding ve ark., 2013; Özcan ve ark., 2013; Şahan ve Yüksel, 2016; Abiodun ve ark., 2018; Şahan, 2021).

Çok katmanlı yapay sinir ağı, bir özellik (giriş) kümesi ile buna karşılık hedef (çıkış) değerleri arasında doğrusal olmayan bir eşlemeyi temsil eden bir modeldir. Çok katmanlı yapay sinir ağı, denetimli öğrenme metodunu kullanmaktadır. Girişler ve bu girişlerin karşılığındaki hedef çıkışlar ağı verilmektedir. ÇKYSA, Şekil 1 de gösterildiği gibi basit birbirine bağlı nöronlar veya düğümler sisteminden oluşur. Düğümler, basit bir doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu tarafından değiştirilen, düğüme girişlerin toplamının bir fonksiyonu olan ağırlıklar ve çıkış sinyalleri ile bağlanır. Giriş katmanında veri kümesindeki özellik sayısı kadar nöron bulunur. Giriş katmanı uygulanan veri kümesini değişikliğe uğratmadan gizli katmana iletir. ÇKYSA, bir veya daha fazla gizli katman ve son olarak bir çıkış katmanı içermektedir. ÇKYSA, eğitim yoluyla öğrenme yeteneğine sahiptir (Gardner ve Dorling, 1998; Oral, 2011; Var ve Türkay, 2014).

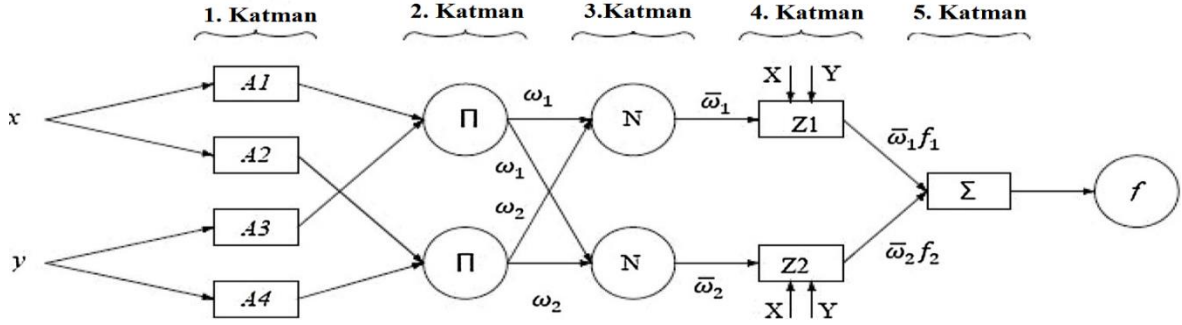


Şekil 1. ÇKYSA ağ mimarisi (Oral, 2011)

2.3. Uyarlamalı Bulanık Yapay Sinir Ağı Çıkarım Sistemi (ANFIS)

ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System); YSA ile bulanık mantığın bir arada kullanıldığı sistemdir. ANFIS, ileri beslemeli bir sinir ağının düğümlerinin bulanık parametreleri işlediği hibrit bir sistemdir. ANFIS modeli, bulanıklaştırma adı verilen bir süreçte girdi üyelik fonksiyonlarını kullanarak girdi özelliklerini üyelik değerlerine dönüştürdüğü birinci dereceden Sugeno çıkarım sistemlerine eşdeğerdir. Ardından, model çıktısını anlamak için bir dizi mantıksal kurallar kullanılır. Daha sonra,

çıkarmı çıktısını gerçek değerler çıktısına durulaştırmak için çıktı üyelik fonksiyonları kümesi kullanılır. Bu algoritma, girdi verilerini ayırmak için girdi üyelik fonksiyonlarını ve bulanık parametreleri ayarlamak için sinir ağlarının geri yayılım özelliğine benzer hata optimizasyon algoritmaları kullanır. ANFIS'in eğitimi, yapısındaki parametreleri bir optimizasyon algoritması kullanılarak belirlenmesi anlamına gelir. Genel ANFIS mimarisi Şekil 2'de gösterildiği gibi 5 katmandan oluşur. Her katman, bir matematiksel işlem gerçekleştirir (Gökçe ve Sonugür, 2016; Karaboga ve Kaya, 2019; Zaghoul ve ark., 2020).



Şekil 2. ANFIS modeli (Karaboga ve Kaya, 2019; Zaghoul ve ark., 2020)

ANFIS, üyelik fonksiyonu parametrelerini ve sonuç parametrelerini tahmin etmek için optimizasyon algoritmalarına ihtiyaç duyar. Geri yayılım, çıktı katmanındaki hatayı hesaplar ve bunu parametre ayarlaması için girdi katmanına geriye doğru yayar. Bu algoritma yerel minimumda sıkışabilir ve yavaş bir performansa sahiptir. Hibrit optimizasyon, gradyan iniş ve en küçük kareler optimizasyon yöntemlerini birleştirerek daha hızlı performansa sahip ve yerel minimum tuzağından kaçınan alternatif bir optimizasyon algoritmasıdır (Gökçe ve Sonugür, 2016; Karaboga ve Kaya, 2019; Zaghoul ve ark., 2020).

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, Amasya Üniversitesi İpekköy yerleşkesinde kurulu 200kW güneş enerji santralinin 4 Ocak 2016 ve 20 Eylül 2016 tarihlerinde ölçülen üretim verileri kullanılmıştır. HOBOLINK uzaktan izleme sistemi tarafından kaydedilen rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiy noktası, hava basıncı ve batarya gerilimi değerleri ve 10 evirici çıkış enerjileri kullanılmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen analizlerde 15 dakikalık periyotlarda gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ve bu anlarda 10 evirici çıkışındaki enerji değerlerinin ortalaması kullanılmıştır.

Özellik veri kümesinde 12 özellik ve 24356 örnek bulunmaktadır. Ay, gün, saat, rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiy noktası, basınç ve batarya gerilimi değerleri özellik kümesini oluşturmaktadır. Çıkış tahmini için öncelikle 10 eviriciye ait çıkış enerjileri kullanılmıştır. Daha sonra işlem karmaşıklığını azaltmak ve tahmin algoritmasının

başarımını iyileştirmek için 10 eviricin çıkış enerjilerinin ortalaması hesaplanmıştır. Çıkış kümesi evirici enerjilerinin ortalamasını içermektedir.

ÇKYSA ve ANFIS yöntemleriyle analiz gerçekleştirilerek çıkış enerjisi tahmini yapılmıştır. MATLAB programı kullanılarak bütün analizler gerçekleştirilmiştir. Başarım sonuçlarının değerlendirilmesi için korelasyon katsayısı karesi (R^2), ortalama karesel hata (MSE) ve kök ortalama karesel hata (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. R^2 , ölçülen gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin birbirlerine hangi derecede bağlı oldukları, aralarında doğrusal bir ilişkinin bulunup bulunmadığını tespit etmede kullanılan test yöntemidir. RMSE değeri, ağı tahmin ettiği değerlerin ölçüm değerlerinden ne oranda saptığının ölçüsüdür. MSE değeri, ne kadar sıfıra yakın bir değer olursa oluşturulan modelin o denli başarılı sayılması beklenir (Şahan ve Yüksel, 2016; Jebli ve ark.,2021; Şahan, 2021).

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

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Eşitliklerde belirtilen y_i tahmin edilen değeri, x_i gerçek değeri, \bar{x}_i gerçek değer ortalamasını ifade ederken, n ise veri sayısını göstermektedir.

3.1. ÇKYSA Uygulaması

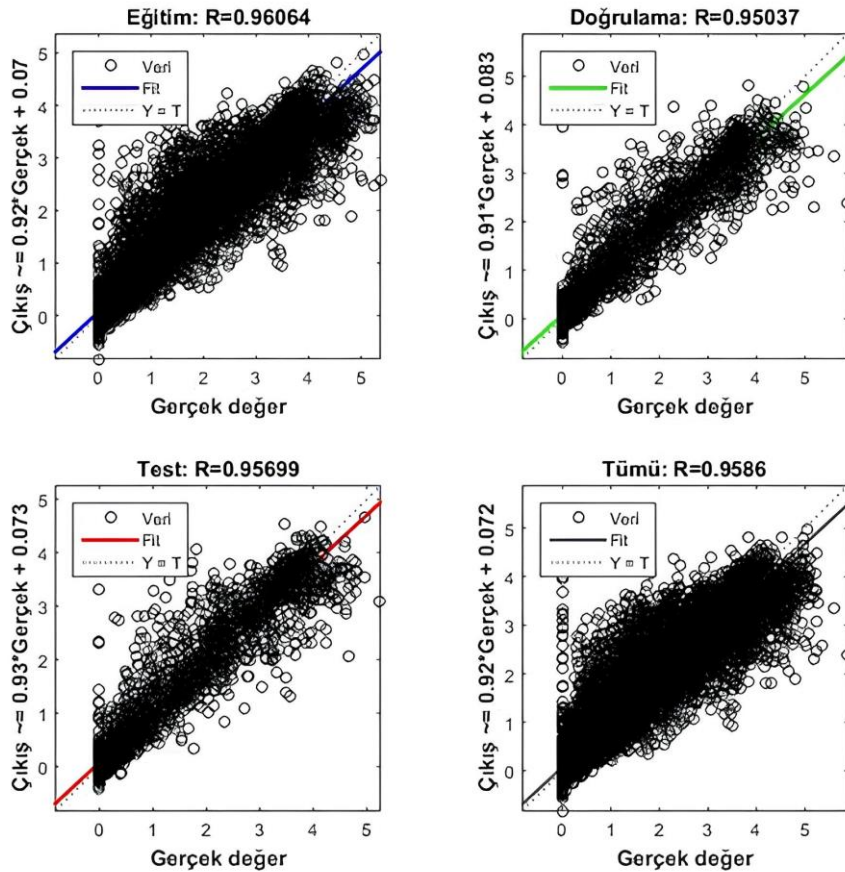
Çalışmanın bu kısmında çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı algoritması kullanılmıştır. Farklı öğrenme algoritmaları seçilerek ve gizli katmandaki nöron sayısı değiştirilerek farklı modeller denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. ÇKYSA modeli, 12 girdi değişkeni (ay, gün, saat, rüzgâr yönü, rüzgâr hamlesi, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, çiy noktası, basınç ve batarya gerilimi) ve bir çıktı değişkenine (evirici ortalama enerjisi) göre tasarlanmıştır. Veri kümesinin (24356 örnek); %70'i (17050 örnek) eğitim, %15'i (3653 örnek) doğrulama ve %15'i (3653 örnek) test için kullanılmıştır. Model bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Gizli katman nöron sayısı 50 seçildiğinde elde edilen başarım sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. ÇKYSA başarım sonuçları

	Örnek	MSE	RMSE	R^2
Eğitim	17050	0.1342	0.3663	0.9606
Doğrulama	3653	0.1634	0.4042	0.9503
Test	3653	0.1434	0.3786	0.9569

YSA’larda nöronların ağırlıkları eğitim iterasyonları süresince belirli öğrenme kurallarına göre güncellenmektedir. Değişik öğrenme algoritmaları verilerin kendilerine has yapıları nedeniyle farklı tahmin başarımları ortaya koyabilmektedir. Bu çalışmada literatürde sık rastlanan Levenberg-Marquardt (“trainlm”) ile Scaled Conjugate Gradient-Ölçenikli Eşlenik Gradyan Geri Yayılım Algoritması (“trainscg”) eğitim algoritmaları seçilerek ayrı ayrı denenmiştir. Gizli katman aktivasyon fonksiyonu “sigmoid” ve çıkış katmanı aktivasyon fonksiyonu “lineer” olarak alınmıştır. Yapılan denemelerde epoch sayısı 1000 olarak kullanılmıştır. Her bir ağ için en uygun değer elde edebilmek maksadıyla 10’ar defa çalıştırılmıştır.

Şekil 3, gerçek çıkış enerjisi değerleri ve tahmin edilen çıkış enerjisi değerleri için ÇKYSA modelinin eğitim, doğrulama, test ve tüm değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Eğitim verilerindeki başarı oranı $R^2 = 0.96064$, doğrulama verilerindeki başarı oranı $R^2 = 0.95037$ iken test verilerindeki başarı oranı $R^2 = 0.95699$ olarak bulunmuştur. Oluşturulan ağın, verilerin tümü için oranı ise $R^2 = 0.9586$ ’dır. Bu oran ağın gayet başarılı olduğunu göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde oluşturulan modelin başarılı olduğu görülmektedir. Sonuçlar, gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki korelasyonun, tüm verilerde güçlü olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. ÇKYSA tahmin sonuçları

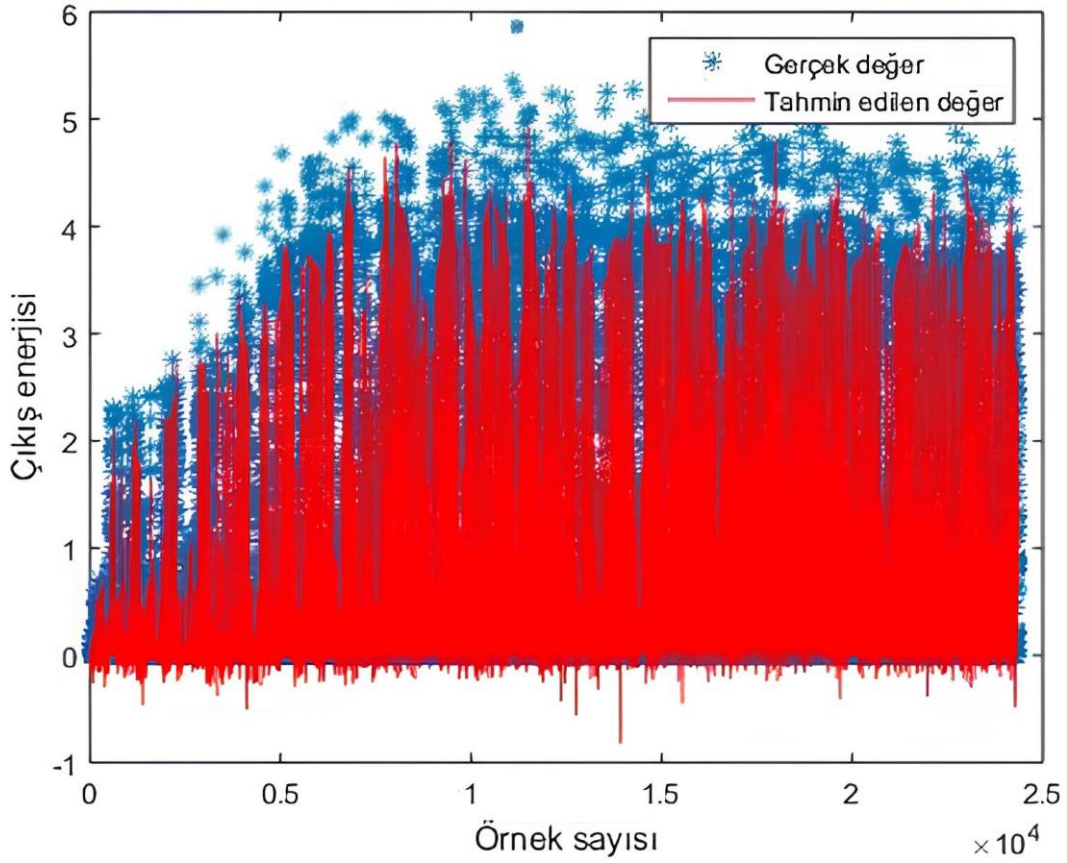
Farklı öğrenme algoritmaları ve farklı gizli katman nöron sayısı seçilerek elde edilen ÇKYSA modelinin tahmin sonuçları aşağıda Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Farklı öğrenme algoritmaları ve farklı gizli katman nöron sayıları için ÇKYSA modelin başarımları sonuçları

Eğitim Algoritması	Nöron Sayısı	Eğitim			Doğrulama			Test		
		MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²
Trainlm	n = 8	0.1859	0.4311	0.9444	0.2090	0.4571	0.9377	0.1954	0.4420	0.9426
	n = 10	0.1687	0.4107	0.9495	0.1816	0.4261	0.9468	0.1918	0.4379	0.9435
	n = 11	0.1760	0.4195	0.9482	0.1690	0.4110	0.9452	0.1752	0.4185	0.9495
	n = 12	0.1697	0.4119	0.9491	0.1687	0.4107	0.9500	0.1604	0.4004	0.9542
	n = 13	0.1634	0.4042	0.9513	0.1592	0.3989	0.9528	0.1688	0.4108	0.9504
	n = 20	0.1533	0.3915	0.9537	0.1575	0.3968	0.9555	0.1582	0.3977	0.9545
	n = 50	0.1342	0.3663	0.9606	0.1634	0.4042	0.9503	0.1434	0.3786	0.9569
Trainseg	n = 8	0.2141	0.4627	0.9360	0.2070	0.4549	0.9389	0.2076	0.4556	0.9369
	n = 10	0.2241	0.4733	0.9329	0.2253	0.4746	0.9324	0.2285	0.4780	0.9311
	n = 11	0.2132	0.4617	0.9360	0.1946	0.4411	0.9401	0.2220	0.4711	0.9360
	n = 12	0.1948	0.4413	0.9417	0.2121	0.4605	0.9380	0.2034	0.4509	0.9386
	n = 13	0.2269	0.4763	0.9331	0.2224	0.4715	0.9305	0.2054	0.4532	0.9357
	n = 20	0.2228	0.4720	0.9328	0.2194	0.4684	0.9360	0.2210	0.4701	0.9343
	n = 50	0.2463	0.4962	0.9262	0.2426	0.4925	0.9287	0.2282	0.4777	0.9285

Tablo 5’te verilen başarımları sonuçları değerlendirildiğinde “trainlm” eğitim algoritmasının daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda gösterilen algoritmalarından gizli katman sayısı 50 olarak seçildiğinde, ağırlık eğitim aşamasında R² değerinin 0.9606 ve MSE değerinin 0.1342, test aşamasında R² değerinin 0.9569 ve MSE değerinin 0.1434, doğrulama aşamasında ise R² değerinin 0.9503 ve MSE değerinin 0.1634 olduğu görülmektedir. Ayrıca gizli katmanda nöron sayısı değişiminin tahmin performansını etkilediği gözlenmiştir.

Şekilde 4’te veri setindeki gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



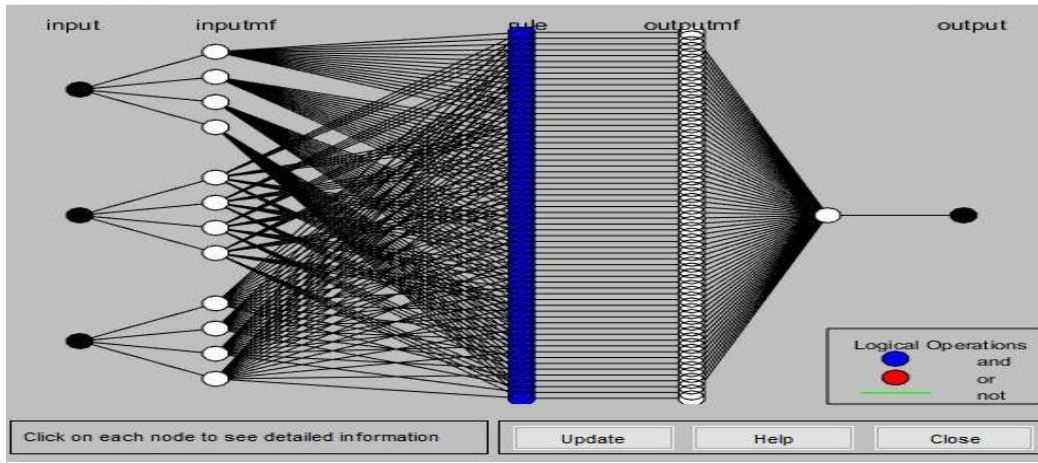
Şekil 4. ÇKYSA modeli için gerçek ve tahmin edilen sonuçlar

3.2. ANFIS Uygulaması

Çalışmanın bu bölümünde ANFIS algoritması kullanılmıştır. Özelliklerin boyutunun fazla olması ANFIS uygulamasında hesaplama karmaşıklığını artırmaktadır. Bu nedenle temel bileşenler analizi kullanılarak boyut azaltımı gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada, temel bileşenler analizi ile boyut indirgeme işlemi sağlanarak güneş enerjisi santrali çıkış enerjisine etki eden 12 özellik 3 özelliğe indirilmiştir. Bir başka deyişle, problem üç girdi ve bir çıktıdan oluşan sisteme dönüştürülmüştür.

Veri kümesinde, temel bileşenler analizi ile boyut indirgeme işleminden sonra veriler [0,1] aralığında normalize edilmiştir. Ağı eğitmek için kullanılan eğitim veri seti tüm verilerin yaklaşık %70'i olan 17050 veri seti, test için tüm veri setinin yaklaşık %23'ü olarak 5601 veri seti ve kontrol veri seti için de tüm setin %7'si olarak 1705 veri setine ayrılarak üç ayrı dosya olarak kaydedilip modele yüklenmiştir. Veri setinin eğitim, test ve kontrol olarak üç parçaya ayrılması için basit rassal ayırım yöntemi kullanılmıştır. Girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişki model içerisinde bulunan 8 adet üyelik fonksiyonu kullanılarak sistemin eğitilmesi sağlanmıştır. Üyelik fonksiyonu olarak melez algoritması uygulanmış ve hata oranları gözlemlenerek sonuçlar elde edilmiştir. Melez algoritma, geri yayılım algoritması ile en küçük kareler yönteminin beraber kullanıldığı öğrenme algoritmasıdır. Üyelik fonksiyonları seçildikten sonra eğitim döngü (epoch) sayısı belirlenmiştir. Gözlemler sonucunda

modelin 50 devir sonrası durduğu anlaşıldığından eğitim döngü değeri 50 olarak belirlenmiştir. Eğitim döngü değeri belirlendikten sonraki aşamada, eğitimler sırasıyla başlatılarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu uygulamada, birkaç üyelik fonksiyon sayısı, tüm üyelik fonksiyon tipleri ile çıktı tipi constant/linear için sırasıyla denenmiştir, Şekil 5'te oluşturulan ANFIS modelinin yapısı görülmektedir. İlk aşamada üç bağımsız değişken girdi olarak sisteme girilmiştir. İkinci aşamada ise girdi değerleri 4-4-4 üyelik fonksiyonuna belirli bir üyelik derecesinde model tarafından atanmıştır. Sonraki sütunda ise üyelik fonksiyonları kullanılarak elde edilen 64 kural yer almaktadır. Bulanık ağın en iyi şekilde öğrenmeyi gerçekleştireceği 64 kural belirlemiş ve her kuraldan bir değer üretmiştir. Oluşturulan çıktı üyelik fonksiyon değerleri tek çıktı değerine dönüştürülmüştür.



Şekil 5. ANFIS modeli ağ yapısı

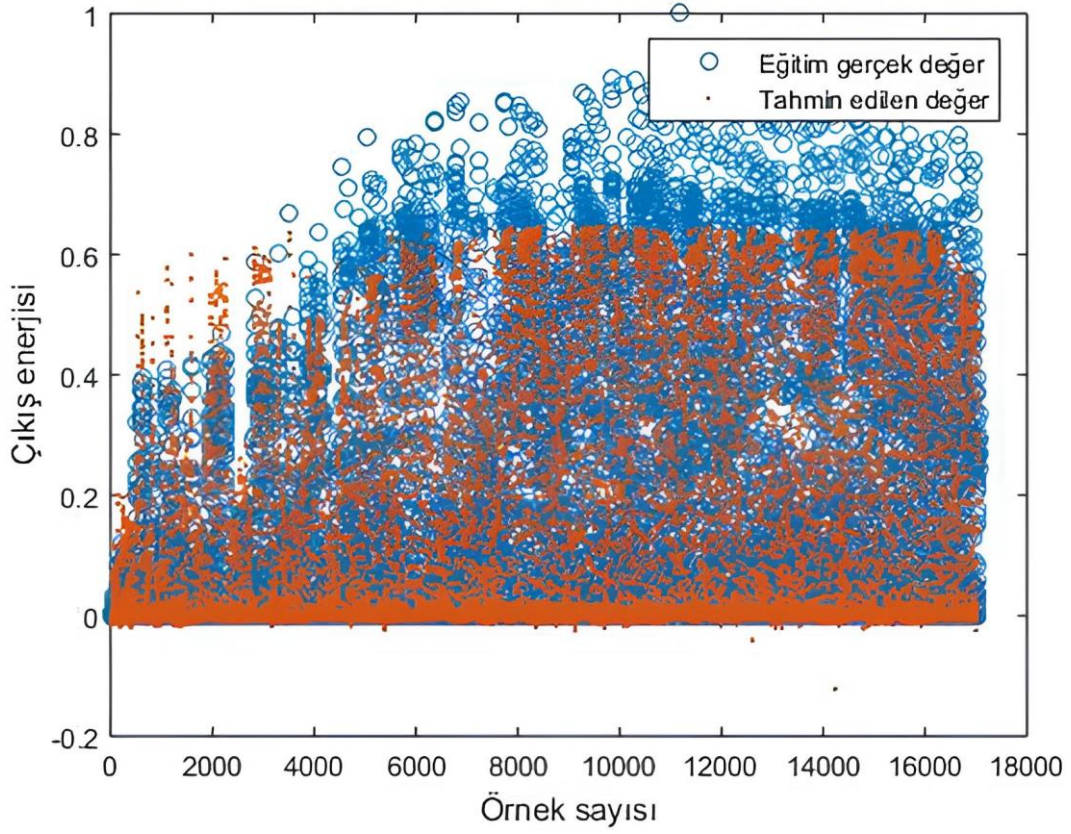
Tablo 6'da sonuçların incelenmesinde en başarılı sonucun 0.0946 hata oranıyla, melez algoritma ve gbellmf üyelik fonksiyon tipi ile girdi değerleri için 4-4-4 üyelik fonksiyonun birlikte kullanıldığı modelin ürettiği gözlemlenmektedir. Ayrıca tablodan anlaşıldığı gibi çıktı üyelik fonksiyon tipi sabit (constant) olmalıdır.

Tablo 6. 4-4-4 üyelik fonksiyon sayısı deneme sonuçlarına ilişkin başarımların sonuçları

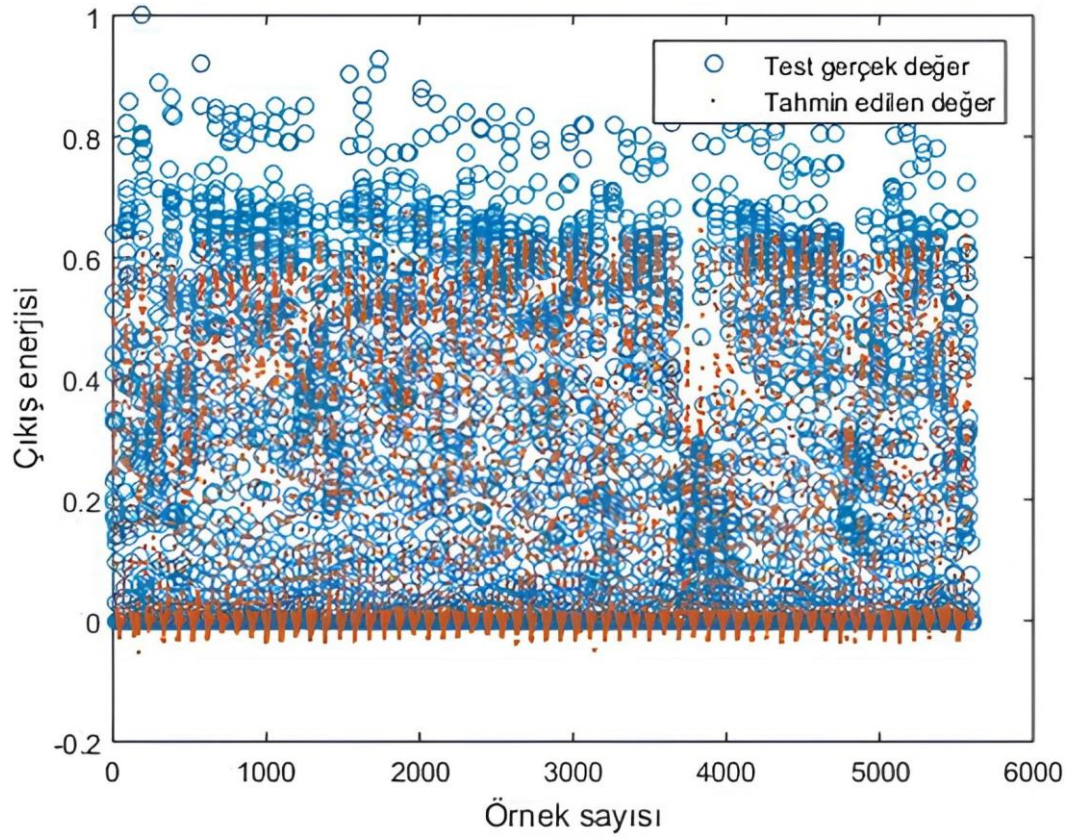
Sabit		Eğitim			Test			Kontrol		
Fonksiyon Tipi	Üyelik Fonksiyon Sayısı	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²	MSE	RMSE	R ²
trimf	4-4-4	0.0082	0.0904	0.9068	0.0092	0.0957	0.9268	0.0161	0.1270	0.9099
trapmf	4-4-4	0.0083	0.0908	0.9058	0.0095	0.0972	0.9234	0.0179	0.1340	0.8976
gbellmf	4-4-4	0.0081	0.0899	0.9079	0.0089	0.0946	0.9294	0.0163	0.1278	0.9175
gaussmf	4-4-4	0.0081	0.0901	0.9073	0.0090	0.0948	0.9293	0.0174	0.1317	0.9139
gauss2mf	4-4-4	0.0081	0.0900	0.9075	0.0095	0.0975	0.9247	0.0217	0.1472	0.8776
pimf	4-4-4	0.0082	0.0904	0.9067	0.0093	0.0965	0.9252	0.0167	0.1292	0.9057
dsigmf	4-4-4	0.0081	0.0901	0.9073	0.0091	0.0956	0.9269	0.0161	0.1270	0.9115
psigmf	4-4-4	0.0081	0.0901	0.9073	0.0091	0.0956	0.9269	0.0161	0.1270	0.9115
Doğrusal		Eğitim			Test			Kontrol		
trimf	4-4-4	0.0078	0.0884	0.9109	0.0096	0.0977	0.9246	0.0209	0.1446	0.8925
trapmf	4-4-4	0.0077	0.0876	0.9126	0.0116	0.1076	0.9058	0.0228	0.1511	0.8583
gbellmf	4-4-4	0.0073	0.0856	0.9167	0.0104	0.1022	0.9162	0.0228	0.1510	0.8582
gaussmf	4-4-4	0.0074	0.0858	0.9165	0.0110	0.1049	0.9107	0.0237	0.1538	0.8458
gauss2mf	4-4-4	0.0073	0.0857	0.9166	0.0118	0.1085	0.9054	0.0233	0.1527	0.8586
pimf	4-4-4	0.0076	0.0870	0.9139	0.0181	0.1344	0.8525	0.0416	0.2040	0.7407
dsigmf	4-4-4	0.0074	0.0860	0.9159	0.0124	0.1114	0.8998	0.0293	0.1712	0.8184
psigmf	4-4-4	0.0074	0.0860	0.9159	0.0124	0.1114	0.8998	0.0293	0.1712	0.8184

Elde edilen sonuçlar baz alınarak en iyi sonucu üreten üyelik fonksiyon tipi ve fonksiyon sayısı gbellmf (4-4-4) kullanılarak ağı eğitilmesi sonucunda ağı eğitim hatası RMSE = 0.0899, test hatası RMSE = 0.0946 ve kontrol hatası RMSE = 0.1278 olarak bulunmuştur.

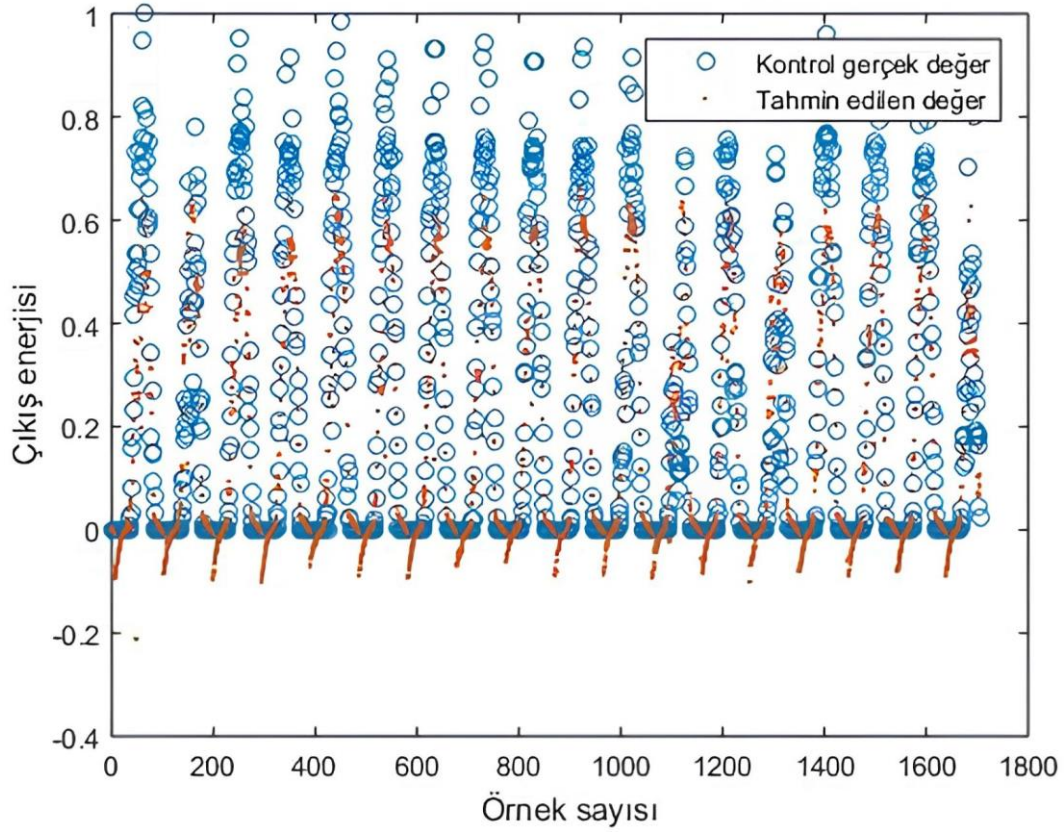
Eğitim, test ve kontrol veri setlerindeki gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerinin ne oranda çakıştığı Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 6. ANFIS uygulaması eğitim veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar



Şekil 7. ANFIS uygulaması test veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar



Şekil 8. ANFIS uygulaması kontrol veri seti için gerçek değerler ve tahmini sonuçlar

ÇKYSA ve ANFIS kullanarak güneş enerjisi santrali çıkış enerjisi tahminlerinden elde edilen performans sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. Tabloda YSA’nın R^2 değeri büyük olmasına rağmen MSE ve RMSE değerinin de büyük olmasının nedeni ANFIS uygulamasında verinin normalize edilmesinden dolayıdır.

Tablo 7. ANFIS ve ÇKYSA yöntemleri için başarımları

Yöntem	R^2	MSE	RMSE
ANFIS	0.9294	0.0089	0.0946
YSA	0.9569	0.1434	0.3786

4. Sonuç

Bu çalışmada, meteorolojik verilere bağlı olarak bir güneş enerji santrali üretim enerjisi tahmini için makine öğrenme tekniklerine dayalı bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada kullanılan veriler Amasya Üniversitesi İpekköy yerleşkesinde kurulu 200kW güneş enerji santrali üretim verileridir. Tahmin algoritması olarak ÇKYSA ve ANFIS yöntemleri kullanılmıştır. Algoritma sonuçlarının karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

ÇKYSA metodu kullanılarak yapılan tahminde en iyi sonucun Levenberg-Marquardt (trainlm) algoritmasıyla elde edildiği belirlenmiştir. ANFIS metodu kullanılarak yapılan tahminde ise en başarılı sonucun melez algoritma ve gbellmf üyelik fonksiyon tipi ile girdi değerleri için 4-4-4 üyelik

fonksiyonun birlikte kullanıldığı modelin ürettiği belirlenmiştir. ÇKYSA uygulaması sonucunda R^2 değeri 0.9569, MSE değeri 0.1434 ve RMSE değeri 0.3786 olarak elde edilmiştir. ANFIS uygulaması sonucunda R^2 , MSE ve RMSE değerleri sırasıyla 0.9294, 0.0089 ve 0.0946 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan ÇKYSA ve ANFIS modelleriyle yapılan tahmin değerlerinin ölçülen değerler ile makul düzeyde yakınsadığı saçılma grafiklerinden görülmüştür. R^2 değeri açısından ÇKYSA, ANFIS metoduna göre daha başarılı performans göstermektedir.

Bu çalışma ile güneş enerjisi santrali çıkış enerjisinin tahmininde ÇKYSA ve ANFIS modellerinin kullanılabilmesi ancak ÇKYSA'nın daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Test sonuçları incelendiğinde modellerin yaptıkları tahmin değerlerinin tutarlı ve güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Farklı jeolojik konumlarda yer alan santraller veya diğer enerji santrallerinde de üretim verileri aynı metotlarla hesaplanabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. Bu araştırma Serdar SOMUNCU'nun Dr. Öğr. Üyesi Canan ORAL danışmanlığında Yüksek Lisans Tezi'nin bir kısmından hazırlanmıştır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Kaynakça

- Abiodun OI., Jantan A., Omolara AE., Dada KV., Mohamed NA., Arshad H. State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey. *Heliyon* 2018; 4(11): 1-41. e00938.
- Dandıl E., Gürgen E. Yapay sinir ağları kullanılarak fotovoltaik panel güç çıkışlarının tahmini ve sezgisel algoritmalar ile karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 16: 146-158.
- Ding S., Li H., Su C., Yu J., Jin F. Evolutionary artificial neural networks: a review. *Artificial Intelligence Review* 2013; 39(3): 251-260.
- Doğancı Ö., Ertürk M., Özsunar A., Arcaklıoğlu E. Orta ve Batı Karadeniz Bölgesi rüzgâr enerjisi tahmin çalışması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* 2016; 5(1): 153-163.
- Gabralı D., Aslan Z. Güneş enerjisi potansiyelinin çoklu lineer regresyon ve yapay sinir ağları ile modellenmesi. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi* 2020; 4(1): 23-36.
- Gardner MW., Dorling SR. Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric environment* 1998; 32(14/15): 2627-2636.
- Gökçe B., Sonugür G. ANFIS ve YSA yöntemleri ile işlenmiş doğal taş üretim sürecinde verimlilik analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2016; 16(1): 174-185.
- Güleç GH., Demirel H. Meteorolojik veriler kullanılarak Kastamonu ili güneşlenme şiddetinin yapay sinir ağları ile tahmini. *Technological Applied Sciences* 2017; 12(3): 114-121.

- Jebli I., Belouadha FZ., Kabbaj MI., Tilioua A. Prediction of solar energy guided by pearson correlation using machine learning. *Energy* 2021; 224(2021): 120109.
- Karaboga D., Kaya E. Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey. *Artificial Intelligence Review* 2019; 52(4): 2263-2293.
- Kaya Ü., Caner M., Oğuz Y. Rüzgâr türbin modelleri kullanarak Kastamonu ili rüzgâr ile elektrik üretim potansiyeli tahmini. *Technological Applied Sciences* 2016; 11(3): 65-74.
- Oral C. Sayısal mamografi görüntülerine yapay zekâ yöntemlerinin uygulanması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, syf no: 118, Samsun, Türkiye, 2011.
- Özcan İ., Şahin ŞA., Dikmen E., Bayram G. Isparta ilinde rüzgâr hızı değerlerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2013; 17(1): 109-112.
- Saray U., Lüy M., Çam E. Amasya ili için yapay sinir ağlarıyla rüzgar hızı tahmini. *Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri Bildiriler Kitabı*, 29 Eylül-1 Ekim 2011, sayfa no: 20-24, Ankara.
- Şahan M., Yüksel O. Akdeniz bölgesine ait meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla güneş enerjisinin tahmini. *Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science* 2016; 11(1): 61-71.
- Şahan M., Yapay sinir ağları ve angström-prescott denklemleri kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş için global güneş radyasyonu tahmini, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 2021,; 16(2): 368-384
- Var H., Türkay BE. Yapay sinir ağları kullanılarak kısa dönem elektrik yükü tahmini. *Elektrik–Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 27-29 Kasım 2014, sayfa no:34-37, Bursa.
- Zaghloul MS., Hamza RA., Iorhemen OT., Tay JH. Comparison of adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) and support vector regression (SVR) for data-driven modelling of aerobic granular sludge reactors. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2020; 8(3): 103742.

Carduus nutans L.'m LC-MS/MS ile Fitokimyasal Analizi, Antioksidan, Antidiyabetik, Antiglukom ve Anti-Alzheimer Etkileri

Leyla GÜVEN^{1*}, Adem ERTÜRK², Buse Sultan TURAN³, Yusuf KAYA⁴

^{1,3}Atatürk Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Botanik Anabilim Dalı, 25240 Erzurum, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 25240 Erzurum, Türkiye

⁴Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 25240 Erzurum, Türkiye

¹ <https://orcid.org/0000-0002-3189-6415>

² <https://orcid.org/0000-0002-1750-1966>

³ <https://orcid.org/0009-0001-1096-0449>

⁴ <https://orcid.org/0000-0003-3702-1895>

*Sorumlu yazar: leyla.guven@atauni.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 30.03.2024

Kabul tarihi: 15.06.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Carduus nutans

Antioksidan aktivite

Enzim inhibisyonu

LC-MS/MS analizi

ÖZ

Carduus nutans L. (Asteraceae), halk arasında “Eşek dikenini” olarak bilinir ve kökleri cüzzam ve kabızlık tedavisinde, yaprakları ise sıtma tedavisinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada *Carduus nutans* metanol ekstraktı (MECN) antioksidan aktivitesi ve enzim inhibisyon etkileri spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Antioksidan deneylerinden üçü Fe^{3+} , Cu^{2+} ve Fe^{3+} -TPTZ indirgeme deneyi olup sırasıyla 20 $\mu g/mL$ ’de ki absorbansları λ_{700} : 0,470, λ_{450} : 0,521 ve λ_{593} : 0,671’dir. Diğer antioksidan deneyleri ise DPPH, ABTS ve DMPD radikalleri süpürme deneyi olup IC_{50} değerleri sırasıyla 115,52 $\mu g/mL$, 37,71 $\mu g/mL$, 85,47 $\mu g/mL$ ’dir. MECN’nin asetilkolinesteraz (AChE), α -glikozidaz (α -gli) ve karbonik anhidraz I-II (KA I-II) enzimlerine karşı inhibisyon etkilerinin IC_{50} değerleri sırasıyla 3,28 $\mu g/mL$, 8,37 $\mu g/mL$, 18,74 $\mu g/mL$ ve 21,83 $\mu g/mL$ ’dir. MECN’nin toplam fenolik madde miktarı 153,83 $\mu g/g$ GAE, toplam flavonoid madde miktarı ise 221,0 $\mu g/g$ KE’dir. Ayrıca MECN’nin LC-MS/MS analizi yapılmış 7,07 $\mu g/g$ fumarik asit, 2,72 $\mu g/g$ kinik asit, 1,09 $\mu g/g$ klorojenik asit majör madde olarak tespit edilmiştir. *C. nutans* metanol ekstraktı yüksek antioksidan aktiviteye sahiptir ve AChE, α -gli ve KA I-II enzimlerine karşı iyi bir inhibisyon etkisine sahiptir.

Phytochemical Analysis of *Carduus nutans* L. via LC-MS/MS, Antioxidant, Antidiabetic, Antiglaucoma and Anti-Alzheimer's Effects

Research Article

Article History:

Received: 30.03.2024

Accepted: 15.06.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Carduus nutans

Antioxidant activity

Enzyme inhibition

LC-MS/MS analysis

ABSTRACT

Carduus nutans L. (Asteraceae) is popularly known as "Eşek dikenini" and its roots are used in the treatment of leprosy and constipation, and its leaves are used in the treatment of malaria. In the study, antioxidant activity and enzyme inhibition effects of *Carduus nutans* methanol extract (MECN) were determined spectrophotometrically. Three of the antioxidant assays are Fe^{3+} , Cu^{2+} and Fe^{3+} -TPTZ reduction experiments, and their absorbances at 20 $\mu g/mL$ are λ_{700} :0,470, λ_{450} : 0,521, and λ_{593} : 0,671, respectively. Other antioxidant assays are DPPH, ABTS and DMPD radical scavenging experiments and IC_{50} values are 115,52 $\mu g/mL$, 37,71 $\mu g/mL$, and 85,47 $\mu g/mL$, respectively. The

IC₅₀ values of the inhibitory effects of MECN against acetylcholinesterase (AChE), α -glucosidase (α -gly) and carbonic anhydrase I-II (CA I-II) are 3,28 μ g/mL, 8,37 μ g/mL, 18,74 μ g/mL, and 21,83 μ g/mL, respectively. The total phenolic substance amount of MECN is 153,83 μ g/g GAE, and total flavonoid substance amount is 221,0 μ g/g QE. Additionally, LC-MS/MS analysis of MECN was performed and 7,07 μ g/g fumaric acid, 2,72 μ g/g quinic acid and 1,09 μ g/g chlorogenic acid were determined as major components. *C. nutans* methanol extract has high antioxidant activity and a good inhibition effect against AChE, α -gly, and CA I- II enzymes.

To Cite: Güven L., Ertürk A., Turan BS., Kaya Y. *Carduus nutans* L.'ın LC-MS/MS ile Fitokimyasal Analizi, Antioksidan, Antidiyabetik, Antiglokem ve Anti-Alzheimer Etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1702-1721.

1. Giriş

Carduus cinsi çok yıllık bir bitki olup Asteraceae (Compositae) familyasına aittir. Asteraceae familyası 32913 tür 1911 cins içerir ve tohumlu bitkiler içerisindeki en büyük familyadır. *Carduus* cinsinin ayırt edici karakteristik özellikleri; yapraklarının diken karakterleri, fillari, involukrum, sipsela, testa, korolla ve papusa ait özellikleridir (Davis, 1970, Kadereit ve Jeffrey, 2007). *Carduus* cinsi Dünya üzerinde 100 Türkiye'de ise 11'i alttörü olan 27 taksaya sahiptir, bu türlerin 9 tanesi endemiktir (*C. lanuginosus*, *C. olympicus* alttür *olympicus*, *C. olympicus* alttür *hypoleucus*, *C. nutans* alttür *trojanus*, *C. nutans* alttür *falcato-incurvus*, *C. onopordioides* alttür *turcicus*, *C. amanus*, *C. acanthoides* alttür *sintenisii*, *C. rechingeranus*) (Al-Shammari ve ark., 2015, Tübives, 2024).

C. nutans L. halk arasında "Eşek dikeni" adıyla bilinir ve Asteraceae familyasının diğer temsilcileri gibi lezzetleri ve biyolojik etkileri nedeniyle geleneksel tıpta yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Türk halk tıbbında karaciğer ve böbrek hastalıklarında, prostatta, bronşitte, cüzzamda, kabızlıkta ve sıtmada tedavi amaçlı kullanılmaktadır (Kozyra ve ark., 2022). Ayrıca bitki antioksidan, antipiretik, hipotansif ve diüretik olarak da tercih edilmektedir (Deliorman Orhan ve ark., 2002, Zheleva-Dimitrova ve ark., 2011). Avrasya kökenli olan *C. nutans* ağırlıklı olarak geleneksel ve modern tıpta idrar söktürücü olarak, karaciğer hastalıklarının tedavisinde, sindirim sistemi rahatsızlıklarının tedavisinde, romatizmal tedavilerde, soğuk algınlığı tedavisinde çiğ olarak veya pişirilerek kullanılmaktadır. Bitki antikanser, antiviral, antispazmotik, antibakteriyel, antiinflamatuvar etkileriyle de bilinmekte ve kullanılmaktadır. *Carduus* cinsine ait bitki türleri fumarik asit, kinik asit, klorojenik asit, luteolin, apigenin, benzoik asit, gallik asit, ferulik asit, rosmarinik asit, p-kumarik asit, naringin gibi fenolik ve flavonoid bileşikler içermektedir (Kozyra ve ark., 2019).

Oksidatif stres, serbest radikallerin vücutta kontrol edilememesiyle artar ve DNA/RNA ve protein gibi bio-relevant moleküller ile reaksiyona girerek hücrede hasara sebep olurlar. Serbest radikaller, en dıştaki atomik orbitallerinde çift oluşturmamış kararsız bileşiklerdir. Antioksidanlar, serbest radikallere elektron vererek onları nötralize eder ve serbest radikallerin yapılarındaki eşlenmemiş elektronu rezonans yapılarında stabilize ederler. Böylece reaktif oksijen türlerinin (ROS) hücreye zarar vermesini engeller. Oksidatif stres, nörodejeneratif, enflamatuvar, kardiyovasküler, immünolojik, endokrinolojik ve onkolojik hastalıklarla ilişkilidir (Bursal ve ark., 2019, Gulcin ve Alwasel, 2023, Koca ve ark., 2023).

Diabetes mellitus (DM), mutlak veya göreceli insülin eksikliğinden kaynaklanan kronik bir metabolizma bozukluğudur. Yemek sonrası veya açlık durumunda hiperglisemi ile karakterizedir ve şiddetli formuna ketozis ve protein kaybı eşlik eder. Ayrıca retinopati, nöropati ve periferik damar yetersizliği gibi komplikasyonlarla da ilişkilidir (Ahamad ve ark., 2011). Yaşam tarzı değişiklikleri ve ekonomik gelişime bağlı olarak diyabet her geçen gün daha sık rastlanılan bir hastalık olmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, 2000-2016 yılları arasında DM sebebiyle erken ölümlerde %5 civarında bir artış olmuş ve DM 2019'da ölüm nedenleri arasında dokuzuncu sıraya gelmiştir (Kaplan ve ark., 2023). DM'de, glukozun bağırsaktan emiliminde ve metabolizmasında etkili olan enzimleri inhibe eden bileşikler tedavide önemli bir rol oynar. α -Glikozidaz, disakkaritleri ve nişastayı parçalayan, ince bağırsağın fırçasmsı sınırında bulunan pankreatik bir enzimdir (Riyaphan ve ark., 2021). α -Glikozidaz enzimlerinin inhibisyonu sayesinde glukoz emilimi geciktirilmekte ve kan şekeri regülasyonu sağlanmaktadır (Karagecili ve ark., 2023b).

Karbonik anhidraz (KA) enzimi, yapısında çinko içeren, su ve karbondioksitin proton ve bikarbonata geri dönüşümlü hidrasyonunu katalize eden, pH regülasyonunu sağlayan bir metalloenzimdir (Güven ve ark., 2023b) mide, göz, böbrek gibi organlarda sıvı dengesini korumaktadır (Şenol ve ark., 2023).

Alzheimer hastalığı (AH), patolojik olarak senil amioid plaklar ve tau fibriller tarafından oluşturulan nörofibriler yumaklar, sinaps hasarı, nöron enflamasyonu, ve beyinde atrofi ile karakterize olan nörodejeneratif hastalıktır (Öztürk ve Karan, 2009, Şenol ve ark., 2023). Hastalık, hafıza kaybı, unutkanlık gibi bilişsel ve zihinsel fonksiyonlarda gerileme, dikkat problemi, konuşma güçlüğü, depresyon, uyku problemi, günlük yaşama uyum sağlayamama gibi klinik bulgularla ortaya çıkmaktadır (Keleş ve Özalevli, 2018). AH, insidansı ve prevalansı 1990'dan 2019 yılına kadar sırasıyla %148 ve %161 artmıştır, 2050 yılına kadar 152 milyon insanın AH'dan mustarip olacağı öngörülmektedir (Li ve ark., 2022). AH oksidatif stres, asetilkolin (ACh) eksikliği, enflamasyon ve varlığı hastalığın ortaya çıkmasıyla bağlantılıdır (Karagecili ve ark., 2023a). Kolinerjik hipoteze göre sinir bilgilerini öğrenme ve kolinerjik aktiviteyi arttıran önemli bir nörotransmitter olan ACh miktarının oluşumu AH'ye sebep olmaktadır (Demir ve Türkan, 2022). Mevcut tedaviler hastalığın ilerlemesini AChE inhibitörü ilaçların kullanılmasıyla durdurmayı ve azaltmayı amaçlamaktadır ancak yeterli değildir (Adali ve ark., 2020).

Oksidatif stresin neden olduğu kanser, AH, DM, glokom, gibi hastalıklarda kullanılacak tıbbi bitkiler ve etkiden sorumlu etken maddelerin keşfi, hastalıkların engellenmesi ve önlenmesi için önemlidir. Bundan dolayı çalışmamızda halk arasında da tıbbi amaçlı kullanılan *Carduus nutans*'ın antioksidan aktivitesinin belirlenmesi, metabolik hastalıklarda muhtemel etkisinin ortaya koyulması ve kimyasal analizinin yapılması amaçlanmaktadır. Yapılan bu çalışmayla literatürde var olan eksiklik *Carduus nutans*'ın biyolojik aktiviteleri ve kimyasal karakterizasyonunun açıklanması ile doldurulacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki Materyali

Carduus nutans L.'ın toprak üstü kısımları 24 Haziran 2018 tarihinde Erzurum Şenyurt köyü, Radar çevresi yol kenarı 40° 10' 23" K 41° 30' 20" D koordinatlarından 2460 m rakımdan Dr. Leyla Güven tarafından toplanmıştır. Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi'nden Prof. Dr. Yusuf Kaya tarafından teşhis edilmiştir. AUEF 1387 herbaryum numarasıyla Atatürk Üniversitesi, Biyoçeşitlilik Bilim Müzesinde kaydedilmiştir. (Şekil 1)



Şekil 1. *Carduus nutans* (Resimleyen Dr. Leyla Güven)

2.2. LC-MS/MS Çalışması

LC-MS/MS, fenolik bileşiklerin kalitatif ve kantitatif analizlerinin gözlemlenebildiği çok fonksiyonlu bir uygulama tekniğidir. Referans standartlar Sigma-Aldrich'ten (Steinheim, Almanya) temin edilmiştir. Amonyum format, formik asit, aseton ve metanol Merck'ten (Darmstadt, Almanya) satın alınmıştır. Ultra saf su elde etmek için Sartorius (Goettingen, Almanya) Arium Pro Ultra saf su sistemi kullanılmıştır. Cihazın UPLC kısmı bir otomatik örnekleyici (Agilent 1260 Infinity G1329B ALS), bir ikili pompa (Agilent 1260 Infinity G1312B (600 bar)), bir gaz giderici (Agilent 1260 Infinity G4225A HiP) ve bir termostatlı kolon (Agilent 1290 Infinity TCC G1316C) dan oluşmaktadır. Fenolik bileşiklerin kromatografik ayırımı 30 °C kolon sıcaklığında, C18 ters faz analitik kolon (Zorbax SB-C18 (4,6x100 mm, 3,5 µm, ABD) üzerinde, % 0,1 formik asit içeren su (A) ve % 0,1 formik asit içeren asetonitrilden (B) oluşan mobil faz karışımının gradient elüsyonu ile gerçekleştirilmiştir. Fenolik bileşikler çoklu reaksiyon izleme (MRM) modu kullanılarak ölçülmüştür. Spesifik öncü fitokimyasalın fragman iyon geçişlerine taranmasına dayanarak, MRM yöntemi fenolik bileşiklerin seçici tespiti ve miktar tayini için optimize edilmiştir. Bütün fenolik bileşikler için 50-1300 m/z kütle aralığında Collision enerjileri optimum fitokimyasal parçalanma ve istenen ürün iyonlarının maksimum iletimi için optimize edilmiştir. Veri toplama işlemini kontrol etmek için Agilent MassHunter Workstation (Agilent)

kullanılmıştır. 30 fenolik bileşik için spesifik polarite $[M - H]^-$ olarak belirlenmiştir (Güven ve ark., 2023a).

2.3. Ekstraksiyon İşlemi

C. nutans toprak üstü kısmı güneş görmeyen ve kuru bir ortamda kurutulmuş ve toz haline getirilmiştir. Ardından 20 gr toz halindeki bitkiye 500 mL metanol ilave edilmiş ve gece boyunca bekletilmiştir. Maserasyondan sonra 25 °C'de 24 saat boyunca karıştırıcı ile ekstrakte edilmiştir. Ekstrakt süzölmüş ve süzöntü alçak basınç altında 40°C'de 120 rpm'de (Heidolph VV2000, Schwabach, Germany) evapore edilmiştir. Elde edilen ekstraktın verimi %16,24'dir ((Elde edilen ekstrakt miktarı/Kuru bitki materyali miktarı)x100). Ekstrakt deney gününe kadar -18 °C'de muhafaza edilmiştir (Miloglu ve ark., 2023).

2.4. Antioksidan Aktivite Deneyleri

2.4.1. $Cu^{2+} - Cu^+$ İndirgeme Kapasitesi (CUPRAC Metodu)

MECN Cu^{2+} indirgeme kapasiteleri Gülçin metodunun küçük bir modifikasyonu ile incelenmiştir (Gülçin, 2008). Bunun için tüplere farklı konsantrasyonlarda (10-30 μ L) hazırlanan MECN ve standartlar pipetlendikten sonra sırasıyla; 0,01 M 500 μ L $CuCl_2$ çözeltisi, $7,5 \times 10^{-3}$ 500 μ L neokuprin çözeltisi ve 500 μ L tampon çözeltisi ilave edilmiştir. Toplam hacmi 4 mL olacak şekilde tüplere distile su eklenmiştir. Üç farklı konsantrasyonda üç tekrar yapılarak ölçüme hazır hale getirilmiştir. Yarım saat karanlıkta inkübe edilmiş ve 450 nm'de köre karşı absorbans değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir (Inci ve ark., 2023).

2.4.2. $Fe^{3+} - Fe^{2+}$ İndirgeme Kapasitesi

$Fe^{3+} - Fe^{2+}$ indirgeme kapasitesi tayini Oyaizu'nun (Oyaizu, 1986, Gulcin, 2020) uyguladığı yöntemin küçük bir modifikasyonu ile gerçekleştirilmiştir (Çakmakçı ve ark., 2023). Deneyde 1 mg/mL'lik konsantrasyonda stok çözelti ve standart çözeltiler (10-30 μ L) deney tüplerine katılmış ve hacmi saf suyla 750 μ L'ye tamamlanmıştır. Her bir tüpe 1 mL fosfat tamponu ve 1 mL %1'lik $[K_3Fe(CN)_6]$ ilave edilerek, 50 °C'de yarım saat inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra tüplere 1 mL TCA ve 250 μ L $FeCl_3$ ilavesi yapıp vorteksle iyice karıştırılmıştır. Üç ayrı konsantrasyonda üç tekrar yapılmıştır. Son olarak köre karşı 700 nm'de absorbans değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

2.4.3. $Fe^{3+} - Fe^{2+}$ TPTZ İndirgeme Kapasitesi (FRAP Metodu)

MECN ve standart çözeltilerin FRAP indirgeme kapasitelerinin tespiti için 10-30 μ L MECN tampon çözelti ile hacimleri 500 μ L'ye tamamlanmıştır. Tüplerinin her birine 2250 μ L $FeCl_3$ çözeltisi, 2250 μ L FRAP çözeltisi eklenmiştir. Tüpler vorteks yardımıyla iyice karıştırılmış, yarım saat karanlıkta bekletilmiş ve ardından absorbans değerleri 593 nm'de ölçülmüştür (Bursal ve ark., 2019).

2.4.4. 1,1-Difenil 2-pikril hidrazil radikali (DPPH) Giderme Kapasitesi

DPPH aktivite tayini Blois metoduna (Blois, 1958) göre modifiye edilerek uygulanmıştır. Deneş tüplerine farklı konsantrasyonlarda ayarlanan (10-30 µL) stok çözeltiler ve standart çözeltiler eklenmiştir. Hacimleri etanol ile 2 mL'ye tamamlanmıştır. Sonrasında numune tüplerine 1 mM'lık DPPH· serbest radikal çözeltisi 500 µL ilave edilmiş ve vorteks yardımıyla iyice karışması sağlanmıştır. Kontrol olarak hazırlanan tüplere 2 mL etanol ve 0,5 mL DPPH· radikal çözeltisi konulmuştur. 30 dakika karanlıkta ve oda sıcaklığında bekletildikten sonra absorbans değerleri 517 nm'de köre karşı okunmuştur. Ekstrelerin DPPH giderme kapasitesi IC₅₀ olarak hesaplanmıştır (Gulcin ve Alwasel, 2023).

2.4.5. 2,2-Azino-bis(3-etilbenzo-tiyazolin-6-sülfonik asit) radikali (ABTS⁺) Giderme Kapasitesi

ABTS⁺ aktivite tayini MECN ve standart çözeltiler farklı konsantrasyonlarda (10-30 µL) tüplere aktarılmış ve hacimler etanol ile tamamlanmıştır. ABTS radikallerini oluşturmak için 2,45 mM persülfat çözeltisi ve 2 mM ABTS çözeltisi karıştırılmıştır. Ardından ABTS⁺⁺ radikalinin absorbansı, 734 nm'de 0,750 ± 0,030 nm'ye ayarlanmıştır. Daha sonra tüm tüplere ABTS⁺⁺ radikal çözeltisi eklenmiş ve vortekslenmiştir. Yarım saat inkübasyon sonunda etanoldan oluşan köre karşı 734 nm'de absorbansları kaydedilmiştir. Ekstrelerin ABTS giderme kapasitesi IC₅₀ olarak hesaplanmıştır (Re ve ark., 1999, Kiziltas ve ark., 2022b).

2.4.6. N, N'-Dimetil-p-fenilendiamin dihidroklorür radikali (DMPD⁺) Giderme Kapasitesi

DMPD⁺ aktivite tayini için MECN ve standart çözeltilerin farklı konsantrasyonları (10-30 µL) distile su ile 0,5 mL'ye tamamlanmıştır. DMPD⁺ radikal katyon çözeltisi 0,2 mL 0.05 M FeCl₃ çözeltisi eklenerek elde edilmiştir. Tüm tüplere radikal DMPD⁺ 1 mL ilave edilmiş ve 20 dakika inkübasyon sonrası 505 nm'de köre karşı ölçüm alınmıştır. Ekstrelerin DMPD giderme kapasitesi IC₅₀ olarak hesaplanmıştır. (Fogliano ve ark., 1999, Güven ve ark., 2024).

2.5. Enzim İnhibisyon Testleri

2.5.1. AChE İnhibisyon Etkilerinin Belirlenmesi

MECN'nin AChE inhibisyon üzerindeki etkisi, spektrofotometrik olarak Ellman metodunun (Ellman ve ark., 1961) modifiye edilmesiyle belirlenmiştir (Kucukoglu ve ark., 2019). Asetilkolin iyodat (AChI) ve 5,5'-Dithio-bis(2-nitro-benzoic) asit (DTNB), enzimatik reaksiyonda kullanılan substratlardır. 100 M, 50 µL Tris/HCl tamponu (pH 8,0), 390 µL numune ve 10 µL AChE karıştırılarak oda sıcaklığında 10 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Ardından, substratları içeren solüsyonların herbirinden 25 µL eklenmiştir. Karışımda DTNB, parçalanma ürünü olan tiyokolinle reaksiyona girmekte, sarı renge sahip 5-tiyo-2-nitrobenzoik asit oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan sarı rengin 412 nm dalga boyunda absorbansı kaydedilmiştir. AChE inhibisyon etkileri IC₅₀ olarak hesaplanmıştır.

3.5.2. α -Glikozidaz İnhibisyon Etkilerinin Belirlenmesi

MECN'nin α -glikozidaz enzim inhibitör etkisi *p*-nitrofenil-D-glikopiranozit (p-NPG) substratı kullanılarak yapılmıştır (Tao ve ark., 2013). İlk olarak, 50 μ L fosfat tamponu (pH 7,4), 10 μ L enzim solüsyonu (0,15 U/mL) ve 20–100 μ L numune karıştırılmıştır. Daha sonra, reaksiyonun başlaması için substrat eklenmiş ve oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. Absorbanslar spektrofotometrik olarak 405 nm'de ölçülmüştür. α -Glikozidaz inhibisyon etkileri IC₅₀ olarak hesaplanmıştır.

3.5.3. KA I-II izoenzimi İnhibisyon Etkisinin Belirlenmesi

MECN'nin KA enzim inhibisyon etki deneyinde, KA I-II izoenzimleri, human eritrositlerinin santirifüj edilmiş ve oluşan serumunun Sepharose-4B-L-Tyrosin-sülfanilamid afinite kromatografi tekniği kullanılarak saflaştırılmasıyla elde edilmiştir. Elde edilen elüatlar 280 nm'de spektrofotometre kontrol edilerek kaydedilmiştir. Enzim inhibisyon etki deneyinde *p*-nitrofenolat substrat olarak kullanılmıştır. Reaksiyon sonucu oluşan *p*-nitrofenolat iyonunun 3 dakikada gerçekleşen absorbans farklılıkları 348 nm'de spektrofotometrik ölçümlerle belirlenmiştir. KA I-II enzim inhibisyon etkileri IC₅₀ olarak hesaplanmıştır. (Göcer ve ark., 2017).

3.6. Toplam Fenolik Tayini ve Flavonoid İçeriklerinin Belirlenmesi

Bitki numunesinin toplam fenolik içerikleri için 0,5 mL bitki ekstraktı, 1 mL Folin-Ciocalteu reaktifi ve 0,5 mL %1 Na₂CO₃ karıştırılmış ve karışım vortekslenmiştir. Oda sıcaklığında, karanlıkta 2 saat bekletildikten sonra 760 nm'de absorbans ölçülmüştür. 1 gr *C. nutans* metanol ekstraktının fenol miktarı, mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak verilmiştir (Singleton ve ark., 1999). Fenolik madde miktarı için kalibrasyon eğrisi denklemi $y = 0,0009x$, $r^2 = 0,9983$ şeklinde hesaplanmıştır.

Toplam flavonoid içeriği tayini için 1,5 mL etanol, 0,5 mL *C. nutans* metanol ekstraktı, %10 1,5 mL Al(NO₃)₃, 0,5 mL, 1 M CH₃COOK ve 2,3 mL distile su karıştırılmıştır. Karışımların absorbansları, oda sıcaklığında 30 dakika inkübasyondan sonra 415 nm'de ölçülmüştür. Standart olarak kuarsetin kullanılmıştır. Flavonoid miktarları ekstraktın gramı başına miligram kuarsetin eşdeğeri (KE)/g olarak hesaplanmıştır (Gulcin ve ark., 2019). Flavonoid madde miktarı için kalibrasyon eğrisi denklemi $y = 0,0031x$, $r^2 = 0,9977$ şeklinde hesaplanmıştır.

3.7. İstatistiksel analiz

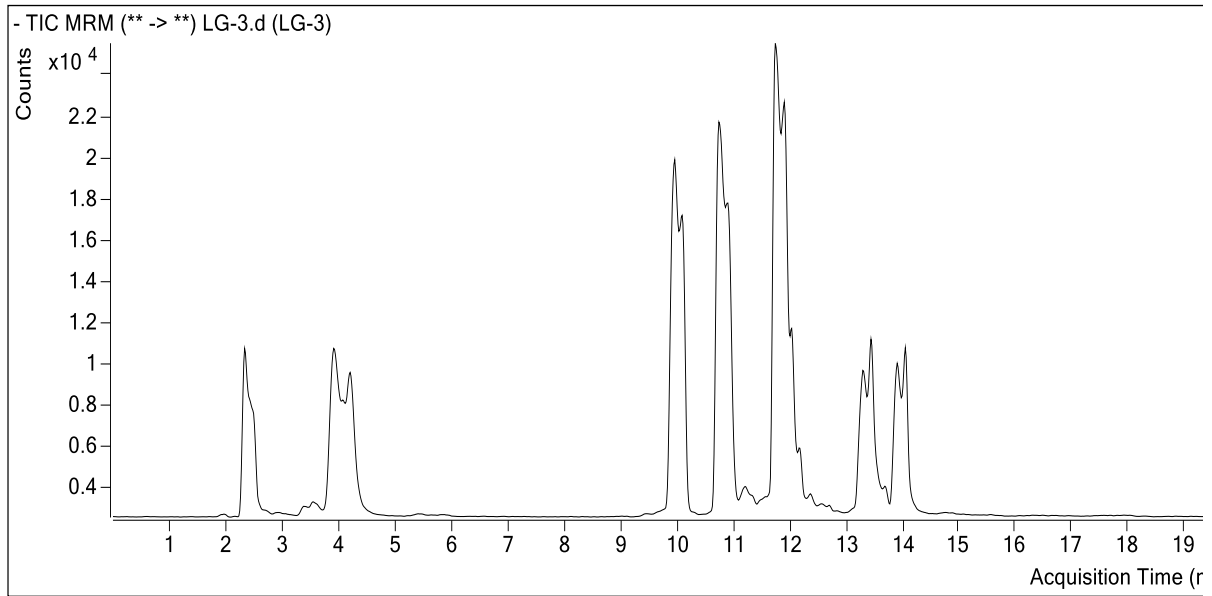
İstatistiksel analizler GraphPad Prism (10.0, demo versiyon) programında tek yönlü ANOVA testi ve post-hoc Tukey testi kullanılarak yapılmıştır. %95 güven aralığında $p < 0,05$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3.Bulgular ve Tartışma

3.1. LC-MS/MS Analiz Sonuçları

MECN'nin LC-MS/MS analizinde 7,07 µg/g fumarik asit; 2,72 µg/g kinik asit; 1,09 µg/g klorojenik asit; 0,077 µg/g luteolin; 0,037 µg/g apigenin; 0,014 µg/g 4-OH-Benzoik asit; 0,008 µg/g gallik asit; 0,006 µg/g ferulik asit; 0,0046 µg/g rosmarinik asit; 0,0014 µg/g *p*-kumarik asit; 0,0005 µg/g naringin bulunmuştur. *C. nutans*'ta majör olarak fumarik asit, kinik asit ve klorojenik asit tespit edilmiştir. LC-MS/MS analizinde MECN'nin kromatogram görüntüsü Şekil 2'de gösterilmiştir.

Carduus türlerinin fenolik bileşiklerinin LC-MS/MS analizi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde farklı içerikler dikkat çekmektedir. Yapılan bir çalışmada *C. pycnocephalus* subsp. *albidus* bitkisinin 10,75 µg/L kinik asit; 0,11 µg/L protokatekuik asit; 6,19 µg/L klorojenik asit; 0,02 µg/L protokatekuik aldehit; 0,02 µg/L kafeik asit; 0,02 µg/L *p*-kumarik asit; 0,07 µg/L salisilik asit; 0,75 µg/L sinarosit; 0,07 µg/L rutin; 0,07 µg/L izokersitrin; 0,03 µg/L hesperidin; 0,36 µg/L kozmosin; 0,84 µg/L astragalin; 0,02 µg/L kuarsetin; 0,13 µg/L naringenin; 0,28 µg/L luteolin; 0,03 µg/L kemferol ve 0,24 µg/L apigenin içerdiği yapılan LC-MS/MS analiz çalışmasında görülmüştür (Yılmaz, 2020). *Carduus* cinslerinin incelendiği diğer bir çalışmada ise izoramnetin-3-glikozit, kemferol-3-ramnoglikozit, luteolin-7-glikozit, luteolin-7-glukuronit, apigenin-7-glikozit, kaempferol-3-rutinozit, kemferol-3-ramnoglikozit, apigenin, luteolin ve beş fenolik asit (neoklorojenik, klorojenik, kafeik, protokatekuik ve *p*-hidroksibenzoik asit) tespit edilmiştir (Kozyra ve ark., 2019).



Şekil 2. Geliştirilen LC-MS/MS yöntemiyle analiz edilen MECN kromatogramı

Majör olarak tespit edilen fumarik asit, trans bütendioik yapısında bir asittir. Fumarik asitin ester bazlı ilaçları multipl skleroz ve sedef hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır (Mrowietz ve ark., 2018). Akçaağaç şurubu üzerinde yapılan bir çalışmada da fumarik asitin antifungal, antioksidatif, antialzheimer, antikanser, antidiyabetik etkileri gözlenmiştir (Akao ve Kurado, 1991, Mohammed ve ark., 2023).

İkinci majör madde olan kinik asit, klorojenik asitin hidrolizi ile oluşan, suda çözünen, sentetik kristalli bir asittir. Büyük ve renksiz prizmalar halinde kristalize olur. Aynı zamanda yeni ilaçların sentezi için de önemli bir bileşiktir. Yapılan çalışmalarda kinik asitin gastrointestinal sistemdeki nikotinamid ve triptofan sentezinde besinsel destek sağladığı görülmüştür. Kinik asit türevlerinin nöroprotektif, antiinflamatuvar ve antioksidan özelliği olduğu bildirilmiştir (Kocaoğlu, 2014).

Üçüncü majör madde olan klorojenik asit, bitkinin yapısında doğal olarak bulunan bir fenolik bileşiktir. Antioksidan, antibakteriyel ve antiviral özellikleri vardır. Kahve, enginar yaprağı, kayısı yaprağı, patlıcan, kivi ve erikte de yaygın olarak bulunmaktadır. Uygun maliyetli ve çevre dostu üretim koşulları olduğu için ilaç endüstrisinde de ilgi görmektedir (Atıcı ve Bulduk, 2020). Akut inflamatuvar ağrı üzerinde antinosiseptif etkisi olduğu ve nöroprotektif olduğu bildirilmiştir (Kocaoğlu, 2014).

Bu çalışmalara göre majör olarak bulunan bu maddeler *C. nutans* bitkisinin benzer özellik göstermesine neden olabilir. Mevcut çalışmada antioksidan ve enzim inhibisyon özelliklerine bakılmış daha ilerleyen çalışmalarda muhtemel diğer farmakolojik özelliklerin de araştırılması gerekmektedir.

3.2. Antioksidan Aktivite

C. nutans metanol ekstraktının (MECN) antioksidan aktivitesi 6 farklı metotla belirlenmiştir, sentetik antioksidanlar ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3A ve 4, Tablo 1’de de görüldüğü gibi MECN etkili bir Fe³⁺-indirgeme yeteneğine sahiptir. MECN’nin ve pozitif kontrollerin Fe³⁺ indirgeme potansiyeli, 700 nm'deki absorbans değerleri 10, 20, 30 µg/mL konsantrasyonlarda ölçülerek belirlenmiş ve 20 µg/mL'de absorbans değerleri şu şekilde sıralanmıştır: BHA (λ₇₀₀: 0,850)> MECN (λ₇₀₀: 0,470)> BHT (λ₇₀₀: 0,417)> Troloks (λ₇₀₀:0,416)> α-Tokoferol (λ₇₀₀: 0,366). MECN ekstraktı 20 µg/mL'de Fe³⁺ indirgeme etkisi pozitif kontrol α-Tokoferol'den anlamlı olarak daha yüksektir (p<0,05), BHT tüm dozlarda ekstrakt ve diğer standart antioksidanlara göre anlamlı olarak farklıdır. (p<0,0001), (Şekil 4).

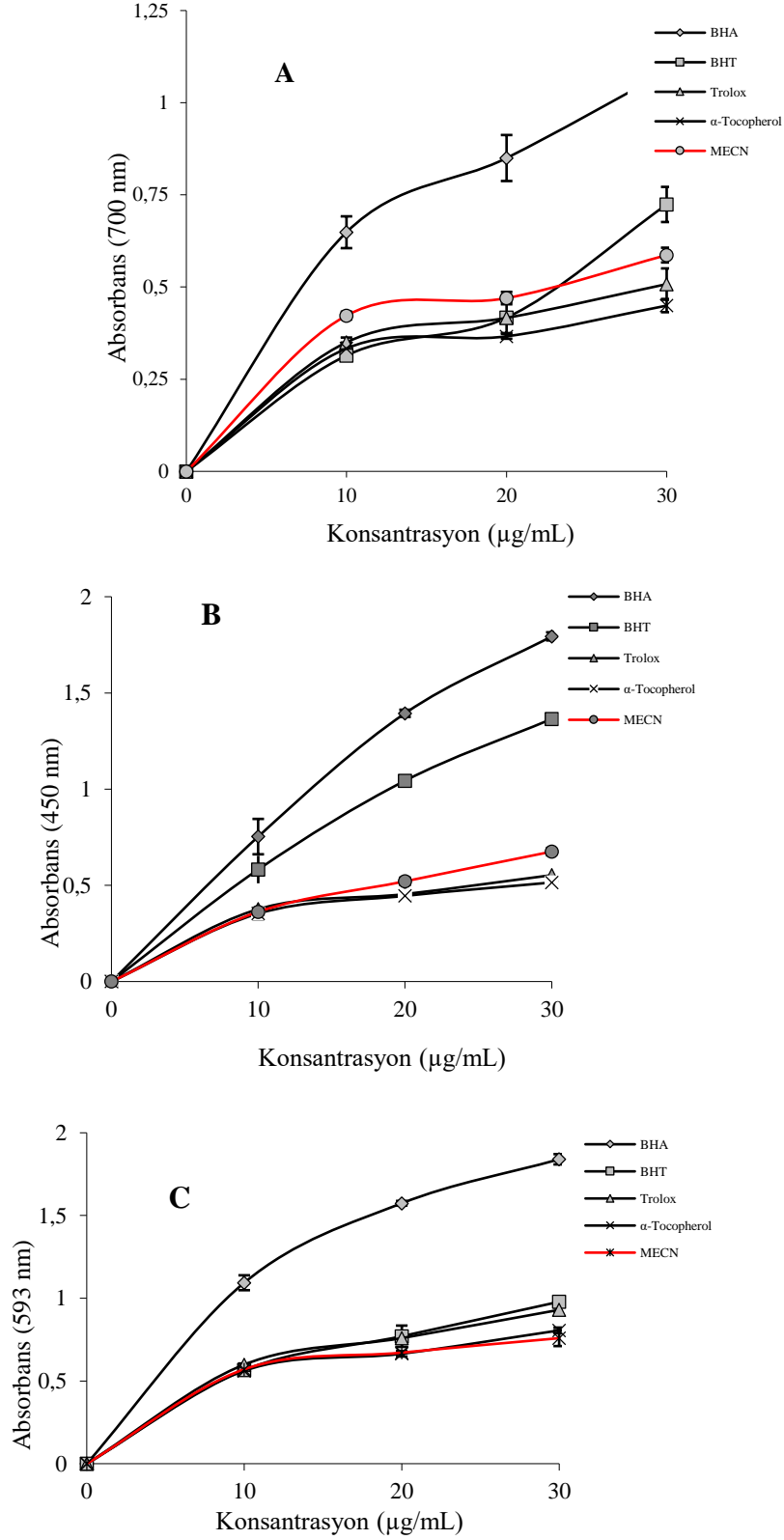
MECN 10-30 µg/mL konsantrasyonlarında bakır iyonlarının (Cu²⁺) indirgeme yeteneği 450 nm'de ölçülmüş ve Cu²⁺ iyonlarının indirgeme kapasitesi, konsantrasyonla orantılı olarak arttığı görülmüştür. 20 µg/mL'deki absorbans değerleri karşılaştırılınca şu şekilde sıralanmıştır: BHA (λ₄₅₀: 1,394)> BHT (λ₄₅₀: 1,044)> MECN (λ₄₅₀: 0,521)> Troloks (λ₄₅₀: 0,455)> α-Tokoferol (λ₄₅₀: 0,445) (Şekil 3B, 4 ve Tablo 1). MECN ekstraktı 20 µg/mL'de Cu²⁺ indirgeme etkisi pozitif kontrol olarak kullanılan α-Tokoferol'den anlamlı olarak daha yüksek çıkmıştır (p<0,05) (Şekil 4).

MECN ve pozitif kontrollerin (20 µg/mL) Fe³⁺-TPTZ azaltıcı etkilerinin de doza bağlı olduğu (10-30 µg/mL) bulunmuştur. MECN ve pozitif kontrollerin Fe³⁺-TPTZ indirgeme yeteneği şu şekilde sıralanmıştır: BHA (λ₅₉₃:1,574)> BHT (λ₅₉₃:0,770)> Troloks (λ₅₉₃:0,759)> MECN (λ₅₉₃:0,671)> α-Tokoferol (λ₅₉₃: 0,665) (Şekil 3C, 4 ve Tablo 1). MECN ekstraktının 20 µg/mL'de Fe³⁺-TPTZ azaltıcı etkisi pozitif kontrol olarak kullanılan Troloks, BHA ve BHT α-Tokoferol'den anlamlı olarak farklıdır (Şekil 4).

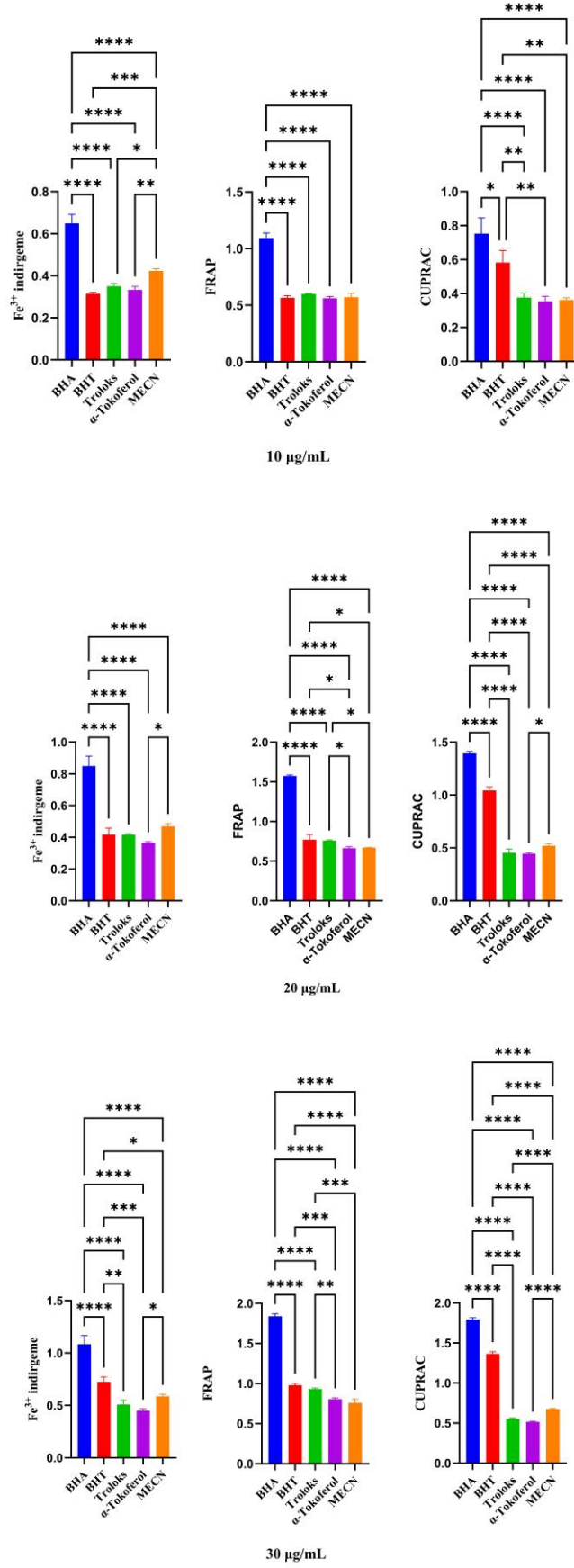
Tablo 1. *C. nutans* metanol ekstraktının ve pozitif kontrollerin 10-30 µg/mL'de Fe³⁺, Cu²⁺, Fe³⁺-TPTZ iyonlarını indirgeme yetenekleri

Antioksidan numuneler	Fe ³⁺ indirgeme			
	10 µg/mL	20 µg/mL	30 µg/mL	r ²
BHA	0,649±0,04	0,850±0,06	1,084±0,08	0,9823
BHT	0,314±0,01	0,417±0,04	0,724±0,04	0,9676
Troloks	0,350±0,01	0,416±0,01	0,508±0,04	0,9677
α-Tokoferol	0,333±0,01	0,366±0,01	0,450±0,01	0,9470
MECN	0,423±0,01	0,470±0,01	0,587±0,04	0,9497
	Cu ²⁺ indirgeme (CUPRAC)			
	10 µg/mL	20 µg/mL	30 µg/mL	r ²
BHA	0,753±0,09	1,394±0,01	1,794±0,02	0,9996
BHT	0,582±0,07	1,044±0,03	1,365±0,02	0,9999
Troloks	0,376±0,02	0,455±0,03	0,553±0,01	0,9712
α-Tokoferol	0,353±0,03	0,445±0,01	0,515±0,01	0,9818
MECN	0,362±0,01	0,521±0,02	0,675±0,01	0,9921
	Fe ³⁺ -TPTZ indirgeme (FRAP)			
	10 µg/mL	20 µg/mL	30 µg/mL	r ²
BHA	1,094±0,04	1,574±0,01	1,840±0,03	0,9960
BHT	0,566±0,01	0,770±0,06	0,979±0,02	0,9875
Troloks	0,599±0,01	0,759±0,01	0,930±0,01	0,9794
α-Tokoferol	0,562±0,01	0,665±0,01	0,806±0,01	0,9670
MECN	0,571±0,03	0,671±0,01	0,759±0,04	0,9703

*BHA: Bütihidroksianisol, BHT: Bütihidroksitoluen, MECN: *Carduus nutans* metanol ekstraktı



Şekil 3. Standart antioksidanların ve MECN'nin **A.** Fe^{3+} indirgeme, **B.** Cu^{2+} indirgeme (CUPRAC) ve **C.** Fe^{3+} -TPTZ indirgeme (FRAP) yetenekleri



Şekil 4. Standart antioksidanların ve MECN'nin Fe³⁺ indirgeme, CUPRAC ve FRAP indirgeme yeteneklerinin istatistiksel olarak kıyaslanması (*: p<0,05, ***: p<0,0002, ****: p<0,0001)

MECN ve standart antioksidanların DPPH serbest radikal süpürme yetenekleri IC₅₀ değerleri hesaplanarak belirlenmiş, konsantrasyon artışı karşısında radikal süpürme yeteneği de arttığı görülmüştür. Düşük IC₅₀ değeri yüksek radikal süpürme kabiliyetini göstermektedir. DPPH[•] radikal temizleme deneyinde, hem ekstraktın hem de standart antioksidanların azalan IC₅₀ değerleri şu şekilde sıralanmıştır: MECN 115,52 µg/mL (r²: 0,9892), BHT 28,88 µg/mL (r²: 0,9893), Troloks 15,75 µg/mL (r²: 0,9763), BHA 8,35 µg/mL (r²: 0,9839) ve α-Tokoferol 5,21 µg/mL (r²: 0,9913). (Şekil 5A ve Tablo 3)

Mevcut çalışmada değerlendirilen ikinci radikal yakalama testi, DMPD^{•+} giderme aktivitesidir. Ekstraktın ve standart antioksidanların konsantrasyona bağlı olarak (10, 20, 30 µg/mL) radikal süpürme aktivitesi belirgin bir şekilde artmıştır. MECN ve standart antioksidanların IC₅₀ değerleri şu şekilde sıralanmıştır: MECN 85,47 µg/mL (r²: 0,9996), BHA 49,51 µg/mL (r²: 0,9816), ve Troloks 27,73 µg/mL (r²: 0,9951) şeklinde hesaplanmıştır. (Şekil 5B ve Tablo 3)

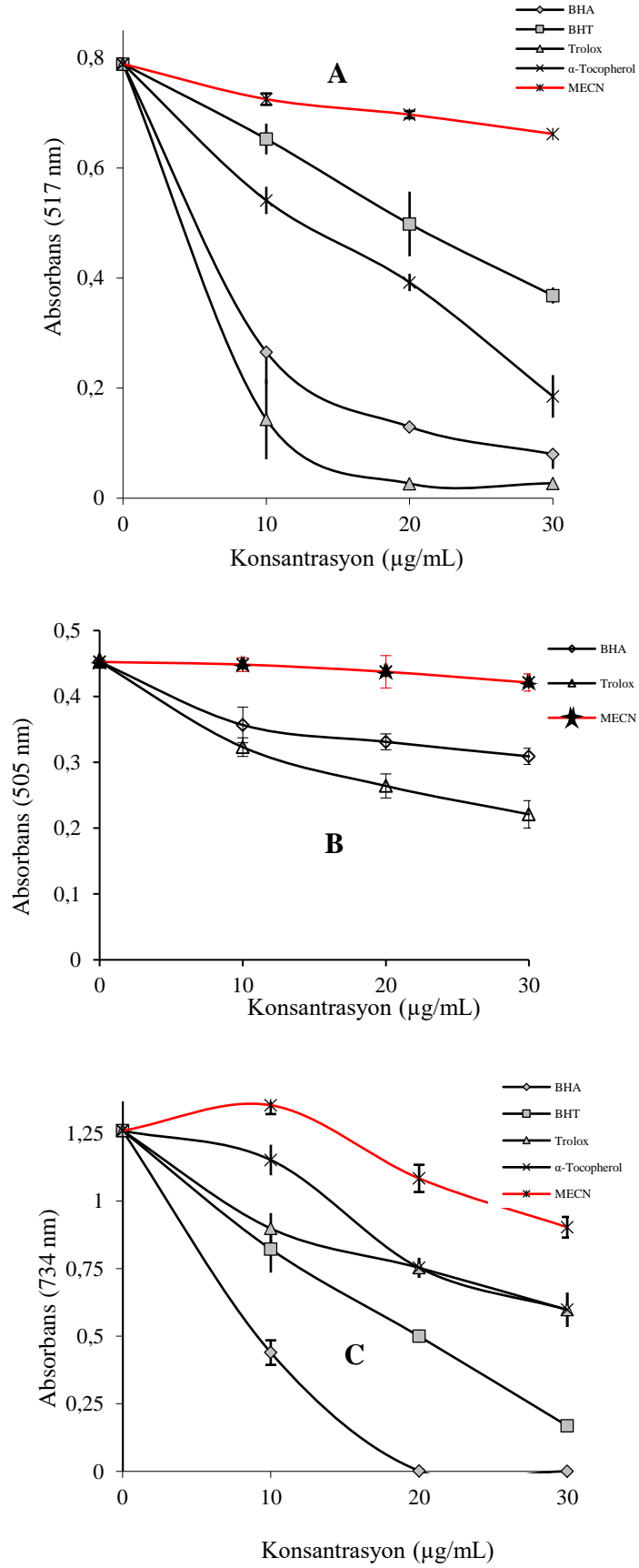
Son olarak çalışmada antioksidan testi olarak MECN'nin ABTS radikal süpürme aktivitesi tespit edilmiştir. MECN ve standart antioksidanların IC₅₀ değerleri şu şekilde sıralanmıştır: MECN 37,71 µg/mL (r²: 0,9105), Troloks 27,51 µg/mL (r²: 0,9516), BHT 15,76 µg/mL (r²: 0,9988), BHA 7,07 µg/mL (r²: 0,9999). (Şekil 5C, Tablo 3). Ayrıca MECN tüm radikal süpürme deneylerine göre standart antioksidanlara göre anlamlı olarak farklıdır (p<0,0001).

Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde diğer *Carduus* türlerinin de etkili antioksidan aktivitelere sahip olduğu görülmüştür. Zheleva-Dimitrova ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada beş farklı *Carduus* türü üzerinde antioksidan özellik araştırılmıştır. Türlerin DPPH süpürme aktivitelerinin %95,6 -%91,4 arasında, ABTS süpürme aktivitelerinin %97,0-%89,3 arasında ve FRAP indirgeme yeteneklerinin 86,4-114,0 mM TE/g kuru ağırlık arasında olduğu bildirilmiştir. Kozyra ve ark. (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise *Carduus* cinslerinin metanol ekstraktlarının DPPH radikal giderme aktivitesinin EC₅₀ = 0,46 mg/mL- 0,80 mg/mL olduğu bildirilmektedir. Çalışmalar farklı parametreler üzerinden değerler verildiği için mevcut çalışma ile kıyaslama zor olsa da *C. nutans*'ın diğer türlere göre iyi bir antioksidan aktiviteye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Tablo 3. *C. nutans* metanol ekstraktı ve pozitif kontroller için DPPH[•], ABTS^{•+} ve DMPD^{•+} süpürme yeteneği için IC₅₀ (µg/mL) değerleri.

Antioksidanlar	DPPH [•] süpürücü etki		ABTS ^{•+} süpürücü etki		DMPD ^{•+} süpürücü etki	
	IC ₅₀	r ²	IC ₅₀	r ²	IC ₅₀	r ²
BHA	8,35	0,9839	7,07	0,9999	49,51	0,9816
BHT	28,88	0,9893	15,76	0,9988	-	-
α-Tokoferol	5,21	0,9913	24,43	0,9893	-	-
Troloks	15,75	0,9763	27,51	0,9516	27,73	0,9951
MECN	115,52*	0,9892	37,71*	0,9105	85,47*	0,9996

*BHA: Bütilhidroksianisol, BHT: bütilhidroksitoluen, MECN: *Carduus nutans* metanol ekstraktı
*MECN standart antioksidanlara göre anlamlı olarak farklıdır (p<0,0001).



Şekil 5. *C. nutans* metanol ekstraktı ve pozitif kontrollerin radikal süpürücü etkileri. **A.** DPPH[•] süpürme yeteneği, **B.** DMPD^{•+} süpürme yeteneği, **C.** ABTS^{•+} süpürme yeteneği

3.2. Toplam Fenolik ve Flavonoid İçeriği

MECN fenolik ve flavonoid bileşiklerin toplam miktarı sırasıyla 153,83 µg/g gallik asit eşdeğeri (GAE) ve 221,0 µg/g kuarsetin eşdeğeri (KE) olarak belirlenmiştir.

Carduus türlerinin etanol ekstraktlarının fenolik bileşiklerin toplam miktarının araştırıldığı bir çalışmada 8,34-10,26 mg/g kuru ekstrakt gallik asit eşdeğeri (GAE) bildirilmektedir (Dimitrova-Dyulgerova ve ark., 2015).

3.3. Enzim İnhibisyon Çalışmaları

Mevcut çalışmada MECN'nin α-glikozidaz, AChE ve KA I-II enzimlerine karşı inhibisyon etkilerinin IC₅₀ değerleri, grafik çizilerek hesaplanmış ve Tablo 4'de gösterilmiştir. MECN'nin sindirim enzimlerinden biri olan α-glikozidaz enzimine karşı inhibisyon etkisinin IC₅₀ değeri 8,37 µg/mL (r²: 0,9987), pozitif kontrol olarak kullanılan akarbozun IC₅₀ değeri ise 22800 nM (r²: 0,9922) olarak hesaplanmıştır. MECN pozitif kontrollere göre anlamlı olarak farklıdır (p<0,0001). DM'yi önlemede etkili yaklaşımlardan birinin α-glikozidaz ve α-amilaz enzim inhibisyonu olduğu bilinmektedir. *C. lanuginosus*'un farklı ekstraktları üzerinde yapılan bir çalışmada tip 2 diyabetin anahtar enzimlerini inhibe ettiği görülmüştür. Veriler ekstraktların güçlü bir α-amilaz (50,7–190,8 mmol ACAE/g ekstrakt) ve α-glikozidaz (2,7–8,8 mmol ACAE/g ekstrakt) inhibitör etkileri olduğunu göstermiştir (Özcan, 2021).

Her geçen gün artan yaşlı nüfus ve beraberinde getirdiği AH insidansındaki yükseklik bu hastalığa karşı alternatif, yeni kaynakların bulunmasını gerekli kılmaktadır. MECN'nin AChE enzimine karşı inhibisyon etkisi IC₅₀ değeri 3,28 µg/mL (r²: 0,9934)'dir ve Tablo 4'te gösterilmiştir. MECN pozitif kontrollere göre anlamlı olarak farklıdır (p<0,0001). Sonuçlar MECN'nin AH için yeni alternatif bir ürün olması yönünde ümit vermektedir.

Vücudumuzun birçok metabolik faaliyetinde görev alan, pH'yı ayarlayan, kemik rezorbsiyonunu sağlayan, vücut iç basıncını dengeleyen KA enzimi fazla çalıştığında glokom, epilepsi, obezite, kanser gibi hastalıklara sebep olabilmektedir (Taslimi ve ark., 2016, Supuran, 2018). Sistemik karbonik anhidraz inhibitörü ilaçlar çeşitli yan etkilere sahiptir. Bundan dolayı yeni KA I-II inhibitörü ilaçlara ekonomik ve daha etkili doğal ürünlerin eklenmesi gerekmektedir (Scozzafava ve Supuran, 2014). Mevcut çalışmada MECN etkili bir KA I-II inhibisyon etkisine sahip olduğu, hesaplanan IC₅₀ değerleriyle Tablo 4'te gösterilmiştir. KA I enzim inhibisyonunda MECN'nin IC₅₀ değeri 18,74 µg/mL (r²: 0,9896) ve pozitif kontrol olarak kullanılan Asetazolamitin 99,00 nM (r²: 0,9825) gibi IC₅₀ değerlerine sahiptir. KA-II enzim inhibisyonunda MECN'nin IC₅₀ değeri 21,83 µg/mL (r²: 0,9938) ve pozitif kontrol olarak kullanılan Asetazolamitin 87,95 nM (r²: 0,9940) gibi IC₅₀ değerlerine sahiptir. MECN pozitif kontrollere göre anlamlı olarak farklıdır (p<0,0001).

Tablo 4. MECN α -glikozidaz (α -Gli), asetilkolinesteraz (AChE), karbonik anhidraz I-II (KA I-II) izoenzimlerine karşı inhibitör değerleri

Numuneler	IC ₅₀							
	AChE	r ²	α -Gli	r ²	KA I	r ²	KA II	r ²
MECN (μ g/mL)	3,28*	0,9934	8,37*	0,9987	18,74*	0,9896	21,83*	0,9938
Asetazolamit ^a (nM)	-	-	-	-	99,00	0,9825	87,95	0,9940
Takrin ^b (nM)	5,97	0,9706	-	-				
Akarboz ^c (nM)	-	-	22800	0,9922				

MECN: *Carduus nutans* metanol ekstraktı, ^a KA I ve KA II inhibisyonu için pozitif kontrol (Kiziltas ve ark., 2022a), ^b AChE inhibisyonu için pozitif kontrol (Kiziltas ve ark., 2022a), ^c α -gli inhibisyonu için pozitif kontrol (Durmaz ve ark., 2022), *MECN pozitif kontrollere göre anlamlı olarak farklıdır (p<0,0001).

4. Sonuçlar

Carduus türleri tıbbi etkileri nedeniyle ve zengin doğal içeriğiyle yüzlerce yıldır geleneksel olarak kullanılmaktadır. *C. nutans* toprak üstü kısımlarının metanol ekstraktında LC-MS/MS analizine göre fumarik asit, kinik asit, klorojenik asit, luteolin, apigenin, 4-OH-benzoik asit, gallik asit, ferulik asit, rosmarinik asit, *p*-kumarik asit tespit edilen bileşenlerdir. Yapılan çalışmayla, *C. nutans*'ın fenolik bileşikler açısından zengin olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, *C. nutans* metanol ekstraktının antioksidan aktivitesi, indirgeme gücü ve radikalleri temizleme yetenekleriyle gösterilmiştir. Bunun yanında AChE, α -glikozidaz ve KA I-II gibi çeşitli enzimleri inhibe ettiği ortaya koyulmuştur. *C. nutans*, içerdiği fenolik ve flavonoidler sayesinde sık görülen DM, AH ve glokom gibi nörodejeneratif, hormonal ve metabolik hastalıkların tedavisinde, ayrıca gıda ve ilaç endüstrisinde doğal bir ürün olarak kullanılabilceği düşünülmektedir. Biyolojik aktivitelerinin detaylı bir şekilde ilk kez değerlendirilmesinin yanında *C. nutans*'ın ümit vaat eden biyolojik aktivitesinin potansiyel mekanizmalarının keşfedilmesi ve aktivitelerden sorumlu sekonder bileşiklerin fenolik, non-fenolik bileşiklerin sinerjistik etkisinin sonucu mu olduğu ilerleyen çalışmalarda *in vivo*, *in vitro* ve *in silico* aydınlatılmalıdır.

Teşekkür

Çalışmanın yapılmasında danışmanlık yapan ve laboratuvar imkanlarının kullanılmasını sağlayan Prof. Dr. İlhami Gülçin'e teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Adali A., Yirün A., Koçer Gümüsel B., Erkekoğlu Ü. The possible effects of biological agents on the development of Alzheimer's disease. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University* 2020; 44(1): 167-187.
- Ahamad J., Naquvi KJ., Mir SR., Ali M., Shuaib M. Review on role of natural α -glucosidase inhibitors for management of diabetes mellitus. *International Journal of Biomedical Research* 2011; (2): 374-380.
- Akao M., Kuroda K. Antifungal activity of fumaric acid in mice infected with *Candida albicans*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 1991; 39(11): 3077-3078.
- Al-Shammari LA., Hassan WHB., Al-Youssef HM. Phytochemical and biological studies of *Carduus pycnocephalus* L. *Journal of Saudi Chemical Society* 2015; 19(4): 410-416.
- Atıcı Y., Bulduk İ. Optimization the ultrasonic assisted extraction of chlorogenic acid from the artichoke (*Cynara Scolymus*) leaf with response surface methodology and total phenolic contents. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry* 2020; 48(2): 147-157.
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 1958; 181(4617): 1199-1200.
- Bursal E., Aras A., Kılıç Ö., Taslimi P., Gören AC., Gülçin İ. Phytochemical content, antioxidant activity, and enzyme inhibition effect of *Salvia eriophora* Boiss. & Kotschy against acetylcholinesterase, α -amylase, butyrylcholinesterase, and α -glycosidase enzymes. *Journal of Food Biochemistry* 2019; 43(3): e12776.
- Çakmakçı S., Gülçin İ., Gündoğdu E., Ertem Öztekin H., Taslimi P. The comparison with commercial antioxidants, effects on colour, and sensory properties of green tea powder in butter. *Antioxidants* 2023; 12(8): 1522.
- Davis PH. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press 1970; 3.
- Deliorman Orhan D., Yeşilada E., Ergun F., Tsuchiya K., Takaishi Y. The antioxidant activity of the extracts and fractions from *Carduus nutans* L. *Gazi Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi* 2002; 19: 61-66.
- Demir Z., Türkan F. Asetilkolinesteraz ve bütirikolinesteraz enzimlerinin alzheimer hastalığı ile ilişkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2022; 12(4): 2386-2395.
- Dimitrova-Dyulgerova I., Zhelev I., Mihaylova D. Phenolic profile and in vitro antioxidant activity of endemic Bulgarian *Carduus* Species. *Pharmacognosy Magazine* 2015; 11(4): S575-579.
- Durmaz L., Kiziltas H., Guven L., Karagecili H., Alwasel S., Gulcin İ. Antioxidant, antidiabetic, anticholinergic, and antiglaucoma effects of magnoflorine. *Molecules* 2022; 27(18): 5902.
- Ellman GL., Courtney KD., Andres V., Featherstone R.M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology* 1961; 7(2): 88-95.

- Fogliano V., Verde V., Randazzo G., Ritieni A. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1999; 47(3): 1035-1040.
- Göcer H., Akıncioğlu A., Göksu S., Gülçin İ. Carbonic anhydrase inhibitory properties of phenolic sulfonamides derived from dopamine related compounds. *Arabian Journal of Chemistry* 2017; 10(3): 398-402.
- Gulcin I., Kaya R., Goren A.C., Akincioglu H., Topal M., Bingol Z., Cetin Çakmak K., Ozturk Sarikaya SB., Durmaz L., Alwasel S. Anticholinergic, antidiabetic and antioxidant activities of cinnamon (*Cinnamomum verum*) bark extracts: polyphenol contents analysis by LC-MS/MS. *International Journal of Food Properties* 2019; 22(1): 1511-1526.
- Gulcin İ. Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of Toxicology* 2020; 94(3): 651-715.
- Gulcin İ., Alwasel S.H. DPPH radical scavenging assay. *Processes* 2023; 11(8): 2248.
- Gulçin I. Measurement of antioxidant ability of melatonin and serotonin by the DMPD and CUPRAC methods as trolox equivalent. *Journal Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry* 2008; 23(6): 871-876.
- Güven L., Erturk A., Koca M., Gulcin I. Phenolic compounds of *Phlomis tuberosa* by LC-MS/MS-determination of antioxidant activity, molecular docking, and enzyme inhibition profiles. *ChemistrySelect* 2023a; 8(48): e202303101.
- Güven L., Erturk A., Miloğlu FD., Alwasel S., Gulcin İ. Screening of antiglaucoma, antidiabetic, anti-alzheimer, and antioxidant activities of *Astragalus alopecurus* Pall—analysis of phenolics profiles by LC-MS/MS. *Pharmaceuticals* 2023b; 16(5): 659.
- Güven L., Ertürk A., Yılmaz MA., Alwasel S., Gülçin İ. *Alchemilla pseudocartalinica* Juz: phytochemical screening by UPLC-MS/MS, molecular docking, anti-oxidant, anti-diabetic, anti-glaucoma, and anti-Alzheimer effects. *Records of Natural Products* 2024; 18(2): 251-272.
- Inci H., Izol E., Yılmaz MA., İlkaya M., Bingöl Z., Gülçin I. Comprehensive phytochemical content by LC/MS/MS and anticholinergic, antiglaucoma, antiepilepsy, and antioxidant activity of apilarnil (*Drone Larvae*). *Chemistry & Biodiversity* 2023; 20(10): e202300654.
- Kadereit JW., Jeffrey C. *The families and genera of vascular plants*, Springer 2007.
- Kaplan ABU., Cetin M., Bayram C., Yildirim S., Taghizadehghalehjoughi A., Hacimuftuoglu A. *In vivo* evaluation of nanoemulsion formulations for metformin and repaglinide alone and combination. *Journal of Pharmaceutical Sciences* 2023; 112(5): 1411-1426.
- Karagecili H., İzol E., Kirecci E., Gulcin İ. Determination of antioxidant, anti-alzheimer, antidiabetic, antiglaucoma and antimicrobial effects of zivzik pomegranate (*Punica granatum*) -; A chemical profiling by LC-MS/MS. *Life* 2023a; 13(3): 735.

- Karagecili H., Yılmaz MA., Ertürk A., Kiziltas H., Güven L., Alwaseel SH., Gulcin İ. Comprehensive metabolite profiling of Berdav propolis using LC-MS/MS: determination of antioxidant, anticholinergic, antiglaucoma, and antidiabetic effects. *Molecules* 2023b; 28(4): 1739.
- Keleş E., Özalevli S. Alzheimer's disease and treatment approaches. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi* 2018; 3(2): 39-42.
- Kiziltas H., Bingol Z., Goren AC., Pinar S.M., Ortaakarsu AB., Alwaseel SH., Gulcin İ. Comprehensive metabolic profiling of *Acantholimon caryophyllaceum* using LC-HRMS and evaluation of antioxidant activities, enzyme inhibition properties and molecular docking studies. *South African Journal of Botany* 2022a; 151: 743-755.
- Kiziltas H., Goren AC., Alwaseel SH., Gulcin İ. Sahlep (*Dactylorhiza osmanica*): Phytochemical analyses by LC-HRMS, molecular docking, antioxidant activity, and enzyme inhibition profiles. *Molecules* 2022b; 27(20): 6907.
- Koca M., Gülçin İ., Üç EM., Bilginer S., Aydın AS. Evaluation of antioxidant potentials and acetylcholinesterase inhibitory effects of some new salicylic acid-salicylamide hybrids. *Journal of the Iranian Chemical Society* 2023; 20(7): 1535-1543.
- Kocaoğlu E. Kinik asidin sitotoksik/genotoksik ve antigenotoksik etkilerinin sağlıklı akciğer epitel hücre hatlarında belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi sayfa no:8, Bursa, Türkiye, 2014.
- Kozyra M., Komsta Ł., Wojtanowski K. Analysis of phenolic compounds and antioxidant activity of methanolic extracts from inflorescences of *Carduus* sp. *Phytochemistry Letters* 2019; 31: 256-262.
- Kozyra M., Kukula-Koch W., Szymański M. Phenolic composition of inflorescences of *Carduus nutans* L. *Chemistry & Biodiversity* 2022; 19(3): e202100827.
- Kucukoglu K., Gul H.I., Taslimi P., Gulcin I., Supuran CT. Investigation of inhibitory properties of some hydrazone compounds on hCA I, hCA II and AChE enzymes. *Bioorganic Chemistry* 2019; 86: 316-321.
- Li X., Feng X., Sun X., Hou N., Han F., Liu Y. Global, regional, and national burden of Alzheimer's disease and other dementias, 1990–2019. *Frontiers in Aging Neuroscience* 2022; 14.
- Miloglu FD., Akpınar A., Güven L., Demirkaya AK., Gundogdu G., Nalcı KA., Hacimuftuoglu A. Evaluation the effects of *Helichrysum plicatum* subsp. *pseudoplicatum* on an *in-vitro* wound model using human dermal fibroblast cells. *International Journal of Low Extremity Wounds* 2023; 22(2): 401-408.
- Mohammed F., Sibley P., Abdulwali N., Guillaume D. Nutritional, pharmacological, and sensory properties of maple syrup: A comprehensive review. *Heliyon* 2023.
- Mrowietz U., Morrison P.J., Suhrkamp I., Kumanova M., Clement B. The pharmacokinetics of fumaric acid esters reveal their *in vivo* effects. *Trends in Pharmacological Sciences* 2018; 39(1): 1-12.

- Oyaizu M. Studies on products of browning reaction antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics* 1986; 44(6): 307-315.
- Özcan K. Determination of biological activity of *Carduus lanuginosus*: an endemic plant in Turkey. *International Journal of Environmental Health Research* 2021; 31(1): 45-53.
- Öztürk GB., Karan MA. Physiopathology of Alzheimer's disease. *Klinik Gelişim* 2009; 22(3): 36-45.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 1999; 26(9): 1231-1237.
- Riyaphan J., Pham DC., Leong MK., Weng CF. *In silico* approaches to identify polyphenol compounds as α -glucosidase and α -amylase inhibitors against type-II Diabetes. *Biomolecules* 2021; 11(12): 1877.
- Scozzafava A., Supuran CT. Glaucoma and the applications of carbonic anhydrase inhibitors. In: Frost S., McKenna R. (eds). *Carbonic anhydrase: mechanism, regulation, links to disease, and industrial applications*. Subcellular Biochemistry, Dordrecht: Springer 2014; 75, 349-359.
- Singleton VL., Orthofer R., Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In: Packer L. (ed.). *Oxidants and antioxidants, part A. Methods in Enzymology*, New York: Academic Press 1999; 299, 152-178.
- Supuran CT. Carbonic anhydrases and metabolism. *Metabolites* 2018; 8(2): 25.
- Şenol H., Çelik Turgut G., Şen A., Sağlamtaş R., Tuncay S., Gülçin İ., Topçu G. Synthesis of nitrogen-containing oleanolic acid derivatives as carbonic anhydrase and acetylcholinesterase inhibitors. *Medicinal Chemistry Research* 2023; 32(4): 694-704.
- Tao Y., Zhang Y., Cheng Y., Wang Y. Rapid screening and identification of α -glucosidase inhibitors from mulberry leaves using enzyme-immobilized magnetic beads coupled with HPLC/MS and NMR. *Biomedical Chromatography* 2013; 27(2): 148-155.
- Taslimi P., Gulcin I., Ozgeris B., Goksu S., Tumer F., Alwasel SH., Supuran CT. The human carbonic anhydrase isoenzymes I and II (hCA I and II) inhibition effects of trimethoxyindane derivatives. *Journal of Enzyme Inhibition Medicinal Chemistry* 2016; 31(1): 152-157.
- Tübives. *Carduus* sp." Retrieved 16.05.2024, 2024, from <http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=karsilastir>.
- Yilmaz MA. Simultaneous quantitative screening of 53 phytochemicals in 33 species of medicinal and aromatic plants: A detailed, robust and comprehensive LC–MS/MS method validation. *Industrial Crops and Products* 2020; 149: 112347.
- Zheleva-Dimitrova D., Zhelev I., Dimitrova-Dyulgerova I. Antioxidant activity of some *Carduus* species growing in Bulgaria. *Free Radicals and Antioxidants* 2011; 1(4): 15-20.

Hidrojenasyon Reaksiyonlarında Polimer Elektrodun Etkisinin İncelenmesi

Rukan SUNA KARATEKİN^{1*}, Fatih KÖLELİ²

^{1,2}Mersin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 33230, Mersin

¹<https://orcid.org/0000-0003-3052-1539>

²<https://orcid.org/0000-0002-0165-9582>

*Sorumlu yazar: rukansuna@mersin.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 11.03.2024

Kabul tarihi: 07.07.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Hidrojen oluşumu

Metal destekli elektrot

Polianilin

Elektrokimyasal impedans

spektroskopisi

Tafel polarizasyon eğrisi

Son yapılan elektrokimyasal hidrojenasyon çalışmalarında iletken polimerler yaygın olarak kullanılsa da reaksiyona nasıl bir katkıda buldukları tam olarak aydınlatılmamıştır. Bu çalışmada iletkenliği ve kararlılığı yüksek olan doplanmış polianilin metal desteksiz olarak elektrot haline getirilip, hidrojenasyon tepkimelerinde rol alan adsorbe hidrojen atomunu (Had) oluşturma performansı incelenmiştir. Bu mekanizma Dönüşümlü Voltametri (CV), Tafel polarizasyon eğrisi ve Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi (EİS) ile incelenmiştir. Kaydedilen veriler doğrultusunda hidrojen oluşumunun yavaş ve kontrollü gerçekleştiği elde edilen Tafel eğimi değerinden (486 mV/dec) anlaşılmıştır. Adsorbe hidrojen atomunun oluşum kinetiği, EİS yöntemi kullanılarak farklı potansiyelerde kaydedilen Nyquist eğrilerinin simülasyonu ile aydınlatılmaya çalışılmıştır. CO₂, N₂ gibi kararlı moleküllerin daha düşük enerji girdisi ile dönüşümlerinin gerçekleşmesinin polimerin yavaş hidrojen çıkarması özelliğinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Hazırlanan elektrodun Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Yüzey Alan Ölçümü (BET) analizi ile karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Investigations of the Effect of Polymer Electrode in Hydrogenation Reactions

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 11.03.2024

Accepted: 07.07.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Hydrogen evolution

Non supported metal electrode

Polyaniline

Electrochemical impedance

spectroscopy

Tafel polarization curve

Although conductive polymers have been widely used in recent electrochemical hydrogenation studies, it has not been fully clarified how they contribute to the reaction. Herein, doped polyaniline, which has high conductivity and stability, was turned into an electrode without metal support and its adsorbed hydrogen atom generation performance was examined. This mechanism was investigated by cyclic voltammetry, Tafel polarization curve, and electrochemical impedance spectroscopy. Through the analysis results, it was determined that hydrogen formation occurred slowly and in a controllable thanks to the obtained Tafel slope value (480 mV/dec). Adsorbed hydrogen atom evolution kinetics were tried to be elucidated by simulating Nyquist curves recorded at different potentials using the EIS method and it has been understood that the transformation of stable molecules such as CO₂ and N₂ with lower energy input is due to the slow hydrogen release feature of the polymer. The prepared electrode was characterized by SEM (Scanning Electron Microscopy) and BET (Brunauer-Emmett-Teller) analysis.

To Cite: Suna Karatekin R., Köleli F. Hidrojenasyon Reaksiyonlarında Polimer Elektrodun Etkisinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1722-1733.

1. Giriş

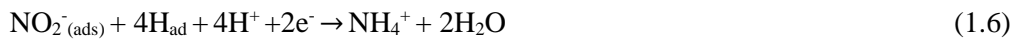
Son yıllarda, hidrojen geleceğin enerji yakıtı olarak değerlendirildiğinden hidrojen oluşum reaksiyonu (HER) çoğu araştırmacılar tarafından yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Bu uygulamada hidrojenin birim

zamanda yüksek miktarlarda eldesi amaçlanmaktadır (Li ve ark., 2020, Kayan ve ark, 2022). Bu amaç doğrultusunda sürekli yeni katalizörler denenmektedir. Diğer taraftan bazı reaksiyonlar için hidrojenin bu kadar hızlı çıkışı istenmeyen bir durumdur. Özellikle π -elektronları ile zengin CO_2 , N_2 ve NO_3^- iyonunun hidrojenasyonunda kontrollü (yavaş) bir hidrojen çıkışı tercih edilmektedir (Çirimi ve ark., 2015; Lymperi ve ark., 2023).

Bugüne kadar yapılan hidrojenasyon çalışmalarında polimerler barındırdıkları heteroatomlar sebebi ile yukarıda bahsedilen maddeleri kolayca adsorplayabildikleri raporlanmıştır (Jun ve ark., 2022; Guo ve ark., 2023). Diğer taraftan örneğin polianilin ile kaplanmış Pt elektrodun yalnız Pt elektroda kıyasla daha düşük negatif değerlerde ve daha yüksek faradaik verimlerde karbondioksiti indirgendiği gözlenmiştir. Araştırmacılar bu sonucun CO_2 'in direkt elektron alarak indirgenmesi ile mümkün olamayacağını belirtmişlerdir. Dönüşümün düşük negatif değerlerde gerçekleşmesi CO_2 moleküllerinin hidrojenasyonu ile mümkün olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Belirtilen bu hidrojenasyon reaksiyonu için önerilen mekanizma şu şekildedir;



Mekanizmadan da anlaşıldığı üzere H_{ad} oluşumu karbondioksitin indirgenerek formik asite dönüşümünü sağlamaktadır. Diğer taraftan Çirimi ve ark., NO_3^- iyonlarının indirgenmesinde Cu ve polipirol kaplı Cu elektrotları kullanmışlardır. Cu elektrotta nitrit iyonu, polimer kaplı Cu elektrotta ise amonyum iyonu ana ürün olarak tespit edilmiştir. Araştırmacılar reaksiyon sonucunda elde edilen ürün farklılığının polimer varlığında reaksiyon mekanizmasının değişmesi ile ilgili olabileceğini belirtmiş ve reaksiyon mekanizmasını aşağıda gösterildiği gibi önermişlerdir;



Reaksiyon ortamındaki H_{ad} ' ların indirgenme potansiyeli altında polimerin katkısı ile oluşabileceği belirtilmiştir (Aydın ve ark., 2002; Çirimi ve ark., 2015). Bu durumu aydınlatmak üzere saf polimerlerin hidrojen oluşum mekanizması incelenmelidir.

Polimerlerin son zamanlarda kolay elde edilmesi, fiziksel, elektriksel ve mekanik özelliklerinden dolayı araştırmacılar tarafından yoğun çalışılmaktadır. İletken polimerler, sensör, süperkapasitör, enerji depolama ve korozyon alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Sun ve ark., 2024). Kullanılan iletken polimerler arasında polianilin, kararlı bir yapıya sahip olması ve kolay hazırlanabilmesi nedeniyle büyük

ilgi görmektedir. Ayrıca polianilin, yükseltgenmiş formda oldukça yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir (Saraswat ve ark., 2023; Valian ve ark., 2024).

Polianilin, kimyasal, elektrokimyasal, termal evaporasyon ve daldırma gibi farklı yöntemlerle sentezlenebilmektedir (Beygisangchin ve ark., 2021). Ancak elektrokimyasal sentez ile elde edilen polianilin filminin ince olması arzu edilmekle birlikte zaman zaman da uygulamada sorun yaratmaktadır. Kalın filmlere ulaşmak amacıyla örneğin Tang ve ark., anilin çözeltisi içerisine p-fenilendiamin ekleyerek (polianilinin yapısını değiştirmeden) çok daha hızlı bir polimerleşme ve daha kalın filmler elde edebilmişlerdir (Tang ve ark., 1995). Ayrıca para pozisyonundaki iki amin grubu polimer filmindeki aktif bölgeleri arttırarak yapının daha geniş bir aktif yüzey alana sahip olmasını sağlamaktadır (Wang ve ark., 2020).

Bu çalışmada anilin parafenilendiamin varlığında elektrokimyasal olarak polimerleştirilmiştir. Elde edilen toz formundaki polimer, elektrot haline getirilerek asidik ortamda hidrojen oluşum mekanizması incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. *P(Anilin/4-parafenilen diamin)* ' in Elektrokimyasal Olarak Sentezi

Polimer filminin sentezi için destek materyal olarak Pt levha kullanılmıştır. İki kere distillenmiş anilinin 0,5 M H₂SO₄ içerisindeki 0,1 M' lık çözeltisi hazırlanmış ve elde edilen çözelti içerisine 0,1 mmol parafenilendiamin eklenmiştir. Polimerizasyon için başlangıç döngüsü, -0,2 V' tan +1,25 V' a (Ag/AgCl) kadar değişen bir aralıkta gerçekleşmiştir. Sonraki döngüler, -0,2 V' dan +0,85 V' a kadar olan bir aralıkta 0,05 V/s tarama hızıyla kaydedilmiştir (Belgherbi ve ark., 2021; Saouti ve ark., 2022).

2.2. *Elektrotların Hazırlanması*

Kopolimerin sentezlendikten sonra yüzeyde safsızlık ve yükseltgenmemiş formda bulunan iyonların ortamdan uzaklaştırılması için polimer kaplı platin levha 30 dakika su-metanol karışımında bekletilmiştir. 24 saat karanlıkta muhafaza edilen kopolimer filmi, kuruduktan sonra Pt levha üzerinden sıyrılarak alınmıştır. Elde edilen kopolimer, toz halinde iken preslenerek (3 ton/cm²) pelet haline getirilmiştir.

Dönüşümlü Voltametri, Tafel ve Elektrokimyasal İmpedans ölçümleri için CHI660C model elektrokimyasal çalışma ünitesi kullanılmıştır. Kopolimer tozlarının preslenip elektrot olarak kullanılması için pelet makinesi kullanılmıştır. Hazırlanan kopolimer morfolojisi Zeiss marka FESEM ile görüntülenmiştir. Yüzey alan analizi için Micromeritics (TriStar-II) marka BET cihazı kullanılmıştır.

2.3. *Elektrokimyasal Ölçümler*

Kopolimerin elektrokimyasal sentezi için 3 cm² yüzey alanına sahip yüksek saflıkta platin levha elektrot kullanılırken, karşı elektrot olarak 6 cm² yüzey alanına sahip platin levha elektrot kullanılmıştır.

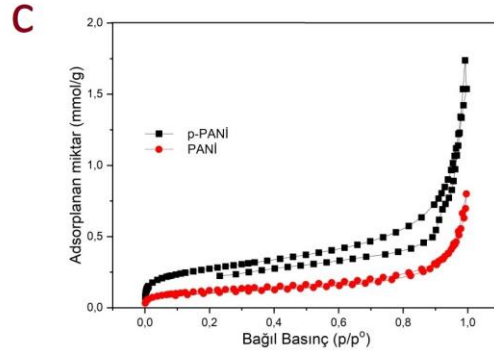
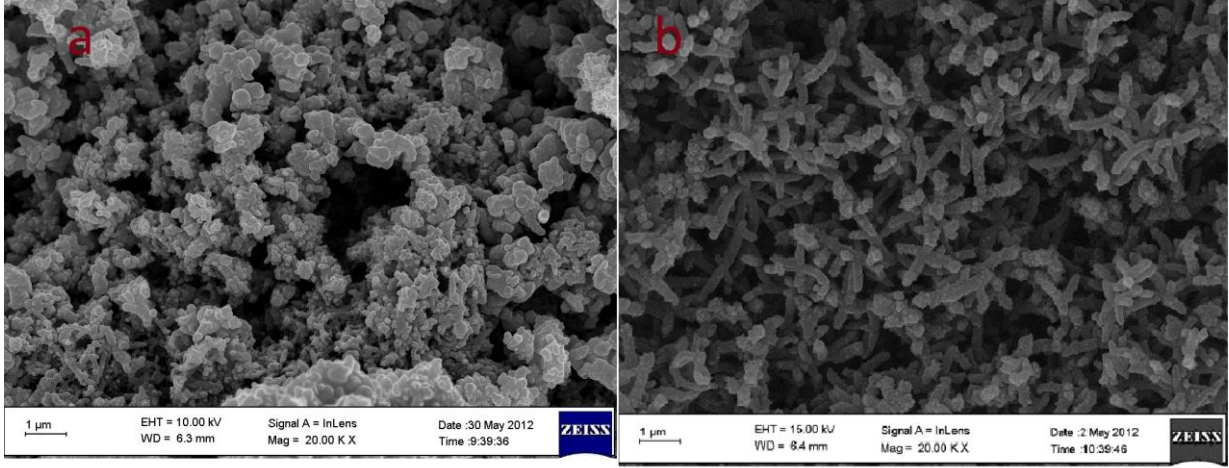
Hidrojen oluşum reaksiyonlarını incelemek üzere, kopolimerin preslenmesi ile elde edilen pelet çalışma elektrodu olarak, 2 cm² yüzey alanına sahip platin levha karşı elektrot olarak kullanılmıştır. Tüm elektrokimyasal ölümler için referans elektrot olarak Ag/AgCl (3,5 M KCl) elektrodu kullanılmıştır. Metal desteksiz, polimer elektrotlarda hidrojen oluşum mekanizmasını aydınlatmak üzere elektrokimyasal impedans spektroskopisi kullanılmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki HClO₄ zeltisinde ve çeşitli elektrot potansiyellerinde, 10 mV genlik ve 0,1 Hz ile 100 kHz arasındaki frekans aralığında deneyler yapılmıştır. Nyquist eğrilerinin simülasyonu için ZView 2.1b programı kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 SEM Sonuçları

Morfolojik yapılarını kıyaslamak üzere polianilin ile kopolimer tozunun SEM görüntüleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 1a’ da polianilinin karnabahar yapısında olduğu görülmektedir. Polianilin karnabahar görüntüsü literatürde sıklıkla rapor edilmektedir.

Parafenilendiamin’in anilin zeltisine eklenmesiyle elde edilen kopolimerin (Şekil 1b) polianilinden (Şekil 1a) daha düzenli bir yapıda olduğu ayrıca parafenilendiamin’in eklenmesiyle polianilin yüzey alanının arttığı BET analizi sonucu Bağlı basınca karşı kaydedilen adsorplanan madde miktarı grafiğinde görülmektedir (Şekil 1c).



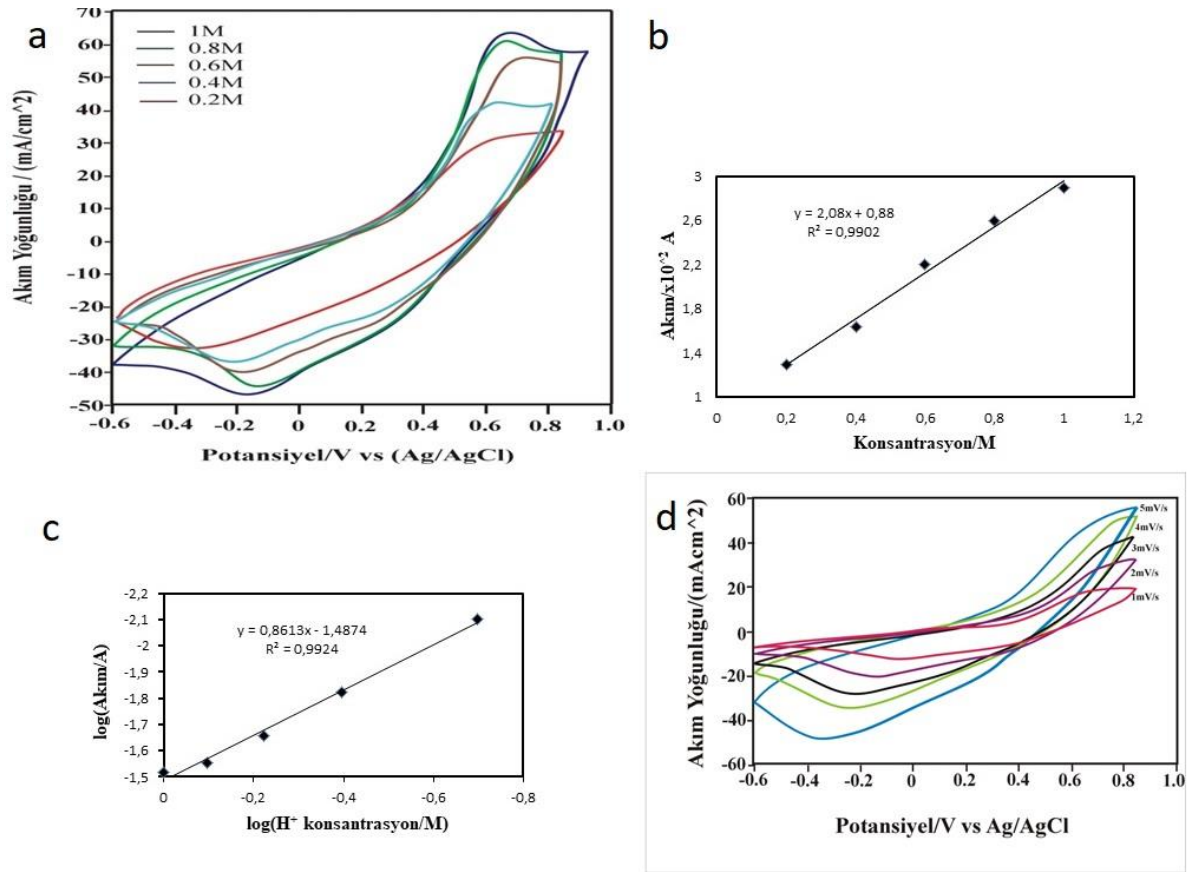
Şekil 1. a) Polianilin b) P(Anilin/4-parafenilen diamin)' nin SEM görüntüleri c) Bağıl basınç-adsorplanan miktar grafiği

3.2. Elektrokimyasal Ölçümler

Polianilin elektrodun H^+ iyonlarına tepkisini değerlendirmek üzere farklı asit konsantrasyonlarında dönüşümlü voltamogramlar alınmıştır (Şekil 2a). Asit konsantrasyonu ile birlikte akım değerlerindeki artış elektrot yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonun artan asit konsantrasyonu ile hızlandığını göstermektedir (Şekil 2b). Voltamogramlardaki indirgenme pik akımının H^+ iyon derişimi ile doğrusal olarak artması, çalışılan potansiyel aralığı için H^+ iyonlarının indirgenmesine ait olabileceği düşünülmüştür. Dönüşümlü voltametriyle yapılan çalışmalarda elde edilen kinetik verilerden biri de reaksiyon derecesidir. Elektrokimyasal reaksiyonların hızı, kaydedilen akım yoğunluğu ile ilişkilidir. Elektrokimyasal reaksiyonların derecesi, akımın logaritmasının elektroaktif maddenin konsantrasyonunun logaritması ile değişiminden

$$\left(\frac{\partial \log i}{\partial \log C} \right)_{T, E_p} = \alpha \quad (3.1)$$

şeklinde bulunmaktadır (Bockris ve ark., 1970).



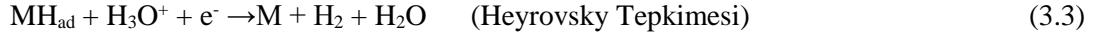
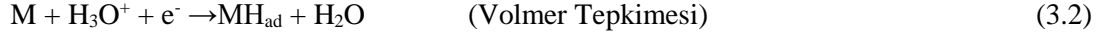
Şekil 2. Polimer elektrodun a) Akım-potansiyel eğrileri b) Konsantrasyona bağlı elde edilen maksimum akım yoğunlukları ve konsantrasyon grafiği c) Polimer elektrot için farklı asit konsantrasyonlarında -0,3 V’da elde edilen maksimum katodik pik akım değerlerinin H^+ konsantrasyonu ile logaritmik değişimi. d) 0,2 M $HClO_4$ ortamında tarama hızı değişimine bağlı kaydedilen akım-potansiyel eğrileri

Şekil 2c’de Polianilin için elde edilen maksimum pik akımının H^+ konsantrasyonu ile logaritmik değişimi gösterilmektedir. Elde edilen doğrunun eğimi reaksiyon derecesini vermektedir. Şekil 2a’da verilen voltamogramlardan elde edilen maksimum katodik akımın logaritması ile çalışılan konsantrasyonların logaritması grafiğe geçirilmiştir. Elde edilen doğrunun eğimi $0,86 \cong 1$ bulunmuştur. Voltamogramlardaki indirgenme pik akımlarının artan tarama hızıyla birlikte arttığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, artan tarama hızıyla indirgenme pik potansiyellerinde negatif yönlü bir kayma meydana gelmiştir. Pik potansiyellerinin tarama hızına bağlı olarak değişmesi, sistemin bir difüzyon engeli ile karşılaştığını göstermektedir (Karatekin ve ark., 2023).

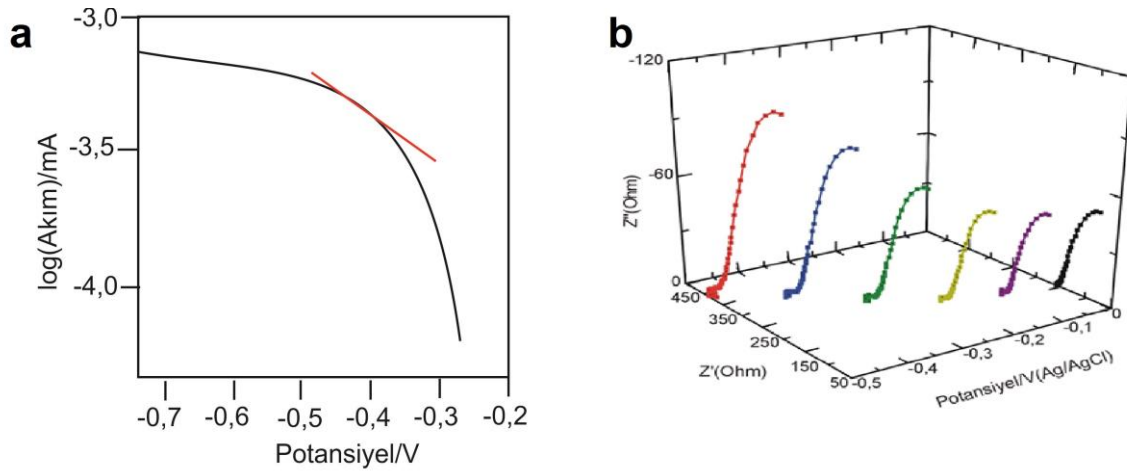
3.3 Tafel Polarizasyon Ölçümü

Hidrojen oluşum reaksiyonları genellikle Volmer reaksiyonu olarak bilinen protonun adsorpsiyon adımı ile başlamaktadır. Bu basamaktan sonra adsorplanan protonların moleküler hidrojen oluşturması iki olası adım ile gerçekleşir. Bu olası adımlardan biri adsorbe hidrojen atomlarının hidronyum ile reaksiyona girip moleküler hidrojen oluşturması (Heyrovsky reaksiyonu), diğeri de adsorbe hidrojen

atomlarının (H_{ad}) bir araya gelerek (Tafel reaksiyonu) moleküler hidrojen oluşturmasıdır. Dolayısıyla hidrojen oluşumu Volmer-Heyrovsky veya Volmer-Tafel gibi bir kombine reaksiyon üzerinden yürür.



Tepkimenin hangi basamak üzerinden yürüyeceği, tepkimenin hızına göre değişmektedir. Tafel polarizasyon eğrileri potansiyele karşı akım değişimini inceleyen eğriler olup bu eğrilerin eğimi reaksiyon mekanizması hakkında bilgi vermektedir. Elde edilen eğrinin eğimi 30 mV/dec olduğunda reaksiyonun Volmer-Tafel mekanizması üzerinden yürüdüğü anlaşılmaktadır. Bu değer 40-80 mV/dec arasında olduğunda hidrojen oluşumunun Volmer-Heyrovsky mekanizması, 120 mV veya daha büyük değerlerde hesaplanması da Volmer mekanizması üzerinden yürüdüğünü göstermektedir (Smiljanic ve ark., 2014; Kayan ve ark., 2017). Şekil 3a' da verilen katodik polarizasyon grafiğinden elde edilen eğim 486 mV/dec olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre hidrojen oluşumunun hız belirleyen basamağının Volmer reaksiyonu yani en yavaş ilerleyen basamağın elektrot yüzeyinde H_{ad} oluşumu olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen eğiminin yüksek olması iyonların desorpsiyon basamağı için uygun bir elektrot yüzeyine sahip olmadığından kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Garcia ve ark., 2019).

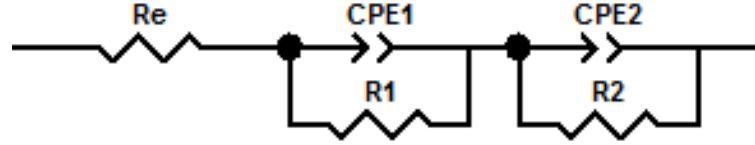


Şekil 3. Polimer elektrodun a) logI-potansiyel eğrisi ve b) Potansiyele bağlı kaydedilen Nyquist eğrileri (0,2 M HClO₄ ortamında)

3.4. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi Ölçümü

Metal desteksiz elektrotlarda hidrojen oluşum reaksiyonlarında önemli bilgiler vermesinden dolayı Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi de kullanılmıştır. Nyquist eğrilerinin simülasyonu ile hidrojen oluşuma ait yük transfer direnci, adsorpsiyon direnci, elektrot/elektrolit ara yüzeyinin kapasitansı gibi önemli parametreler hesaplanmıştır.

Polimer elektrodun, farklı potansiyeller altında kaydedilen impedans spektrumları, Nyquist olarak Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kaydedilen diyagramlarda potansiyele bağlı impedans davranışlarının değiştiği görülmektedir.



Şekil 4. Simülasyon için önerilen eş değer devre

Polimer elektrot ile elektrolit arasında oluşan ara yüzeylerin ve elektrot yüzeyinde gerçekleşen olayları tanımlayabilmek amacıyla deneysel EIS verileri, ZView 2.1.b programı ile simüle edilmiştir. Simülasyon için önerilen eşdeğer devre, elektrolitik dirence seri bağlı iki faz elemanı ve bunlara paralel bağlı iki dirençten oluşmaktadır (Şekil 4).

Nyquist diyagramlarında gözlenen eğrileri, yüksek ve düşük frekans bölgesi olarak incelemek mümkündür. Yüksek frekans bölgesinde gözlenen basık yarım dairenin x-ekseniyle birleştiği nokta, elektrolitik direnci (R_e) ifade etmektedir. Yine aynı bölgede gözlenen ve tam kapanmamış bu yarım dairenin çapı, yük transfer direncini olarak tanımlanır (Tezcan, 2024). Bu direncin potansiyele bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca polimer yüzeyinin homojen olmaması ve tüm potansiyellerde ideal kapasitör değerinden sapma göstermesinden dolayı önerilen eşdeğer devrede bir kapasitans dolayısıyla bir sabit faz elemanı (CPE1) ile ifade edilmiştir.

Nyquist diyagramında düşük frekans bölgesinde kaydedilen ikinci yarım daire, bu bölgede var olan başka bir direnci ifade etmektedir. Bu direncin yüksek frekans bölgesindeki direnç gibi uygulanan potansiyele bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. Her iki frekansta gözlenen dirençlerin potansiyele bağlı değişimi literatürde poröz elektrotların hidrojen oluşum reaksiyonundaki impedans ölçümleri ile uyumludur (Borresen ve ark., 2002; Losiewicz ark., 2004; Shi ve ark., 2016). Yüksek frekans bölgesindeki R1 direnci elektrodun iletkenliği ile ilgili olup, potansiyelin negatife doğru ilerlemesi ile iletkenliğin düşmesi her ne kadar beklenilmeyen bir durum gibi gözükse de iletken polimerler negatif bölgelerde iletkenliklerini kaybettikleri için R1 değeri, potansiyelin negatife doğru artması ile artmıştır. Hidrojenin asidik ortamdaki reaksiyonu göz önüne alındığında, potansiyelin negatife doğru artmasıyla birlikte çözeltideki iyonların elektrot yüzeyine difüzyon sonucu, H_{ad} miktarı daha fazla olacak ve elektrot yüzeyi bir kapasitör (CPE2) gibi davranacaktır. Nyquist diyagramlarında görüleceği üzere düşük frekans bölgesinde potansiyelin negatife doğru artmasıyla dirence ait yarıçapın artması reaksiyonla alakalı olmayıp, difüzyon maddenin yüksek ihtimalle porlarda adsorplanması ve artan potansiyele rağmen desorpsiyon olmamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla düşük frekans bölgesindeki bu direnç por direnci (R_{por}) olarak belirlenmiştir. Polimer kaplanmış metal elektrotların

hidrojen oluşumdaki impedans verileri değerlendirildiğinde düşük frekans bölgesindeki R_{por} direncinin hidrojen oluşum potansiyelinde azaldığı görülmektedir. Elektrot yüzeyine gelen H_{ad} 'lar polimer filmdeki porlardan metal yüzeyine difüzenip buradan elektron alarak indirgenip moleküler hidrojen oluşturmaktadırlar. Metal desteksiz polimerlerde, elektrot yüzeyine gelen H_{ad} 'ların miktarı moleküler hidrojen oluşum potansiyeline yaklaştıkça artmakta elektrot yüzeyinde yüklenme daha fazla olmaktadır. Fakat ortam metal desteksiz olduğundan elektroda difüzlenen H_{ad} 'lar hem elektrot yüzeyinde hem de por içerisinde adsorplanmaktadır. Potansiyelin negatife doğru artmasıyla birlikte sadece elektrot yüzeyindeki H_{ad} 'lar hidrojen oluşum potansiyelinde moleküler hidrojene indirgenebilmekte ve porlarda reaksiyona girmeyen H_{ad} 'lardan dolayı bu potansiyellerde direnç beklenildiği gibi azalmamaktadır.

Tablo 1. Farklı asit konsantrasyonlarında kaydedilen Nyquist eğrilerin önerilen eşdeğer devre ile simülasyonu sonucu elde edilen veriler

Konsantrasyon/M	CPE ₁ -T	CPE ₁ -P	R ₁	CPE ₂ -T	CPE ₁ -P	R ₂
	($\mu F s^{n-1}$)	(n_1)	(Ω)	($m F s^{n-1}$)	(n_2)	(Ω)
1	1,403 (17)	0,77 (2)	47,73 (3)	4,6 (4)	0,456 (3)	80 (3)
0,8	0,86 (17)	0,76 (2)	48,97 (3)	2 (6)	0,501 (3)	62 (2)
0,6	0,32 (19)	0,81 (2)	34,31 (4)	3,9 (7)	0,39 (3)	61,22 (3)
0,4	0,2 (29)	0,79 (3)	34,7 (4)	1,3 (7)	0,47 (5)	97,72 (2)
0,2	0,026 (4)	0,89 (2)	49 (3)	1,5 (6)	0,34 (2)	109 (3)

Re=1 Ohm, ()=±Hata (Re: elektolitik direnç ve simülasyon için 1 olarak sabitlenmiştir. Tabloda yer alan parantez içerisindeki değerler simülasyon hatası değerleridir.)

Tablo 1'de görüldüğü üzere asit konsantrasyonunun artmasıyla CPE1-T değeri artmıştır. Bu değerlerin artışına bağlı olarak elektrot yüzeyinde iyon yüklenmesinin arttığı da söylenebilir. Sabit faz elemanına ait bu artış gerçekleşen yük transferinin adsorbe hidrojen iyonlarının miktarına bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, düşük frekans bölgesinde por direnci olarak belirlenen, R₂ değerinin de belli bir değere kadar azaldığı görülmektedir. Bu nedenle elektrot/elektrolit ara yüzeyinde ve/veya porlarda gerçekleşen reaksiyon H⁺ iyonlarının H_{ad} 'a indirgenmesidir. Düşük konsantrasyonlarda yüksek değerde olan R_{por} değeri konsantrasyonun 0,6 M'a çıkmasıyla azalmaktadır. Bu durum asit konsantrasyonun

artmasıyla hidrojen oluşum reaksiyonunun ve/veya adsorpsiyon reaksiyonunun varlığı ve çift fazdaki ve/veya porlardaki yük yoğunluğunun yani H_{ad} azalması şeklinde yorumlanmıştır.

4.Sonuç

Bu çalışmada polianilin miktarını arttıran 4-parafenilendiamin, anilinin polimerleşmesi sırasında ikinci bir monomer olarak kullanılmıştır. SEM ve BET sonuçlarına bakıldığında 4-paradifenilen varlığında polianilin daha düzenli ve daha geniş bir yüzey alanına sahip olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen polimer tozu pelet haline getirilip elektrot olarak kullanılmış ve hidrojen oluşumundaki performansı incelenmiştir. Asidik ortamda CV, EIS ve yarı logaritmik polarizasyon eğrisi ölçümleri alınarak hazırlanan polimer elektotta hidrojen oluşum mekanizması anlaşılmasına çalışılmıştır. Ölçümler sonucunda katodik bölgede gerçekleşen akım artışının hidrojen oluşumuna ait olduğu ve reaksiyonun hız belirleyen basamağının Volmer reaksiyonu olduğu belirlenmiştir. Yani reaksiyonun en yavaş ilerleyen basamağının adsorbe hidrojen atomu oluşumu olduğu sonucuna varılmıştır. Böylelikle CO₂, N₂ gibi moleküllerin hidrojenasyonu için gerekli şart olan hidrojenin yavaş üretimi polimer elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilebilir sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (BAP-FBE KB (RS)2010-6 YL) desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Aydın R., Köleli F. Electrochemical reduction of CO₂ on a polyaniline electrode under ambient conditions and at high pressure in methanol. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 2002; 535(1–2): 107-112.

Belgherbi O., Seid L., Lakhdari D., Chouder D. Optical and morphological properties of electropolymerized semiconductor polyaniline thin films: Effect of thickness. *Journal of Electronic Materials* 2021; 50: 3876-3884.

Beygisangchin M., Rashid SA., Shafie S., Sadolhosseini AM., Lim HN. Preparations, properties, and applications of polyaniline and polyaniline thin films-A review. *Polymers* 2021; 13(12): 2003.

Bockris JO'M, Reddy. AKN. *Modern electrochemistry*, 2 th ed. NY: Plenum Press; 1970.

- Borresen B., Hagen G., Tunold R. Hydrogen evolution on $\text{Ru}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ in 0,5 M H_2SO_4 . *Electrochimica Acta* 2002; 47: 1819-1827.
- Çirimi D., Aydın R., Köleli F. The electrochemical reduction of nitrate ion on polypyrrole coated copper electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 2015; 736: 101-106.
- Garcia G., Diaz-Coello S., Pastor E. Precise determination of Tafel slopes by DEMS. Hydrogen evolution on tungsten-based catalysts in alkaline solution. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019; 44(25): 12576-12582.
- Guo A., Baumann AE., Rus ED., Stafford CM. Polymer-regulated electrochemical reduction of CO_2 on Ag. *The Journal of Physical Chemistry C* 2023; 127(35): 17355-17365.
- Jun M., Kim D., Kim M., Kwon T., Lee K. Polymer-covered copper catalysts alter the reaction pathway of the electrochemical CO_2 reduction reaction. *ACS Omega* 2022; 7(47): 42655-42663.
- Karatekin RS, Kaplan S, Electrodeposited Pd nanoparticles onto Fe_3O_4 -S-rGO for methanol electro-oxidation. *Electrocatalysis* 2023; 14: 901–911.
- Kayan DB., Baran T., Menteş A. Functionalized rGO-Pd nanocomposites as high-performance catalysts for hydrogen generation via water electrolysis. *Electrochimica Acta* 2022; 422: 140513.
- Kayan DB., Koçak D., İlhan M., Koca A. Electrocatalytic hydrogen production on a modified pencil graphite electrode. *International Journal of Hydrogen Energy* 2017; 42(4): 2457-2463.
- Li Z., Ge R., Su J., Chen L. Recent progress in low Pt content electrocatalysts for hydrogen evolution reaction. *Advanced Materials Interfaces* 2020; 7: 2000396-.
- Losiewicz B., Budniok A., Rowinski E., Lasia A. The structure, morphology and electrochemical impedance study of the hydrogen evolution reaction on the modified nickel electrodes. *Electrochim. Acta* 2004; 29: 145-147.
- Lymperi A., Chatziliias C., Xydias F., Martino, E. Electrochemical promotion of CO_2 hydrogenation using a Pt/YSZ fuel cell type reactor. *Nanomaterials* 2023; 13(13): 1930.
- Saouti F., Belaouad S., Cherqaoui A. Polyaniline thin film prepared by electrochemical polymerization method. *Biointerface Research in Applied Chemistry* 2022; 12(4): 5523-5533
- Saraswat A., Kuma S. Cutting-edge applications of polyaniline composites towards futuristic energy supply devices. *European Polymer Journal* 2023; 200: 112501.
- Shi Z., Wnag Y., Lin H., Zhang H., Shen M., Xie S., Zhang Y., Gap Q., Tang Y. Porous nanoMoC@graphite shell derived from a MOFs-directed strategy: an efficient electrocatalyst for the hydrogen evolution reaction. *Journal of Material Chemistry A* 2016; 4: 6006-6013.
- Smiljanic M., Rakocevic Z., Maksic A., Strbac S. Hydrogen evolution reaction on platinum catalyzed by palladium and rhodium nanoislands. *Electrochimica Acta* 2014; 117: 336-343.
- Tezcan F. A new synthesis route of Bi_2S_3 with solvothermal deposition in photoelectrochemical hydrogen production. *Journal of Molecular Structure* 2024; 1301: 137418.

- Sun P., Shen X., Xu P., Huang W., Xu Q. Conductive polyaniline film synthesized through in-situ polymerization as a conductive seed layer for hole metallization of printed circuit boards. *Applied Surface Science* 2024; 655: 159649.
- Tang H., Kitani A., Maitani S., Munemura H., Shiotani M. Electropolymerization of aniline modified by *para*-phenylenediamine. *Electrochim Acta* 1995; 40: 849.
- Valian M., Burhab ZM., Niasari MS. Hydrothermal architecture of Bi_{0.48}Tb_{1.52}Ti₂O₇/polyaniline nanocomposites to improve electrochemical hydrogen storage performance. *Journal of Energy Storage* 2024; 79: 110252.
- Wang T., Sun H., Peng T., Liu B., Hou Y., Lei B. Preparation and characterization of polyaniline/*p*-phenylenediamine grafted graphene oxide composites for supercapacitors. *Journal of Molecular Structure* 2020; 1221: 128835.

***N*²,*N*⁶-bis((2-Etoksifenil)karbamotiyoil)piridin-2,6-dikarboksamid: Moleküler Kristal Yapı, Supramoleküler Mimari, Hirshfeld Yüzey Analizi ve Etkileşim Enerjileri**Ümmühan SOLMAZ^{1*}¹ Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, TR-33343 Mersin, Türkiye¹ <https://orcid.org/0000-0002-3697-577X>

*Sorumlu yazar: ummuhansolmaz@mersin.edu.tr

Araştırma Makalesi**Makale Tarihiçesi:**Geliş tarihi: 30.05.2024
Kabul tarihi: 06.07.2024
Online Yayınlanma: 16.09.2024**Anahtar Kelimeler:**Tiyokarboksamid
Tek kristal yapı analizi
Van der Waals etkileşimler
Supramoleküler yapı
Hirshfeld yüzey analizi
Etkileşim enerjileri**ÖZ**

*N*²,*N*⁶-bis((2-Etoksifenil)karbamotiyoil)piridin-2,6-dikarboksamid bileşiği, iki basamakta ve yüksek verimle sentezlenmiş, bileşiğin yapısı elementel analiz, UV-Vis, ¹H NMR ve tek kristal X-ışını kırınımı gibi çeşitli teknikler kullanılarak kapsamlı bir şekilde karakterize edilmiştir. Bileşiğin kristal kafesinin, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarının yanı sıra C-H...π (C16-H16C...Cg(2)) ve π...π (Cg(2)...Cg(2), Cg(1)...Cg(3)) etkileşimleri ile de stabilize olduğu belirlenmiş ve bileşiğin genel supramoleküler kristal yapısının belirlenmesinde bu etkileşimlerin çok önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Hirshfeld yüzey analizi ve iki boyutlu parmak izi analizi, diğer moleküller arası etkileşimlere oranla, H...H (%43,4), S...H (%10,3) ve C...H (%8,1) etkileşimlerinin daha belirgin olduğu ve bileşiğin kristal yapısının stabilize edilmesinde bu etkileşimlerin önemli rol oynadığını ortaya çıkartmıştır. Ayrıca enerji çerçevesi hesaplamaları ile kristal kafesteki temel etkileşimlerin üç boyutlu topolojisi ve etkileşim enerjileri belirlenmiştir. Yapılan gözlemlerle, bileşiğin dağılım enerjisinin (-462,385 kJ/mol) diğer etkileşim enerjilerine göre daha büyük bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

N*²,*N*⁶-bis((2-Ethoxyphenyl)carbamothioyl)pyridine-2,6-dicarboxamide: Molecular Crystal Structure, Supramolecular Architecture, Hirshfeld Surface Analysis and Interaction Energies*Research Article****Article History:**Received: 30.05.2024
Accepted: 06.07.2024
Published online: 16.09.2024**Keywords:**Thiocarboxamide
Single crystal structure analysis
Van der Waals interactions
Supramolecular structure
Hirshfeld surface analysis
Interaction energies**ABSTRACT**

The compound *N*²,*N*⁶-bis((2-ethoxyphenyl)carbamothioyl)pyridine-2,6-dicarboxamide was synthesized in two steps with high yield, and its structure was comprehensively characterized using various techniques such as elemental analysis, UV-Vis, ¹H NMR, and single-crystal X-ray diffraction. It was determined that the crystal lattice of the compound is stabilized by intramolecular and intermolecular hydrogen bonds, as well as C-H...π (C16-H16C...Cg(2)) and π...π (Cg(2)...Cg(2), Cg(1)...Cg(3)) interactions, and these interactions play a very important role in defining the overall supramolecular crystal structure of the compound. Hirshfeld surface analysis and two-dimensional fingerprint analysis revealed that H...H (43.4%), S...H (10.3%), and C...H (8.1%) interactions are more prominent compared to other intermolecular interactions and play a significant role in stabilizing the crystal structure of the compound. Additionally, energy framework calculations determined the three-dimensional topology and interaction energies of the primary interactions within the crystal lattice. Observations concluded that the dispersion energy of the compound (-462.385 kJ/mol) has a greater impact compared to other interaction energies.

To Cite: Solmaz Ü. *N*²,*N*⁶-bis((2-Etoksifenil)karbamotiyoil)piridin-2,6-dikarboksamid: Moleküler Kristal Yapı, Supramoleküler Mimari, Hirshfeld Yüzey Analizi ve Etkileşim Enerjileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1734-1753.

1. Giriş

Supramoleküler koordinasyon kimyası, katalizörler, moleküler mıknatıslar veya biyo-inorganik sistemler gibi kullanım alanlarında benzersiz kimyasal veya fiziksel özelliklere sahip yeni bileşiklerin uyarlanması için çok fazla fırsatları bulundurmasından dolayı son yıllarda oldukça ilgi görmektedir (Muller ve Bräse, 2014; Rissanen ve ark., 2014; Nguyen ve ark., 2016). Bu özelliklere sahip bileşiklerde 'sert' ve 'yumuşak' donör atomları içeren bileşik sistemlerinin kullanımı, kompleks metal sistemlerinde, metal iyonlarının farklı donör bölgeleri üzerindeki kontrolünü sağlamaya yardımcı olmaktadır. 'Sert' ve 'yumuşak' donör atomlarına sahip bileşiklerden, tiyokarboksamid türevleri yapısal çeşitlilikleri nedeniyle koordinasyon kimyasında kapsamlı bir şekilde incelenmektedir (Aromí ve ark., 2008; Saalfrank ve ark., 2008; Lehn, 2010; Schulze ve Schubert, 2014). Bunlardan açıl tiyokarboksamidler, farklı donör atomlara sahip (kükürt, azot ve oksijen) olmasının yanı sıra, -NH grubuna bağlı H atomunun ayrışabilen özelliğinden kaynaklanan esnek koordinasyon modlarına sahip ilginç koordinasyon kimyası sergilemektedir (Nguyen ve ark., 2022). Reaksiyon koşullarına bağlı olarak, açıl tiyokarboksamidler, hem nötr tek dişli (sadece S donörü) hem de anyonik iki dişli (N donör; S, N donör; S, O donör ve N, S, O donör) modları yoluyla geçiş metali atomlarıyla koordine olabilmektedir (Keskin ve ark., 2022; Solmaz ve ark., 2022b; 2024; Uysal ve ark., 2024). Ayrıca açiltiyokarboksamidlerin ikili veya üçlü S,O-şelatlayıcı grubu arasında bir merkezi fenilen halkası yada piridin türevi halka yapıları ile yeni koordinasyon özelliklerine sahip farklı ligand sistemleri ortaya çıkarılabilmekte ve bu ligandlarla oluşturulan kompleksler ise, yeni bir molekül sınıfını oluşturabilmektedir (Nguyen ve ark., 2016). Ayrıca, açıl gruplarına potansiyel bir süstitüye grubun dahil edilmesi, ortaya çıkan ligandların koordinasyon kapasitesini de arttırmaktadır (Pham ve ark., 2017).

Tiyokarboksamid türevlerinin yukarıda belirtilen yapısal özellikleriyle tarım, tıp ve analitik kimya alanında geniş yaygın uygulamalara sahip olduğu bilinmektedir (Rosenstein ve ark., 1984; Mobley ve ark., 1995; Montecucco ve ark., 2001; Binzet ve ark., 2006; Jamil ve ark., 2013). Bu bileşikler, antiviral (Sun ve ark., 2010) antibakteriyel (Zhong ve ark., 2008), antitumor (Manjula ve ark., 2009), fungisidal (Ke ve Xue, 2006), analjezik, herbisidal (Xue ve ark., 2004; Xiao ve ark., 2009), bitki büyümesini düzenleyici (Hu ve ark., 2006), lokal anestetik (Ranise ve ark., 2003) antitümör (Manjula ve ark., 2009) gibi kapsamlı bir biyolojik aktivite yelpazesi de sergilemektedir (Jamil ve ark., 2013). Tiyokarboksamid türevleri, biyolojik özelliklerinin yanı sıra endüstriyel ve çevresel uygulamalarda da büyük katkılar sağlamaktadırlar. Antioksidan özelliği de bulunan bu bileşiklerin (Abosadiya, 2020; Özgeriş, 2021a; Özgeriş, 2021b), son zamanlarda konformasyonel yönlerini ve topolojisini araştırmak daha çok önemli hale gelmiştir (Katritzky ve ark., 2009). Ayrıca, tiyokarboksamid türevlerinin ilgi çekici özelliklerinden biride, hem ucuz ve kolay temin edilebilen başlangıç reaktiflere sahip olabilmesi hem de iki basamaklı bir prosedürde yüksek verimle sentezlenmeleridir (Douglass ve Dains, 1934a; 1934b).

Tüm bu eşsiz özelliklere sahip tiyokarboksamid türevi bileşiklerin, geçiş metalleri için çok sayıda koordinasyon moduna sahip olmasından dolayı, bu çalışmada N^2, N^6 -bis((2-etoksifenil)karbamotiyoil) piridin-2,6-dikarboksamid bileşiğinin sentezi, karakterizasyonu, moleküler kristal yapısı, molekül içi ve

moleküller arası kovalent olmayan etkileşimleri ile supramoleküler mimarisi incelenmiştir. Ayrıca bileşiğin yapısal incelemesine teorik olarak ışık tutmak için Hirshfeld yüzey analizi, iki boyutlu parmak izi grafikleri ve enerji çerçevesi hesaplamaları yapılmıştır.

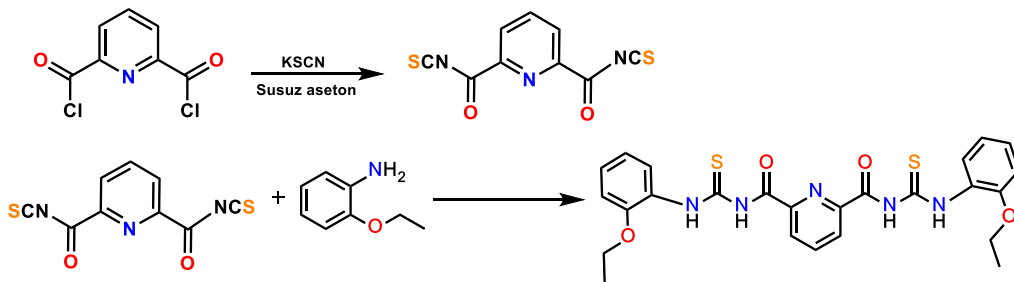
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

Bileşiğin sentez aşamasında kullanılan kimyasallar ticari olarak satın alınmıştır. Bileşiğin mikro analizini gerçekleştirmek için elementel analiz cihazı (Carlo Erba MOD 1106), ¹H NMR spektroskopisi için Bruker NMR spektrometresi (Avance III UltrashieldPlus Biospin), solvent olarak CDCl₃ ve iç standart olarak tetrametil silan (TMS) kullanılmıştır. Tetrametilsilana göre ppm (δ) olarak kimyasal kaymalar rapor edilmiştir. Absorpsiyon spektrumu ise, 230-500 nm aralığında bir Shimadzu UV-3100 spektrofotometre kullanılarak diklorometan içerisinde oda sıcaklığında kaydedilmiştir. Hirshfeld yüzey analizi ve iki boyutlu parmak izi grafikleri için CrystalExplorer 17.5 paketi kullanılmıştır (Spackman ve ark., 2002; 2008; 2009; 2021). Etkileşim enerjilerinin değerlendirilmesinde, 3.8 Å'luk bir küme yarıçapı kullanılarak, ilgili molekülün üç boyutlu enerji çerçevesi hesaplanmıştır.

2.2. Sentez

Potasyum tiyosiyanatın (0,21 mmol) susuz asetondaki çözeltisine, piridin-2,6-dikarbonil diklorid (0,1 mmol) bileşiğinin susuz asetondaki çözeltisi yavaş yavaş ilave edilerek 50 °C'de bir saat geri soğutucu altında karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma, 2-etoksi anilin (0,2 mmol) ilave edilmiştir. Karışım bir gece karıştırıldıktan sonra, evaporatör kullanılarak karışımdan aseton uzaklaştırılmıştır. Elde edilen katı karışım, soğuk saf su ile üç kez yıkanmış ve vakumda kurutulmuştur. Katı ürün diklorometan: etanol (1:2, v:v) karışımında kristallendirilerek nihai ürün elde edilmiştir (**Şekil 1**). Verim: %81. Renk: Renksiz. ¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆, δ, ppm): 1,55 (t, 6H, CH₃), 4,19 (q, *J* = 7.0 Hz, 4H, CH₂), 6,96 (dd, *J* = 8.2 Hz, 2H, Ar-CH), 7,03 (dt, 2H, Ar-CH), 7,20 (dt, 2H, Ar-CH), 8,23 (t, *J* = 7.8 Hz, 1H, Ar-CH), 8,59 (d, *J* = 7.8 Hz, 2H, Ar-CH), 8,91 (dd, *J* = 8.1, 1.5 Hz, 2H, Ar-CH), 10,68 (s, 2H, NH), 12,84 (s, 2H, NH). Elementel analiz: C₂₅H₂₅N₅O₄S₂ için hesaplanan değerler (%): C, 57,35; H, 4,81; N, 13,38; bulunan değerler: C, 57,01; H, 4,74; N, 13,21.



Şekil 1. *N*²,*N*⁶-bis((2-Etoksifenil)karbamotiyoyl)piridin-2,6-dikarboksamid bileşiğinin sentezi.

2.3. X-ışını kristalografik analizi

Malzemelerinin kristal yapısı, CuK α radyasyonu ($\lambda = 1,54178 \text{ \AA}$) ile bir Bruker APEX-II CCD difraktometresi üzerinde X-ışını kırınımı kullanılarak analiz edilmiştir. Kristal yapı, Olex2 kullanılarak Superflip yapı çözme programı ve Charge Flipping çözme metodu ile aydınlatılmıştır (Palatinus ve Chapuis, 2007; Palatinus ve van der Lee, 2008; Dolomanov ve ark., 2009; Palatinus ve ark., 2012). Ayrıca kristal modeli least squares minimisation tekniği kullanılarak ShelXL'in 2013-4 sürümü ile düzeltilmiştir (Sheldrick, 2015). Hidrojen olmayan tüm atomlar için anizotropik yer değiştirme parametreleri belirlenmiştir.

Tablo 1. Bileşiğe ait kristalografik veriler.

Ampirik formül	C ₂₅ H ₂₅ N ₅ O ₄ S ₂
Molekül ağırlığı	523,62
Sıcaklık /K	273,15
Kristal sistemi	Triklinik
Uzay grubu	<i>P</i> -1
a (Å)	8,2551(15)
b (Å)	8,4100(15)
c (Å)	19,037(3)
α (°)	84,961(11)
β (°)	78,709(10)
γ (°)	84,916(11)
Hacim (Å ³)	1287,6(4)
Z	2
ρ_{calc} (g/cm ³)	1,351
μ (mm ⁻¹)	2,219
F(000)	548,0
Radyasyon	CuK α ($\lambda = 1,54178$)
Veri Toplama 2 θ Aralığı	9,5 to 147,506
İndeks Aralığı	$-10 \leq h \leq 9, -10 \leq k \leq 10, -23 \leq l \leq 23$
Toplam Yansıma	31054
Bağımsız yansımalar	5085 [$R_{\text{int}} = 0,1132, R_{\text{sigma}} = 0,0681$]
Veri/sınırlamalar/parametreler	5085/0/328
Goodness-of-fit on F ²	1,047
Final R Değerleri [$I \geq 2\sigma(I)$]	$R_1 = 0,0647, wR_2 = 0,1535$
Final R Değerleri	$R_1 = 0,1103, wR_2 = 0,1788$
En büyük fark pik/hole/ (e Å ⁻³)	0,35/-0,30

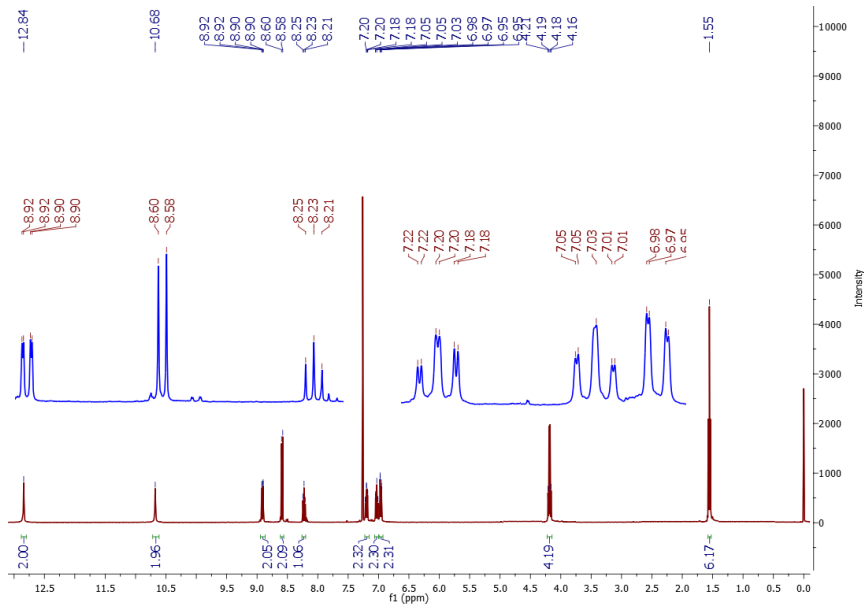
Karbona bağlanan hidrojen atomları geometrik olarak konumlandırılmıştır. Bileşiğin kristalografik çizimleri Olex2 yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır (Dolomanov ve ark., 2009). Bileşiğin tek kristalli X-ışını analizine yönelik deneysel parametrelerin ayrıntıları **Tablo 1**'de verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

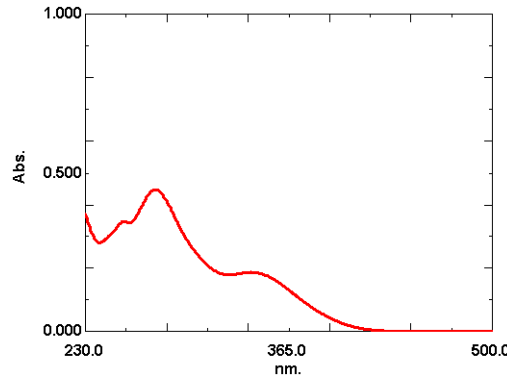
3.1. Sentez ve Karakterizasyon

*N*²,*N*⁶-bis((2-Etoksifenil)karbamotiyoil)piridin-2,6-dikarboksamid bileşiğinin sentezi iki basamakta gerçekleştirilmiş, ilk basamakta piridin-2,6-dikarbonil diklorit ve potasyum tiyosiyanat (1:2 mmol) reaksiyona girerek, ve piridin-2,6-dikarbonil diisotiyo siyanat bileşiği meydana gelmiştir. Bir sonraki

basamakta ise piridin-2,6-dikarbonil diisotiyo siyanat, 1:2 mmol oranında 2-etoksi anilin ile reaksiyona girerek, nihai ürün yüksek verimle elde edilmiştir. Ürün, renksiz, analitik olarak saf ve kristal yapıdadır. Sentezlenen bileşiğin karakterizasyonu elementel analiz, UV-görünür bölge ve ¹H NMR ile gerçekleştirilmiştir. Bileşiğin ¹H NMR spektrumunda, -NH gruplarına ait δ 10,68 ve 12,84 ppm'de singlet olarak dört adet proton sinyallerinin ortaya çıkması bileşiğin gerçekleştiğine dair ilk kanıttır. Aromatik protonlar δ 6,96-8,91 ppm aralığında, alifatik CH₂ protonları δ 4,19 ppm'de kuartet olarak ve CH₃ protonları ise δ 1,55 ppm'de triplet olarak sinyal vermiştir (Şekil 2). Bu sinyaller bileşiğin oluşumunun kanıtlanması bakımından büyük önem taşımaktadır. Aromatik ve alifatik karbonlar ise daha önce sentezlenen tiyokarboksamid türevi bileşiklerin yapılarıyla uyumlu olacak şekilde sinyal vermiştir (Solmaz ve ark., 2022a; Alizada ve Arslan, 2023; Uysal ve ark., 2023). Ayrıca bileşiğin elementel analizi sonucu, %C, %H ve %N değerleriyle hem molekül ağırlıklarından hem de kapalı formüllerinden teorik olarak hesaplanan değerler karşılaştırıldığında her bir atom için %0,6-1,5 aralığında hata payının olduğu gözlemlenmiştir. Sentezlenen bileşiğin elementel analiz sonucu ile, önerilen molekül formülü doğrulanmıştır. Bileşiğin elektronik absorpsiyon spektrumu, diklorometan çözeltisi içerisinde 230-500 nm dalga boyu aralığında ölçülmüştür (Şekil 3). Bileşikte üç adet 245, 277 ve 343 nm'de absorpsiyon bandı meydana gelmiştir. 245 nm'de gözlenen zayıf absorpsiyon bandı $\pi \rightarrow \pi^*$ ve $n \rightarrow \pi^*$ geçişlerini sergilediğine inanılan karbonil (C=O) grubunu temsil ederken, 277 nm'deki bant ise tiyo karbonil (C=S) gruplarına ait $\pi \rightarrow \pi^*$ ve $n \rightarrow \pi^*$ geçişlerini temsil etmektedir. Bu $n \rightarrow \pi^*$ geçişleri, O, N ve S atomları üzerindeki paylaşılmamış elektronlar gibi bağlanmayan bir atomik yörüngedeki bir elektronun bir anti bağ π^* yörüngesine uyarılmasını içermektedir. Son olarak 343 nm'deki bant ise, merkezi piridin halkasının da içinde bulunduğu ligand üzerindeki yüksek konjugasyonun varlığını göstermektedir (Silveira ve ark., 2018; Khairul ve ark., 2020; Khan ve ark., 2020).



Şekil 2. N²,N⁶-bis((2-Etoksifenil)karbamotiyoyil)piridin-2,6-dikarboksamid bileşiğinin ¹H NMR spektrumu.



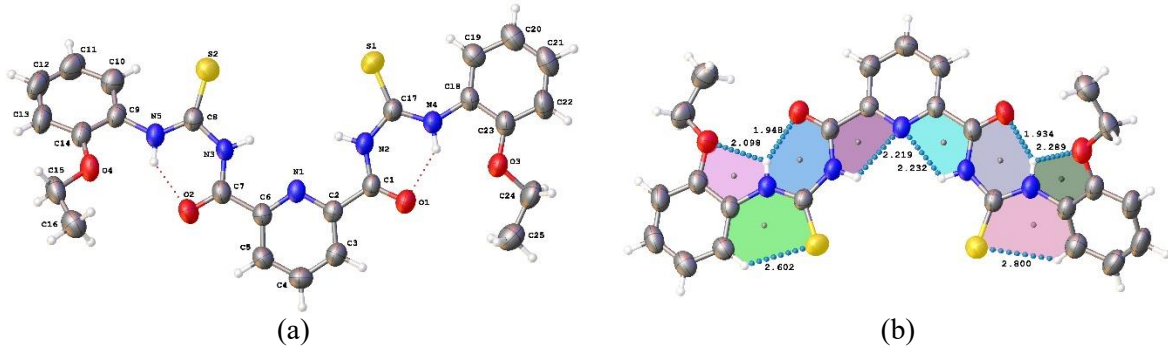
Şekil 3. N^2,N^6 -bis((2-Etoksifenil)karbamotiyol)piridin-2,6-dikarboksamid bileşiğinin UV-Görünür bölge spektrumu

3.2. Bileşiğin Moleküler Yapısı ve Supramoleküler Mimarisi

Bileşiğin yapısı tek kristal X-ışını kırınımı tekniğiyle doğrulanmıştır. Bileşiğin uygun kristali etanol: diklorometan ($v:v$, 1:1) karışımı ile elde edilmiştir (**Şekil 4a**). Triklinik sistemde kristallenen bileşiğin uzay grubu $P-1$, kristal yapının birim hücre parametreleri $a = 8,2551(15) \text{ \AA}$, $b = 8,4100(15) \text{ \AA}$, $c = 19,037(3) \text{ \AA}$, $\alpha = 84,961(11)^\circ$, $\beta = 78,709(10)^\circ$, $\gamma = 84,916(11)^\circ$ olarak belirlenmiştir. Bileşiğe ait kristalografik veriler **Tablo 1**'de, bileşiğin seçilen bağ uzunlukları ve bağ açıları sırasıyla **Tablo 2**'de listelenmiştir.

Tablo 2. Bileşiğin seçilmiş bağ uzunlukları ve açıları.

Atom	Atom	Uzunluk, Å	Atom	Atom	Atom	Açı, °
S1	C17	1,645(3)	C23	O3	C24	120,3(3)
S2	C8	1,648(3)	C14	O4	C15	119,1(3)
O1	C1	1,219(3)	C6	N1	C2	116,9(3)
O2	C7	1,223(4)	C1	N2	C17	130,3(2)
O3	C23	1,362(4)	C7	N3	C8	129,7(3)
O3	C24	1,427(4)	C17	N4	C18	131,3(3)
O4	C14	1,362(4)	C8	N5	C9	130,4(3)
O4	C15	1,426(4)	O1	C1	N2	124,1(3)
N1	C2	1,341(4)	O1	C1	C2	121,7(3)
N1	C6	1,334(4)	N2	C1	C2	114,2(2)
N2	C1	1,362(4)	N1	C2	C1	117,5(3)
N2	C17	1,404(4)	N1	C2	C3	123,2(3)
N3	C7	1,360(4)	C3	C2	C1	119,3(3)
N3	C8	1,408(4)	C4	C3	C2	118,7(3)
N4	C17	1,334(4)	C5	C4	C3	119,2(3)
N4	C18	1,408(4)	C4	C5	C6	118,4(3)
N5	C8	1,328(4)	N1	C6	C5	123,5(3)
N5	C9	1,414(4)	N1	C6	C7	117,2(3)
C1	C2	1,493(4)	C5	C6	C7	119,2(3)
C2	C3	1,380(4)	O2	C7	N3	124,4(3)
C3	C4	1,375(5)	O2	C7	C6	121,1(3)
C4	C5	1,372(5)	N3	C7	C6	114,5(3)
C5	C6	1,385(4)	N3	C8	S2	118,0(2)
C6	C7	1,498(4)	N5	C8	S2	128,5(3)
C9	C10	1,384(5)	N5	C8	N3	113,5(3)



Şekil 4. Bileşiğin (a) moleküler yapısı, (b) molekül-içi hidrojen bağlarıyla oluşmuş halka motifleri.

Bileşiğin moleküler yapısı incelendiğinde, N1-C2 ve N1-C6 bağ uzunluklarının sırasıyla 1,341(4) ve 1,334(4) Å değerlerinde bulunması tipik bir piridin halkasının varlığını doğrulamaktadır (Nguyen ve ark., 2016; 2022). Piridin halkasının her iki kollarında bulunan tiyokarbonil bağ uzunlukları, C17-S1 = 1,645(3) Å, C8-S2 = 1,648(3) Å, karbonil bağ uzunlukları, C1-O1= 1,219(3) Å, C7-O2 = 1,223(4) Å olarak belirlenmiştir. Bu değerler tiyo karbonil ve karbonil bağ uzunluklarının literatürde belirtilen tipik çift bağ uzunluğu (C=S: 1,67 Å; C=O: 1,21 Å) ile örtüşüğünü göstermektedir (Keskin ve ark., 2022; Solmaz ve ark., 2022a; Uysal ve ark., 2023). Ayrıca, piridin halkasının sol tarafında ikame eden tiyoamid ve amid bağ uzunluklarının N5-C8, C8-N3, C7-N3; sağ tarafında bulunan N4-C17, C17-N2, C1-N2 bağ uzunluklarının değerleri 1,300-1,400 Å arasında olduğu tespit edilmiştir. Amid ve tiyoamid bağ uzunluklarının daha önce bildirilen ortalama C-N tekli bağ uzunluğundan (1,48 Å) daha kısa, C=N çift bağ uzunluğundan ise (1,25 Å) daha uzun olduğu belirlenmiş ve piridin halkasının her iki kolunda bulunan bu fragmentler üzerinde bir elektron delokalizasyonunun varlığını göstermiştir (Binzet ve ark., 2018; Yabalak ve ark., 2019; Solmaz ve ark., 2021).

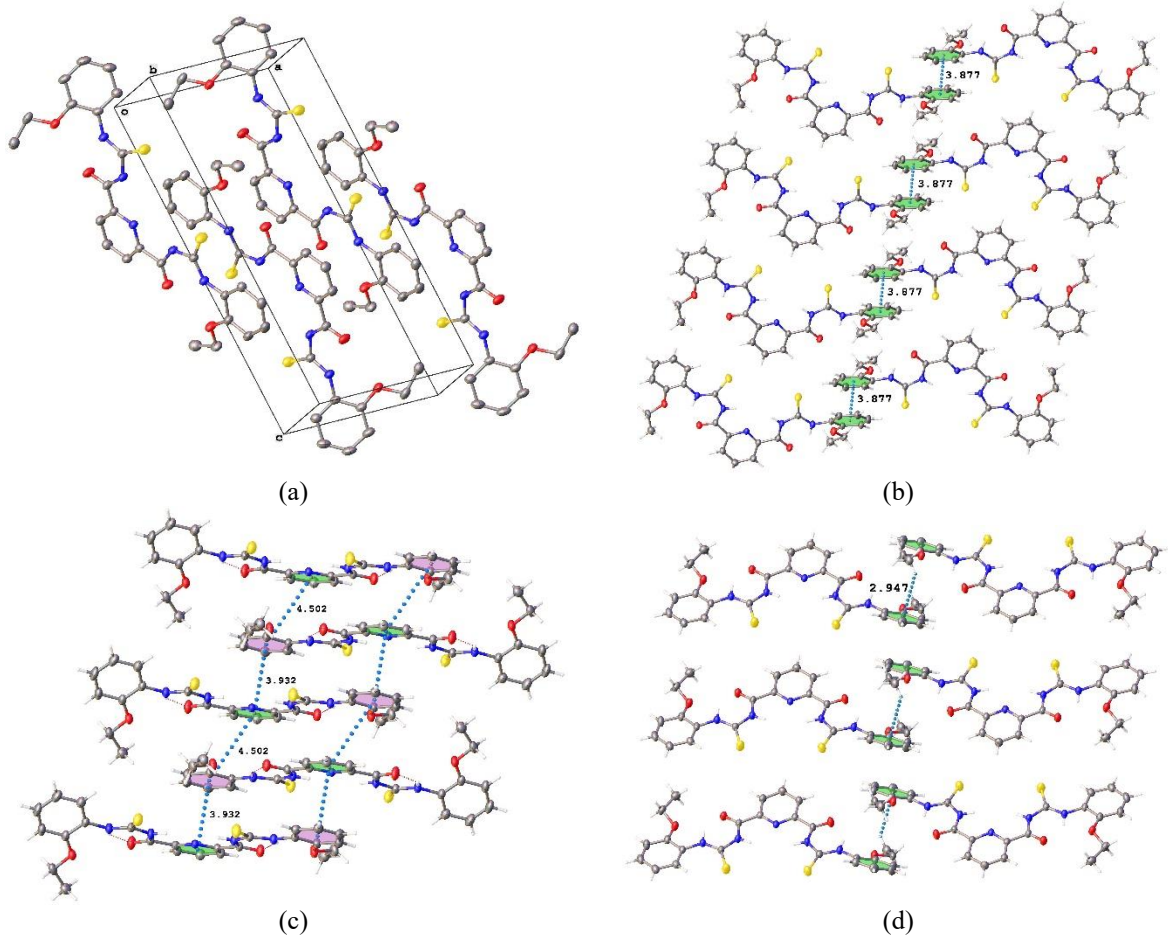
Merkezi piridin halkasının düzleminin (C2-C3-C4-C5-C6-N1), C7-N3-C8-N5 düzlemi arasındaki dihedral açısı 4,65°, C1-N2-C17-N4 düzlemi arasındaki dihedral açı ise 2,51° olarak bulunmuştur. Bu durum, merkezi piridin halkasının her iki kolları üzerinde bulunan fragmentlerin aynı düzlem üzerinde bulunmadığını göstermektedir.

Şekil 4b'de bileşiğin moleküler kümesinde, CH ve NH gruplarına bağlı hidrojen atomları ile elektronegatif atomlar (oksijen, azot, kükürt) arasında üç farklı C-H...N, C-H...S ve C-H...O molekül içi hidrojen bağlarını içeren kaynaşmış beş ve altı üyeli halka motifleri oluşmuştur (**Tablo 3**). O3-C23-C18-N4-H4 (O...H = 2,098 Å), N1-C2-C1-N2-H2 (N...H = 2,219 Å), N1-C6-C7-N3-H3 (N...H = 2,232 Å), O4-C14-C9-N5-H5 (O...H = 2,289 Å) grupları ile beş üyeli, O1-C1-N2-C17-N4-H4 (O...H = 1,948 Å), S1-C17-N4-C18-C19-H19 (S...H = 2,602 Å), O2-C7-N3-C8-N5-H5 (O...H = 1,934 Å), S2-C8-N5-C9-C10-H10 (S...H = 2,800 Å) grupları ile altı üyeli halka motifleri meydana gelmiştir.

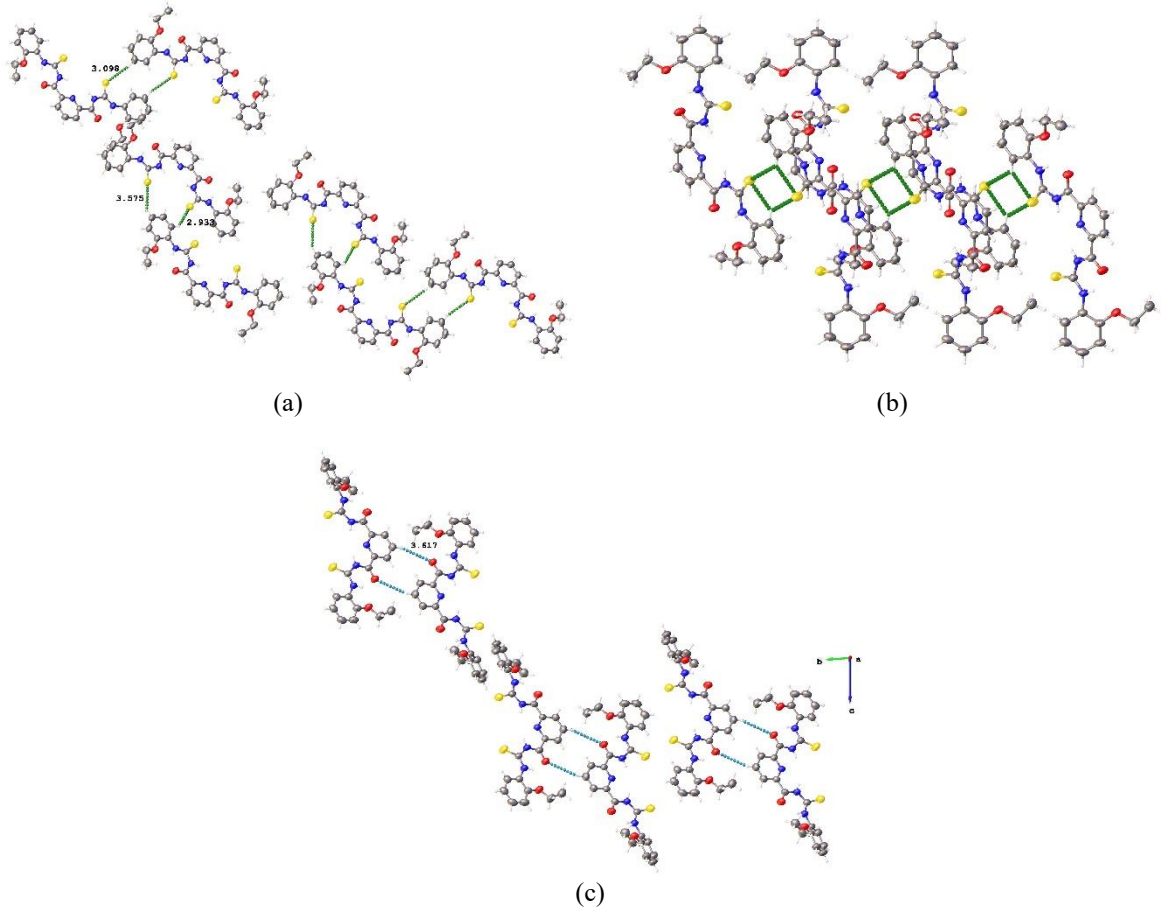
Tablo 3. Bileşiğin molekül içi etkileşimleri.

D-H...A	d(D-H), Å	d(H...A), Å	d(D...A), Å	∠D-H...A, °
N2-H2...N1	0,86	2,22	2,670(3)	113
N3-H3...N1	0,86	2,23	2,674(3)	112
N4-H4...O1	0,86	1,95	2,679(4)	142
N4-H4...O3	0,86	2,10	2,544(3)	112'
N5-H5...O2	0,86	1,93	2,667(4)	142
N5-H5...O4	0,86	2,29	2,581(4)	100'
C10-H10...S2	0,93	2,80	3,306(4)	115
C19-H19...S1	0,93	2,60	3,248(4)	127

Bileşiğin kristal kafesinde, $\pi\cdots\pi$, C-H $\cdots\pi$, C-H \cdots S, C-H \cdots O kovalent olmayan etkileşimler bulunmaktadır. Kovalent olmayan etkileşimlerin her bir türü, kristal yapısının üç boyutlu supramoleküler mimarisine katkıda bulunmuştur (Dey ve ark., 2016). Bileşiğin birim hücre yapısı **Şekil 5a**'da verilmiştir. Yüz yüze $\pi\cdots\pi$ etkileşimleri (Cg(2) \cdots Cg(2)¹ (¹: 1-x,2-y,-z)) 3.877(3) Å; Cg(1) \cdots Cg(3), 4.502(2) Å), kristal kafes de bir dalga yapısı ve üst üste istifleme ile iki boyutlu bir katman oluşturmuştur (**Şekil 5b** ve **5c**). Benzer şekilde, C-H $\cdots\pi$ etkileşimleri, yüz yüze konumda yerleşmiş ve bileşiğin supramoleküler mimarisinde bir dalga yapısının meydana gelmesine neden olmuştur (**Şekil 5d**).

**Şekil 5.** Kristalin (a) birim hücre yapısı, inter-moleküler (b) Cg(2) \cdots Cg(2)¹, (c) Cg(1) \cdots Cg(3), (d) C16-H16C \cdots Cg(2) etkileşimleri ile oluşan supramoleküler yapıları (¹: 1-x, 2-y, -z).

Bileşikte, tiyokarbonil grubuna ait kükürt atomları ile aromatik halka üzerinde bulunan hidrojen atomları arasında güçlü bir moleküller arası etkileşimler meydana gelerek, dimerik yapıda $R_2^1(14)$ (C11-H11...S2, 3,098 Å), $R_2^2(16)$ (C14-H14...S2, 3,575 Å; C19-H19...S1, 2,933 Å) sentonları oluşur (**Şekil 6a**). Aynı şekilde, tiyokarbonil grubuna ait kükürt atomları ve fenil halkaları üzerindeki hidrojen atomlarının kovalent olmayan etkileşimleri ile dört adet hidrojen bağı ile dörtgen görünümlü $R_2^2(12)$ (C19H19...S1, 2,602 Å, C19H19...S2, 2,933 Å) sentonu meydana gelmiştir (**Şekil 6b**). Ayrıca karbonil grubuna ait oksijen atomu ile aromatik C-H hidrojenleri arasında meydana gelen etkileşim ile (C4-H4A...O1) $R_2^1(12)$ dimerik senton oluşmuştur (**Şekil 6c**).



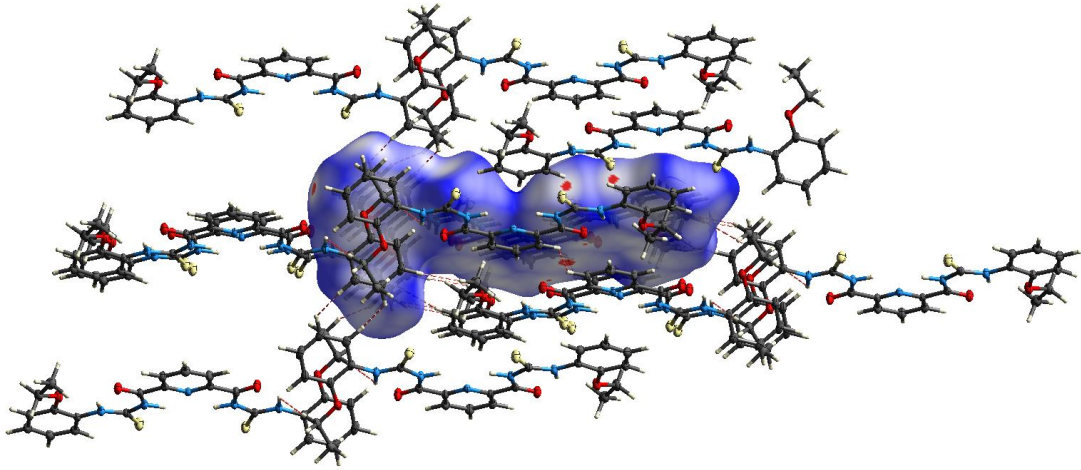
Şekil 6. Kristal kafeste oluşan (a) $R_2^2(14)$, $R_2^2(16)$, (b) $R_2^2(12)$, (c) $R_2^1(12)$ sentonlar.

3.3. Hirshfeld Yüzey Analizi

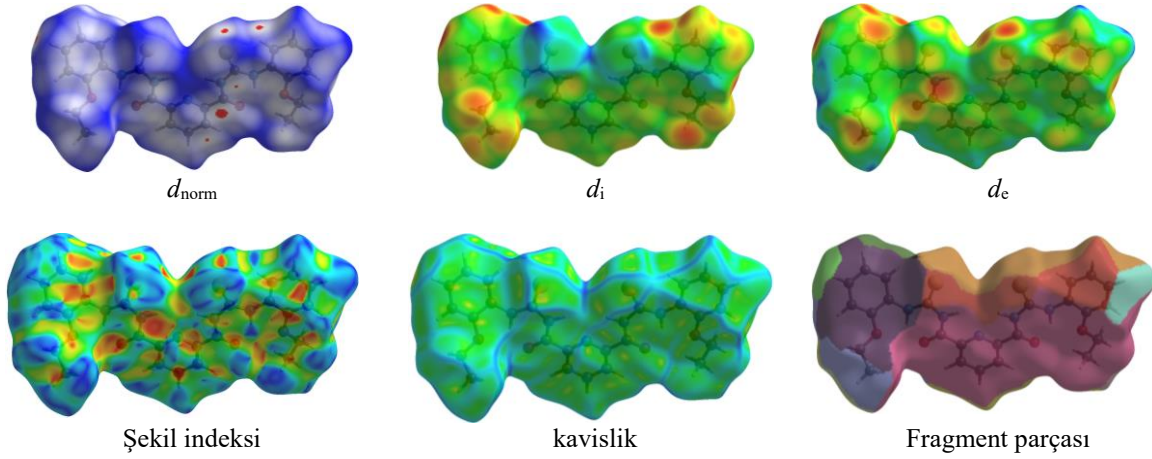
Hirshfeld yüzey analizi ve iki boyutlu parmak izi grafikleri, CrystalExplorer 17,5 kullanılarak, supramoleküler yapıdaki moleküller arası etkileşimleri görselleştiren ve nicelendiren ve paketleme modlarını belirleyen bir yöntemdir (Spackman ve ark., 2008; 2009; 2021). Van der Waals yarıçaplarına göre d_e ve d_i 'ye dayalı olarak hesaplanan normleştirilmiş temas mesafesi (d_{norm}), Denklem 1 ile verilmiştir.

$$d_{norm} = (d_i - r_i^{vdw})/r_i^{vdw} + (d_e - r_e^{vdw})/r_e^{vdw} \quad (1)$$

d_i ve d_e , bir iç atomun ve dış atomun Hirshfeld yüzeyine olan mesafelerini temsil ederken, r_i^{vdw} ve r_e^{vdw} ise sırasıyla iç ve dış atomların van der Waals yarıçaplarını temsil etmektedir. Bileşikteki moleküller arası temaslar, d_{norm} üzerinde haritalandırılmıştır (**Şekil 7**). Yüzeyde beyaz bölgeler van der Waals yarıçaplarının toplamına eşit mesafeleri gösterirken, mavi alanlar van der Waals yarıçaplarının toplamından daha uzun mesafeleri temsil etmektedir (McKinnon ve ark., 2007). Kırmızı noktalar önemli moleküller arası temasın ve yakın etkileşimlerin olduğu alanları göstermektedir ve böylece yüzeyin içindeki moleküller ile onu çevreleyen moleküller arasında hidrojen bağı etkileşimleri meydana gelmektedir (Somashekar ve ark., 2022). d_{norm} Hirshfeld yüzeylerinde görülebilen çok açık kırmızı, açık kırmızı ve koyu kırmızı noktalar sırasıyla zayıf, zayıf/orta ve güçlü hidrojen bağı etkileşimlerini belirtmektedir (Spackman ve ark., 2002; 2009). 0,0500-1,0000 Å, 1,0354-2,8146 Å, 1,0365-2,7287 Å, -1,0000-1,0000 Å, -4,000-0,4000 Å, 0,0000-17,0000 Å aralığındaki bileşik için sırasıyla d_{norm} , d_i , d_e , şekil indeksi, kavislik ve fragment parçası haritaları oluşturulmuştur (**Şekil 8**). Kavislik haritaları ve şekil indeksi, bileşik içindeki düzlemsel istiflenme ve aromatik istiflenme etkileşimlerini tanımlamak için kullanılmıştır (Spackman ve ark., 2009; 2021), şekil indeksi haritası, donör grupları temsil eden mavi konkav bir bölge ve alıcı grupları temsil eden kırmızı konkav bir bölge gözlemlenerek C-H... π etkileşimlerinin varlığını doğrulamıştır (Sénam Etsé ve ark., 2020). Şekil indeksi grafiği, kristal yapının belirlenmesinde önemli bir rol oynayan π ... π etkileşimlerini temsil eden kırmızı üçgenler içermekte, kavislik haritası ise düz yüzeylere sahip büyük yeşil bölgeleri ve kavisli kısımların bulunduğu mavi bölgeleri ortaya çıkarmaktadır (Spackman ve ark., 2009; 2021). Bileşik için Hirshfeld yüzeyleri hacim olarak sırasıyla 633,22 Å³, alan olarak ise 559,22 Å² olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, 'asferisite' ve 'küresellik' şekil faktörleri molekülün yapısını karakterize etmek için kullanılmıştır (Keskin ve Arslan, 2023; Oztaslar ve Arslan, 2023). 0,389 asferisite (Ω) değeri yapıcı anizotropiyi belirtirken, 0,638 küresellik (G) değeri moleküller yüzeyde belirgin bir yapı derecesini göstermektedir.



Şekil 7. Bileşik üzerindeki moleküller arası temasların d_{norm} haritası ile gösterimi.



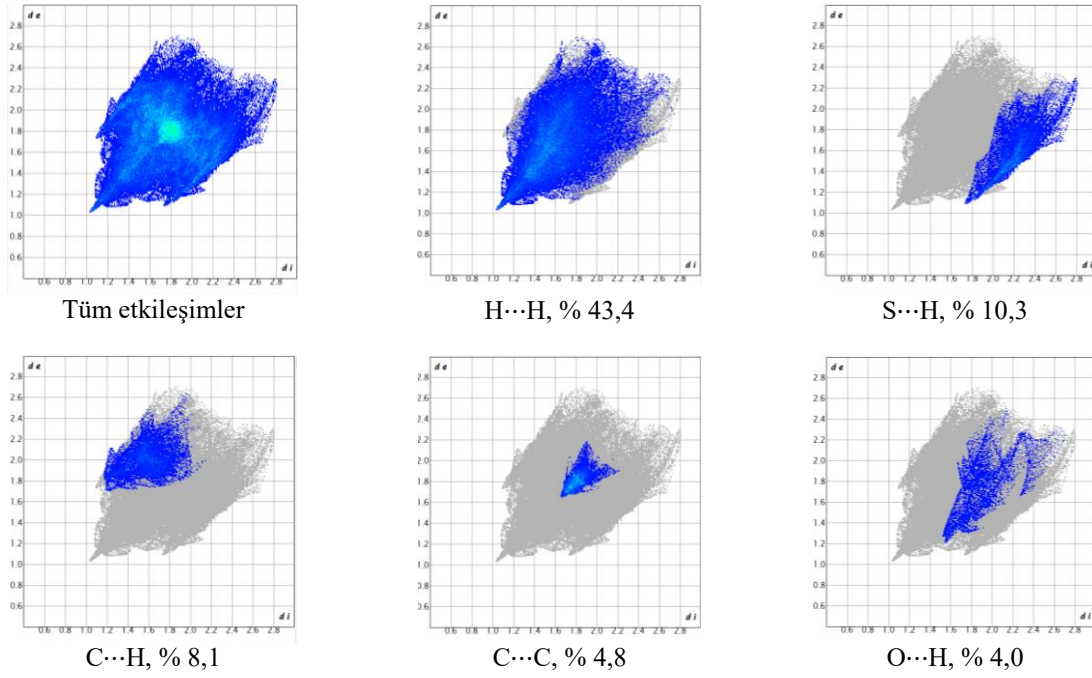
Şekil 8. Bileşiğin haritalanmış Hirshfeld yüzeyleri.

3.4. İki Boyutlu Parmak İzi Analizi

Kristal kafesteki moleküller arası temasların benzersiz katkılarının değerlendirilmesi, pratik bir yaklaşım sağlayan iki boyutlu parmak izi çizimleri kullanılarak etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Spackman ve ark., 2002). d_{norm} yüzeylere sahip iki boyutlu parmak izi grafiklerinin hesaplanması, tüm moleküller arası temaslar için d_i ve d_e mesafelerinin toplanmasını içerir. **Şekil 9** çeşitli moleküller arası etkileşimlerin yüzde değerlerini gösteren parmak izi grafiklerini göstermektedir. Hidrojen bağı alıcı bölgeleri $d_e > d_i$ durumlarına karşılık gelirken, hidrojen bağı donör bölgeleri $d_i > d_e$ durumlarına karşılık gelir (Spackman ve ark., 2002; 2021). Tüm moleküller arası temaslar için d_{norm} yüzeylerine ($d_{norm} = d_e + d_i$) sahip 2D parmak izi grafikleri, merkez molekülün etrafındaki genişletilmiş 3,8 Å görünüm kullanılarak hesaplanmıştır.

Bileşikteki moleküler etkileşimler ağırlıklı olarak H...H tipindedir. Bu etkileşim, toplam Hirshfeld yüzeyine % 43,4 katkıda bulunarak parmak izi grafiğindeki alanın çoğunu kapsamaktadır ve $d_e = d_i \approx 1,1$ Å bölgesinde merkezi bir sivri uç göstermektedir. Bileşikteki S...H etkileşimlerinin parmak izi grafiği, tek keskin kanat şeklinde görünen grafiğin sağ alt bölgesini ($d_i > d_e$, C-H...S, $d_e \approx 1,1$ Å ve $d_i \approx 1,7$ Å) kaplamakta ve toplam Hirshfeld yüzeyine % 10,3 katkıda bulunmaktadır. C...H moleküller arası etkileşimleri, Hirshfeld yüzeyinin % 8,1'ini oluşturan $d_i + d_e \approx 3,0$ Å bölgesi etrafındaki C-H... π etkileşimleri sonucunda yüzeydeki sol üst bölgede kanat şeklinde görünmektedir. Bileşikteki C...C ve O...H etkileşimleri, toplam Hirshfeld yüzeyine % 4,8 ve % 4,0 katkıda bulunmaktadır.

Sonuç olarak Hirshfeld yüzeyleri, tüm moleküller arası etkileşimleri görüntüleyerek kristal içindeki yerleşimini belirlemeye ve ayrıntılı niceliksel ve niteliksel incelemeye olanak tanımakta ve bu yöntem, kristal yapı araştırmalarında oldukça ümit verici olmaktadır.



Şekil 9. Bileşiğe ait bazı 2D boyutlu parmak izi grafikleri

3.5. Etkileşim Enerjileri

Bileşiğin üç boyutlu etkileşim enerji çerçevesi hesaplamaları CrystalExplorer 17,5 yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Spackman ve ark., 2021). Bu yazılım, B3LYP/6-311G(d,p) elektron yoğunluğu dalga fonksiyonlarına dayalı olarak etkileşim enerjilerini hesaplamak için kullanılmaktadır (Lee ve ark., 1988; Becke, 1993). Başlık bileşiğin kristal kafes enerji hesaplaması Gavezzotti'nin PIXEL yöntemiyle gerçekleştirilmiştir (Gavezzotti, 2005; 2011). Toplam etkileşim enerji çerçeveleri (E_{tot}), klasik elektrostatik etkileşim enerjisi (E_{ele}), polarizasyon enerjisi (E_{pol}) (Maroulis, 2006), dağılım düzeltmesi (E_{dis}) (Grimme, 2006) ve itme enerjisinin (E_{rep}) (Řezáč ve ark., 2012) toplanmasıyla bulunur (Denklem 2).

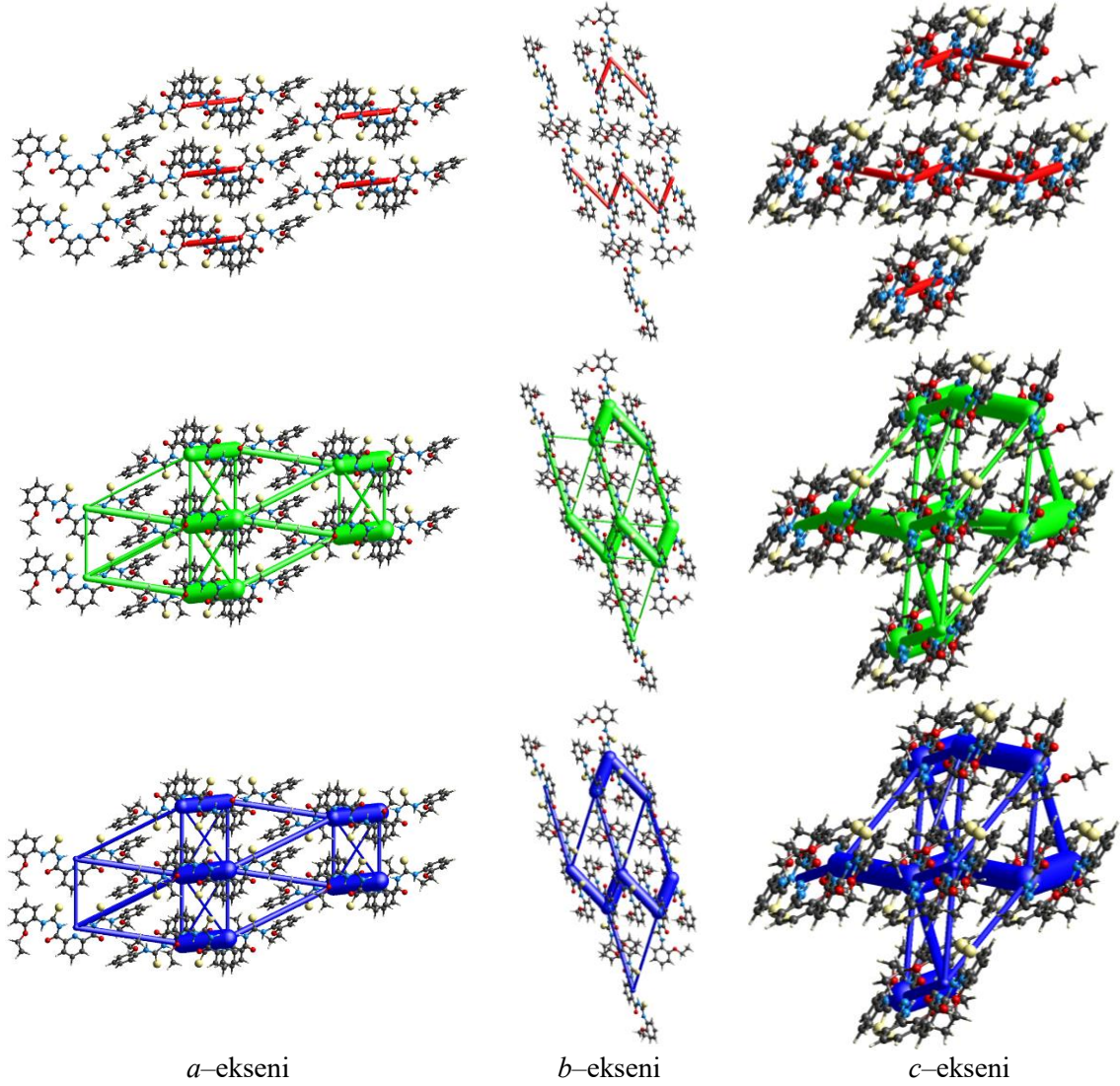
$$E_{Tot} = E_{Ele} + E_{Pol} + E_{Dis} + E_{Rep} \quad (2)$$

Tablo 4 merkezi orijinal moleküle etkileşime giren çiftlerin sayısı (N), çeşitli Kartezyen koordinatlarda etkileşime giren moleküllerin renk kodu şeması, dönme simetrisi işlemi (simetri) ve bunların moleküler ağırlık merkezi mesafesi (R) hakkında bilgi sağlamaktadır (Tan ve ark., 2019).

Şekil 9 kristal kafesteki temel etkileşimlerin üç boyutlu topolojisini, dağılım enerjisini, Coulomb enerjisini ve molekülün üç eksen boyunca tanımlanan toplam etkileşim enerjisi silindirlerini göstermektedir. Etkileşim enerjilerinin çeşitli yönlerdeki bağıl kuvvetleri, silindir şeklindeki enerji çerçeveleriyle belirlenmektedir. Molekül çiftlerinin ağırlık merkezlerini birbirine bağlayan silindirler, bu moleküler etkileşimlerle ilişkili enerjileri sembolize eder ve silindir yarıçapının kalınlığı, molekül

çiftleri arasındaki enerjinin göstergesidir. Silindirin yarıçapının yüksek olması, iki molekül çifti arasında güçlü bir enerji olduğunu göstermektedir (Wu ve ark., 2020).

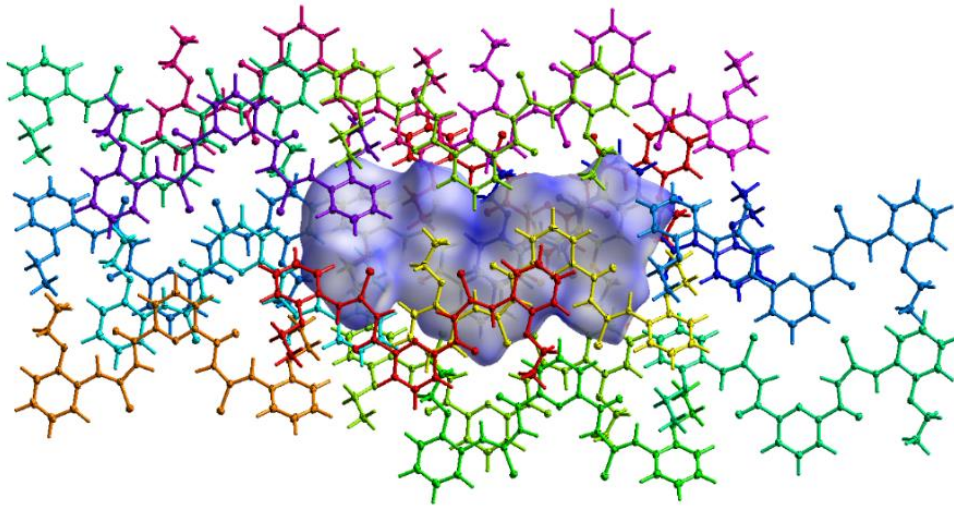
Bileşik için 1,057, 0,740, 0,871 ve 0,618 ölçek faktörleriyle hesaplanan etkileşim enerjileri sırasıyla, elektrostatik enerji, polarizasyon enerjisi, dağılım enerjisi ve itme enerjisinden oluşmakta olup, enerji değerleri -71,066 kJ/mol, -38,688 kJ/mol, -462,385 kJ/mol, 188,607 kJ/mol olarak belirlenmiştir. Toplam enerji -389,905 kJ/mol olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). Şekil 10 ve Tablo 4'te yapılan gözlemlere dayanarak dağılım enerjisi bileşenin diğer etkileşim enerjilerine göre daha büyük bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılabilir. Sarı renkle vurgulanan molekül, en yüksek genel etkileşim enerjisine sahiptir (-117,752 kJ/mol) ve $R = 6,30 \text{ \AA}$ moleküler merkez mesafesinde yer almaktadır. Bunun tersine, merkez molekülden $19,35 \text{ \AA}$ uzaklıkta bulunan, turuncu renkle vurgulanan molekül, -3,315 kJ/mol ile en düşük toplam etkileşim enerjisini sergilemektedir (Şekil 11).



Şekil 10. Bileşiğin Coulomb etkileşim enerjisi, dağılım enerjisi ve toplam enerjinin *a*, *b* ve *c* eksenleri boyunca sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi renklerle temsili görselleri.

Tablo 4. Bileşik için hesaplanan etkileşim enerjileri (kJ/mol) (Renk kod-molekül ilişkisi Şekil 11’de verilmiştir).

Renk	N	Simetri	R	E_{ele}	E_{pol}	E_{dis}	E_{rep}	E_{tot}
Red	2	x, y, z	8,26	2,404	-1,122	-17,377	6,708	-9,276
Orange	1	-x, -y, -z	19,35	1,672	-0,358	-5,533	0,000	-3,315
Yellow	1	-x, -y, -z	6,30	-35,854	-7,862	-139,707	77,109	-117,752
Light Green	2	x, y, z	8,41	-7,906	-3,559	-22,547	12,068	-23,172
Green	1	-x, -y, -z	11,56	-0,064	-2,931	-21,641	9,842	-15,002
Light Blue	2	x, y, z	20,12	-1,377	-0,377	-6,365	0,000	-7,278
Cyan	1	-x, -y, -z	14,41	9,369	-2,408	-52,680	0,000	-37,750
Blue	2	x, y, z	19,04	0,876	-0,276	-7,053	0,000	-5,420
Dark Blue	1	-x, -y, -z	8,41	-29,180	-9,171	-107,814	60,457	-94,177
Purple	1	-x, -y, -z	15,06	2,671	-4,437	-43,506	0,000	-38,343
Pink	1	-x, -y, -z	11,42	-6,666	-3,728	-21,901	22,423	-15,028
Magenta	1	-x, -y, -z	14,44	-7,011	-2,459	-16,261	0,000	-23,392
Toplam (kJ/mol)				-71,066	-38,688	-462,385	188,607	-389,905

**Şekil 11.** Bileşikte hesaplanan etkileşim enerjilerini içeren moleküler çiftler.

4. Sonuç

Mevcut araştırmada, N^2,N^6 -bis((2-etoksifenil)karbamotiyol)piridin-2,6-dikarboksamid bileşiği üzerinde deneysel ve teorik bir araştırma yürütülmüş, ve yapısal olarak karakterize edilmiştir. Tek kristal X-ışını kırınım analizi, molekülün, $a = 8,2551(15) \text{ \AA}$, $b = 8,4100(15) \text{ \AA}$, $c = 19,037(3) \text{ \AA}$, $\alpha = 84,961(11)^\circ$, $\beta = 78,709(10)^\circ$, $\gamma = 84,916(11)^\circ$ birim hücre parametreleriyle, triklirik sistemde kristallendiğini göstermiştir. Bileşiğin, supramoleküler mimarisini etkileyen molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağ etkileşimlerinin yanı sıra, $\pi \cdots \pi$ ve C-H \cdots π temasları ile stabilize olduğu tespit edilmiş, bu etkileşimlerin varlığı Hirshfeld yüzeyi ve iki boyutlu parmak izi grafikleri ile doğrulanmıştır. Ayrıca Coulomb etkileşim enerjisini, dağılım enerjisini ve toplam enerjiyi temsil etmek için enerji çerçeveleri oluşturularak bileşiğin kristal kafesteki temel etkileşimlerinin üç boyutlu topolojisi oluşturulmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu çalışmaya %100 oranında katkı sağladığımı beyan ederim.

Kaynakça

- Abosadiya HM. Synthesis, crystal structure and antioxidant evaluation of N-(4-formylpiperazine-1-carbonothioyl)benzamide. *European Journal of Chemistry* 2020; 11(2): 156-159. doi:10.5155/eurjchem.11.2.156-159.1981
- Alizada A., Arslan H. Experimental and theoretical studies of a thiourea derivative: 1-(4-chlorobenzoyl)-3-(2-trifluoromethyl-phenyl)thiourea. *Journal of Molecular Structure* 2023; 1279(134996): 134996. doi:10.1016/j.molstruc.2023.134996
- Aromí G., Gamez P., Reedijk J. Poly beta-diketones: Prime ligands to generate supramolecular metaloclusters. *Coordination Chemistry Reviews* 2008; 252(8-9): 964-989. doi:10.1016/j.ccr.2007.07.008
- Becke AD. Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *The Journal of Chemical Physics* 1993; 98(7): 5648-5652. doi:10.1063/1.464913
- Binzet G., Arslan H., Flörke U., Külçü N., Duran N. Synthesis, characterization and antimicrobial activities of transition metal complexes of *N,N*-dialkyl-*N'*-(2-chlorobenzoyl)thiourea derivatives. *Journal of Coordination Chemistry* 2006; 59(12): 1395-1406. doi:10.1080/00958970500512633
- Binzet G., Gumus I., Dogen A., Flörke U., Kulcu N., Arslan H. Nickel(II) and copper(II) complexes of *N,N*-dialkyl-*N'*-3-chlorobenzoylthiourea: Synthesis, characterization, crystal structures, Hirshfeld surfaces and antimicrobial activity. *Journal of Molecular Structure* 2018; 1161: 519-529. doi:10.1016/j.molstruc.2018.02.073
- Dey D., Mondal RK., Dhibar S., Lin CH., Schollmeyer D., Chopra D., Dey B. Insights into the supramolecular features in isopropylmalonic and n-butylmalonic acids: Inputs from PIXEL and Hirshfeld surface analysis. *Journal of Molecular Structure* 2016; 1122: 29-36. doi:10.1016/j.molstruc.2016.05.076
- Dolomanov OV., Bourhis LJ., Gildea RJ., Howard JAK., Puschmann H. OLEX2: a complete structure solution, refinement and analysis program. *Journal of Applied Crystallography* 2009; 42(2): 339-341. doi:10.1107/s0021889808042726
- Douglass IB., Dains FB. Some derivatives of benzoyl and furoyl isothiocyanates and their use in synthesizing heterocyclic compounds¹. *Journal of the American Chemical Society* 1934a; 56(3): 719-721. doi:10.1021/ja01318a057
- Douglass IB., Dains FB. The preparation and hydrolysis of mono- and disubstituted benzoylthioureas¹. *Journal of the American Chemical Society* 1934b; 56(6): 1408-1409. doi:10.1021/ja01321a061

- Gavezzotti A. Calculation of lattice energies of organic crystals: the PIXEL integration method in comparison with more traditional methods. *Zeitschrift fur Kristallographie. Crystalline Materials* 2005; 220(5-6): 499-510. doi:10.1524/zkri.220.5.499.65063
- Gavezzotti A. Efficient computer modeling of organic materials. The atom–atom, Coulomb–London–Pauli (AA-CLP) model for intermolecular electrostatic-polarization, dispersion and repulsion energies. *New Journal of Chemistry* 2011; 35(7): 1360-1368. doi:10.1039/c0nj00982b
- Grimme S. Semiempirical GGA-type density functional constructed with a long-range dispersion correction. *Journal of Computational Chemistry* 2006; 27(15): 1787-1799. doi:10.1002/jcc.20495
- Hu JH., Wang LC., Liu H., Wei TB. Biological activities studies and phase transfer catalysts promoting the one-pot synthesis of N-aryl-N'-(4-ethoxy benzoyl)-thiourea derivatives. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements* 2006; 181(12): 2691-2698. doi:10.1080/10426500600862878
- Jamil M., Zubair M., Rasool N., Altaf AA., Rizwan K., Hafeez S., Langer P. Synthesis, characterization, antibacterial and urease inhibition studies of some novel symmetrical $N^3, N^{3'}$ -bis-(disubstituted)isophthalyl-bis-(thioureas). *Asian Journal of Chemistry* 2013; 25(10), 5328-5332. doi:10.14233/ajchem.2013.14174
- Katritzky AR., Tala SR., Abo-Dya NE., Gyanda K., El-Gendy BEDM., Abdel-Samii ZK., Steel PJ. Selective synthesis and structural elucidation of S-acyl- and N-acylcysteines. *The Journal of Organic Chemistry* 2009; 74(18): 7165-7167. doi:10.1021/jo900853s
- Ke SY., Xue SJ. Synthesis and herbicidal activity of N-(o-fluorophenoxyacetyl)thioureas derivatives and related fused heterocyclic compounds. *ARKIVOC* 2006; 2006(10): 63-68. doi:10.3998/ark.5550190.0007.a08
- Keskin E., Arslan H. Synthesis, crystal structure, DFT calculations, and Hirshfeld surface analysis of an NNN pincer type compound. *Journal of Molecular Structure* 2023; 1283(135252): 135252. doi:10.1016/j.molstruc.2023.135252
- Keskin E., Solmaz U., Gumus I., Arslan H. Di- and tetra-nuclear oxorhenium(V) complexes of benzoylthiourea derivative ligands: Synthesis, structural characterization, and catalytic applications. *Polyhedron* 2022; 219(115786): 115786. doi:10.1016/j.poly.2022.115786
- Khairul WM., Wahab FFA., Soh SKC., Shamsuddin M., Daud AI. Palladium(II)-pivaloyl thiourea complexes: Synthesis, characterisation and their catalytic activity in mild Sonogashira cross-coupling reaction. *Chemical Physics Letters* 2020; 756(137842): 137842. doi:10.1016/j.cplett.2020.137842
- Khan UA., Badshah A., Tahir MN., Khan E. Gold(I), silver(I) and copper(I) complexes of 2,4,6-trimethylphenyl-3-benzoylthiourea; synthesis and biological applications. *Polyhedron* 2020; 181(114485): 114485. doi:10.1016/j.poly.2020.114485

- Lee C., Yang W., Parr RG. Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Physical Review. B, Condensed Matter* 1988; 37(2): 785-789. doi:10.1103/physrevb.37.785
- Lehn JM. Par-delà la synthèse : l'auto-organisation. *Comptes Rendus. Chimie* 2010; 14(4): 348-361. doi:10.1016/j.crci.2009.12.003
- Manjula SN., Malleshappa Noolvi N., Vipani Parihar K., Manohara Reddy SA., Ramani V., Gadad A. K., Mallikarjuna Rao, C. Synthesis and antitumor activity of optically active thiourea and their 2-aminobenzothiazole derivatives: A novel class of anticancer agents. *European Journal of Medicinal Chemistry* 2009; 44(7): 2923-2929. doi:10.1016/j.ejmech.2008.12.002
- Maroulis G. Atoms, molecules and clusters in electric fields: Theoretical approaches to the calculation of electric polarizability: Theoretical approaches to the calculation of electric polarizability. London, England: Imperial College Press 2006.
- McKinnon JJ., Jayatilaka D., Spackman MA. Towards quantitative analysis of intermolecular interactions with Hirshfeld surfaces. *Chemical Communications (Cambridge, England)* 2007; (37): 3814. doi:10.1039/b704980c
- Mobley HL., Island MD., Hausinger RP. Molecular biology of microbial ureases. *Microbiological Reviews* 1995; 59(3): 451-480. doi:10.1128/mr.59.3.451-480.1995
- Montecucco C., Rappuoli R. Living dangerously: how *Helicobacter pylori* survives in the human stomach. *Nature Reviews. Molecular Cell Biology* 2001; 2(6): 457-466. doi:10.1038/35073084
- Muller T., Bräse S. Tetrahedral organic molecules as components in supramolecular architectures and in covalent assemblies, networks and polymers. *RSC Advances* 2014; 4(14): 6886-6907. doi:10.1039/c3ra46951d
- Nguyen HH., Jegathesh JJ., Takiden A., Hauenstein D., Pham CT., Le CD., Abram U. 2,6-Dipicolinoylbis(N,N-dialkylthioureas) as versatile building blocks for oligo- and polynuclear architectures. *Dalton Transactions* 2016; 45(26): 10771-10779. doi:10.1039/c6dt01389a
- Nguyen HH., Pham QT., Phung QM., Le CD., Pham TT., Pham TNO., Pham CT. Syntheses, structures, and biological activities of Pd(II) and Pt(II) Complexes with some 1-picolinoyl-4-substituted Thiosemicarbazides. *Journal of Molecular Structure* 2022; 1269(133871): 133871. doi:10.1016/j.molstruc.2022.133871
- Özgeriş B. Synthesis of substituted phenethylamine-based thioureas and their antimicrobial and antioxidant properties. *Russian Journal of Organic Chemistry* 2021a; 57(3): 422-429. doi:10.1134/s1070428021030143
- Özgeriş B. Design, synthesis, characterization, and biological evaluation of nicotinoyl thioureas as antimicrobial and antioxidant agents. *The Journal of Antibiotics* 2021b; 74(4): 233-243. doi:10.1038/s41429-020-00399-7

- Oztaslar A., Arslan H. N-((2-Acetylphenyl)carbamothioyl)benzamide: Synthesis, crystal structure analysis, and theoretical studies. *Karbala International Journal of Modern Science* 2023; 9(3): 377-397. doi:10.33640/2405-609x.3304
- Palatinus L., van der Lee A. Symmetry determination following structure solution in P1. *Journal of Applied Crystallography* 2008; 41(6): 975-984. doi:10.1107/s0021889808028185
- Palatinus L., Chapuis G. SUPERFLIP– a computer program for the solution of crystal structures by charge flipping in arbitrary dimensions. *Journal of Applied Crystallography* 2007; 40(4): 786-790. doi:10.1107/s0021889807029238
- Palatinus L., Prathapa S.J., van Smaalen S. EDMA: a computer program for topological analysis of discrete electron densities. *Journal of Applied Crystallography* 2012; 45(3): 575-580. doi:10.1107/s0021889812016068
- Pham C.T., Nguyen H.H., Hagenbach A., Abram U. Iron(III) metallacryptand and metallacryptate assemblies derived from aroylbis(N,N-diethylthioureas). *Inorganic Chemistry* 2017; 56(18): 11406-11416. doi:10.1021/acs.inorgchem.7b01909
- Ranise A., Spallarossa A., Bruno O., Schenone S., Fossa P., Menozzi G., Filippelli W. Synthesis of N-substituted-N-acylthioureas of 4-substituted piperazines endowed with local anaesthetic, antihyperlipidemic, antiproliferative activities and antiarrhythmic, analgesic, antiaggregating actions. *II Farmac* 2003; 58(9): 765-780. doi:10.1016/s0014-827x(03)00132-0
- Řezáč J., Riley K.E., Hobza P. Benchmark calculations of noncovalent interactions of halogenated molecules. *Journal of Chemical Theory and Computation* 2012; 8(11): 4285-4292. doi:10.1021/ct300647k
- Rissanen K., Barbour L.J., MacGillivray L.R. Structural macrocyclic supramolecular chemistry. *CrystEngComm* 2014; 16(18): 3644-3645. doi:10.1039/c4ce90042a
- Rosenstein I.J.M., Hamilton-Miller J.M.T., Musher D.M. Inhibitors of urease as chemotherapeutic agents. *CRC Critical Reviews in Microbiology* 1984; 11(1): 1-12. doi:10.3109/10408418409105901
- Saalfrank R.W., Maid H., Scheurer A. Supramolecular coordination chemistry: The synergistic effect of serendipity and rational design. *Angewandte Chemie* 2008; 47(46): 8794-8824. doi:10.1002/anie.200702075
- Schulze B., Schubert U.S. Beyond click chemistry – supramolecular interactions of 1,2,3-triazoles. *Chemical Society Reviews* 2014; 43(8): 2522-2571. doi:10.1039/c3cs60386e
- Sénam Etsè K., Zaragoza G., Boschini F., Mahmoud A. New N-methylimidazolium hexachloroantimonate: Synthesis, crystal structure, Hirshfeld surface and catalytic activity of in cyclopropanation of styrene. *Inorganic Chemistry Communications* 2020; 122(108291): 108291. doi:10.1016/j.inoche.2020.108291
- Sheldrick G.M. Crystal structure refinement with SHELXL. *Acta crystallographica. Section C, Structural Chemistry* 2015; 71(1): 3-8. doi:10.1107/s2053229614024218

- Silveira R., Catão A., Cunha B., Almeida F., Correa R., Diniz L., Alcântara, E. Facile synthesis and characterization of symmetric N-[(phenylcarbonyl) carbamothioyl]benzamide thiourea: Experimental and theoretical investigations. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 2018; 29(12): 1-12. doi:10.21577/0103-5053.20180129
- Solmaz U., Keskin E., Gumus I., Cevik PK., Binzet G., Arslan H. Platinum(II) complex containing n-(bis (-2,4-dimethoxy-benzyl)carbamothioyl)- 4-methylbenzamide ligand: Synthesis, crystal structure, Hirshfeld surface analysis, and antimicrobial activity. *Journal of Structural Chemistry* 2022a; 63(1): 62-74. doi:10.1134/s0022476622010073
- Solmaz U., Gumus I., Yilmaz MK., Ince S., Arslan H. Palladium complexes derived from benzoylthiourea ligands: Synthesis, crystal structure, and catalytic application in Suzuki C–C coupling reactions. *Applied Organometallic Chemistry* 2021; 35(10): e6348. doi:10.1002/aoc.6348
- Solmaz U., Ince S., Yilmaz MK., Arslan H. Conversion of monodentate benzoylthiourea palladium(II) complex to bidentate coordination mode: Synthesis, crystal structure and catalytic activity in the Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction. *Journal of Organometallic Chemistry* 2022b; 973-974: 122374. doi:10.1016/j.jorganchem.2022.122374
- Solmaz U., Keskin E., Arslan H. Palladium(II) complexes of thiobenzamide derivative ligands: Synthesis, crystal structure, supramolecular architecture, Hirshfeld surface analysis, and in vitro antibacterial and antifungal activities. *Journal of Molecular Structure* 2024; 1308: 138103. doi:10.1016/j.molstruc.2024.138103
- Somashekar MN., Chetana PR., Chethan BS., Rajegowda HR., Cooper MA., Ziora ZM., Srinatha BS. Synthesis and characterization of Zinc(II) complex with ONO donor type new phenylpropanehydrazide based ligand: Crystal structure, Hirshfeld surface analysis, DFT, energy frameworks and molecular docking. *Journal of Molecular Structure* 2022; 1255: 132429. doi:10.1016/j.molstruc.2022.132429
- Spackman MA., Jayatilaka D. Hirshfeld surface analysis. *CrystEngComm* 2009; 11(1): 19-32. doi:10.1039/b818330a
- Spackman MA., McKinnon JJ. Fingerprinting intermolecular interactions in molecular crystals. *CrystEngComm* 2002; 4(66): 378-392. doi:10.1039/b203191b
- Spackman MA., McKinnon JJ., Jayatilaka D. Electrostatic potentials mapped on Hirshfeld surfaces provide direct insight into intermolecular interactions in crystals. *CrystEngComm* 2008; 10, 377-388. doi:10.1039/b715227b
- Spackman PR., Turner MJ., McKinnon JJ., Wolff SK., Grimwood DJ., Jayatilaka D., Spackman MA. CrystalExplorer: a program for Hirshfeld surface analysis, visualization and quantitative analysis of molecular crystals. *Journal of Applied Crystallography* 2021; 54(3): 1006-1011. doi:10.1107/s1600576721002910

- Sun J., Cai S., Mei H., Li J., Yan N., Wang Q., Lin Z., Huo D. Molecular docking and QSAR studies on substituted acyl(thio)urea and thiadiazolo [2,3- α] pyrimidine derivatives as potent inhibitors of influenza virus neuraminidase. *Chemical Biology & Drug Design* 2010; 76(3): 245-254. doi:10.1111/j.1747-0285.2010.01006.x
- Tan SL., Jotani MM., Tiekink ERT. Utilizing Hirshfeld surface calculations, non-covalent interaction (NCI) plots and the calculation of interaction energies in the analysis of molecular packing. *Acta Crystallographica. Section E, Crystallographic Communications* 2019; 75(3): 308-318. doi:10.1107/s2056989019001129
- Uysal ME., Solmaz U., Arslan H. Ru(II) and Ru(III) complexes containing N-acylthiourea ligands: Supramolecular structures and synthons, reduction, and reaction pathway of aromatic nitro compounds. *Applied Organometallic Chemistry* 2023; 37(7): e7107. doi:10.1002/aoc.7107
- Uysal ME., Solmaz U., Arslan H. Ruthenium(III) acyl thiourea complex: A catalyst for transfer hydrogenation of nitroarenes. *Polyhedron* 2024; 247: 116707. doi:10.1016/j.poly.2023.116707
- Wu Q., Xiao JC., Zhou C., Sun JR., Huang MF., Xu X., Li T., Tian H. Crystal structure and supramolecular architecture of inorganic ligand-coordinated salen-type Schiff base complex: Insights into halogen bond from theoretical analysis and 3D energy framework calculations. *Crystals* 2020; 10(4): 334. doi:10.3390/cryst10040334
- Xiao L., Liu CJ., Li YP. Ultrasound promoted synthesis of bis(substituted pyrazol-4-ylcarbonyl)-substituted thioureas. *Molecules* 2009; 14(4): 1423-1428. doi:10.3390/molecules14041423
- Xue SJ., Ke SY., Wei TB., Duan LP., Guo YL. Ultrasonic irradiated synthesis of *N*-(5-aryl-2-furoyl)thiourea derivatives containing substituted pyrimidine ring under phase transfer catalysis. *Journal of the Chinese Chemical Society* 2004; 51(5A): 1013-1018. doi:10.1002/jccs.200400151
- Yabalak E., Dal H., Arslan H. The molecular structure and vibrational spectra of 4-bromo-2-(((5-methylpyridin-2-yl)imino)methyl)phenol by density functional method. *Journal of Molecular Structure* 2019; 1179: 540-548. doi:10.1016/j.molstruc.2018.10.079
- Zhong Z., Xing R., Liu S., Wang L., Cai S., Li P. Synthesis of acyl thiourea derivatives of chitosan and their antimicrobial activities in vitro. *Carbohydrate Research* 2008; 343(3): 566-570. doi:10.1016/j.carres.2007.11.024

Muğla İli Ortaca İlçesindeki Kültür Park'ın Kurakçıl Peyzaj Açısından İrdelenmesi

Özen İLHAN¹, Hülya AKAT^{2*}, Özlem AKAT SARAÇOĞLU³

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 48000, Muğla

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ortaca Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, 48600, Muğla

³Ege Üniversitesi, Bayındır Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 35840, İzmir

¹<https://orcid.org/0009-0009-7872-5283>

²<https://orcid.org/0000-0002-0927-8530>

³<https://orcid.org/0000-0003-1680-783X>

*Sorumlu yazar: ahulya@mu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.12.2023

Kabul tarihi: 21.04.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Bitkisel tasarım

Kurakçıl peyzaj uygulamaları

Su etkin peyzaj düzenlemesi

Su tasarrufu

ÖZ

Son yıllarda küresel ısınmaya bağlı olarak yaşanan mevsimsel kuraklıklardaki artışlar, su kaynaklarının azalmasına neden olmakta ve kullanılabilir suyun tüm alanlarda daha etkin bir şekilde tüketilmesini gerektirmektedir. Tarımsal amaçlı değerlendirilen suyun, özellikle kentsel açık yeşil alanlardaki bitkilerin sağlıklı gelişimi ve sürdürülebilirliği kapsamında farklı peyzaj tasarım anlayışları gündeme gelmiştir. Bu tasarım anlayışlarından biri de, az su isteyen bitkilerin yanı sıra doğal türlere öncelikli yer verilmesi ile benzer su isteğine sahip bitkilerin bir arada kullanıldığı kurakçıl peyzaj yaklaşımıdır. Araştırmaya konu olan Kültür Park'ın iklimsel verileri, toprak analizi, alan kullanımları çıkartılarak, mevcut bitkilerin kurakçıl peyzaj ilkeleri doğrultusunda su tüketimleri, kurağa dayanımları ile park alanının su kullanımı ve etkinliği değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda; sürdürülebilir yeşil kent dokusunun oluşturulmasına katkıda bulunmak amacıyla kurağa dayanıklı, bölge ekolojisine uygun alternatif bitki türleri ve sulama ile ilgili öneriler sunulularak yapılması planlanan diğer kurakçıl peyzaj çalışmalarına öncülük edileceği düşünülmektedir.

The Examination of The Cultural Park in Ortaca District of Muğla Province in Perspective of Xeriscape Landscape

Research Article

Article History:

Received: 28.12.2023

Accepted: 21.04.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Planting design

Xeriscape landscape practices

Water-efficient landscaping

Water saving

ABSTRACT

The increase in seasonal droughts experienced in recent years due to global warming causes a decrease in water resources and requires more effective consumption of usable water in all areas. Different landscape design approaches have come to the fore within the scope of the healthy development and sustainability of water used for agricultural purposes, especially of plants in urban open green areas. One of these design approaches is the xeric landscaping approach, where plants with similar water requirements are used together, with priority given to natural species as well as plants that require less water. The area uses of Kültür Park, which is the subject of the research, were extracted and the water consumption of the existing plants in line with the xeric landscape principles, their resistance to drought, and the water use and effectiveness of the park area were evaluated. In line with the findings obtained; In order to contribute to the creation of a sustainable green urban texture, it is thought that other drought-resistant landscaping studies will be pioneered by offering alternative plant species and irrigation that are drought-resistant and suitable for the ecology of the region.

To Cite: İlhan Ö., Akat H., Akat Saraçoğlu Ö. Muğla İli Ortaca İlçesindeki Kültür Park'ın Kurakçıl Peyzaj Açısından İrdelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1754-1774.

1. Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği birçok çevre sorununu beraberinde getirerek doğal kaynakların olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Küresel ısınma ile birlikte artan nüfus, hızlı kentleşme ve sanayileşme gibi faktörlere bağlı olarak yaşanan kuraklık, su kaynaklarının etkin kullanımı ve korunması konularını gündeme getirmiştir (Maaşoğlu, 2018). Yaşamın her alanında kullanılan suyun ortamda gereken düzeyde bulunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması oldukça önemlidir (Bayramoğlu ve ark., 2013). Sınırlı doğal kaynaklardan olan suyun bilinçsiz kullanılması azalmasına neden olduğundan evsel, sanayi veya tarımsal alanlarda bu kaynağın dikkatli bir şekilde tüketilmesi gerekmektedir (Çetin, 2016).

Kullanılabilir suyun büyük bir çoğunluğu tarımsal amaçlı değerlendirilmekte ve kentsel açık yeşil alanlardaki bitkilerin yaşamını devam ettirmesinde de su önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle su isteği yüksek birçok süs bitkisinin de yer aldığı kentsel açık yeşil alanlardaki peyzaj çalışmalarında, suyun etkin kullanımının benimsendiği tasarım anlayışlarının önemli olduğu vurgulanmaktadır (Önder ve Akay, 2015). Erdoğan ve ark. (2014)'e göre, geleneksel anlayışla yapılan park tasarımları, egzotik süs bitkileri, verimsiz ağaçlar, küçük ve parçalı yüzeyler ile genellikle yüksek peyzaj değerine sahip ve çevresel bozulmaya duyarlı alanlarda yer alması nedeniyle ciddi şekilde dezavantajlıdır. Geleneksel peyzaj düzenlemelerinde genellikle su isteği yüksek bitkiler ile geniş çim alanlar ön planda tutulduğundan, su ihtiyacının karşılanmasındaki sıkıntılara bağlı su etkin tasarım anlayışlarının tercih edilmesi yaygınlaşmıştır (Hersek ve Korkut, 2021). Bu yaklaşımlar arasında da kurakçıl peyzaj uygulamalarının kullanımı oldukça dikkat çekmektedir.

Kurakçıl peyzaj, küresel ısınmaya bağlı ortaya çıkan sıkıntılara çözüm oluşturabilmek adına; kurağa dayanıklı süs bitkilerinin kullanıldığı su tasarrufu sağlayan tasarım yaklaşımıdır (Çorbacı ve ark., 2011, Çetinkale Demirkan ve Akat, 2017). Bu yaklaşımda sulamaların düzenlenmesinde, az su tüketen bitkilere öncelik verilerek, su isteği orta veya yüksek düzeydeki türlerin tercih edilmesi durumunda ise bitkilerin birbirine yakın noktalarda kullanılması ile sulama bölgelerine (zon) ayrılıp bitkisel tasarımların gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır (Çöp ve Akat, 2021). Kurakçıl peyzaj çalışmalarında, su isteği yüksek bitkiler yerine, estetik ve fonksiyonel açıdan bu tasarım anlayışına uygun, az su isteyen alternatif türlerin ya da bölgeye adaptasyonu yüksek doğal bitkilerin tercih edilmesi, suyun daha etkin kullanılması açısından oldukça önemlidir. Az su isteyen bitkiler ile gerçekleştirilen peyzaj tasarımlarında su tasarrufuna katkı sağlanırken doğal bitkilere de yer verilerek suyun daha etkin kullanımına olanak tanınmaktadır. Bölgeye özgü doğal türlerin veya su isteği az olan bitkilerin kullanımını önemseyen kurakçıl peyzaj anlayışı, özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu kurak ve yarı kurak iklim koşullarında doğa ile uyumlu ve bakım maliyetlerinin daha düşük olduğu alanların oluşturulmasını hedeflemektedir. Ayrıca doğal türlerin kullanımı ile sürdürülebilir peyzaj tasarımlarının gerçekleştirilmesinin yanı sıra çevreye uyumlu ve sağlıklı bir bitki örtüsünün oluşturulmasına da katkı sağlamaktadır (Bayramoğlu, 2016; Söğüt ve ark., 2018). Bu çalışma, özellikle mevsimsel kuraklığa sahip Muğla ili Ortaca ilçesindeki Kültür Park'ta yer alan bitkilerin kurakçıl peyzaj ilkeleri

doğrultusunda su tüketimleri, kurağa dayanımları ve su kullanım etkinliğinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Kültür Park'ın kurakçıl peyzaj ilkeleri kapsamında değerlendirilmesi ile bölgedeki diğer kurakçıl peyzaj uygulamalarında kullanılabilecek bitki türlerine alternatiflerin sunulması ve suyun etkin kullanımı doğrultusunda sulama ile ilgili önerilerde bulunulması sonucu sürdürülebilir yeşil kent dokusunun oluşturulmasına katkı sağlanması düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

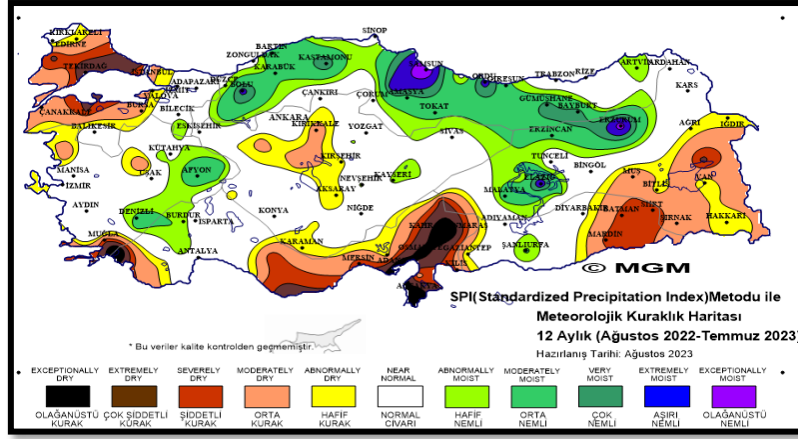
2.1. Materyal

Muğla ilinin 12 ilçesinden biri olan Ortaca ilçesi; 36° 50' 12" kuzey enlemleri ile 28° 46' 08" doğu boylamları arasında yer almaktadır (Kılıçarslan, 2008) (Şekil 1).



Şekil 1. Ortaca ilçesinin konumu (Kazan, 2007'den değiştirilerek)

İklimsel açıdan 2022-2023 yılları arasındaki kuraklık haritasına bakıldığında; Muğla'nın, orta ve şiddetli kurak kategorisinde yer aldığı ve mevsimsel kuraklıkların yoğun yaşandığı bir il olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 2). Çalışmanın yürütüldüğü Kültür Park'ın yer aldığı Ortaca ilçesinde kışların ılık ve yağışlı, yazların sıcak ve kurak geçtiği görülmektedir.



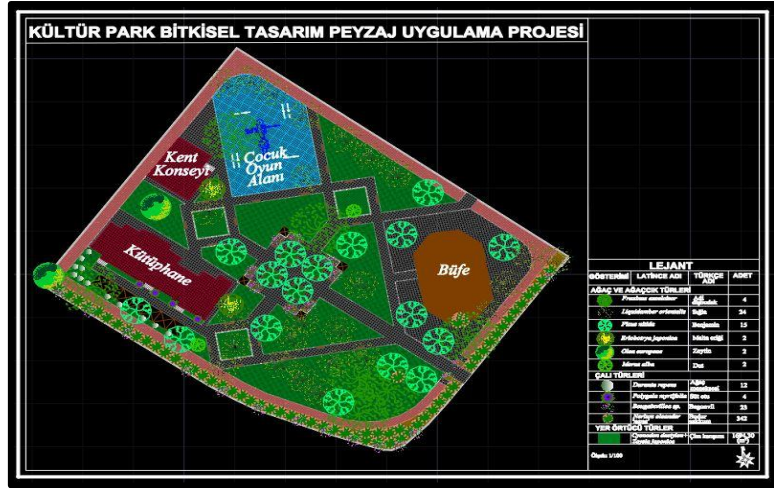
Şekil 2. Muğla kuraklık haritası (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

2.2. Metot

Araştırmanın gerçekleştirileceği Kültür Park'ta; iklimsel veriler, toprak analiz sonuçları, literatür taraması, arazi çalışmaları ve yerinde incelemeler sonucu toplanan bilgiler ışığında kurakçıl peyzaj ilkeleri doğrultusunda parkın değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle parkta yer alan mevcut bitkiler belirlenip ana vatanları ile yayılış alanları listelenerek tür bazında daha önceki kurakçıl peyzaj araştırmalarından yararlanılıp su tüketimleri irdelenip bölgeye uygun ve kurağa dayanımı yüksek olan alternatif bitki türleri önerilmiştir (Çetinkale Demirkan ve Akat, 2017; Zencirkıran ve Akdeniz, 2017; Çorbacı ve ark., 2017; Çakar ve ark., 2018; Çöp ve Akat, 2021; Çorbacı ve Ekren, 2022; Corbacı ve Bayramoğlu, 2021; Kamer Aksoy ve ark., 2022; Kavuran ve Yılmaz, 2022). Kültür Park'a ait uydu görüntüsü Şekil 3'de, Ortaca Belediyesi'nden alınan peyzaj tasarım projesi Şekil 4'de ve park alanından elde edilen görseller ise Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 3. Kültür Park'ın uydu görüntüsü (Google Eart, t.y.)



Şekil 4. Kültür Park'ın peyzaj tasarım projesi (Ortaca Belediyesi, 2022)

Bölge halkı tarafından çok kullanılması ve merkezi bir konumda yer alması nedeniyle araştırma alanı olarak seçilen Kültür Park; 5271.82 m² olup, 1980.80 m²'si yeşil alanlardan, 2666.17 m²'si sert zeminlerden ve 624.85 m²'si ise bina oturma alanlarından oluşmaktadır.



Şekil 5. Kültür Park'a ait görseller (Orijinal, 2022)

Kurakçıl peyzaj ilkeleri kapsamında bitkilerin seçiminde; parka ait toprak analizi yaptırdıktan bitki besin elementleri, organik madde içeriği, tuz ve pH değerlerine uygun olan, kurağa dayanıklı ve bölgenin iklimine uygun türlerin değerlendirilmesi ile park alanı için alternatif bitki önerileri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca su kullanımı ve etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla parkta bulunan sulama sistemlerine yönelik yapısal durumun tespit edilebilmesi için yetkili kurumdan elde edilen

veriler yardımıyla sahadaki sulama yöntemleri değerlendirilmiştir. Kültür Park'taki peyzaj alanlarındaki bitkilerin sulanmasında karşılaşılan sorunlar ortaya konularak sulama uygulamasına ilişkin kurakçıl peyzaj kapsamında önerilerde bulunulması planlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Kültür Park'a ait Ortaca Belediyesi'nin yaptırmış olduğu toprak analiz sonuçları ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş ilçenin iklimsel verileri Tablo 1, 2 ve 3'te verilmiştir. Toprak özellikleri incelendiğinde; toprak bünyesinin ve pH değerlerinin bölgenin genel toprak yapısı ile örtüştüğü ve birçok bitki için uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mevcut toprağın, bazı elementler açısından düşük değerlere sahip olmasıyla birlikte organik madde miktarının uygunluğu ve killi tınlı bünyeye sahip olması nedeniyle bitki beslenmesi açısından herhangi bir problemin yaşanmayacağı düşünülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Kültür Park alanına ait toprak analiz sonuçları (Ortaca Belediyesi, 2022)

Bünye	Kireç (%)	Tuzluluk (%)	Organik Madde (%)	Azot (%)	Fosfor (kg/da)	Potasyum (kg/da)	Kalsiyum (mg/kg)	Magnezyum (mg/kg)	Demir (mg/kg)	Bakır (mg/kg)	Çinko (mg/kg)	Mangan (mg/kg)
Killi-tın	15,60	0,01	3,04	0,15	11,34	30,30	2400	690	10,51	1,59	4,25	6,10

İklimsel koşullar arasında tarımsal faaliyetleri en fazla etkileyen faktörlerin başında sıcaklık ve yağış gelmektedir. Bu koşullara bağlı olarak bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun yeterli düzeyde karşılanamaması durumunda kuraklık problemi ortaya çıkmaktadır. Kuraklık sorunu, sıcaklığın artması ile doğru, yağış yoğunluğu ile ters orantılı bir durum sergileyerek bitkilerin yaşamını olumsuz etkilemektedir (Oğuz ve ark., 2008).

Sıcaklığa ilişkin son on yıllık veriler incelendiğinde; en yüksek sıcaklık değerinin 44,6 °C ile 2017 yılının Temmuz ve en düşük sıcaklık değerinin ise -3,5 °C ile 2016 yılının Ocak aylarında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Tablo 2 ve 3). Araştırmanın yürütüldüğü 2022 yılı sıcaklık verilerine bakıldığında ise; en yüksek sıcaklığın 40,5 °C ile Ağustos ve en düşük sıcaklığın -1,3 °C ile Ocak aylarında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Kültür Park alanına ilişkin maksimum sıcaklık değerleri (°C) (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

YILLA	1.A	2.A	3.A	4.A	5.A	6.A	7.A	8.A	9.A	10.A	11.A	12.A
R	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2013	19,8	19,6	25,5	33,5	34,2	36,8	38,7	38,4	37,2	33,4	25,7	21,9
2014	18,8	20,8	22,8	26,4	28,0	38,4	39,5	41,7	31,3	30,8	24,2	21,7
2015	19,5	21,3	22,7	25,6	29,6	35,3	37,5	37,3	38,6	29,6	25,5	20,5
2016	20,2	22,8	25,8	31,0	29,7	41,2	38,8	35,0	36,4	30,0	24,3	19,4
2017	16,5	19,9	23,1	26,0	33,0	41,9	44,6	36,6	33,4	30,1	23,9	21,7
2018	18,8	22,4	22,7	28,9	32,7	37,9	41,4	37,3	34,9	32,8	26,9	19,9
2019	17,0	23,0	23,0	26,0	34,0	38,0	39,0	39,0	35,0	32,0	28,0	21,1
2020	20,2	22,9	26,7	27,5	43,7	37,2	40,4	40,0	40,0	36,9	27,5	22,2
2021	21,5	26,1	21,8	28,0	36,9	40,5	43,0	44,3	37,6	30,8	27,4	21,2
2022	20,5	19,2	20,5	26,7	37,1	37,9	39,1	40,5	34,9	33,7	26,1	22,2

Tablo 3. Kültür Park alanına ilişkin minimum sıcaklık değerleri (°C) (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

YILLA	1.A	2.A	3.A	4.A	5.A	6.A	7.A	8.A	9.A	10.A	11.A	12.A
R	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
2013	-1,1	1,8	3,9	8,3	11,9	13,8	17,5	18,8	13,5	6,7	6,5	-1,3
2014	3,3	3,7	3,9	7,0	10,3	12,1	17,5	20,0	14,0	8,8	5,6	4,6
2015	-1,4	0,8	4,1	6,2	10,9	14,1	17,5	17,6	16,7	8,9	6,5	1,3
2016	-3,5	2,6	4,1	6,8	8,8	13,1	18,9	18,6	11,4	11,1	4,7	-1,1
2017	-2,7	-0,3	2,5	6,3	10,1	14,5	18,5	18,5	13,6	9,3	4,1	2,1
2018	1,3	5,1	5,3	5,6	11,0	14,8	17,5	18,4	14,6	7,0	6,3	0,6
2019	0,0	4,0	4,0	7,0	8,0	12,0	17,0	19,0	14,0	10,3	6,7	3,3
2020	-0,6	-0,1	2,0	4,2	8,5	9,8	18,6	18,0	16,0	9,6	10,7	8,9
2021	-1,6	1,2	0,9	3,9	11,0	13,1	18,4	19	11,7	9,8	7,3	0,7
2022	-1,3	1,5	0,5	4,4	9,9	16,4	17,3	19,6	10,1	9,6	6,4	6,0

2022’de toplam yıllık yağış miktarının 915,2 mm olduğu ve 7,8 mm değeri ile en düşük yağışların yaz mevsiminde gerçekleştiği görülmüştür (Tablo 4). 2019 yılından sonra yağış miktarlarında farklı oranlarda azalmaların gerçekleştiği ve 2022 yılının yaz mevsimi ile kıyaslandığında %62,86’lık bir düşüşün sergilendiği gözlemlenerek, yıllık ortalama yağış miktarının 76,27 mm olması nedeniyle suyun etkin kullanımı ile ilgili çalışmaların gerçekleştirilmesinin su kıtlığına alternatif bir çözüm oluşturacağı dşnlmektedir.

Tablo 4. Kültür Park alanına ilişkin yağış değerleri (mm) (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

YILLAR	SONBAHAR	KIş	İLKBAHAR	YAZ	TOPLAM YILLIK YAğIş	ORTALAMA YILLIK YAğIş
2013	211.6	369.0	176.9	2.0	759.5	63.29
2014	259.4	617.0	187.6	11.0	1075.0	89.58
2015	279.4	667.9	306.6	0.0	1253.9	104.49
2016	116.8	472.7	241.3	35.0	865.8	72.15
2017	293.9	417.3	182.2	5.6	899.0	74.92
2018	385.7	429.5	146.2	22.8	984.2	82.02
2019	290.8	790.7	186.4	21.0	1228.9	102.41
2020	151.1	449.8	105.1	6.1	712.1	59.34
2021	170.4	493.2	74.8	0.4	738.8	61.57
2022	216.6	569.8	121	7.8	915.2	76.27

Kültür Park'ın; %38'ini yeşil alanlar, %50'sini sert zeminler ve %12'sini bina oturma alanları oluşturmaktadır. Yapılan inceleme sonucunda 2666,17 m²'lik sert zeminlerin, 1014.18 m²'sinin kauçuk malzeme ve geriye kalan kısımlarının ise kilit parke ile tasarlandığı tespit edilmiştir. Yapısal peyzaj tasarımlarının önemli bileşenlerinden sert zemin döşemeleri, mekân algısının oluşması ve peyzaj sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Apaydın ve ark., 2022). Görsel, estetik ve mekan algısı bakımından peyzaj tasarımlarında sert zeminlere yoğun miktarda yer verilmesi doğru bir uygulama olarak karşımıza ıkılmamaktadır. Bitki türüne ve alandaki kullanım miktarına göre kentsel açık yeşil alanlar, buldukları ortamın hem sıcaklığını düşürmekte hem de serinletici bir etki yaratarak termal anlamda daha konforlu alanların oluşmasına katkı sağlamaktadır (Rui ve ark., 2019). Geleneksel peyzaj tasarım projelerinde alanın %20'sinin sert zeminlerden oluşmasının ekolojik olarak uygun görüldüğü bildirilmektedir (Doygun ve Kısakürek, 2013). Hersek (2019) gerçekleştirdiği araştırmada bu oranın ekolojik denge açısından kurakçıl peyzaj çalışmalarında da aynı seviyelerde tutulmasının önem taşıdığını belirttiğinden, Kültür Park'taki %50'lik geçirimsiz alan oranının yüksek olduğu dşnlmektedir. Kültür Park'ın; %38'lik oran ile yeşil alanlarını oluşturan çim yüzeyler ile ağaç, ağaççık ve çalı grubunda yer alan mevcut bitki listesi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kùltür Park alanındaki mevcut bitki listesi ve bazı özellikleri (Çetinkale Demirkan ve Akat, 2017; Zencirkıran ve Akdeniz, 2017; Çorbacı ve ark., 2017; Çakar ve ark., 2018; Çöp ve Akat, 2021; Çorbacı ve Ekren, 2022; Kamer Aksoy ve ark., 2022; Kavuran ve Yılmaz, 2022)

Bitki Grupları	Anavatan ve Yayılış Alanları	Doğal / Egzotik	Kurağa Dayanımları	Su İstekleri
Ağaçlar /Adet				
- <i>Ficus nitida</i> L. (Benjamin) /15	Güneydoğu Asya ve Güney Avustralya	Egzotik	Hassas	Yüksek
- <i>Fraxinus excelsior</i> L. (Adi Dişbudak) /4	Avrupa, Kırım, Kafkasya	Egzotik	Hassas	Yüksek
- <i>Liquidamber orientalis</i> Mill. (Sığla) /24	Güneybatı Türkiye	Doğal	Hassas	Orta
- <i>Morus alba</i> L. (Ak Dut) /2	Çin, Japonya, Uzak Doğu, Doğu Asya	Egzotik	Adapte	Yüksek
- <i>Olea europaeae</i> L. (Zeytin) /2	Akdeniz Ülkeleri, Asya, Türkiye	Doğal	Adapte	Orta
Ağaçcıklar /Adet				
- <i>Eriobotrya japonica</i> L. (Yeni Dünya) /2	Çin, Japonya	Egzotik	Adapte	Orta
Çalılar /Adet				
- <i>Bougainvillea spp.</i> L. (Begonvil) /23	Brezilya, Akdeniz Ülkeleri	Egzotik	Adapte	Az-orta
- <i>Duranta repens</i> L. (Ağaç Menekşesi) /12	Meksika, Güney Amerika	Egzotik	Adapte	Az-orta
- <i>Nerium oleander</i> ‘Nana’ L. (Bodur Zakkum) /342	Akdeniz Ülkeleri	Egzotik	Adapte	Az-orta
- <i>Polygala myrtifolia</i> L. (Süt Otu) /4	Güney Afrika	Egzotik	Adapte	Az
Çimler / m²				
- <i>Cynodon dactylon</i> L. + <i>Zoysia japonica</i> Steud. (Bermuda çimi + Japon çimi) / 1694,30	Güney Afrika, Avustralya, Japonya, Malezya	Egzotik	Dayanımlı	Az / az-orta

Kùltür Park’taki bitki varlığı incelendiğinde; ağaç, ağaçcık ve çalı grubuna ait 10 türden 430 bitkiye ilave 1694,30 m² çim alanlarda *Cynodon dactylon* ile *Zoysia japonica* karışımının kullanıldığı görülmektedir (Tablo 6). Su istekleri açısından ağaç grubundaki *Fraxinus excelsior*, *Ficus nitida* ve *Morus alba* türlerinin su isteğinin yüksek olduğu, *Liquidamber orientalis* ve *Olea europaeae*’nın orta düzeyde suya gereksinim duyduğu belirlenmiştir. Ağaçcık grubundaki *Eriobotrya japonica*’nın su isteğinin orta düzeyde olduğu ve park alanında yoğun kullanılan çalı türlerinin tamamının az su isteyen türlerden oluştuğu tespit edilmiştir (Tablo 6). Kùltür Park’taki bitki türlerinin büyük çoğunluğunun su isteğinin az ve orta düzeydeki türlerden tercih edilmiş olmasının, klasik peyzaj yaklaşımıyla tasarlanmış olan park alanında kurakçıl peyzaj ilkelerinden uygun bitki türlerinin seçimi doğrultusunda önemli bir avantaj sağladığı görülmektedir. Kùltür Park’taki bitki grupları değerlendirildiğinde; toplam bitki

varlığının %10,93'lük kısmını oluşturan 5 türe ait 47 adet bitkinin; ağaç grubunda, % 0,46'lık kısmını oluşturan tek türe ait 2 adet bitkinin; ağaçcık grubunda ve % 88,60'lık kısmını oluşturan 4 türe ait 381 adet en yoğun bitki sayısının ise çalı grubunda yer aldığı tespit edilmiştir (Tablo 6).

Estetik ve fonksiyonel açıdan peyzaj tasarımlarındaki bitkiler, kentsel yeşil dokunun oluşturulmasında önemli öğelerdendir (Acar ve ark., 2003; Akat ve ark., 2017). Kültür Park'ta bitki varlığının %6,05'lik kısmını oluşturan *Liquidamber orientalis* ve *Olea europeae* bölgenin doğal bitkilerindendir. Kurakçıl peyzaj tasarımlarında, tercih edilecek bitkilerin az su isteğine sahip olmasının yanı sıra bulunduğu bölgeye uyum kolaylığı açısından doğal bitki türlerinden seçilmesi büyük avantajlar sağlamaktadır (Gül ve ark., 2012).

Tablo 6. Kültür Park alanındaki bitki gruplarının dağılımları

Bitki Grupları	Bitki Türü (adet)	Türe Göre Dağılımı (%)	Bitki Sayısı (adet)	Bitki Sayısına Göre Dağılım (%)
Ağaçlar	5	50	47	10,93
Ağaçcıklar	1	10	2	0,46
Çalılar	4	40	381	88,60
Toplam	10	100	430	100,00

Çalışma alanındaki bitki varlığının su ihtiyaçlarına göre bitki grupları açısından dağılım oranları Tablo 7'den takip edildiği üzere; ağaç grubundaki bitkilerin %44,68'inin yüksek ve %55,31'inin ise orta düzeyde suya gereksinim duyduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten ağaçcık grubundaki tek türe ait bitkilerin su isteğinin orta düzeyde olduğu ve çalı grubundaki tüm türlere ait bitkilerin tamamının ise su isteğinin az düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. Kültür Park alanındaki bitki varlığı ve türlerinin su isteklerine göre dağılımı (Çetinkale Demirkan ve Akat, 2017; Zencirkıran ve Akdeniz, 2017; Çorbacı ve ark., 2017; Çakar ve ark., 2018; Çöp ve Akat, 2021; Çorbacı ve Ekren, 2022; Kamer Aksoy ve ark., 2022; Kavuran ve Yılmaz, 2022)

Bitki Grubu	Yüksek su isteyen tür sayısı (adet)	Orta su isteyen tür sayısı (adet)	Az su isteyen tür sayısı (adet)	Toplam tür sayısı (adet)	Yüksek su isteyen bitki sayısı (adet)	Orta su isteyen bitki sayısı (adet)	Az su isteyen bitki sayısı (adet)	Toplam bitki sayısı (adet)
Ağaçlar	3	2	-	5	21	26	-	47
Ağaçcıklar	-	1	-	1	-	2	-	2
Çalılar	-	-	4	4	-	-	381	381
Toplam	3	3	4	10	21	28	381	430

Kültür Park alanındaki mevcut bitki türlerinin %40'ının az ve %30'unun orta su isteğine sahip olması, kurakçıl peyzaj düzenlemesi bakımından önemlidir. Çöp ve Akat (2021), tarafından kurakçıl peyzaj yaklaşımı kapsamında yapılan bir araştırmada hazırlanan bitkisel tasarım projesinde su isteği orta düzeydeki türlere %31,57'lik ve az olan türlere ise %68,42'lik oranda yer verilmiş olmasının, Kültür Park'taki %70 oranındaki su isteği az ve orta düzeyde olan türlerin yer alması sonucu ile kıyaslandığında kurakçıl peyzaj ilkelerinden uygun bitki türlerinin seçimi doğrultusunda hareket edildiğinin belirlenmesi ile birlikte su tüketiminin bu alan için daha yüksek düzeyde olduğu düşünülmektedir.

Doğal türler ile yapılan bitkilendirme çalışmalarının ekolojik faydaları öncelikli olmak üzere estetik ve ekonomik katkıları da bulunmaktadır. Kurakçıl peyzaj çalışmalarında, seçilecek türlerin fazla bakım istemeyen ve doğal bitkilerden oluşması; sürdürülebilirlik açısından avantaj sunmaktadır (Kavuran ve Yılmaz, 2022). Ayrıca kurakçıl peyzaj tasarımlarının sadece kaktüs ve sukkulent bitkiler ile taş bahçesinden oluşmadığı ve az su isteyen farklı yapıdaki ağaç, ağaçcık, çalı, yer örtücü ve mevsimlik bitkilere de yer verilmesi sonucu daha estetik görüntülerin elde edildiği ileri sürülmüştür (Çakar ve ark., 2018; Altay ve Odabaş Uslu, 2022; Ismaeil ve Sobaih, 2022). Kültür Park ve bölgede yapılması planlanan diğer kurakçıl peyzaj çalışmalarında kullanılmak üzere önerilen bitkiler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Kültür Park ve Ortaca İlçesi'nde yapılması planlanan kurakçıl peyzaj çalışmaları için önerilen bitki listesi ve bazı özellikleri (Çetinkale Demirkan ve Akat, 2017; Zencirkıran ve Akdeniz, 2017; Çorbacı ve ark., 2017; Çakar ve ark., 2018; Çöp ve Akat, 2021; Çorbacı ve Ekren, 2022; Kamer Aksoy ve ark., 2022; Kavuran ve Yılmaz, 2022)

Bitki Grupları	Anavatan ve Yayılış Alanları	Doğal / Egzotik	Kurağa Dayanımları	Su İstekleri
Ağaçlar				
- <i>Catalpa bignonioides</i> Walt. (Katalpa)	Kuzey Amerika	Egzotik	Dayanımlı	Az
- <i>Ceratonia siliqua</i> L. (Keçiboynuzu)	Akdeniz Ülkeleri	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Phoenix dactylifera</i> L. (Hurma)	Orta Doğu	Egzotik	Dayanımlı	Az
- <i>Pinus brutia</i> Ten. (Kızıl Çam)	Doğu Akdeniz Havzası, Türkiye, Yunanistan	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Pinus halepensis</i> Mill. (Halep Çamı)	Akdeniz ve Batı Asya	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Pinus pinea</i> L. (Fıstık Çamı)	Akdeniz Ülkeleri, Portekiz	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Washingtonia filifera</i> L. (Palmiye)	Güneybatı Amerika, Kuzeybatı Meksika	Egzotik	Dayanımlı	Az
Ağaçcıklar				
- <i>Acacia cyanophylla</i> L. (Kıbrıs Akasyası)	Akdeniz Ülkeleri, Kıbrıs, Avustralya	Egzotik	Dayanımlı	Az
- <i>Acer negundo</i> L. (Dişbudak Yapraklı Akçaağaç)	Kuzey Amerika	Egzotik	Adapte	Az

- <i>Celtis orientalis</i> L (Çitlembik Ağacı)	Güney Avrupa, Kuzey Afrika, Batı Asya, Türkiye	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Cercis siliquastrum</i> L (Erguvan)	Akdeniz Ülkeleri, Türkiye, Güney Avrupa, Batı Asya	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Lagerstromia indica</i> L (Oya Ağacı)	Güney Çin, Japonya, Güney Asya	Egzotik	Adapte	Az

Çalılar

- <i>Arbutus unedo</i> L (Kocayemiş)	Akdeniz Ülkeleri, Türkiye, Kuzey Amerika, Avrupa	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Cistus salviifolius</i> L (Adaçayı Yapraklı Laden)	Akdeniz Ülkeleri, Türkiye, Güney Avrupa, Kuzey Afrika'nın sahil kesimi	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Erica arborea</i> L (Funda)	Güney ve Doğu Avrupa, Kuzey ve Doğu Afrika, Batı AsyaTürkiye	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Juniperus horizontalis</i> L (Yayılıcı Ardıç)	Kuzey Amerika	Egzotik	Adapte	Az
- <i>Lavandula angustifolia</i> L (Lavanta)	Akdeniz Ülkeleri, Kanarya Adaları, Kuzey Afrika, Hindistan	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Rosmarinus officinalis</i> L (Biberiye)	Güney Afrika, Akdeniz Ülkeleri, Çin, Avustralya	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Salvia officinalis</i> L (Adaçayı)	Akdeniz Ülkeleri, Türkiye, Orta ve Güney Amerika, Orta ve Doğu Asya	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Spartium junceum</i> L (Katırtırnağı)	Akdeniz Ülkeleri, Kuzeybatı Afrika, Güneybatı Asya	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Tamarix tetrandra</i> L (İlgın)	Akdeniz Ülkeleri, Türkiye, Afrika, Batı Avrupa, Doğu Asya	Doğal	Dayanımlı	Az
- <i>Thymus vulgaris</i> L (Kekik)	Akdeniz Ülkeleri, Türkiye, Avrupa, Kuzey Afrika, Asya,	Doğal	Dayanımlı	Az

Yer Örtücüler

- <i>Aptenia cordifolia</i> L (Buz Çiçeği)	Kuzey Amerika, Güney Afrika	Egzotik	Dayanımlı	Az
- <i>Carpobrotus edulis</i> L (Kazayağı)	Güney Afrika	Egzotik	Dayanımlı	Az
- <i>Cerastium tomentosum</i> L (Fare Kulağı)	Güney Avrupa, Doğu Avrupa	Egzotik	Dayanımlı	Az
- <i>Gazania rigens</i> L. (Gazanya)	Güney Afrika	Egzotik	Dayanımlı	Az
- <i>Mesembryanthemum floribundum</i> L (Acem Halısı Çiçeği)	Güney Afrika	Egzotik	Dayanımlı	Az
- <i>Portulaca grandifolia</i> L (İpek Çiçeği)	Güney Amerika	Egzotik	Dayanımlı	Az

Mevsimlik Çiçekler

- <i>Calendula officinalis</i> L. (Portakal Nergisi)	Güney ve Doğu Avrupa, Kuzey Amerika	Egzotik	Adapte	Az
---	-------------------------------------	---------	--------	----

Çimler

- <i>Cynodon dactylon</i> L. (Bermuda çimi)	Güney Afrika, Avustralya	Egzotik	Dayanıklı	Az
- <i>Cynodon transvaalensis</i> L. (Uganda çimi)	Güney Afrika, Avustralya	Egzotik	Dayanıklı	Az

Kültür Park'ta ağaç grubundaki yaklaşık 5-10 m civarlarında boya sahip olan *Fraxinus excelsior*, *Ficus nitida* ve *Morus alba* türlerine ait çok sayıda bitkinin bulunması ve su isteklerinin yüksekliği nedeniyle alandan sökülerek taban suyu yüksek olan bir bölgede yapılması planlanan diğer peyzaj çalışmalarında kullanılmak üzere nakledilip değerlendirilmesi önerilmektedir. *Liquidamber orientalis* ile *Olea europeae*'nin bölgeye özgü doğal bitkilerden olması avantaj oluştururken orta düzeyde suya gereksinim duymaları nedeniyle alandaki sayılarının azaltılması veya yerlerine doğal türlerden; *Pinus pinea*, *Pinus brutia*, *Pinus halepensis* ve *Cerotonia siliqua* ile su isteği az olan *Washingtonia filifera*, *Phoenix dactylifera* ve *Catalpa bignonioides* egzotik türlerinin kullanımı önerilmiştir.

Kültür Park'ta ağaçcık grubundaki *Eriobotrya japonica*'nın su isteği orta düzeyde olduğundan bu grup için doğal bitkilerden *Cercis siliquastrum* ve *Celtis orientalis* türleri önerilmiştir. Çöp ve Akat (2021), Sarıgerme Halk Plajı örneğindeki çalışma sahasında mevcut türlerin yaklaşık yarısının doğal tür olmasının yanı sıra rakamsal olarak bitki varlığının %77,34'lük oranla alanda fazla miktarda bulunmasının, su tasarrufu ve adaptasyon kolaylığına katkı sunması doğrultusundaki sonuçları, yürütülen araştırmada doğal bitki türlerinin önerilmesi ile benzerlik ortaya koymaktadır.

Kültür Park alanındaki mevcut çalı türlerinin tamamının su isteğinin az olması nedeniyle kurakçıl peyzaj ilkeleri açısından uygun oldukları tespit edilerek bunlara alternatif bölge ekolojisine uyum sağlayabilecek doğal bitkilerden; *Tamarix tetrandia*, *Thymus vulgaris*, *Salvia officinalis*, *Spartium junceum*, *Arbutus unedo*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula angustifolia*, *Erica arborea* ile su isteği az olan *Juniperus horizontalis* egzotik türü önerilmiştir. Kültür Park için önerilen bitkilerden ağaç grubunda; *Washingtonia filifera*, *Phoenix dactylifera*, *Catalpa bignonioides*, ağaçcık grubunda; *Lagerstromia indica*, *Acacia cyanophylla*, *Acer negundo*, çalı grubunda; *Juniperus horizontalis* türü olmak üzere yer örtücü ve mevsimlik bitkilerin tamamının egzotik bitkilerden tercih edildiği dikkat çekmektedir. Çakar ve ark. (2018), kurakçıl peyzaj çalışmaları kapsamında egzotik bitkilerin birçoğunun su isteği ile bakım maliyetlerinin yüksekliği ve adaptasyon güçlüğüne bağlı yaşam döngülerinin kısılgından kaynaklı kullanılmaması gerektiğini bildirmiştir. Bu doğrultuda araştırmada egzotik türlerin önerilmesi konusunda literatür ile zıtlık sergilense de bu bitkilerin az su istemesi nedeniyle kurakçıl peyzaj ilkeleri açısından sınırlı miktarlarda kullanımlarının kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.

Çoğunlukla tek yıllık, otsu yapıda ve uzun çiçeklenme periyoduna sahip olan mevsimlik bitkiler; farklı renkleri ve dikkat çekici çiçekleriyle estetik görüntüler sağlamanın yanında bitkisel tasarımlardaki boşlukları doldurma ve yönlendirme işlevlerini yerine getirme amacıyla kullanılan türler olarak başımıza çıkmaktadır (Alp ve ark., 2009; Akat ve ark., 2017). Mevsimlik süs bitkilerinin genelinin su isteğinin yüksek olması nedeniyle çim türleri gibi peyzaj tasarımlarında yoğun miktarlarda kullanılmaları su tüketimini arttırdığından çok fazla tercih edilmemektedir. Kültür Park'ta herhangi bir mevsimlik süs bitkisine rastlanılmazken, canlılık katmak ve çeşitliliğin sağlanması amacıyla yürüyüş yollarında yönlendirme ve görsel katkı sunmak amacıyla az su isteyen *Calendula officinalis* türü önerilmiştir.

Çöp ve Akat (2021), Sarıgerme Halk Plajında kurakçıl peyzaj kapsamında hazırladıkları projede su isteği az *Calendula officinalis* ile orta düzeyde su isteyen *Tagetes erecta* türlerine %5,26'lık oran ile az miktarda yer vermelerine rağmen bölgede yapılması planlanan diğer kurakçıl peyzaj çalışmalarında mevsimlik bitkilerin bakım işlemlerinde karşılaşılan güçlükler ve genelinin su isteğinin yüksek olması nedeniyle yerlerine çiçekli yer örtücü bitkilerin tercih edilmesinin su tasarrufu açısından daha doğru bir uygulama olacağını bildirmiştir. Bu doğrultuda Kültür Park alanı ve bölgede yapılması planlanan diğer kurakçıl peyzaj çalışmalarında *Calendula officinalis* ile kurakçıl peyzaj yaklaşımı kapsamında ilave çiçekli yer örtücü bitkilerin önerilmesi açısından literatür ile uyumlu hareket edildiği düşünülmektedir. Yer örtücü türler; peyzaj tasarımının gerçekleştirileceği topraktaki çukur ve tümseklerin kaplanarak gizlenmesi ile toprak yüzeyinin kapatılması amacıyla zemin görevi gören bitkilerdendir (Akat ve ark., 2017). Geleneksel peyzaj yaklaşımında toprak yüzeyinin kapatılması amacıyla yoğun olarak tercih edilen su ve bakım isteği yüksek olan çim türlerinin yerine, daha az bakım ve su isteyen yer örtücü bitkilerin kullanılmasının kurakçıl peyzaj açısından büyük önem taşıdığı birçok araştırmada vurgulanmaktadır (Çorbacı ve ark., 2011; Akat ve Çöp, 2019; Kamer Aksoy ve ark. 2022). Kültür Park'ta mevcut herhangi bir yer örtücü bitkinin bulunmadığı belirlenerek sahada geniş çim yüzeylerin tercih edildiği görülmüştür. Kültür Park'ta geniş çim yüzeylerin bulunması nedeniyle su tasarrufunun sağlanması amacıyla bu alanların azaltılması ve bölgede yeni yapılması planlanan kurakçıl peyzaj çalışmaları için alternatif yer örtücü grubundan; sukkulent yapıdaki *Aptenia cordifolia*, *Mesembryanthemum floribundum*, *Carpobrotus edulis*, *Portulaca grandifolia* türlerine öncelik verilerek su isteği az olan *Cerastium tomentosum* ile *Gazania rigens* gibi bitkilerin kullanımı önerilmiştir.

Estetik ve işlevsel yönden peyzaj tasarımlarının ana elemanlarından çim türleri, su tüketiminin yoğun olduğu yeşil alanları oluşturmaktadır. Bu nedenle, görsel özelliklerinin yanı sıra fonksiyonel bakımdan da gerekli görülen yerlerde kullanılmaları önemlidir. Kurakçıl peyzaj çalışmalarında çim alanlara yer verilmemesi veya sınırlı oranda sadece rekreasyonel amaçlı ve insan sirkülasyonunun yoğun olduğu yerlerde kullanılmasının uygun olduğu birçok araştırmada belirtilmiştir (Çöp ve Akat, 2021; Çorbacı ve Ekren, 2022). Barış (2007), kurakçıl peyzaj çalışmalarında az su isteyen çim türleri ile oluşturulan yüzeylerin, görsel açıdan insan sirkülasyonunun yoğun olduğu giriş-çıkış noktalarında sınırlı oranlarda kullanılmasını önermektedir. Kültür Park'ta %32,13'lük oran ile 1694,30 m²'lik kısmında *Cynodon*

dactylon ile *Zoysia japonica* türlerinin karışımının kullanıldığı çim yüzeylerin yer aldığı tespit edilmiştir.

Kuraklığa ve tuzluluğa dayanıklı, az su isteyen, basılmaya toleranslı ve hızlı gelişme gösteren *Cynodon dactylon*; subtropik iklimlerde yetişen ve tropik koşullara da uyum sağlayabilen, Ege ve Akdeniz'in sahil bölgelerine en uygun sıcak iklim çim türlerindedir (Sever Mutlu, 2011). Kültür Park'ta yer alan diğer bir çim türü olan *Zoysia japonica* ise kuraklık, hastalık-zararlılar ile tuzluluğa dayanımı yüksek olan, orta derecede bakım gerektiren, doku bakımından kaliteli alanların oluşturulmasını sağlayan sıcak iklim çim türlerinden olup, aynı zamanda düşük sıcaklıklara da dayanıklı ve az-orta su ihtiyacı olan bir bitkidir (Temizel, 2014). Bu iki çim türünün su isteğinin düşük olması kurakçıl peyzaj ilkeleri açısından büyük önem taşımaktadır. Araştırmada mevcut hali ile geleneksel peyzaj tasarımının benimsendiği Kültür Park'ta tasarımın temel unsurlarından birini temsil eden estetik amaçlı geniş çim alanlara yer verilmiş olmasının, kurakçıl peyzaj ilkelerine göre su tüketimini önemli ölçüde arttırması nedeniyle büyük bir dezavantaj oluşturduğu belirlenmiştir. Kültür Park alanında kullanılmış olan *Cynodon dactylon* ve *Zoysia japonica* türlerinin kurağa dayanımlarının iyi olması suyun etkin kullanımı açısından avantaj sağlamasına rağmen, *Cynodon dactylon* türünün su isteğinin daha az olması nedeniyle bölgede yapılması planlanan kurakçıl peyzaj çalışmalarında kullanımının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Rekreatyone amaçlı değerlendirilmeyecek çim alanlarda sınırlı oranlarda *Cynodon transvalensis* türünün de kullanımı önerilmiştir.

Kurakçıl peyzaj ilkelerinden biri olan malç uygulaması, suyun etkin kullanımında başarı oranını arttıran önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Toprakta su kayıplarının azaltılması, yabancı ot çıkışlarının engellenmesi, erozyonun önlenmesi ve toprak sıcaklığının dengede tutulması amacıyla organik ve inorganik malç materyalleri kullanılabilir (Tülek ve Barış, 2011). Malç uygulamaları, fonksiyonel açıdan katkılar sunmanın yanında kurakçıl peyzaj çalışmalarını estetik yönden de kuvvetlendirmektedir. Ayrışma ve çürümelerine bağlı toprağı iyileştirici etkileri bulunan ağaç kabukları, çam ibreleri, odun talaşı, ceviz-fındık gibi meyve kabukları, ince kıyılmış budama artıkları gibi organik malçlar ile cüruf ve ponza gibi inorganik malçlar en yaygın kullanılan materyallerdendir (Al-azhari, 2015; Kamer Aksoy ve ark., 2022).

Kültür Park'ın çim yüzeylerinin su tüketiminin yüksek olması nedeniyle sınırlandırılması amacıyla yer örtücü bitkilerin kullanımının yanı sıra özellikle bitki gelişimini arttırıcı etkileri nedeniyle vurgu yaratılmak istenen bitkilerin alt kısımlarında organik malç uygulamalarına ilave inorganik malç materyallerinin de kullanılmasının su tasarrufunu olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Kültür Park alanındaki bazı bitki türlerinin alt kısımları ile geniş çim yüzeyler yerine organik malç uygulamalarının önerilmesi konusunda literatür ile kurakçıl peyzaj ilkelerinden malç kullanımı konusunda paralel hareket edildiği görülmektedir (Tülek ve Barış, 2011; Çöp ve Akat, 2021; Çorbacı ve Ekren, 2022).

Geniş çim alanlar yerine çevreye duyarlı projelerin oluşturulması kapsamında su tüketiminin azaltılması, bakım kolaylığının sağlanması ve topraktan su kaybının önlenmesi gibi getirileri olan taş

bahçe uygulamalarının etkili olduğu araştırmalarda bildirilmiştir (Lightfoot, 1993; Anonim, 2014). Bu amaçlarla taş bahçelerinde; kum taşları, çakıl taşları, dere taşları, kayrak taşları, granit, mermer, andezit, bazalt, kalker, dolomit ve traverten gibi farklı boyuttaki taşlardan faydalanılmaktadır (Anonim, 2017). Çakar ve ark. (2018), çeşitli renk ile formlardaki taş ve iri doğal kayaların değişik şekillerde yerleştirilmesiyle oluşturulan taş bahçelerinin, kurakçıl peyzaj çalışmalarında çim alanların yerine tercih edilmesinin çevre dostu bir alternatif olduğunu bildirilmiştir. Bu bağlamda taş bahçe uygulamasının Kùltür Park'ın uygun görùlen kısımlarında ve bölgede yapılması planlanan kurakçıl peyzaj çalışmalarında kullanımının su tasarrufunun yanı sıra estetik görùntülerin elde edilmesinde de etkili olacağı düşün÷lmektedir.

Sudan tasarruf sağlama amacıyla kurakçıl peyzaj projelerinde az su isteyen bitki türlerine yer verilmesinin tek başına yeterli olmadığı aynı zamanda bu bitkilerin yoğunluğunun da su tüketimi konusunda etkili olduğu bilinmektedir (Çorbacı ve ark., 2011). Bu amaçla Kùltür Park alanındaki kurakçıl peyzaj kapsamında bitki seçimleri ile birlikte düşük miktarlarda kullanımları da göz ardı edilmeyerek bitkisel tasarım projesi için seçilen türlerin su istekleri baz alınarak yerleştirilmelerinin yapılması gerekmektedir. Mümkün olduğunca su isteği az olan bitki türlerine öncelik verilerek benzer su isteğine sahip bitkilerin her sulama bölgesi için bir arada kullanılmasının da suyun etkin değerlendirilmesi kapsamında önemli olduğu araştırmalarda belirtildiğinden literatür doğrultusunda bir öneri sunulduğu gör÷lmektedir (Çöp ve Akat, 2021).

Araştırmadaki su kullanımı ve etkinliğinin değerlendirilmesi ile ilgili olarak park alanındaki sulama sistemlerinin kurakçıl peyzaj açasından uygunluğunun belirlenmesi amacıyla yapılan saha çalışması sonucunda, yüzeysel ve basınçlı sulama sistemlerinden yararlanıldığı gözlemlenmiştir. Basınçlı sulama sistemlerinin kurakçıl peyzaj ilkeleri doğrultusunda tercih edilmesinin su tasarrufu açasından öneminin büyük olduğu bilinmektedir (Bayramoğlu ve ark., 2013). Kùltür Park alanında basınçlı sulama sistemlerinden; damla sulama ve yağmurlama sulama sistemlerinin kullanıldığı belirlenerek gereken sistem unsurlarının yetersizliği ve bazılarının arızalı olması nedeniyle verilen su miktarının net bir şekilde saptanması mümkün olmamakla birlikte park alanında günde yaklaşık ortalama 5 l/m² suyun verildiği bildirilmiştir (Ortaca Belediyesi, 2022). Kùltür Park'ta basınçlı sulama sistemlerindeki eksiklerin giderilmesi ve arızaların onarımının hızlı bir şekilde gerçekteştirilmesinin şebeke suyu kullanımını azaltmasının yanı sıra hortumla sulanan alanlar için de basınçlı sulama sistemlerine geçiş ile suyun daha etkin kullanılacağı düşün÷lmektedir. Ayrıca Kùltür Park'ta kurakçıl peyzaj yaklaşımı açasından uygun gör÷lmemekle birlikte sondaj suyunun yanı sıra şehir şebekesinden alınan suyun bitkilere hortum yardımıyla verilmesi ile su ihtiyacının karşılandığı da tespit edilmiştir. Küresel ısınmanın etkilerinin aynı hızla devam edeceği düşün÷ldüğünde, ÷lkemizin birçok kentinde su kıtlığının yaşanması öngör÷ldüğünden kentsel açaık yeşil alanlardaki bitkilerin su ihtiyacının giderilmesi için şebeke suyu (içme suyu) kullanımının acilen terkedilmesi gerekmektedir. Kùltür Park alanında bu yanlış uygulamanın var olması nedeniyle şebeke suyu ile park alanının sulanmaması ile ilgili olarak uygulayıcı birimlere gereken önlemlerin alınması konusunda uyarılarda bulunulmuştur. Yazıcı ve ark., (2014)

peyzaj alanlarının sulama işlemlerinin gerçekleştirilmesinde mecburi koşullarda bile şebeke suyunun kullanımının olabildiğince az tutulması yönündeki bildirişlerinin Kültür Park'taki bu yanlış uygulamanın hali hazırda devam ettirilmesi nedeniyle ters düştüğü gözlemlenmektedir.

Bu bağlamda Kültür Park'taki sulama sistemleri ile ilgili; mevcut alanın %70'inin damla sulama ve yağmurlama sulama sistemleri ile yarı otomatik ve geriye kalan diğer kısımların ise hortumla manuel bir şekilde sulandığı gözlemlenmiştir. Sulamalar, ekolojik koşullara göre değişmekle birlikte genel olarak yazın 2 gün arayla ve kış aylarında ise on günde bir, buharlaşma kayıplarının önüne geçilmesi ve suyun kök sistemlerine daha hızlı ulaştırılması amacıyla parkın aktif kullanılmadığı gece saatlerinde gerçekleştirilmesinin kurakçıl peyzaj çalışmaları kapsamında literatür açısından uygun hareket edildiğini ortaya koymaktadır.

4. Sonuçlar

Kentsel açık yeşil alanlardaki su tüketiminin yoğunluğu nedeniyle su etkin peyzaj tasarım anlayışlarının benimsenmesi kuraklığa karşı önemli bir çözüm oluşturmaktadır. Son yıllarda sayıları giderek artan kentsel açık yeşil alanlardaki peyzaj tasarım çalışmalarında su tasarrufunun sağlanması amacıyla kurakçıl peyzaj uygulamalarının kullanımı gündeme gelmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği Ortaca ilçesinin kurak geçmesi nedeniyle su kaynaklarının daha etkin kullanımının ön planda tutulması gerekmektedir. Geleneksel peyzaj anlayışı ile tasarlanmış Kültür Park'taki süs bitkisi türlerinin su tüketimleri ve kurağa dayanımları belirlenerek kurakçıl peyzaj kapsamında alternatif türlerin yanında sulama uygulamalarının etkinliğine dair önerilerin sunulması planlanmıştır.

Kültür Park'ta ağaç, ağaçcık, çalı grubuna ait 10 türden 430 adet bitkiye ilave alanın %32,14'ünü oluşturan çim yüzeylerde *Cynodon dactylon* ve *Zoysia japonica* karışımının kullanıldığı görülmüştür. Bu türlerin kurağa dayanımlarının iyi olması, suyun etkin kullanımı açısından avantaj sağlamasına rağmen daha az su istemeleri nedeniyle bölgedeki kurakçıl peyzaj çalışmalarında *C. dactylon* ve *C. transvaalensis*'nin kullanımı önerilmiştir. Kültür Park'taki bitki türlerinin %40'ının az, %30'unun orta ve %30'unun yüksek düzeyde su istediği tespit edilmiştir. Çalışma alanında %88,60'lık oranla az su isteyen bitkilerin bulunması, kurakçıl peyzaj açısından önemli avantaj sağlasa da projenin bütünlüğü açısından yoğun miktarda kullanılmaları ve dağınık bir şekilde yerleştirilmeleri nedeniyle su tasarrufu açısından yetersiz kalmıştır. Kültür Park'ta doğal türlerden *Liquidamber orientalis* ve *Olea europaeae*'nin toplam bitki varlığının %6,05'lik oran ile çok düşük kısmını oluşturmasına ilave orta su istekleri nedeniyle suyun etkin kullanımı açısından yeterli olmadığı görülmüştür. Kurakçıl peyzaj tasarımlarında, bitkilerin az su isteğine sahip olmasının yanı sıra bölgeye adaptasyon bakımından doğal türlerden tercih edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda bölgede yapılması planlanan diğer kurakçıl peyzaj çalışmalarında; *Pinus pinea*, *Pinus brutia*, *Pinus halepensis*, *Cerotonia siliqua*, *Cercis siliquastrum*, *Celtis orientalis*, *Tamarix tetranda*, *Thymus vulgaris*, *Salvia officinalis*, *Cistus salvifolius*, *Spartium junceum*, *Arbutus unedo*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula anqustifolia* ve *Erica arborea* doğal türlerinin kullanılması önerilmiştir.

Kültür Park alanındaki sulama sistemine yönelik yapısal durum incelendiğinde; basınçlı sulama yöntemlerinden damla ve yağmurlama sulama sistemlerinden yararlandığı gözlemlenmiştir. Bu sistemlerdeki yetersizlik ve arızalar nedeniyle Kültür Park alanında kurakçıl peyzaj yaklaşımı açısından uygun görülmesi de sulama amacıyla şebeke suyu kullanıldığı tespit edilmiştir. İleriki yıllarda ülkemizde de kullanma suyu kıtlığının yaşanacağı öngörüldüğünden kentsel açık yeşil alanlardaki bitkilerin sulanması için bu uygulamanın terk edilmesi gerekmektedir. Kültür Park'ın bitkisel tasarımının kurakçıl peyzaj ilkeleri doğrultusunda değerlendirilmesi ile bölgede yapılması planlanan diğer kurakçıl peyzaj uygulamalarında da tercih edilebilecek bitki türlerine alternatifler sunmanın yanında suyun daha etkin kullanımı adına sulama ile ilgili önerilerde bulunularak sürdürülebilir yeşil kent dokusunun oluşturulmasına katkı sağlama adına bu araştırmanın örnek oluşturacağı sonucuna ulaşılmıştır.

**Bu çalışma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda tamamlanan Doç. Dr. Hülya AKAT ve Dr. Öğr. Üyesi Özlem AKAT SARAÇOĞLU danışmanlıklarında yürütülen yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

Araştırmacıların Çıkar Çatışması Beyanı

Araştırmanın yürütülmesi ve makalenin hazırlanması hususunda herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Kaynakça

- Acar C., Demirbaş E., Dinçer P., Acar H. Anlamsal farklılaşım tekniğinin bitki kompozisyonu örneklerinde değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry* 2003; 4(1): 15-28.
- Akat H., Şahin O., Çetinkale Demirkan G., Akat Saraçoğlu Ö. *Süs Bitkileri Üretim Teknikleri*, ed. İbrahim Yokaş, Efil Yayınevi 2017; 135 s.
- Akat H., Çöp S. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Yerleşkesinin yeşil alanlarının "Xeriscape" yaklaşımı (Kurakçıl Peyzaj) açısından değerlendirilmesi. *International Congress on Agriculture and Forestry Research*. 8-10 April 2019, Marmaris/Turkey, s. 78-97.
- Al-azhari WW. Landscape learning; xeriscaping design techniques: the case of Jordan. *International Journal of Applied and Natural Sciences* 2015; 1(2): 11-28.
- Alp Ş., Türkoğlu N., Kır Ö. Mikrobiyal gübrelemenin bazı mevsimlik süs bitkilerinin gelişimine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2009; 14(2): 142-144.

- Altay B., Odabaş Uslu A. A pioneering approach in urban landscape design against global climate/environmental problems in the cities of the future; Xeriscape., 1st International Conference on Sustainable Ecological Agriculture 2022; Konya, Türkiye. s. 171-177.
- Anonim. Pebble Garden. 2014. Web: <http://uniquegarden.in/pebblegarden.html> (Erişim Tarihi: 11.06.2022).
- Anonim. Peyzaj malzemeleri: Peyzaj mimarlığında taşlar ve kullanımları. Peyzax. 2017. https://www.peyzax.com/peyzaj-mimarliginda-taslar-ve-kullanimlari/#google_vignette (Erişim Tarihi: 22.12.2023).
- Apaydın G., Ak MK. Peyzaj mimarlığında kullanılan sert zemin döşeme malzemelerinin görsel etki değerlendirmesi. Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi 2022; 18(1): 104-124.
- Bariş E., Barış ME. Yeşil alanlarımızın tükenişini engellemek için kurakçıl peyzaj. Bilim ve Teknik Dergisi, Tübitak 2007; 478: 22-27.
- Bayramoğlu E. Sürdürülebilir peyzaj düzenleme yaklaşımı: KTÜ Kanuni Kampüsü'nün xeriscape açısından değerlendirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 2016; 17(2): 119-127.
- Bayramoğlu E., Ertek A., Demirel Ö. Su tasarrufu amacıyla peyzaj mimarlığı uygulamalarında kısıntılı sulama yaklaşımı. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi 2013; 3(7): 45-43.
- Çakar H., Akat Saraçoğlu Ö., Akat H. Xeriscape yaklaşımı ile kurak ortamda sürdürülebilir peyzaj: Ege Üniversitesi Bayındır MYO Bahçesi Örneği, Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu Değişim, Dönüşüm, Özgünlük, 28-30 Haziran 2018; Cilt 1: 214-221. Eskişehir
- Çetin N. Akdeniz koşullarında kurakçıl peyzaj uygulanabilirliğinin irdelenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2016; 55(1): 11-18.
- Çetinkale Demirkan G., Akat H. Kurak bölgelerde su etkin peyzaj düzenlemeleri yaklaşımıyla 'Xeriscape'. 3Rd ASM International Congress of Agriculture and Environment. Antalya-Turkey. 16-18 Kasım, 2017; 9-18s.
- Corbaci OL., Bayramoglu, E. Drought tolerant landscape design approach example of RTE Campus. Fresenius Environmental Bulletin, 2021; 30(11): 11948-11955.
- Çorbacı ÖL., Ekren E. Kentsel açık yeşil alanların kurakçıl peyzaj açısından değerlendirilmesi: Ankara Altınpark Örneği. Peyzaj Araştırmaları ve Uygulamaları Dergisi 2022; 4(1): 1-11.
- Çorbacı ÖL., Özyavuz M., Yazgan ME. Peyzaj mimarlığında suyun akıllı kullanımı: Xeriscape. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 2011; (1): 25-31.
- Çorbacı ÖL., Yazgan ME., Özyavuz M. Kurakçıl peyzaj (Xeriscape) ve uygulamaları. Edirne: Karakayalar Matbaa, 2017; 141 s.
- Çöp S., Akat H. Kurakçıl peyzaj çalışmalarında bitkisel uygulamalar: Muğla-Sarıgerme Halk Plajı Örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2021; 12(2): 263-267.
- Doğun N., Kısakürek Ş. Kahramanmaraş'ta bazı kent parklarının geçirimli zemin yeterliği bakımından incelenmesi. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi 2013; 3(7): 23-29.

- Erdoğan R., Mansuroğlu S., Oktay H.E. Importance of Orchards in Urban Planning According to Landscape Management in Mediterranean: The Case of Konyaaltı Region. International Conference of Agricultural Engineering. 6-10 Temmuz 2014, Zurih/ISVIÇRE, pp.1-8.
- Google Eart (t.y.). Kültür Park. <https://earth.google.com/> (Erişim Tarihi: 10.05.2022)
- Gül A., Özçelik H., Uzun ÖF. Isparta yöresindeki bazı doğal yer örtücü bitkilerin adaptasyonu ve özellikleri, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2012; 16(2): 133-145.
- Hersek G. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Merkez yerleşkesinin kurakçıl peyzaj tasarım yaklaşımına göre irdelenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 2019; Tekirdağ.
- Hersek G., Korkut A. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi yerleşkesinin kurakçıl peyzaj tasarımı bağlamında irdelenmesi. Artium 2021; 9(1): 1-10.
- Ismaeil EMH., Sobaih AEE. Assessing xeriscaping as a retrofit sustainable water consumption approach for a Desert University Campus. Water 2022; 14(11): 1-30.
- Kamer Aksoy O., Akdoğan S., Sünbül V. Çankırı kenti örneğinde kent parklarının kurakçıl peyzaj açısından irdelenmesi. Turkish Journal of Forest Science 2022; 6(1): 327-338.
- Karagüzel O. Çim ve yer örtücü bitkiler ders notu. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 2007; Antalya.
- Kazan D., Ortaca (Muğla) İlçesinin etnobotaniği. Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi 2007; Muğla.
- Kılıçarslan Ç. Ortaca Kenti rekreasyon alanlarının mevcut durumu ve Muğla Üniversitesi Ortaca Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin rekreasyon alanlarına yönelik beklentileri. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi 2008; 4(1-2): 3-16.
- Kavuran D., Yılmaz, R. Kurakçıl peyzaj çalışmalarında uygun bitki türü seçimi: Süleymanpaşa, Tekirdağ Örneği. Peyzaj, Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi 2022; 4(2): 69-91.
- Lightfoot DR. The cultural ecology of Puebloan Pebble-Mulch gardens. Human, 1993.
- Maaşoğlu A. Kilis Kent Parklarının kurakçıl peyzaj (Xeriscape) tasarım ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Yüksek lisans tezi 2018;159 s.
- Oğuz İ., Öztekin T., Akar Ö. Tokat Kazova'daki uzun yıllık yağış ve sıcaklık gidişlerinin kuraklık açısından irdelenmesi. GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi 2008; 25(1): 71-79.
- Ortaca Belediyesi. Kültür Park'ın Peyzaj Tasarım Projesi. Ortaca Belediyesi, Muğla. 2022.
- Önder S., Akay A. Kentsel açık yeşil alanlarda su yönetimi ve kuraklık. GAP VII. Tarım Kongresi, Şanlıurfa, 2015; 606-611.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Kuraklık Haritası. 2023. Erişim Tarihi: 13.12.2022.
- Rui L., Buccolieri R., Gao Z., Gatto E., Ding W. Study of the effect of green quantity and structure on thermal comfort and air quality in an urban-like residential district by ENVI-met modelling. Building simulation 2019; 12: 183-194.

- Sever Mutlu S., Mutlu N., Shearman RC., Gurbuz E., Gulsen GO., Hocagil M., Karaguzel O., Heng-Moss T., RJordan TP., Gaussoin RE. Establishment and turf qualities of warm-season turfgrasses in the Mediterranean Region. Hort Technology 2011; 21: 67-81.
- Söğüt Z., Çolakkadıoğlu D., Şenol D., Satar M. Kuşadası'nda kurakçıl peyzaj uygulamalarının önemi. T. Birişçi ve AK Önaç (editör) Kuşadası Peyzaj Değerleri 2018; 12-26.
- Temizel S. 'Zoysia japonica' Türü ile Akdeniz Bölgesi koşullarında tohum ve vejetatif yöntemlerle çim alan tesisi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Antalya, 2014; 44 s.
- Tülek B., Barış, ME. Orta Anadolu iklim koşullarında su etkin peyzaj düzenlemelerinin değerlendirilmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2011; 16(2): 1-13.
- Yazıcı N., Dönmez Ş., Şahin CK. Isparta kenti peyzaj düzenlemelerinde kullanılan bazı bitkilerin kurakçıl peyzaj tasarımı açısından değerlendirilmesi. Journal of Forestry Faculty of Kastamonu University, 2014; 14(2): 199-208.
- Zencirkıran M., Akdeniz NS. Bursa kent parkları odunsu bitki taksonlarının ekolojik tolerans kriterleri açısından değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi 2017; 19(2): 11-19.

Unbounded Star Convergence in Lattices

Mehmet VURAL^{1*}

¹Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Hatay

¹<https://orcid.org/0000-0002-0977-7479>

*Corresponding author: mvural@mku.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 11.02.2024

Accepted: 01.08.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Order convergence

Star convergence

Individual convergence

Unbounded order convergence

Unbounded star convergence

ABSTRACT

Let L be a vector lattice, (x_α) be a L -valued net, and $x \in L$. If $|x_\alpha - x| \wedge u \xrightarrow{o} 0$ for every $u \in L_+$ then it is said that the net (x_α) unbounded order converges to x and is denoted by $x_\alpha \xrightarrow{uo} x$. This definition of unbounded order convergence has been extensively studied on many structures, including vector lattices, local solid vector lattices, normed lattices and lattice normed spaces. It is not possible to apply this type of convergence to general lattices due to the lack of algebraic structure. Therefore, we will use a type of convergence that is considered to be the motivation for this type of convergence, first defined as independent order convergence in semi-ordered linear spaces and later called unbounded order convergence. Namely, L is a lattice, (x_α) is an L -valued net, and $x \in L$. If $(x_\alpha \wedge b) \vee a$ order converges to $(x \wedge b) \vee a$ for every $a, b \in L$ with $a \leq b$, then it is said that (x_α) individual converges to x or unbounded order converges to x . This definition can be easily applied to general lattices. In this article, this definition will be understood as unbounded order convergence. Also, even if these two convergences are called by the same name, there is no equivalence between them for general lattices, an example of this is mentioned in this article. Let L be a partially ordered set, (x_α) be an L -valued net and $x \in L$, (x_α) is said to be star convergent to x if every subnet of the net (x_α) has a subnet that is order convergent to x and denoted by $x_\alpha \xrightarrow{s} x$. In this paper, a new type of convergence on lattices is defined by combining unbounded order convergence (individual convergence) and star convergence. Let L be a lattice, (x_α) a net and $x \in L$, (x_α) is said to be unbounded star convergent to x if for every subnet (x_β) of (x_α) , there exists a subnet (x_γ) of (x_β) such that $(x_\gamma \wedge b) \vee a \xrightarrow{o} (x \wedge b) \vee a$ for every $a, b \in L$ with $a \leq b$ and it is denoted by $x_\alpha \xrightarrow{us} x$. The differences between the new type of convergence, called unbounded star convergence, and order convergence, star convergence are demonstrated with counterexamples. The meaningfulness of the unbounded star convergence type is analyzed with these counterexamples and the implications presented. In addition, basic questions about unbounded star convergence of a given net on lattices such as convergence of a fixed net, uniqueness of the limit, convergence of the subnet of a convergent net are answered.

Latislerde Sınırsız Yıldız Yakınsama

Araştırma Makalesi

ÖZ

L bir vektör latis, (x_α) L -değerli bir net ve $x \in L$ olmak üzere her $u \in L_+$ için $|x_\alpha - x| \wedge u \xrightarrow{o} 0$ ise x_α neti x elemanına sınırsız sıra yakınsıyor denir ve $x_\alpha \xrightarrow{uo} x$ ile gösterilir. Sınırsız sıra yakınsaklığın bu tanımı vektör latislerde, yerel solid vektör latislerde, normlu latislerde ve latis normlu uzaylarda başta olmak üzere birçok yapı üzerinde fazlasıyla çalışılmıştır. Bu yakınsaklık tipini genel latislere uygulamak cebirsel bir yapının yokluğundan dolayı mümkün değildir. Bundan dolayı bu yakınsaklık tipinin motivasyonu olarak kabul edilen ve ilk olarak yarı-sıralı lineer uzaylarda bağımsız yakınsama adı ile tanımlanan ve sonrasında sınırsız sıra yakınsama olarak adlandırılan bir yakınsama tipi kullanılacaktır. Şöyle ki L bir latis, (x_α) L -değerli bir net ve $x \in L$ olmak üzere $a \leq b$ koşulunu sağlayan her $a, b \in L$ için $(x_\alpha \wedge b) \vee a$ neti $(x \wedge b) \vee a$ elemanına sıra yakınsıyor ise $(x_\alpha), x$ elemanına bağımsız yakınsıyor ya da sınırsız sıra yakınsıyor denir. Bu tanım genel latislere rahatlıkla uygulanabilir. Bu makalede sınırsız sıra yakınsamadan bu tanım anlaşılacaktır. Ayrıca bu iki yakınsama aynı isimle anılsa dahi aralarında genel latisler için herhangi bir denklik bulunmamaktadır, buna dair bir örnekten makalede bahsedilmiştir. L kısmi sıralı bir küme, (x_α) L -değerli bir net ve $x \in L$ olmak üzere (x_α) netinin her alt netinin x elemanına sıra yakınsayan bir alt neti var ise $(x_\alpha), x$ elemanına yıldız yakınsıyor denir ve $x_\alpha \xrightarrow{s} x$ ile gösterilir. Bu makalede sınırsız sıra yakınsama (bağımsız yakınsama) ile yıldız yakınsama kombine edilerek latisler üzerinde yeni bir yakınsama tipi tanımlanmıştır. Şöyle ki L bir latis, (x_α) bir net ve $x \in L$ olsun. $a \leq b$ koşulunu sağlayan her $a, b \in L$ için (x_α) 'nin her alt neti (x_β) 'nin $(x_\beta \wedge b) \vee a \xrightarrow{o} (x \wedge b) \vee a$ olacak biçimde bir (x_γ) alt neti var ise $(x_\alpha), x$ elemanına sınırsız yıldız yakınsıyor denir ve $x_\alpha \xrightarrow{us} x$ ile gösterilir. Sınırsız yıldız yakınsama adı verilen yeni tip yakınsamanın sıra yakınsama ve yıldız yakınsama ile farklılıkları ters örnekler ile ortaya konulmuştur. Bu ters örnekler ve sunulan gerektirmeler ile sınırsız yıldız yakınsama tipinin anlamlılığı incelenmiştir. Ayrıca latisler üzerinde verilen bir netin sınırsız yıldız yakınsaklığı ile ilgili sabit netin yakınsaklığı, limitin biricikliği, yakınsak bir netin alt netinin yakınsaklığı gibi temel sorulara cevap verilmiştir.

To Cite: Vural M. Unbounded Star Convergence in Lattices. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1775-1782.

1. Introduction

Much as there have been defined different convergence types by using ordering in a lattice L , one of the main and essential convergence is order convergence in a lattice L introduced by Birkhoff (1967) a net $(x_\alpha)_{\alpha \in I}$ is said to be order convergent to $x \in L$ (Briefly; $x_\alpha \xrightarrow{o} x$) if there exists two monotonic directed nets (t_α) and (u_α) such that $t_\alpha \uparrow x, u_\alpha \downarrow x$ and $t_\alpha \leq x_\alpha \leq u_\alpha$ for each $\alpha \in I$.

There is also another definition of order convergence in lattices, defined in Birkhoff (1967) and Lowig (1941), named as O_2 -convergence since the first definition generally was named as O_1 -convergence, defined that; let (x_α) be a net in a lattice and let

$$P := \{p : \text{there exists } \beta \text{ such that } p \leq x_\alpha, \forall \alpha \geq \beta\}$$

and

$$Q := \{q : \text{there exists } \beta \text{ such that } q \geq x_\alpha, \forall \alpha \geq \beta\}.$$

If the supremum of the set P and infimum of Q exist and equal to $x \in L$, then it is said that $(x_\alpha)_{O_2}$ - converges to x .

If the lattice L is a complete lattice, then the notion of order in a vector lattice convergence is given equivalently as (x_α) order converges to x if and only if

$$\inf_{\beta} \left(\sup_{\alpha \geq \beta} x_\alpha \right) = \limsup x_\alpha = x = \lim inf x_\alpha = \sup_{\beta} \left(\inf_{\alpha \geq \beta} x_\alpha \right).$$

The other convergence type is star convergence presented and studied in (Birkhoff,1967) by Birkhoff which was introduced by independently in Uryshon (1926), Kantorovich (1937) and Von Neumann (1935), respectively. Here is the definition of star convergence; A net (x_α) in a lattice (L, \leq) is star convergent to $x \in L$ (Briefly; $x_\alpha \xrightarrow{s} x$) if every subnet (x_β) of (x_α) has a subnet (x_γ) such that $x_\gamma \xrightarrow{o} x$

Another type of convergence, individual convergence, which we call unbounded order convergence after the work of DeMarr (1964), was defined by Nakano (1948) for semi-ordered linear spaces and later studied by Kaplan (1997) for vector lattices. A net $(x_\alpha)_{\alpha \in I}$ in a vector lattice is said to be unbounded order convergent to $x \in L$ (Briefly; $x_\alpha \xrightarrow{uo} x$) if for every pair $a, b \in L$ with $a \leq b$ the net $(x_\alpha \wedge b) \vee a$ order converges to $(x \wedge b) \vee a$.

Unbounded star convergence, defined above, could be understood in the sense of convergence type, defined by Wickstead (1977) in vector lattices. Namely in a vector lattice, say L , a net (x_α) is called unbounded order convergent to x , if the net $(|x_\alpha - x| \wedge u)$ is order convergent to zero for any vector u in L^+ , briefly; $x_\alpha \xrightarrow{uo} x$. Even though two different convergences have the same name, the individual convergence is suitable for lattice structures because it does not require an algebraic system. Moreover, even in vector lattices these two types of convergence do not coincide, for which a counterexample is given in this paper.

The definition of the new convergence type to be taken as basis in this study is as follows:

Definition 1.1

Let (L, \leq) be a lattice, (x_α) be a net in L and $x \in L$ be an element. (x_α) is unbounded star convergence to $x \in L$ (Briefly; $x_\alpha \xrightarrow{us} x$) if every subnet (x_β) of (x_α) has a subnet (x_γ) such that (x_γ) unbounded order convergent to x .

2. Materials and Method

2.1. Meaningfulness of the Definition of Unbounded Star Convergence

In this section, we will examine the meaningfulness of the definition of unbounded order convergence in relation to order convergence, star convergence and unbounded order convergence in general lattices with the help of counterexamples and implications.

Let (L, \leq) be a lattice, $(x_\alpha)_{\alpha \in I}$ be a net in L and $x \in L$. If (x_α) order converges to x , so there exists two monotonic directed nets (t_α) and (u_α) such that $t_\alpha \uparrow x, u_\alpha \downarrow x$ and $t_\alpha \leq x_\alpha \leq u_\alpha$ for each $\alpha \in I$. Since the subnet of any subnet of net (x_α) will satisfy the above monotonicity and squeezing condition for a cofinal and increasing index $\alpha_{\beta\xi}$ with $(t_\alpha), (u_\alpha)$ the net (x_α) star converges to x . Let the net (x_α) order converges to an element $x \in L$, from the isotoneess of the join and meet operations

$$(t_\alpha \wedge a) \vee b \leq (x_\alpha \wedge a) \vee b \leq (u_\alpha \wedge a) \vee b \text{ for each } \alpha \in I$$

and also

$$(t_\alpha \wedge a) \vee b \uparrow (x \wedge a) \vee b, (u_\alpha \wedge a) \vee b \downarrow (x \wedge a) \vee b.$$

Hence every order convergent net is also unbounded order convergent. Since star convergence implies unbounded star convergence, order convergence will also imply unbounded star convergence.

Also, if the net $(x_\alpha \wedge b) \vee a$ order converges to $(x \wedge b) \vee a$, then for any subnet (x_β) of $x_\alpha, (x_\beta \wedge b) \vee a$ order converges to $(x \wedge b) \vee a$, so unbounded order convergent implies unbounded star convergent.

Now let's investigate the opposite directions of the implications in the diagram. Let's consider the lattice L of finite and co-finite subsets of real numbers with respect to ordering of inclusion and the sequence (x_n) of single points defined by $x_n = \{n\}$ for each $n \in \mathbb{N}$. In Rennie (1950), it is stated that (x_n) does not order converge to empty set. But for any $x, y \in L$ with $x \leq y$ the equalities

$$(x_n \vee y) \wedge x = x \text{ and } (\emptyset \vee y) \wedge x = x$$

implies that the sequence (x_n) unbounded order converges to empty set since constant sequences always order converge to its constant value. This example shows that unbounded order convergence does not require order convergence. We can use the same example to show that unbounded star convergence does not require star convergence.

Let's consider the set of all real-valued continuous functions on \mathbb{R} , denoted by $C(\mathbb{R})$ with the order relation

$$f \leq g \Leftrightarrow f(x) \leq g(x) \forall x \in \mathbb{R}.$$

Let's enumerate the rational numbers which belong to $[0, 1]$ as r_1, r_2, r_3, \dots and consider the sequence of functions

$$f_n(x) = g_n(x - r_n) \forall x \in \mathbb{R}$$

where

$$g_n(x) = \begin{cases} 1 - n \cdot |x| & , x \in \left(-\frac{1}{n}, \frac{1}{n}\right) \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases}.$$

Let (f_{n_k}) be any subsequence of (f_n) since (f_{n_k}) is a sequence in $[0, 1]$ then there exists convergent subsequence $(r_{n_{k_i}})$ which converges to any $r \in [0, 1]$. Consider the function

$$h_i(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq r - t_i - \frac{1}{i} \\ 1 + i(x - r + t_i) & , x \in \left(r - t_i - \frac{1}{i}, r - t_i\right) \\ 1 & , x \in [r - t_i, r + t_i] \\ 1 - i \cdot (x - r - t_i) & , x \in \left(r + t_i, r + t_i + \frac{1}{i}\right) \\ 0 & , x \geq r + t_i + \frac{1}{i} \end{cases}$$

where $t_i = \max \{ |r_{n_{k_j}} - r| : j \geq i \}$. Then the inequality below holds for all $i \in \mathbb{N}$ and $x \in \mathbb{R}$

$$0 \leq f_{n_{k_i}}(x) \leq h_i(x)$$

which implies the order convergent conditions.

The sequence (f_n) does not converge to a constant zero function. Suppose it converges to a constant zero function, then there must be such a sequence of the function (u_n) such that

$$f_n(x) \leq u_n(x) \downarrow 0$$

Given $n_0 \in \mathbb{N}$, the inequality $u_n(r_j) \geq u_j(r_j) \geq f_j(r_j) = 1$ holds. With the density of $\{r_j : j \geq n_0\}$ and the continuity of u_n we obtain

$$u_n(x) \geq 1, x \in [0,1], n \in \mathbb{N}.$$

Therefore the infimum of u_n cannot be a constant zero function.

Now, we give the proof that sub-subsequence $(f_{n_{k_i}})$ order converges to constant zero function.

In Anguelov and Walt (2005), this example shows that sequence convergence is not a topological convergence in the space $\mathcal{C}(X)$. The reason why it is not topological is that sequence convergence does not have the Urysohn property. Also in Birkhoff (1967), it is shown that star convergence always has Urysohn property.

Let us consider the lattice of Borel sets of unit interval and the sequence.

$$x_n = (n \cdot 2^{-m} - 1, (n + 1) \cdot 2^{-m} - 1)$$

where $m \in \mathbb{Z}, 1 \leq n \cdot 2^{-m} < 2$. (x_n) does not order converge to \emptyset but star converges to \emptyset (Rennie, 1950). Also (x_n) does not unbounded order converges to \emptyset . Hence star convergence does not imply order convergence and unbounded star convergence does not imply unbounded order convergence.

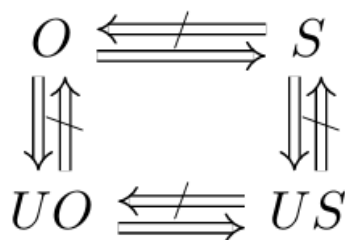


Figure 1. Relationship Diagram

3. Main Results and Discussion

3.1. Elementary Theorems on Unbounded Star Convergence

In this section, we will give some properties of unbounded star convergence on general lattices. Let us start with a theorem.

Theorem 3.1.1. Every constant sequence is unbounded star convergent to its constant value.

Proof. Let (x_n) be a constant sequence defined by $x_n := x$ for some $x \in L$. For any pair $b, c \in L$ with $b \leq c$, $(x_n \wedge c) \vee b = (x \wedge c) \vee b$ for each $n \in \mathbb{N}$. Let's take $u_n = t_n = (x_n \wedge c) \vee b$ then conditions of order convergence hold; $t_n \uparrow (x \wedge c) \vee b$, $u_n \downarrow (x \wedge c) \vee b$ and $t_n \leq (x_n \wedge c) \vee b \leq u_n$. It completes the proof.

Theorem 3.1.2. If a net is unbounded star convergent, then the order limit point is unique.

Proof. Let (x_α) be a net in L and $x, y \in L$. If $x_\alpha \xrightarrow{us} x$ and $x_\alpha \xrightarrow{us} y$ then for any pair $b, c \in L$ with $b \leq c$ any subnet of a subnet of (x_α) , say $(x_{\alpha_{\beta\gamma}})$ order converges to x and also y , that is,

$$(x_\alpha \wedge c) \vee b \xrightarrow{o} (x \wedge c) \vee b$$

And

$$(x_\alpha \wedge c) \vee b \xrightarrow{o} (y \wedge c) \vee b.$$

Then for

$$b := \inf\{x, y\} \text{ and } c := \sup\{x, y\}$$

it follows that

$$\begin{aligned} (x \wedge c) \vee b &= (x \vee b) \wedge (c \vee b) \\ &= (x \vee \inf\{x, y\}) \wedge (\sup\{x, y\} \vee \inf\{x, y\}) \\ &= x \wedge (\sup\{x, y\}) \\ &= x \end{aligned}$$

and similarly $(y \wedge c) \vee b = y$. Hence $(x_\alpha \wedge c) \vee b$ order converges to x and y but order convergence has Hausdorff property, therefore $x = y$.

Theorem 3.1.3. If a net is unbounded star converges to a point x then any subnet of the net is also unbounded star converges to x .

Proof. Let $(x_\alpha)_{\alpha \in I}$ be a net in a lattice L , $(x_\beta)_{\beta \in J}$ be a subnet of (x_α) and $x \in L$. For any pair $b, c \in L$ with $b \leq c$. If $(x_\alpha \wedge c) \vee b \xrightarrow{o} (x \wedge c) \vee b$, then there exists two monotonic directed nets (u_α) and (t_α) such that $u_\alpha \downarrow (x \wedge c) \vee b$, $t_\alpha \uparrow (x \wedge c) \vee b$ and $t_\alpha \leq (x_\alpha \wedge c) \vee b \leq u_\alpha$ for each $\alpha \in I$. There exists a cofinal and increasing map σ from J into I since (x_β) is a subnet of (x_α) . Let's take $u_\beta := u_{\sigma(\beta)}$ and $t_\beta := t_{\sigma(\beta)}$ which satisfy the convergence conditions. It completes the proof.

Theorem 3.1.4. Let x_α and y_α unbounded star converge to x . If there is a net z_α such that $x_\alpha \leq z_\alpha \leq y_\alpha$ then $z_\alpha \xrightarrow{us} x$.

Proof. Consider the inequalities $x_\alpha \geq t_\alpha \uparrow x$ and $y_\alpha \leq u_\alpha \downarrow x$ in the definition of unbounded star convergence for (x_α) and (y_α) . By the hypothesis, the inequalities

$$t_\alpha \leq x_\alpha \leq z_\alpha \leq y_\alpha \leq u_\alpha \text{ for each } \alpha$$

hold. $t_\alpha \leq z_\alpha \leq u_\alpha$ and $t_\alpha \uparrow x, u_\alpha \downarrow x$ shows that $z_\alpha \xrightarrow{us} x$.

Theorem 3.1.5. If (x_α) and (y_α) unbounded star converge to x and y , respectively with $x_\alpha \leq y_\alpha$ for each $\alpha \in I$ then $y \neq x$.

Proof. Let $(x_{\alpha\beta\gamma})$ be a subnet of the subnet of (x_α) unbounded star converging to x , i.e. for any pair

$$b, c \in L \text{ with } b \leq c$$

$$(x_{\alpha\beta\gamma} \wedge c) \vee b \xrightarrow{\circ} (x \wedge c) \vee b$$

similarly,

$$(y_{\alpha\beta\gamma} \wedge c) \vee b \xrightarrow{\circ} (y \wedge c) \vee b$$

If we take $b := \inf\{x, y\}$ and $c := \sup\{x, y\}$ and write in place of the above convergences then

$$x_{\alpha\beta\gamma} \vee \sup\{x, y\} \xrightarrow{\circ} x$$

$$y_{\alpha\beta\gamma} \vee \sup\{x, y\} \xrightarrow{\circ} y.$$

Let us assume that $y < x$. Then by using the nets $t_{\alpha\beta\gamma} \uparrow x$ and $u_{\alpha\beta\gamma} \downarrow y$ we can write the inequality

$$t_{\alpha\beta\gamma} \vee x \leq x_{\alpha\beta\gamma} \vee x \leq y_{\alpha\beta\gamma} \vee x \leq u_{\alpha\beta\gamma} \vee x$$

for a given γ_0 ,

$$x \leq x_{\alpha\beta\gamma_0} \vee x \leq y_{\alpha\beta\gamma_0} \vee x \leq x$$

so by above theorem we obtain $x = y$ which leads to contradiction.

Theorem 3.1.6. If an order bounded net (x_α) unbounded star converges to an element x , then the (x_α) star converges to x .

Proof. Let (x_γ) be subnet of the subnet of (x_β) of (x_α) , by hypothesis for any b, c with $b \leq c$

$$(x_\gamma \wedge b) \vee a \rightarrow (x \wedge b) \vee a.$$

If (x_α) is order bounded then there exist a_1, a_2 such that $a_1 \leq x_\alpha \leq a_2, \forall \alpha$. Then taking

$$b = a_2, c = a_1 \text{ ends the proof.}$$

4. Conclusion

A new type of convergence, unbounded star convergence, is defined and the meaningfulness of this definition is studied. The basic order properties of unbounded star convergence are studied. When O_2 order convergence is taken instead of O_1 convergence, a new convergence type, may named as $Star_2$ convergence, could be defined.

Let's consider the lattice of all sequences converging to zero, denoted by c_0 and sequence of unit elements (e_n) , defined as for each $n \in \mathbb{N}$; (e_n) 's n_{th} - term is one and rest of it is zero. It is known that (e_n) does not order converge to zero sequence and unbounded order converges to zero sequence in the sense of the definition of Wickstead but it does not unbounded order converge to zero sequence in the sense of individual convergence.

Acknowledgement

The author thanks the referees and editor for their valuable comments.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

References

- Anguelov R., Van der Walt JH. Order convergence structure on $C(X)$. *Quaestiones Mathematicae* 2005; 28(4): 425-457.
- Birkhoff G. *Lattice theory*. American Mathematical Society 1967.
- DeMarr R. Partially ordered linear spaces and locally convex linear topological spaces. *Illinois Journal of Mathematics* 1964; 8(4): 601-606.
- Kantorovich LV. *Lineare halbgeordnete räume*. *Математический сборник* 1937; 2(1): 121-168.
- Kaplan S. On unbounded order convergence. *Real Analysis Exchange* 1997; 23(2): 175-184.
- Lowig H. Intrinsic topology and completion of boolean rings. *Annals of Mathematics* 1941; 42(4): 1138-1196.
- Nakano H. Ergodic theorems in semi-ordered linear spaces. *Annals of Mathematics* 1948; 49(2): 538-556.
- Rennie BC. *Lattices*. *Proceedings of the London Mathematical Society* 1950; 2(1): 386-400.
- Urysohn P. Sur les classes (l) de m. Fréchet. *Enseignement Mathématique* 1926; 25: 77-83.
- Von Neumann J. On complete topological spaces. *Transactions of the American Mathematical Society* 1935; 37(1): 1-20.
- Wickstead AW. Weak and unbounded order convergence in Banach lattices. *Journal of the Australian Mathematical Society* 1977; 24(3): 312-319.

Yerfıstığı Biyokömürü ve Organik Gübre Uygulamasının Mısır Bitkisinin Büyümesi ve Besin Elementi Konsantrasyonları Üzerine Etkileri

Çağdaş AKPINAR^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadiri Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, 80760, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2783-397X>

*Sorumlu yazar: cagdasakpinar@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.04.2024

Kabul tarihi: 17.07.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Biyokömür

Yer fıstığı kabuğu

Mısır

Besin elementi konsantrasyonu

ÖZ

Çalışma, sera koşullarında, üç tekrarlı tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Bu çalışmada, mısır bitkilerine artan dozlarda yer fıstığı kabuklarından elde edilen biyokömür (%0, %0,5, %1 ve %2 w/w), kimyasal gübre, vermikompost (%5 w/w) ve büyükbaş hayvan gübresi uygulanmıştır. Mısır bitkileri hasat edildikten sonra, bitki boyu, kuru ağırlık, dokulardaki azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), çinko (Zn), demir (Fe), bakır (Cu) ve mangan (Mn) konsantrasyonları belirlenmiştir. Deneme sonuçlarına göre, hayvan gübresi uygulaması buğday bitkisindeki mikro elementlerin yanı sıra P, K ve Mg konsantrasyonu üzerinde büyük etkiye neden olmuştur. Biyokömür uygulaması incelendiğinde, %1 ve %2 biyokömür uygulamasının en etkili dozlar olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın bulgularına göre, hayvan gübresi ve %1-2 biyokömür uygulamasının organik madde kaynağı olarak kullanılmasının bitki performansı üzerinde en olumlu etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Effects of Peanut Biochar and Organic Fertilizer Application on Maize Plant Growth and Nutrient Concentrations

Research Article

Article History:

Received: 07.04.2024

Accepted: 17.07.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Biochar

Peanut shell

Maize

Nutrient concentration

ABSTRACT

The study was conducted under greenhouse conditions using a randomized experimental design with three replicates. In this study, increasing doses of biochar derived from peanut shells (0%, 0.5%, 1%, and 2% w/w), chemical fertilizer, vermicompost (5% w/w), and animal manure were applied to maize plants. After harvesting the maize plants, plant height, dry weight, concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu) and manganese (Mn) were determined in the tissues. According to the results of the experiment, the application of animal manure had the greatest influence on the concentration of microelements as well as P, K and Mg in the maize plant. When the application of biochar was studied, it was found that the application of 1% and 2% biochar was the most effective doses. According to the results of this study, it was found that the application of animal manure and 1-2% biochar as a source of organic matter had the best effect on plant performance.

To Cite: Akpınar Ç. Yerfıstığı Biyokömürü ve Organik Gübre Uygulamasının Mısır Bitkisinin Büyümesi ve Besin Elementi Konsantrasyonları Üzerine Etkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1783-1794.

1. Giriş

Kimyasal gübre kullanılarak yapılan tarımsal üretim, Türkiye’de dahil olmak üzere dünya genelinde hızla artmaktadır. Ancak kimyasal gübre kullanımı, üstesinden gelinmesi zor çevresel sorunlara neden

olmaktadır (Bellitürk, 2018). İnorganik gübrelerin toprak ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında, organik tarım çevre dostu bir alternatif uygulama olarak görülmektedir (Evanylo ve ark., 2008). Gübre kullanımı ile verim %30-50 oranında artırabilir, ancak organik madde eklenmeden kimyasal gübrelere uzun süreli bağımlılık gübre kullanım verimliliğinde düşüşe ve kirlilik sorunlarına yol açar (Chaudhary ve ark., 2017). Bu nedenle, topraktaki organik madde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik bütünlüğünü korumak için temel bir mekanizmadır. Toprağa organik madde eklenmesi fiziksel özelliklerini iyileştirebilir (Dong ve ark., 2005) ve tarımsal ve ticari olarak uygulanabilir bir yöntem olarak kabul edilir (McCann ve ark., 2005). Biyokömür, oksijensiz bir ortamda yüksek sıcaklıklarda üretilir ve ayrışmaya karşı yüksek dirençli ve negatif yüklü yapısı ve geniş yüzey alanı sayesinde toprak yapısı ve özelliklerinin yanı sıra bitki gelişimine de katkıda bulunan önemli bir materyal olarak bilinir (Madari ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2017). Yüksek besin maddesi ve su tutma kapasitesi sayesinde biyokömür, gübre ile uygulanan besin maddelerinin sızmasını azaltmakta ve verimlilik açısından son derece önemli olan gübre kullanımının etkinliğini artırmaktadır (Lehmann ve ark., 2003). Biyokömür, pH, besin içeriği, geniş yüzey alanı ve tuzluluğu azaltma gibi özellikleri nedeniyle bitki büyümesi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Gul ve Whalen, 2016).

Organik atıkların biyolojik olarak parçalanmasıyla üretilen vermikompost (solucan gübresi), yüksek gözeneklilik, drenaj, düşük C:N oranı, yüksek su tutma kapasitesi, iyi havalandırma ve zengin mikrobiyal yapıya sahip önemli bir materyaldir (Arancon ve ark., 2004). Solucan gübresi faydalı mikroorganizmalar için besin sağlar, böylece toprak kaynaklı hastalıkları bastırır ve daha sağlıklı bitkilerin büyümesini teşvik eder (Zandonadi ve ark., 2007; Lazcano ve Domínguez, 2011). Hayvan gübresi, yüksek organik madde, N ve P içeriği ile P içeren kimyasal gübrelere göre daha etkili ve ekonomik açıdan daha önemlidir (Pedersen ve ark., 2017). Çeşitli araştırmalar, hayvan gübresi uygulamasının topraktaki makro ve mikro besin maddelerinde artışa yol açtığını (Damodar Reddy ve ark., 1999; Watts ve ark., 2010) ve bitki büyümesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu rapor etmiştir.

Organik gübreler, toprağın biyolojik yapısını iyileştirerek ve bitkilere besin sağlayarak tarımsal üretimde sürdürülebilirliğe önemli bir katkı sağlayabilir (Trivedi ve ark., 2017). Tarımsal üretimde kimyasal gübrelere alternatif olarak kullanılacak organik uygulamalara olan ilgi giderek artmaktadır, ancak mevcut bu materyallerin toprak yapısı ve besin içeriği üzerindeki etkilerinde farklılıklar olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Güneydoğu Akdeniz bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen yer fıstığının kabuklarından elde edilen biyokömür dozlarının mısır bitkisinin gelişimi ve besin elementi alımı üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve hayvan gübresi, vermikompost ve kimyasal gübrelerle karşılaştırmaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneme Toprağı ve Organik Materyallerin Özellikleri

Çalışmada killi tın tekstüre sahip, pH'sı 7,6 çok kireçli (%36,4 CaCO₃) bir toprak kullanılmıştır. Deneme toprağı 0-30 cm toprak derinliğinden alınmış ve önceden herhangi bir bitki yetiştirilmemiştir. Olgunlaştırılmış hayvan gübresi olarak seçilen büyükbaş hayvan çiftliğinden, vermikompost ise ticari bir firmadan temin edilmiş ve çok bekletilmeden hemen kullanılmıştır (Tablo 1). Hava kuru ortamda kurutulmuş yer fıstığı kabuğu materyali, oksijen girişi olmadan 450 °C'de 5 saat boyunca (Akpınar, 2024) bir kül fırınında yakılarak biyokömüre dönüştürülmüştür. Biyokömür daha sonra öğütülmüş ve 2 mm'lik elekten elenerek hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan toprak ile vermikompost, hayvan gübresi ve biyokömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneme toprağı ve organik materyallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Toprak	Vermikompost	Hayvan Gübresi	Biyokömür
pH	(1:1 H ₂ O)	7,6	7,4	7,3	8,6
Tekstür		CL (Killi tın)	--	--	--
CaCO ₃	%	36,4	--	--	--
Org. Madde	%	1,32	46,1	41,1	--
Tuz	%	0,001	--	0,003	--
C	%	--	--	--	40,6
N (Toplam)	%	0,04	2,02	1,00	0,79
P	kg ha ⁻¹ -%	19,8 (kg ha ⁻¹)	0,32	0,37(%)	0,16
K	kg ha ⁻¹ -%	34,2 (kg ha ⁻¹)	0,49	0,47 (%)	0,51
Ca	%	0,09	3,54	8,78	3,31
Mg	%	0,04	0,47	0,28	0,16
Zn	mg kg ⁻¹	0,23	114	126	27
Fe	mg kg ⁻¹	1,17	214	209	762
Cu	mg kg ⁻¹	0,34	40	17	1,8
Mn	mg kg ⁻¹	1,32	138	250	98

2.2. Deneme Deseni ve Uygulamalar

Mevcut deneme, 12/05/2022-04/07/2022 (53 gün) tarihleri arasında 3 kg toprakla doldurulmuş plastik kaplarda Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi'nde sera koşullarında üç tekrarlamalı olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Bu çalışmada Pioner 2105 mısır çeşidi tohumları kullanılmıştır. Bitkiler toprak yüzeyinin hemen üzerinden hasat edildikten sonra kuru ağırlık ve bitki boyu belirlenmiştir. Biyokömür saksılara %0, %0,5, %1 ve %2 (w/w) oranlarında, vermikompost ve olgunlaştırılmış sığır gübresi ise %5 (w/w) oranlarında uygulanmıştır. Bitkiler tarla kapasitesine getirilerek saf su ile sulanmıştır. Dikimden önce, sadece temel gübreleme yapılan saksılara 200 mg N kg⁻¹ Ca(NO₃)₂.4H₂O, 100 mg P kg⁻¹ ve 125 mg K kg⁻¹ KH₂PO₄, 2,5 mg Fe kg⁻¹ Fe-EDTA ve 2,5 mg Zn kg⁻¹ ZnSO₄ olarak toprağı karıştırılarak uygulanmıştır. Burada topraktaki temel besin elementi noksanlıkları göz önüne alınarak bu gübre çeşitleri belirlenmiştir. Ayrıca, ekimden 20 gün sonra üst gübreleme olarak 100 mg N kg⁻¹ uygulanmıştır.

2.3. Bitki ve Toprak Analizleri

Deneme topraklarında bitki tarafından alınabilir P konsantrasyonu Olsen ve ark. (1954) tarafından 0,5 normal (N) sodyum bikarbonat (NaHCO_3) ekstraksiyonu ile spektrofotometrede belirlenmiştir. Topraktaki dietilentriaminpentaasetik asit (DTPA) ile ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Zn ve Cu yanı sıra yayırlı K, Ca ve Mg konsantrasyonları endüktif olarak eşleşmiş plazma (ICP) ile belirlenmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978). Bitki örneklerinde toplam P konsantrasyonu spektrofotometre kullanılarak analiz edilmiştir (Murphy ve Riley, 1962). Toprak Reaksiyonu, pH metre ile doygunluk çamurunda ölçülmüştür (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Tuz, doygunluk çamurunda elektriksel iletkenliğin ölçülmesi ile belirlenmiştir (Soil Survey Staff, 1951). Kireç, Scheibler kalsimetresi ile ölçülerek hesaplanmıştır (Çağlar, 1949). Organik Madde, Black (1957)'e göre yapılmıştır. Tekstür, hidrometre yöntemine göre ölçülmüştür (Bouyoucos, 1951). Hayvan gübresi, vermikompost ve yer fıstığı biyokömürünün bitki dokusundaki makro ve mikro elementlerde (K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn ve Cu) ICP ile belirlenmiştir. Azot analizi Kjeldahl distilasyon yöntemine göre yapılmıştır (Bremner, 1965).

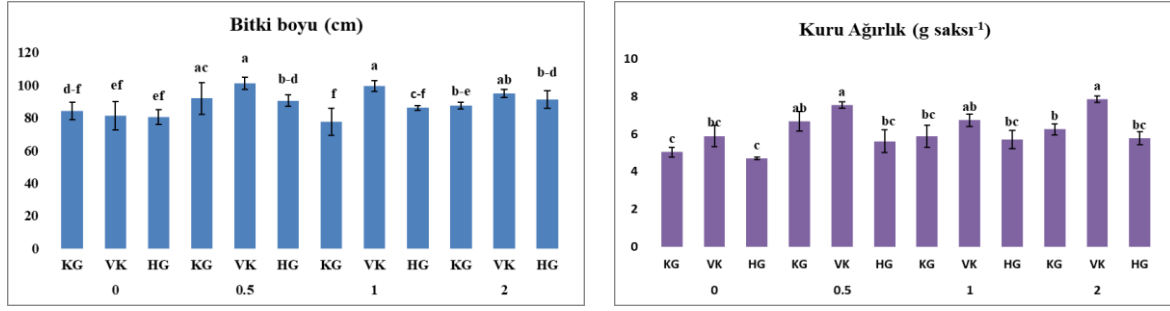
2.4. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz Windows işletim sistemi için IBM SPSS Statistics sürüm 22.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anlamlı farklılıklar için Tukey testi, ortalama karşılaştırmaları ve uygulamalar arasındaki en küçük farkları belirlemek için tek yönlü prosedür ANOVA kullanılarak gerçekleştirilmiştir ($P < 0,5$).

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Bitki Boyu ve Kuru Ağırlık

Tüm uygulamalar mısır bitkisinin boyu ve kuru ağırlığı üzerine istatistiksel olarak anlamlı etki etmiştir ($P < 0,001$). Organik ve kimyasal gübrelerin mısır bitki boyu üzerindeki etkileri farklı biyokömür dozları ile incelendiğinde, vermikompost + %0,5 biyokömür dozunun en etkili uygulama olduğu görülmüştür (101,2 cm). En fazla bitki kuru ağırlık vermikompost + %2 biyokömür uygulamasında ($7,9 \text{ g saksı}^{-1}$) bulunmuştur (Şekil 1). Bu uygulamayı vermikompost + %0,5 biyokömür uygulaması ($7,5 \text{ g saksı}^{-1}$) takip etmiştir. Öte yandan, hayvan gübresi uygulaması $4,7 \text{ g saksı}^{-1}$ ile en düşük bitki kuru ağırlığına sahip olmuştur. Lehman ve ark. (2003)'e göre biyokömür uygulaması hem bürülce hem de pirincin biyokütle üretimini gübre uygulaması olmaksızın %38-45 oranında artırmış, ayrıca besin elementi içeriğini arttırmıştır.



Şekil 1. Biyokömür, kimyasal ve organik uygulamaların mısır bitkisinin boyu ve kuru ağırlık üzerine etkisi
 *KG: Kimyasal Gübrele, VK: Vermikompost, HG: Hayvan Gübresi. Üç tekrarın ortalaması ve \pm standart hatadır (biyokömür ve uygulamaların ortalamaları önemli ölçüde farklıdır ($P<0,001$) (Biyokömür; Bitki boyu: $P<0,001$, Kuru Ağırlık: $P<0,001$) (Uygulamalar; Bitki boyu: $P<0,001$, Kuru Ağırlık: $P<0,001$) (BXU; Bitki boyu: $P<0,001$, Kuru Ağırlık: $P<0,361$)

3.2. Makro Element Konsantrasyonları

Mısır bitkisinin N konsantrasyonu ile ilgili sonuçlar değerlendirildiğinde, en yüksek N konsantrasyonu %3,42 N ile önerilen kimyasal gübre+1% biyokömür uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 2). Bu uygulamayı %3,28 N ile önerilen kimyasal gübreleme takip etmiştir. Schlegel ve ark. (2017) toprağa domuz gübresi uygulandığında topraktaki kullanılabilir N miktarında bir artış gözlemlenmiştir. Organik gübre uygulamasına bağlı olarak azot içeriğindeki artış, organik gübrelerin topraktaki mineralizasyon süreci ile kolaylaştırılan azot salınımı ile açıklanabilir (Narwal ve Antil, 2005).

Farklı dozlarda biyokömür ile farklı organik ve kimyasal gübrelerin mısır bitkisinin P içeriği üzerindeki etkileri incelendiğinde, en yüksek P konsantrasyonu %0,31 P hayvan gübresi + %0,5 biyokömür ve biyokömürsüz önerilen gübre uygulamaları arasında bulunmuştur. P konsantrasyonu tüm uygulamalarda mısır bitkisi için kritik seviye olan %0,20 P'nin üzerinde bulunmuştur (Jones, 1998) (Tablo 2). Bitki dokularındaki yüksek P konsantrasyonu, topraktaki organik uygulamaların P alımını arttırmasından kaynaklanmaktadır (Ewulo ve ark., 2008; Garg ve Bahl, 2008). Hayvan gübresi uygulaması ile yapısında bulunan organik maddenin mineralizasyonu sırasında besin elementleri açığa çıkmakta (Li ve Marschner, 2019) ve bu besin elementlerinden mısır bitkisinin yararlandığı varsayılmaktadır. Uygulamanın bitki P konsantrasyonu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi ($P<0,079$) olmuştur. Tarımsal üretimde kompostlaştırılmış hayvan gübresi uygulaması iyi bir N, P ve diğer toprak besin maddeleri kaynağı olabilir (Ghimire ve ark., 2018; Akpınar ve ark., 2019).

Araştırma sonuçları K konsantrasyonu ile ilişkili olarak incelendiğinde, P konsantrasyonuna benzer sonuçlar bulunmuştur. Bitki dokusundaki en yüksek K konsantrasyonu hayvan gübresi + %0 biyokömür (%7,13 K) uygulamasında bulunmuştur. Vermikompost + %0 biyokömür uygulaması %6,92 K ile bu uygulamayı takip etmiştir. Bu durumun kullanılan toprağın yüksek K içeriğinden ve uygulamalarda yeterli K bulunmasından kaynaklandığı varsayılmaktadır. Organik madde uygulaması, topraktaki besin maddelerinin bitkiler tarafından kullanılabilirliğini önemli ölçüde arttırmaktadır (Marschner, 1995). Bazı araştırmacılar vermikompost, hayvan gübresi ve biyokömür gibi materyallerin kireçli topraklara uygulanmasıyla K kullanılabilirliğinin arttığını bildirmiştir (Najafi-

Ghiri, 2015; Abu Zied Amin, 2016; Najafi-Ghiri ve ark., 2018). Biyokömür uygulamasına bağılı olarak topraktaki potasyum kullanılabilirliğindeki artış, topraktaki potasyum çözücü bakteri ve mantarların artan aktivitesine bağlanabilir (Liu ve ark., 2017; Boostani ve Najafighiri, 2018).

Uygulamaların diğere makro elementler olan Ca ve Mg konsantrasyonları üzerindeki etkileri Tablo 2’de gösterilmiştir. Bitki dokularındaki Ca konsantrasyonları değerlendirildiğinde, en etkili uygulamanın biyokömür uygulaması olmaksızın %1,23 Ca içeren tavsiye edilen kimyasal gübre olduğu görülmüştür. Bunu %1,13 Ca ve %2 biyokömür içeren önerilen kimyasal gübre uygulaması izlemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek Mg konsantrasyonu %0,22 ile hayvan gübresi ile birlikte %1 ve %2 biyokömür uygulaması yapılan bitkilerde tespit edilmiştir. En düşük Mg konsantrasyonu ise önerilen gübre uygulaması olan %0,09 Mg+%0,5 biyokömür ile belirlenmiştir. İstatistiksel olarak, biyokömür ve gübre uygulamaları bitki dokularındaki Mg konsantrasyonunu önemli ölçüde etkilemiştir ($P<0,001$). Masood ve ark. (2014), hayvan gübresinin kısa vadeli etkileri üzerine yaptıkları çalışmada, hayvan gübresi uygulamasının toprak özelliklerini iyileştirdiğini, pH’da düşüğe neden olduğunu ve mısır bitkisi tarafından besin maddesi alımını önemli ölçüde artırdığını bulmuşlardır.

3.3. Mikro Element Konsantrasyonları

Araştırma sonuçları mikro element konsantrasyonu açısından incelendiğinde, hayvan gübresi + %1 biyokömür ($74,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Fe}$) uygulamasının mısır dokusundaki Fe konsantrasyonunu en fazla artıran uygulama olduğu görülmüştür (Tablo 3). Bunu $71,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Fe}$ konsantrasyonunda aynı biyokömür dozu ile vermikompost uygulaması izlemiştir. Bununla birlikte, en yüksek Zn konsantrasyonu $49,3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}$ ile hayvan gübresi ve %2 biyokömür içeren saksılarda yetiştirilen mısır bitkilerinin dokularında tespit edilmiştir. En düşük Zn konsantrasyonu ise biyokömür ve önerilen gübre uygulaması yapılmayan bitki dokularında $23,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}$ olarak bulunmuştur. Bitki dokularındaki Cu konsantrasyonları değerlendirildiğinde, en etkili uygulama $12,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cu}$ ile %2 biyokömür + hayvan gübresi uygulaması olarak bulunmuştur. Bunu $12,1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cu}$ ile vermikompost + %2 biyokömür uygulaması izlemiştir. Hayvan gübresinin toprağa uygulanması toprakta Cu ve Zn birikimine yol açabilir (Laird ve ark., 2010; Lentz ve Ippolito, 2012). En yüksek Mn konsantrasyonu $62,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}$ olarak hayvan gübresi+1% biyokömür uygulamasında ölçülmüştür.

Tablo 2. Biyokömür, kimyasal ve organik uygulamaların mısır bitkisinin makro besin elementi konsantrasyonu üzerine etkisi

Biyokömür	Uygulamalar	N	P	K	Ca	Mg
				%		
0	KG	3,28 ±0,0 ^a	0,31 ±0,03 ^a	6,23 ±0,2 ^{d-f}	1,23 ±0,1 ^a	0,13 ±0,00 ^{d-e}
	VK	2,65 ±0,1 ^e	0,26 ±0,02 ^a	6,92 ±0,1 ^{ab}	0,78 ±0,1 ^{cd}	0,14 ±0,00 ^{c-e}
	HG	2,91 ±0,1 ^{cd}	0,29 ±0,02 ^a	7,13 ±0,2 ^a	0,76 ±0,1 ^{cd}	0,15 ±0,01 ^{b-d}
		2,94 B	0,28 A	6,76 A	0,92 A	0,14 B
0,5	KG	2,97 ±0,1 ^c	0,29 ±0,02 ^a	6,13 ±0,2 ^{ef}	1,09 ±0,1 ^{ab}	0,09 ±0,01 ^f
	VK	2,65 ±0,1 ^e	0,29 ±0,02 ^a	6,68 ±0,1 ^{ab}	0,45 ±0,0 ^f	0,12 ±0,01 ^{d-f}
	HG	2,82 ±0,1 ^{c-e}	0,31 ±0,01 ^a	6,75 ±0,1 ^{a-c}	0,49 ±0,0 ^{ef}	0,12 ±0,00 ^{d-f}
		2,81 C	0,30 A	6,52 B	0,67 B	0,11 C
1	KG	3,42 ±0,1 ^a	0,28 ±0,01 ^a	5,82 ±0,1 ^f	0,86 ±0,0 ^{bc}	0,11 ±0,01 ^{ef}
	VK	3,24 ±0,1 ^{ab}	0,27 ±0,02 ^a	6,45 ±0,2 ^{c-e}	0,69 ±0,1 ^{c-e}	0,16 ±0,05 ^{b-d}
	HG	2,70 ±0,0 ^{de}	0,29 ±0,02 ^a	6,91 ±0,2 ^{ab}	0,72 ±0,0 ^{c-e}	0,22 ±0,01 ^a
		3,12 A	0,28 A	6,39 C	0,76 B	0,16 B
2	KG	3,01 ±0,0 ^{bc}	0,28 ±0,01 ^a	6,46 ±0,0 ^{c-e}	1,13 ±0,1 ^a	0,18 ±0,00 ^{a-c}
	VK	2,71 ±0,1 ^{de}	0,28 ±0,01 ^a	6,65 ±0,1 ^{b-d}	0,59 ±0,0 ^{d-f}	0,20 ±0,00 ^{ab}
	HG	2,85 ±0,1 ^{c-e}	0,29 ±0,02 ^a	6,77 ±0,1 ^{a-c}	0,60 ±0,1 ^{d-f}	0,22 ±0,01 ^a
		2,86 BC	0,28A	6,62 AB	0,77 B	0,20 A
	sd					
B	3	P<0,001	P<0,071	P<0,001	P<0,001	P<0,001
U	2	P<0,001	P<0,079	P<0,001	P<0,001	P<0,001
BXU	6	P<0,001	P<0,317	P<0,004	P<0,001	P<0,001

Lentz ve Ippolito (2012), biyokömür uygulamasının mikrobiyal aktivite üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle toprağın Mn kullanılabilirliğini artırdığını bildirmiştir. Patel ve ark. (2007) soya fasulyesi ve buğday tarlalarına hayvan gübresi uygulamasının mikro elementlerin (Zn, Cu, Fe ve Mn) alımını önemli ölçüde artırdığını bulmuştur. Tüm uygulamalar değerlendirildiğinde, bitki dokularındaki mikro element konsantrasyonu ile ilişkili olarak hayvan gübresindeki yüksek mikrobese içeriği (Fe, Mn, Zn ve Cu) ve uygun biyolojik koşullar nedeniyle etkili bir uygulama olarak kabul edilmiştir. Koyun gübresinin Fe, Mn ve Zn gibi toprak mikro elementlerinin mevcudiyeti üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu, ancak Cu mevcudiyeti üzerinde bir etkisi olmadığını bildirmişlerdir (Najafi-Ghiri ve ark., 2019). Kiran ve ark. (2017)'na göre, hayvan gübresi ve ondan üretilen biyokömür uygulaması *Brassica chinensis* L.'nin Fe, Mn ve Zn içeriğini artırmış, ancak Cu konsantrasyonu üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır. Genel olarak pH, organik maddeden mikro besinlerin elde edilebilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Havlin ve ark., 2005). Biyokömür uygulamasının bitki Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonları üzerinde istatistiksel olarak P<0,01 etkisi olmuştur. Biyokömür, toprak mikrobiyal yapısı ve enzim aktivitesi için faydalı olan toprak pH'ını artırır (Purakayastha ve ark., 2015; Bera ve ark., 2016). Biyokömürün topraktaki bitki besin maddelerinin alımını artırdığı ve toprak özelliklerini iyileştirerek besin maddesi kaybını azalttığı bilinmektedir.

Tablo 3. Biyokömür, kimyasal ve organik gübre uygulamalarının mısır bitkisindeki mikro besin elementleri konsantrasyonları üzerine etkisi

Biyokömür	Uygulamalar	Fe	Zn	Cu	Mn
mg kg⁻¹					
0	KG	60,5 ±3,5 ^{bc}	23,5 ±2,0 ^d	8,9 ±0,5 ^c	59,4 ±1,9 ^{ab}
	VK	62,3 ±2,8 ^{bc}	43,8 ±1,4 ^{bc}	8,9 ±0,1 ^c	49,3 ±2,8 ^{de}
	HG	59,4 ±1,9 ^{bc}	42,3 ±1,6 ^c	9,0 ±0,5 ^c	51,4 ±1,0 ^{cd}
		60,7 B	36,5 C	8,9 C	53,4 C
0,5	KG	61,7 ±5,5 ^{bc}	24,1 ±1,9 ^d	9,2 ±1,1 ^c	57,5 ±1,3 ^{a-c}
	VK	62,9 ±1,4 ^{bc}	44,4 ±1,0 ^{a-c}	10,5 ±0,0 ^{a-c}	55,4 ±2,7 ^{b-d}
	HG	58,3 ±1,0 ^{bc}	44,3 ±2,3 ^{a-c}	10,7 ±0,3 ^{a-c}	56,8 ±0,9 ^{a-c}
		61,0 B	37,6 BC	10,1 B	56,6 B
1	KG	57,7 ±2,8 ^{bc}	25,1 ±1,2 ^d	10,3 ±0,3 ^{bc}	57,9 ±2,7 ^{ab}
	VK	71,5 ±4,4 ^a	47,7 ±1,0 ^{ab}	10,8 ±0,6 ^{a-c}	59,4 ±3,8 ^{ab}
	HG	74,5 ±2,5 ^a	46,7 ±1,3 ^{a-c}	10,7 ±0,3 ^{a-c}	62,2 ±2,5 ^a
		67,9 A	39,8 AB	10,6 AB	59,8 A
2	KG	66,7 ±2,8 ^{ab}	23,7 ±1,3 ^d	8,8 ±0,3 ^c	55,6 ±2,1 ^{b-d}
	VK	61,3 ±1,4 ^{bc}	47,9 ±1,5 ^{ab}	12,1 ±0,8 ^{ab}	43,7 ±1,9 ^e
	HG	61,5 ±1,0 ^{bc}	49,3 ±2,8 ^a	12,4 ±1,6 ^a	58,3 ±0,6 ^{ab}
		63,1 B	40,3 A	11,1 A	52,5 C
sd					
B	3	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001
U	2	P<0,069	P<0,001	P<0,001	P<0,001
BXU	6	P<0,001	P<0,057	P<0,002	P<0,001

4. Sonuç

Geleneksel tarım uygulamalarında, inorganik gübre uygulamasının toprak üzerindeki bazı olumsuz etkileri hayvan gübresi, vermikompost ve biyokömür gibi organik gübrelerle azaltılabilir. Bu araştırma, hayvan gübresi, solucan gübresi ve biyokömürün (yerfıstığı kabuğu) mısır bitkisinin büyümesi ve besin maddesi alımı üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar, biyokömür uygulamasının (%1 ve %2) kuru ağırlık ve makro ve mikro besin alımını önemli ölçüde artırdığını, hayvan gübresi uygulamasının ise P, K, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Genel olarak, mısır bitkisine organik madde uygulamasının bitki büyümesi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu nedenle, mahsul atıklarının biyokömüre dönüştürülmesi ve kireçli topraklara uygulanması, mısır büyümesi için besin maddelerinin kullanılabilirliğini artırmak için etkili bir stratejidir. Biyokömür, hayvan gübresi ve vermikompostun hem bitki büyüme dinamikleri hem de toprak verimliliği profili üzerindeki uzun vadeli etkilerini belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Teşekkür

Bu araştırma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi OKUBAP-2022-PT1-004 projesi tarafından finanse edilmiştir.

Çıkar Çatışma Beyanı

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynakça

- Abu Zied Amin AEE. Impact of corn cob biochar on potassium status and wheat growth in a calcareous sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2016; 47(17): 2026-2033.
- Akpınar C. Interaction of phosphorus chemical fertilizer and biochar application on wheat plant. *Latin American Applied Research-An International Journal* 2024; 54(2): 287-292.
- Akpınar C., Demirbas, A., Ortas I. The effect of different compost compositions on arbuscular mycorrhizal colonization and nutrients concentration of leek (*allium Porrum* L.) plant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2019; 50(18): 2309-2320.
- Arancon NQ., Edwards CA., Atiyeh R., Metzger JD. Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology* 2004; 93(2): 139-144.
- Bellitürk K. Vermicomposting in Turkey: Challenges and opportunities in future. *Eurasian Journal of Forest Science* 2018; 6(4): 32-41.
- Bera T., Collins HP., Alva AK., Purakayastha TJ., Patra AK. Biochar and manure effluent effects on soil biochemical properties under corn production. *Applied Soil Ecology* 2016; 107: 360-367.
- Black CA. *Methods of soil analysis. Part:2.* American Society of Agronomy Inc., Publisher Maddison, Wisconsin, USA; 1957.
- Boostani HR., Najafghiri M. Effect of organic manures, theirs biochar and mycorrhizae fungi application on the chemical forms of potassium in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Conservation* 2018; 24(6): 159-176.
- Bouyoucos GJ. Hydrometer method improved for marking particle size analysis of soils. *Agronomy J.* 1951; 54: 464-465.
- Bremner JM. Total nitrogen. In *Methods of Soil Analysis* 1965; 1149-1178.
- Chaudhary S., Dheri GS., Brar B. Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system. *Soil and Tillage Research* 2017; 166: 59-66.
- Çağlar KÖ. *Toprak Bilgisi A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 1949;10, Ankara.*

- Damodar RD., Rao AS., Reddy KS., Takkar PN. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean–wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus. *Field Crops Research* 1999; 62(2): 181-190.
- Dong YH., Ouyang Z., Liu SL. Nitrogen transformation in maize soil after application of different organic manures. *Journal of Environmental Sciences* 2005; 17(2): 340-343.
- Evanylo G., Sherony C., Spargo J., Starner D., Brosius M., Haering K. Soil and water environmental effects of fertilizer, manure, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2008; 127(1): 50-58.
- Ewulo BS., Ojeniyi SO., Akanni DA. Effect of poultry manure on selected soil physical and chemical properties, growth, yield and nutrient status of tomato. *African Journal of Agricultural Resesearch* 2008; 3(9): 612–616.
- Garg S., Bahl GS. Phosphorus availability to maize as influenced by organic manures and fertilizer P associated phosphatase activity in soils. *Bioresource Technology* 2008; 99: 5773-5777.
- Ghimire R., Machado S., Bista P. Decline in soil organic carbon and nitrogen limits yield in wheat-fallow systems. *Plant and Soil* 2018; 422(1): 423-435.
- Gul S., Whalen JK. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry* 2016; 103: 1-15.
- Havlin JL., Beaton JD., Tisdale SL., Nelson WL. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management* (7th ed.). Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, 2005.
- Jones JB. *Plant nutrition manual*. London: Crc Press. 1998.
- Kiran YK., Barkat A., Cui X., Feng Y., Pan FS, Tang L., Yang X. Cow manure and cow manure-derived biochar application as a soil amendment for reducing cadmium availability and accumulation by *Brassica chinensis* L. in acidic red soil. *Journal of Integrative Agriculture* 2017; 16(3): 725-734.
- Laird D., Fleming P., Wang B., Horton R., Karlen D. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 2010; 158(3): 436-442.
- Lazcano C., Domínguez J. Soil nutrients. The use of vermicompost in sustainable agriculture: impact on plant growth and soil fertility. In: *Soil Nutrients*, Editor: Mohammad Miransari. 2011; 336.
- Lehmann J., da Silva JP., Steiner C., Nehls T., Zech W., Glaser B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure, and charcoal amendments. *Plant and Soil* 2003; 249(2): 343-357.
- Lentz RD., Ippolito JA. Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *Journal of Environmental Quality* 2012; 41(4): 1033-1043.
- Li J., Marschner P. Phosphorus pools and plant uptake in manure-amended soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2019; 19(1): 175-186.
- Lindsay WL., Norvell WA. Development of a dtpa soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 1978; 42(3): 421-428.

- Liu S., Tang W., Yang F., Meng J., Chen W., Li X. Influence of biochar application on potassium-solubilizing *Bacillus mucilaginosus* as potential biofertilizer. *Preparative Biochemistry & Biotechnology* 2017; 47(1): 32-37.
- Madari BE., Silva MAS., Carvalho MTM., Maia AHN., Petter FA., Santos JLS., Tsai SM., Leal WGO., Zeviani WM. Properties of a sandy clay loam Haplic Ferralsol and soybean grain yield in a five-year field trial as affected by biochar amendment. *Geoderma* 2017; 305: 100-112.
- Marschner H. Mineral nutrition of higher plants 2nd edn. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim: Germany, 1995.
- Masood S., Naz T., Javed MT., Ahmed I., Ullah H., Iqbal M. Effect of short-term supply of farmyard manure on maize growth and soil parameters in pot culture. *Archives of Agronomy and Soil Science* 2014; 60(3): 337-347.
- McCann L., Abdalla C., Jenner M., Massey R. Improved manure management and utilization: A systems approach. *Renewable Agriculture and Food Systems* 2005; 20: 127-135.
- Murphy J., Riley JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 1962; 27: 31-36.
- Najafi-Ghiri M. Effect of different biochars application on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. *Iranian Journal of Soil Research* 2015; 29(3): 352-358.
- Najafi-Ghiri M., Niksirat SH., Soleimanpour L., Nowzari S. Comparison of different organic amendments on potassium release from two fine-textured soils. *Organic Agriculture* 2018; 8(2): 129-140.
- Najafi-Ghiri M., Razeghizadeh T., Taghizadeh MS., Boostani HR. Effect of sheep manure and its produced vermicompost and biochar on the properties of a calcareous soil after barley harvest. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2019; 50(20): 2610-2625.
- Narwal RP., Antil RS. Integrated nutrient management in pearl millet–wheat cropping system. In: Kapoor KK., Dudeja SS., Kundu BS. editors. *Management of organic wastes for crop production*. Department of Microbiology, CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India. pp 205–213, 2005.
- Olsen SR., Cole CV., Watanabe FS., Dean LA. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Vol 939:19. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, 1954.
- Patel BT., Patel JJ., Patel MM. Response of groundnut (*Arachis hypogaea*) to FYM, sulphur and micronutrients and their residual effect on wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Soils and Crops* 2007; 17: 18-23.
- Pedersen IF., Rubæk GH., Sørensen P. Cattle slurry acidification and application method can improve initial phosphorus availability for maize. *Plant and Soil* 2017; 414(1): 143-158.
- Purakayastha TJ., Kumari S., Pathak H. Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma* 2015; 239-240: 293-303.

- Schlegel AJ., Assefa Y., Bond HD., Haag LA., Stone LR. Changes in soil nutrients after 10 years of cattle manure and swine effluent application. *Soil and Tillage Research* 2017; 172: 48-58.
- Trivedi P., Singh K., Pankaj U., Verma SK., Verma RK., Patra DD. Effect of organic amendments and microbial application on sodic soil properties and growth of an aromatic crop. *Ecological Engineering* 2017; 102: 127-136.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA 1954; 60.
- U.S. Soil Survey Staff. Bureau of plant Industri, Soil and Agricultural Engineering. "Soil Survey" U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office; 1951.
- Watts DB, Torbert HA., Prior SA., Huluka G. Long-term tillage and poultry litter impacts soil carbon and nitrogen mineralization and fertility. *Soil Science Society of America Journal* 2010; 74(4): 1239-1247.
- Zandonadi D., Canellas L., Façanha A. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta* 2007; 225: 1583-1595.
- Zhang H., Yu X., Jin Z., Zheng W., Zhai B., Li Z. Improving grain yield and water use efficiency of winter wheat through a combination of manure and chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2017; 17(2): 461-474.

Antioxidant Capacity and Bioactive Ingredients of Asian Pear

Nurten CENGİZ^{1*}, Leyla ERCAN²

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Engineering faculty, Department of Food Engineering, 01250, Adana

²Mardin Artuklu University, Central Research Laboratory Application and Research Center, 47000, Mardin

¹<https://orcid.org/0000-0002-6640-4927>

²<https://orcid.org/0000-0002-6570-8128>

*Corresponding author: nkurt@atu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 10.03.2024

Accepted: 26.07.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Asian pear

Organic acids

Phenolic compounds

Antioxidant capacity

Volatile compounds

ABSTRACT

The combinations of soluble sugars, organic acids, and volatile organic compounds (VOCs) are crucial for how food is perceived and accepted. In order to evaluate the volatile organic compounds (VOCs) in Asian pears (*Pyrus pyrifolia*), headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) was combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) in this study. Among the 19 aroma compounds identified in the study conducted with a PDMS fiber, acetaldehyde and ethanol were found to be the most abundant. In addition, two more significant organic acids found in Asian pears were found to be malic acid (46.89 mg/100 g) and tartaric acid (45.08 mg/100 g). Glucose (84.70 mg/100 g) and sorbitol (65.75 mg/100 g) were identified in significant concentrations among the soluble sugars that directly affect fruit quality. LC-MS was used to investigate the phenolic content of Asian pears, and important phenolic compounds such as quinic acid (19227 g/L), chlorogenic acid (8445 g/L), procyanidin B2 (3146 g/L), liquiritin (435.1 g/L), and benzoic acid (363.1 g/L) were found.

Asya Armutunun Antioksidan Kapasitesi ve Biyoaktif İçerikleri

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.03.2024

Kabul Tarihi: 26.07.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Asya armudu

Organik asitler

Fenolik bileşikler

Antioksidan kapasite

Uçucu bileşikler

ÖZ

Suda çözünen şekerler, organik asitler ve uçucu organik bileşenlerin kombinasyonları, gıdanın algılanma ve kabul edilme süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, Asya armutları (*Pyrus pyrifolia*) üzerindeki uçucu organik bileşenleri değerlendirmek amacıyla headspace katı faz mikroekstraksiyonu (HS-SPME) yöntemi, gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) ile birleştirilmiştir. PDMS fiber kullanılarak gerçekleştirilen çalışma sonucunda belirlenen 19 aroma bileşiği içinde, asetaldehit ve etanol en baskın bileşenler olarak saptanmıştır. Asya armutlarında belirlenen iki önemli organik asidin malik asit (46.89 mg/100 g) ve tartarik asit (45.08 mg/100 g) olduğu gözlemlenmiştir. Meyve kalitesini doğrudan etkileyen çözünen şekerler arasında ise glukoz (84.70 mg/100 g) ve sorbitol (65.75 mg/100 g) önemli konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Asya armutlarının fenolik içeriğini belirlemek için LC-MS kullanılmış ve kuinik asit (19227 g/L), klorojenik asit (8445 g/L), prosiyanidin B2 (3146 g/L), likiritin (435.1 g/L) ve benzoik asit (363.1 g/L) gibi önemli fenolik bileşenlere rastlanmıştır.

To Cite: Cengiz N., Ercan L. Antioxidant Capacity and Bioactive Ingredients of Asian Pear. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1795-1812.

1. Introduction

The Asian pear, *Pyrus pyrifolia*, was originally cultivated in China and Japan (Jiang et al., 2016; Golias et al., 2021). Subsequently, it has expanded to Korea and Taiwan, and more recently, it is being grown in the United States, New Zealand, Australia (Golias et al., 2021). Furthermore, Asian pear production in Turkey's fertile lands and plains has been rapidly expanding in recent years. There are private growers in Konya, Çanakkale, and Uşak who cultivate nashi pears. (Yavuz and Parlak, 2018; Kayacan et al., 2022). During the maturation phase, different types of Asian pears display variations in shape, skin color, chemical composition, and ripening characteristics.

Because it is a juicy fruit, Asian pear is low in protein and fats but high in dietary fiber and sugars encompassing fructose, sucrose, and glucose. Additionally, Asian pear is a valuable fruit with health-enhancing properties, including C vitamin, bioactive substances, and minerals (calcium, magnesium, potassium, sodium, zinc, copper) (Yim and Nam, 2016; Jiang et al., 2018).

Consuming antioxidant-rich foods lowers the risk of chronic illnesses and oxidative stress. Fruits and vegetables are high in antioxidants and have health-promoting characteristics. Among such substances, you can find polyphenols, carotenoids, and triterpenoids (Kolniak-Ostek et al., 2020). Fruits and vegetables are reported to contain high amounts of dietary phenolics (Cui et al., 2005). Antioxidant, anti-inflammatory, antiviral, and anticarcinogenic effects are all possessed by phenolic substances (Kolniak-Ostek et al., 2020). The phenolic components of Asian pears have a high correlation with their antioxidant capacity. Asian pears are also susceptible to microbial and enzyme activity because of their high content of bioactive substances, carbohydrates, and moisture (Jiang et al., 2019). On the other hand, Asian pear peels, which are high in dietary fiber, have antioxidant properties as well (Jiang et al., 2016).

Aroma, which is a complex blend of aromatic volatile organic substances, contributes significantly to the flavor of fruits and vegetables in general and varies by fruit variety (Chen et al., 2018; Wang et al., 2019). Given that scent is among the most desirable fruit attributes, volatile organic molecules are probably going to have a significant impact on how customers perceive and accept products. Fruit volatile organic molecules can differ based on fruit variety, age, pre-harvest and post-harvest settings, environmental factors, and analytical methodologies used (Chen et al., 2018). The concentration and detection threshold for each of the volatile organic chemicals, as well as the combined amount of several volatile organic compounds, determine the distinctive scent of each fruit species (Seymour et al., 2012). Terpenoids, phenolic derivatives, lipid derivatives, and derivatives of amino acids are some of the most prominent volatile organic molecules (Schwab et al., 2008). Pears contain volatile substances such as alcohols, ketones, esters, aldehydes, and hydrocarbons. Esters are the primary volatile components in *P. ussuriensis* and *P. communis*, whereas aldehydes, alcohols, and esters are the primary volatile compounds in *P. pyrifolia*. C6 chemicals, which have been considered to be essential components in fruits, have been found in pears (Wang et al., 2019).

Organic acids and soluble sugars, which are important components of fruit quality, might influence fruit aroma. The main organic acids in fresh fruits are malic, citric, quinic, and tartaric acids (Wu et al., 2022). According to studies, organic acids help to extend the shelf life of fresh fruits by stabilizing anthocyanins (Ma et al., 2015). Additionally, it has been reported that citric acid chelates metal ions to avoid browning in fruit wine because of its high antioxidant potential (Tsegay, 2020). Moreover, organic acids that have antibacterial qualities and improve health, such as quinic acid, also affect the features of bitterness and acidity (Wu et al., 2003). As can be observed from the literature studies, organic acids are important to fruits, and the quantity and makeup of organic acids have a substantial impact on fruit aroma (Wu et al., 2022).

An investigation into the effects of various drying methods on the antioxidant potential and phenolic profile of Asian pear fruits cultivated in our country was conducted (Kayacan et al., 2022). The aim of this study, on the antioxidant potential, organic acids, sugars, aroma compounds and phenolic profile of Asian pear (*Pyrus pyrifolia*) fruits cultivated in our country were investigated. In this context, the volatile compounds of *Pyrus pyrifolia* were thoroughly examined using HS-SPME/GC-MS, and the phenolic compounds were analyzed utilizing LC-MS. Examining the characteristics of this fruit grown in Turkey's unique ecological conditions reveals the unique value of the study.

2. Material and Methods

2.1. Samples and chemicals

Asian pears (*Pyrus pyrifolia* Nashi) were sourced from a local farm in Kozan (Adana), Turkey, and stored at 4 °C until used (not more than one week). DPPH (2,2 Diphenyl-1-picrylhydrazyl), ABTS(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt), K₂O₈S₂, DMPD (N,N-Dimethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride), FeCl₃6H₂O, FeCl₂4H₂O, CuCl₂, NH₄SCN, are purchased from Sigma Aldrich. Also, *Escherichia coli* ATCC 11229 was obtained from Microbiologics.

2.2. Antioxidant capacity analyses

This analysis was carried out by making some changes to the method suggested by Tomasa et al. (2018). 5 grams of Asian pear were taken for antioxidant assay, and 5 mL methanol was added. The mixture was homogenized with a homogenizer at 1000 rpm. After 20 minutes in an ultrasonic bath at 25°C, it was centrifuged at 5000 rpm. Subsequently, the upper liquid phase was collected, and the precipitate was extracted again with 5 mL of methanol. Then, the higher liquid phases were mixed. Methanol was used to bring the total volume to 10 mL.

2.2.1. DPPH assay

The DPPH assay was completed using the method described by Makhoul-Gafsi et al. (2018). A 100µM DPPH solution was prepared for antioxidant determination by the DPPH method. 3.9 mL of DPPH solution was added to each of the Asian pear samples and standards (Trolox and BHT), which

had been produced at different concentrations (2.5, 5.0, 10.0, 20.0, 40.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$). The activity of radical scavenging was then measured at 517 nm. After measurement, the % inhibition was calculated by the following equation:

$$\% \text{ inhibition: } ((A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}) * 100 \quad (1)$$

Then, IC_{50} values ($\mu\text{g}/\text{mL}$) concentration that inhibits 50% of the radical), Trolox and BHT equivalences were calculated from the calibration curve created with concentrations and % inhibitions. Results were also given as mg standard (Trolox and BHT) equivalent per 5 g sample.

2.2.2. ABTS assay

The Bursal et al. (2013) technique was used to perform the ABTS experiment. For the ABTS radical scavenging activity studies, a 2.45 mM $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ solution and a 2 mM ABTS solution in phosphate buffer at pH 7.4 were combined for 6 hours. The radical solution was then added to different concentrations of Asian pear samples and standards (2.5, 5.0, 10.0, 20.0, 40.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$). After a 30 minute incubation, the absorbance at 734 nm was measured. Following measurement, percentage inhibition was calculated using equation 1. The calibration curve for concentrations and percentage inhibitions was used to generate IC_{50} values (concentrations that inhibit 50% of the radical), Trolox, and BHT equivalents.

2.2.3. CUPRAC assay

The CUPRAC test was performed utilizing the Apak et al. (2007) technique. To the samples prepared at various concentrations, 0.01 M 0.25 mL CuCl_2 , 0.25 mL 7.5×10^{-3} M methanolic neocuproine and 1 M ammonium acetate solutions were added. The absorbance at 450 nm was measured following a half-hour incubation period. A calibration curve was created with concentrations corresponding to absorbance values.

Then, $A_{0.5}$ (concentration at 0.5 absorbance), and Trolox equivalent, BHT equivalent were calculated. Results were also given as mg standard equivalent per 5 g sample.

2.2.4. FRAP assay

The FRAP assay was performed following the method outlined by Gülçin (2012). The volumes of Asian pear and standards (BHT and Trolox), obtained at various concentrations (10.0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$), were adjusted to 0.5 mL using 0.3 M buffer (acetate) to assess antioxidants using the FRAP method. Subsequently, a 20 mM solution of FeCl_3 and the reagent for FRAP were added in sequence. After 10 minutes, the absorbances at 593 nm were measured. A calibration curve was generated using concentrations that corresponded to absorbance readings. Then, $A_{0.5}$ (concentration at

0.5 absorbance), Trolox equivalent, and BHT equivalent were calculated also given as mg standard equivalent per 5 g sample.

2.2.5. DMPD assay

The DMPD test was performed utilizing the Fogliano et al. (1999) technique. A radical cation (DMPD^{•+}) was produced by mixing 0.1 M DMPD solution with 100 mL of buffer (pH: 5.3) to measure the DMPD^{•+} radical scavenging activity of Asian pears. Then, 1 mL of the DMPD^{•+} solution was added to solutions prepared at different concentrations of Asian pear, BHT, and Trolox (10.0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 µg/mL). After a 50 minute incubation at room temperature, the absorbances were taken at 505 nm. Results were calculated as mg standard (Trolox and BHT) equivalent per 5 g sample.

2.2.6. Total antioxidant analysis

The total antioxidant activity of Asian pear was found using the thiocyanate method (Yen and Chen, 1995). The volume of samples prepared at different concentrations was adjusted to 2.5 mL with buffer (pH: 7.4). Afterwards, 2.5 mL of 0.017 M linoleic acid emulsion was added to each tube. The tubes were then incubated in the dark at 37°C. Every 24 hours, 50 µL was taken from the test tubes and transferred to test tubes containing 2.35 mL of methanol. Then, 50 µL of Fe²⁺ solution and 50 µL of NH₄SCN solution were added sequentially. The absorbances at 500 nm of Asian pear, BHT, and Trolox solutions (10.0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 µg/mL) were measured. In this method, the oxidation prevention capacity was determined as a percentage.

2.3. Organic acid analysis

The organic acids in Asian pear were determined using a modified approach based on Arzani et al., 2008. A Waters Alliance e2695 HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) apparatus with a PDA (Photo-Diode Array) detector was used for the analysis at 210 nm. To prepare the samples, 5 grams of fruit were ground and then diluted with 20 mL of water. After filtration through a 0.45 µm filter, 5 mL of the filtrate was taken and diluted to 20 mL with 0.01 M K₂HPO₄·3H₂O (0.01 M, pH = 2.6). The resulting solution was filtered again through a 0.45 µm filter. Ultimately, a sample volume of 20 µL was introduced into the HPLC with column conditions a flow rate of 0.7 mL at 30 degree.

2.4. Sugar analysis

Ramchoun et al.'s (2017) approach was modified to analyze the sugar content of Asian pears. Samples of 2 g were weighed and extracted with 20 mL of pure water for 30 min. After this, the mixture was centrifuged at 4 °C and 5500 rpm for 15 min. Then, the supernatant was filtered through a 0.45 µm pore size membrane filter before injection. The analysis was performed on an Alliance e2695 HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) instrument. Refractive Index Detector (RID) and InertSustain NH₂ column (250 x 4.6 mm, 5 µm) were used in the analysis. The mobile phase used was

75/25 acetonitrile-water. The column temperature was set at 35 °C, the injection volume was 10 µl, and the flow rate was 1 mL/min (Ramchoun et al., 2017).

2.5. Phenolic compounds

LC-HRMS (Liquid Chromatography-High-Resolution Mass Spectrometry) analyses were carried out using a system consisting of a DIONEX UltiMate 3000 RS autosampler, pump, and a column oven. The mass spectrometry was conducted with an Exactive Plus Orbitrap system with a heated electrospray ionization interface from Thermo Fisher Scientific. Using an automated syringe injector (Thermo Fisher Scientific, USA), positive (Pierce™ LTQ Velos ESI Positive Ion Calibration Solution) and negative (Pierce™ Negative Ion Calibration Solution) calibration solutions were used to set the Orbitrap-MS apparatus. Samples of 150 g were weighed and extracted with 100 mL of methanol for 30 min. After this, the mixture was centrifuged at 4 °C and 5500 rpm for 15 min. Then, the supernatant was filtered through a 0.45 µm pore size membrane filter before injection. The analyses were performed using a Phenomenex® Gemini® 3µm NX-C18 110 Å column (100 mm × 2 mm), with a column oven temperature of 30 °C. The elution gradient comprised 2% (v/v) glacial acetic acid in the mobile phase A and methanol in the mobile phase B. The Orbitrap HRMS with a heated electrospray ionization interface, was operated in both positive (Full MS/AIF) and negative (Full MS/AIF) modes. The ionization interface settings included a sheath gas flow rate of 35, spray voltage of 3.5 kV, auxiliary gas flow rate of 7, capillary temperature of 350 °C, auxiliary gas temperature of 350 °C, and S-lens RF level set at 50. The mass spectrometry parameters included a search range of 60-800 m/z, a resolution of 17500, an automatic gain control (AGC) target of 3.106, a maximum ion trap time (IT) of 2 ms, and collision energy (CE) at 25 V. The total analysis time was set to 20 minutes, and each analysis was performed in triplicate (Ercan, 2024).

2.6. Aroma compounds with Headspace-SPME-GC/MS

The volatile fraction of asian pear was characterized using a protocol modified slightly from Silva and Camara (2013). In the analysis of aroma compounds, a "SHIMADZU QP2020" GC-MS instrument with a DB-HEAVYMAX capillary column (60 m x 0.25 mm x 0.25 µm) was employed. The oven temperature was initially set at 40 °C, and the injector temperature was set to 250 °C. After a 2-minute hold, the temperature was raised by 3 °C per minute until it achieved 80 °C, where it was held for 1 minute. Then, the temperature was increased by 5 °C per minute until it achieved 240 °C, and it was held at this temperature for 6 minutes. The carrier gas, helium, was employed at a flow rate of 1.05 milliliters per minute. The temperature of the ion source was 230 °C, the temperature of the MS transfer line was 250 °C, and the ionization energy of the mass spectrometer was 70 eV. The extraction time for headspace sampling was 40 minutes, and the extraction temperature was set at 70 °C with a mixing speed of 250 rpm. A 100 µm PDMS fiber was used in the analysis.

2.7. Statistical Data Analysis

The data were subjected to one-way ANOVA by utilizing SPSS software (Version 24.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3. Results and Discussion

3.1. Antioxidant capacity

In our study, the results of DPPH, ABTS, DMPD, CUPRAC, and FRAP assays in terms of Trolox equivalent were determined to be 52.44 ± 0.03 , 266.35 ± 0.04 , 1298.10 ± 0.02 , 333.72 ± 0.01 , and 159.86 ± 0.02 mg Trolox/ 5 g sample, respectively (Table 1). When Kayacan et al. (2022) looked at how different drying methods affected the antioxidant capacity of Asian pears, they discovered that ultrasonic-assisted vacuum drying (USVD) outperformed hot air drying (HAD) and infrared drying (IRD) in terms of antioxidant capacity. According to their investigation, fresh samples had the highest DPPH and CUPRAC values (765.58 and 920.87 mg/TE 100g DM), whereas freeze-dried samples had the lowest findings (559.41 and 859.73 mg/TE 100g DM). The breakdown of phenolic components and a drop in the samples' antioxidant activity might have been caused by heat processes and oxidative reactions (Kim et al., 2021). In our study, DPPH and CUPRAC values were found to be slightly higher than in the study conducted by Kaycan et al (2022).

Table 1. Asian Pear's antioxidant capacity data (mg/5g samples)

Methods	DPPH	ABTS	DMPD	CUPRAC	FRAP	Total Antioxidant Analysis
Trolox Equivalent	52.44 ± 0.03	266.35 ± 0.04	1298.10 ± 0.02	333.72 ± 0.01	159.86 ± 0.02	273.57 ± 0.01
BHT equivalent	113.56 ± 0.03	480.99 ± 0.02	-	186.62 ± 0.02	256.34 ± 0.03	174.73 ± 0.01

In this study, Table 2, Figure 1, and Figure 2 show the IC_{50} values (the concentration that scavenges 50% of the radical), $A_{0.5}$ values for FRAP and CUPRAC studies, and percentage inhibition values for the total antioxidant assay for *Pyrus pyrifolia* and the standards (BHT, Trolox). In the study conducted by Ma et al. (2012) on *Pyrus pyrifolia* cv. Punguoli, found that the IC_{50} value for pear peel extract's DPPH radical scavenging activity was 38.3 mg/mL, which was significantly higher than the highest concentration of 50 mg/mL used for the meat extract. Lee et al. (2015), investigated the antioxidant activity differences between fruit peel and pulp in *Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Chuhwangbae and Niikata species found that the DPPH radical scavenging effect was higher in the fruit peel. When ABTS, FRAP, DPPH, CUPRAC and total antioxidant values of Asian Pear and standards (Bht and trolox) were compared with one-way ANOVA, $p < 0.5$ was found.

Table 2. IC₅₀ and A_{0.5} values of Asian Pear, BHT, and Trolox are given in Table 2.

Sample and Standarts	IC ₅₀ (µg/mL)		A _{0.5} (µg/ mL)			% reduction (at 72 hour)
	DPPH	ABTS	DMPD	CUPRAC	FRAP	Total Antioxidant
Asian Pear	420.05±1.9	55.72±1.5	33.00±6.0	56.18±0.01	84.44±0.01	15.53±0.06
BHT	47.70±0.1	26.79±0.5	-	10.48±0.09	21.64±0.05	88.86±0.01
Trolox	22.02±0.2	14.84±0.1	42.14±2.0	18.75±0.08	13.50±0.02	56.75±0.03

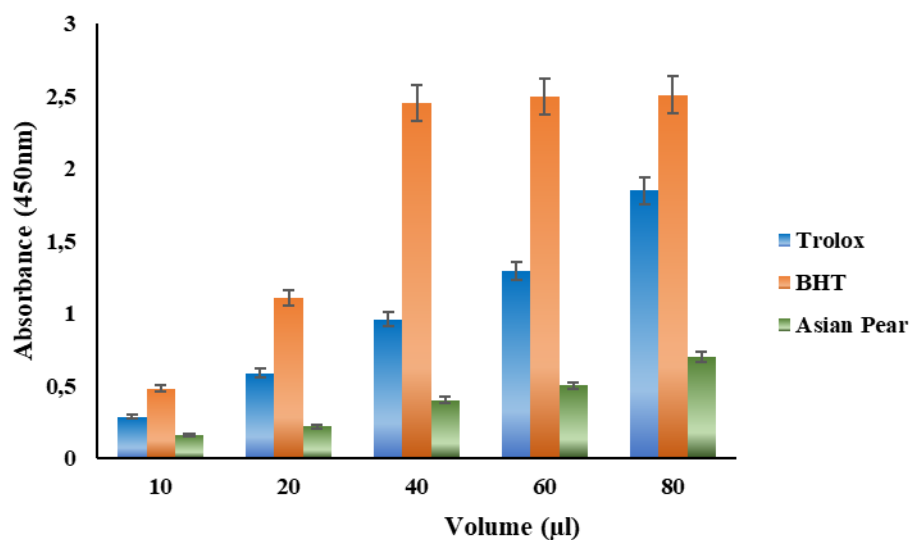


Figure 1. CUPRAC test results of Asian Pear (500 mg/ mL concentration) and standards (1 mg/ mL concentration)

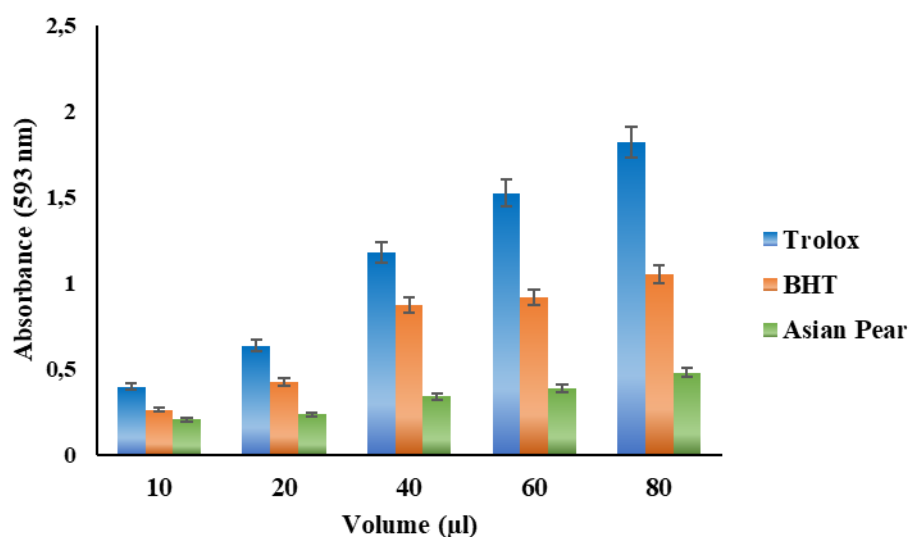


Figure 2. FRAP test results of Asian Pear (500 mg/ mL concentration) and standards (1 mg/ mL concentration)

3.2. Organic acids

Fruit taste and quality are largely influenced by the amount and ratio of organic acids present (Zhang et al., 2012). Fruit species typically differ in their organic acid concentration and makeup. For

example, while malic acid is the primary acid in apples, kiwifruit contains a high amount of citric acid, and watermelon primarily contains malic, citric, and oxalic acids (Wu et al., 2022).

According to our investigation, we determined that the organic acid content was in the following order: malic acid > tartaric acid > succinic acid > quinic acid > citric acid > oxalic acid. In this study, malic acid (46.89 mg/100 g) and tartaric acid (45.08 mg/100 g) were determined to be the significant major components (Table 3). Duan et al. (2020) identified eight organic acids in six different *Pyrus pyrifolia* varieties (Cuiyu, Xuefeng, Hosui, Kousui, Wonhuwang, Hwangkumbae). These compounds were ranked as malic acid > citric acid > quinic acid > oxalic acid > shikimic acid > lactic acid > fumaric acid > maleic acid. Another study by Sha et al. (2011) identified a total of ten organic acids in 10 varieties of *P. pyrifolia*. Malic, citric, quinic, oxalic, shikimic, and fumaric acids were discovered in all 10 varieties, while tartaric acid was found in 2 varieties, and acetic acid was only found in 1 variety. In their study, malic acid and citric acid were determined to be the important major components. The range of malic acid was 0.61 to 2.11 mg/g, and citric acid was found at levels of 0.36 to 1.48 mg/g. The fruit included quinic as a minor organic acid (ranging from 0.12 to 0.44 mg/g) and oxalic acids (ranging from 0.01 to 0.17 mg/g). Acetic, shikimic, succinic, fumaric, tartaric, and lactic acids were found to have comparatively low content.

Table 3. The organic acid analysis result of Asian pears (mg/100 g)

Sample	Malic	Tartaric	Citric	Oxalic	Quinic	Succinic
Asian pear	46.89±0.71	45.08±0.12	12.47±0.08	10.05±0.04	15.58±0.12	35.12±0.30

3.3. Sugar

Sugars have a direct impact on fruit quality and perform many significant roles in plant metabolism. The fruit's soluble sugar content has a major impact on the quality of pears (Kou et al., 2016). Pear fruit contains four different kinds of sugars: sorbitol, fructose, glucose, and sucrose (Pilando and Wrolstad, 1992). Among the most significant sugars in fruits are sucrose, glucose, and fructose, which are produced in photosynthetic source tissues (Kou et al., 2016). The composition and total amount of sucrose, fructose, and glucose directly affect the perceived sweetness of the fruit. The total sugar concentration is one of the important markers of fruit ripening, which is a complicated process (Pilando and Wrolstad, 1992).

Table 4. The sugar analysis result of Asian pears (mg/100 g)

	Fructose	Glucose	Sorbitol	Sucrose
Asian pear	35.29±0.89	84.7±1.03	65.75±0.96	10.61±0.10

In your study, the sugar ranking was determined to be glucose > sorbitol > fructose > sucrose (Table 4). Duan et al. (2020) conducted a study on six different varieties of *Pyrus pyrifolia* (Cuiyu, Xuefeng, Hosui, Kousui, Wonhuwang, Hwangkumbae) and found that the ranking of soluble sugars was

fructose > sorbitol > glucose > sucrose. Yim et al. (2016), in their study of ten varieties from four species grown in Korea (*Pyrus bretschneideri*, *Pyrus ussuriensis*, *Pyrus pyrifolia* and *Pyrus communis*), found that fructose content to be more abundant than other sugars in all four species (ranging from 4.21-6.80 g/100 g FW). They also noted variations in the ranking of soluble sugars within different *Pyrus pyrifolia* varieties, such as fructose > sucrose > glucose > sorbitol in Wonwhang, fructose > glucose > sucrose > sorbitol in Niikata, fructose > sorbitol > glucose > sucrose in Hanreum, and fructose > glucose > sorbitol > sucrose in Chuwhang Jiang et al. (2023) conducted a study on *Pyrus pyrifolia* during fruit ripening, performing QTL mapping and transcriptome analysis of sugar content. They discovered that fructose (varying from 35.4% to 45.7%) made up the greatest fraction of all sugars, with sorbitol (ranging from 28.5% to 32.8%) coming in second. Similar to our study, they reported that sucrose content was the lowest (ranging from 2.7% to 17.5%). They also noted a significant accumulation of sucrose and fructose in sweet varieties and a significant decrease in sorbitol content during fruit ripening. Durán-Soria et al. (2020) conducted another study and found that glucose content increased gradually until maturity. In our study, glucose has the highest proportion. The fruit's overall sugar content and the proportion of each type of sugar determine how sweet it is (Jiang et al., 2023).

3.4. Phenolic compounds

Asian pears' phenolic components have a substantial correlation with their antioxidant properties (Jiang et al., 2019). In the results obtained in our study, major phenolic compounds were identified as quinic acid (19227 µg/L), chlorogenic acid (8445 µg/L), procyanidin B2 (3146 µg/L), liquiritin (435.1 µg/L), and benzoic acid (363.1 µg/L) (Table 5).

In the study by Kayacan et al. (2022), they identified chlorogenic acid (18.65 mg/L) as the main phenolic compound. Chlorogenic acid was followed by epicatechin (10.60 mg/L), trans-cinnamic acid (3.60 mg/L), and 3,4-dimethoxybenzaldehyde (3.60 mg/L). While they found 2.31 mg/L of catechin, your study detected 31.50 µg/L of catechin. In a study by Jian et al. (2019) on *Pyrus pyrifolia* Nakai (Asian pear), they detected arbutin (122.0 – 94.00 mg/100 g), chlorogenic acid (10.02-9.01 mg/100 g), and p-coumaric acid (20.01-18.68 mg/100 g). In another study by Cui et al. (2005) on various varieties of *Pyrus pyrifolia* (Huangjin, Xinxue, Xueli, Daguo Shuijing, and Housui), they found varying amounts of chlorogenic acid in the skin (ranging from 0.066 mg/g to 0.522 mg/g), in the core (ranging from 0.163 mg/g to 2.730 mg/g), and in the flesh (ranging from 0.004 mg/g to 0.096 mg/g). In pears, chlorogenic acid is thought to be the most significant antioxidant-active ingredient. Recent research has reported its physiological activities, including anticancer activity, reducing the harmful effects of chemotherapy drugs, immune system enhancement, affecting the sleep-wake cycle, and antioxidant capacity (Cui et al., 2005).

In the study by Zhang et al. (2007), which examined the impact of growth on phenols in three Asian pear varieties (Hosui, Niitaka, and Chuwhangbae), arbutin was found to be high in the early growth

stage in the seed, flesh, and skin. Arbutin, chlorogenic acid, and epicatechin were detected in all three varieties during early growth. Caffeic acid, catechin, and 4-hydroxybenzoic acid were found in the seed and skin during ripening. Similarly, in our study, catechin and 4-hydroxybenzoic acid were detected. Additionally, in this study, procyanidin B2 was the most abundant compound after quinic acid and chlorogenic acid. Similarly, Jeong et al. (2012) isolated and identified procyanidin B2 from *Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Chuhwangbae. Proanthocyanidins are found in lots of food resources, including fruits, nuts, and beans, and numerous biological benefits, such as antioxidant, antibacterial, antiallergic, anticancer, and anti-obesity properties, have been described for them (Jeong et al., 2017). Liquiritin (4',7-Dihydroxyflavanone 4'-glucoside) and narcissin are two other important compounds identified in this study. Liquiritin, a flavonoid compound, has been found to exhibit several pharmacological actions, including anti-myocardial fibrosis, antioxidant, and neuroprotective properties (Zhai et al., 2019).

Table 5. Phenolic compound analysis results by LCMS.

No	Target Compounds	Quantification ($\mu\text{g/L}$)
1	Quinic acid	19227 \pm 150
2	Taxifolin	30.5 \pm 1.02
3	Protocatechuic acid	35.5 \pm 3.00
4	Protocatechuic aldehyde	25.9 \pm 1.96
5	Esculin hydrate	11.4 \pm 0.51
6	4-Hydroxybenzoic acid	16.8 \pm 1.20
7	Catechin	31.5 \pm 2.37
8	Gentisic acid	14.9 \pm 0.99
9	Procyanidin B2	3146 \pm 26.00
10	3-hydroxyphenylacetic acid	11.6 \pm 1.68
11	Chlorogenic acid	8445 \pm 43.00
12	3-hydroxybenzoic acid	11.2 \pm 0.89
13	2,4-dihydroxybenzoic acid	3.7 \pm 0.05
14	Vanillic acid	119 \pm 11.02
15	3,4-Dihydroxyphenylacetic acid	120 \pm 15.00
16	Ethyl gallate	4.8 \pm 0.75
17	Vicenin 2	29.1 \pm 2.03
18	Daidzin	2.9 \pm 0.48
19	Vanillin	6.9 \pm 0.87
20	Luteolin 7-glucoside	6.7 \pm 0.21
21	<i>m</i> -Coumaric acid	51.3 \pm 1.58
22	Ferulic acid	86.0 \pm 3.20
23	Sinapic acid	3.5 \pm 0.34
24	Liquiritin (4',7-Dihydroxyflavanone 4'-glucoside)	435 \pm 12.02
25	Benzoic acid	363 \pm 10.11
26	Hesperidin	21.5 \pm 0.97

27	Neohesperidin	21.7±1.03
28	Naringin	19.8±2.00
29	Eriodictyol (3,4,5,7-Tetrahydroxyflavanone)	11.6±0.54
30	Rutin hydrate	43.4±2.14
31	Phloridzin	0.46±0.00
32	Rosmarinic acid	0.45±0.01
33	Nicotiflorin (Kaempferol 3-O-β-rutinoside)	5.7±0.38
34	Astragalin (Kaempferol 3-glucoside)	3.7±0.05
35	Kuromanine (Cyanidin 3-glucoside chloride)	3.8±0.02
36	Salicylic acid	15.9±1.30
38	Hyperoside (Quercetin 3-D-galactoside)	59.3±3.82
39	Isoquercitrin (Quercetin 3-glucoside)	59.3±3.21
40	Narcissin (Isorhamnetin 3-rutinoside)	274±11.02
41	Luteolin	0.8±0.00
42	Quercetin	1.5±0.45
43	Isorhamnetin (Quercetin 3'-methyl ether)	15.4±0.28

Narcissin, a natural flavonoid obtained from edible and traditional medicinal herbs, has been found to have a variety of biological roles and possible therapeutic benefits on illnesses such as hypertension, cancer, and Alzheimer's (Gao et al., 2023). In a study by Zhang et al. (2006) on three Asian pear varieties, they were unable to detect ferulic acid and sinapic acid. In our study, ferulic acid was detected at 86.0 µg/L, and sinapic acid was detected at 3.5 µg/L.

3.5. Aroma compounds

One of the most significant sensory quality factors for fruits and fruit products is aroma compounds (Jiang et al., 2019). In our study, 19 aroma compounds were identified, as illustrated in Table 6 and Figure 3. The most common substances were aldehydes (45.3%), esters (24.11%), and alcohols (27.66%). While esters are the main volatile chemicals in *P. communis* and *P. ussuriensis*, aldehydes predominate in *P. pyrifolia*, followed by alcohols and esters (Wang et al., 2019).

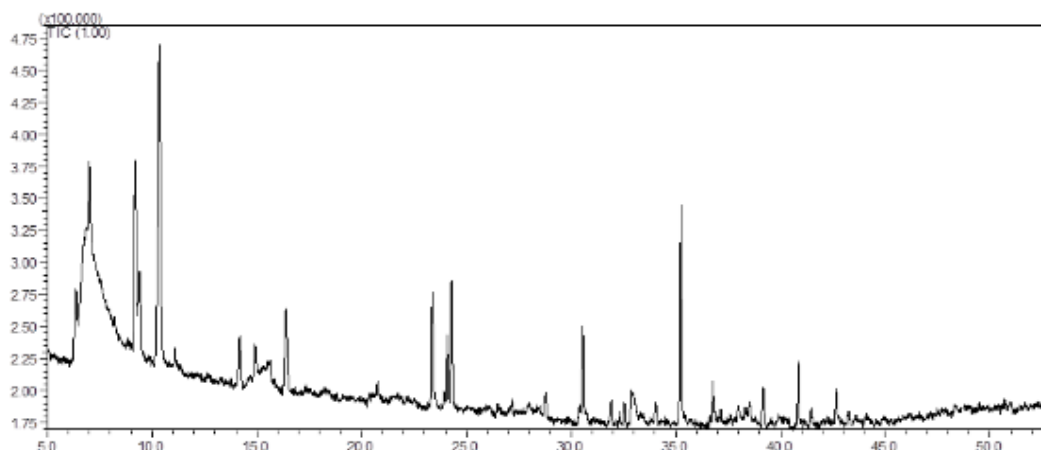


Figure 3. Volatile component analysis chromatography by GC-MS

In our study, acetaldehyde (27.46%) and ethanol (21.87%) were detected in the highest concentrations. Similarly, in a study by Golias et al. (2022) on 'Conference' and 'Yali' pear varieties, they found very high concentrations of both acetaldehyde and ethanol in both varieties. Jiang et al. (2019) also detected 18,30% ethanol in freeze-dried powdered of Asian pear and 8.37% ethanol in hot air-dried powdered of Asian pear. Acetaldehyde is naturally found in coffee, bread, and ripe fruits and is produced by plants (Sadighara et al., 2020). Compounds like acetaldehyde, known as C6 compounds, are considered green leaf volatiles contribute to the herbaceous aroma of fruits (Wang et al., 2019). Additionally, in a study by Golias et al. (2021) on various *Pyrus pyrifolia* Nakai varieties, they also detected higher levels of aldehydes, alcohols, and ester compounds. In our study, it was observed that the majority of ester compounds were composed of ethyl acetate. Similarly, in a study by Wang et al. (2019), they found that high concentrations of acetates were the main ester components. They also found that ethanol was the dominant compound among alcohols.

The activity of many key enzymes (lipoxygenase, pyruvate decarboxylase, alcohol dehydrogenase, and alcohol O-acetyltransferase) might change greatly due to variable shelf life or storage circumstances in the production of volatile aroma molecules in pear fruit (Lara et al., 2003).

Table 6. Volatile component results of Asian pear

LRI	Volatile Compounds	Peak Area %	LRI	Volatile Compounds	Peak Area %
381	Acetaldehyde	27.46±1.01	1420	Ethyl octanoate	0.92±0.02
577	Ethyl Acetate	9.57±0.95	1498	Decanal	1.03±0.01
888	Methanol	4.88±0.01	1519	(E)-2-Nonenal	9.24±0.04
926	Ethanol	21.87±0.05	1591	(E,Z)-2,6-Nonadienal	2.30±0.01
1064	Ethyl 2-methyl butanoate	1.59±0.01	1605	Methyl benzoate	0.74±0.00
1172	Ethyl 2-butanoate	0.81±0.01	1666	2-Furanmethanol	0.91±0.01
1200	2-pentyl furan	0.69±0.00	1677	Ethyl benzoate	1.95±0.03
1220	Ethyl hexanoate	2.99±0.02	1725	α -Farnesene	2.23±0.03
1245	Ethyl tiglate	5.54±0.12	1797	(E,E)-2,4-Decadienal	1.44±0.06
1380	Nonanal	3.84±0.08			

3.6. Antimicrobial Activity

In our study, the pear extract at a concentration of 100 mg/ mL inhibited an 8.0 mm inhibition zone on *E. coli*, a gram-negative bacterium belonging to the Enterobacteriaceae family. In comparison, the positive control, rifampin (at 5 µg/ mL), created an 11.5 mm inhibition zone *E. coli* is a pathogenic species known to cause intestinal infections and other infections (Omerovic M et al., 2017). In our study, Asian pear extract at 100 mg/ mL showed a 69.56% inhibition effect when compared to rifampin at 5 µg/ mL (Figure 4). This highlights the antimicrobial properties of a natural fruit, taking into consideration the side effects of antibiotics.

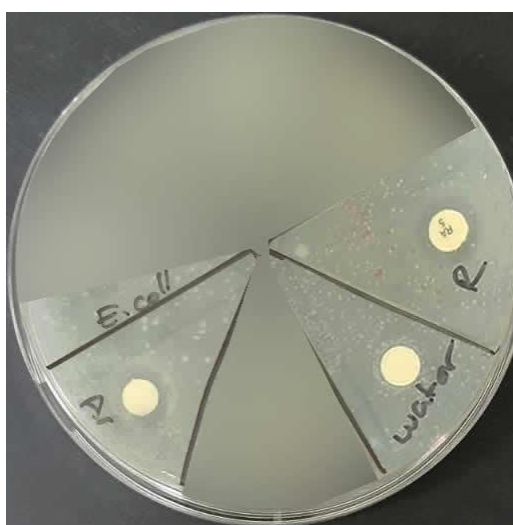


Figure 4. Antimicrobial activity of Asian pear

4. Conclusion

Aroma, volatile organic compounds, organic acid compositions, and sugar blends are the primary components that influence the intricate composition of food acceptance and perception. Within this complex tapestry, certain compounds emerge as pivotal players. In this research, the distinct effect of certain compounds stands out. While acetaldehyde and ethanol stand out as the aroma compounds found in the highest amounts in this comprehensive study, the presence of important organic acids such as malic acid and tartaric acid in Asian pear is also noteworthy. Nonetheless, it has been found that significant sugars like sorbitol and glucose, which have a direct impact on fruit quality, are present in significant amounts. When an in-depth examination is made on the composition of Asian pear, the presence of major phenolic compounds such as quinic acid, chlorogenic acid, procyanidin B2 and liquiritin becomes evident. These thorough research results illuminate the complex interactions between volatile chemicals and phenolic compounds, adding to our understanding of the subject while also acting as a beacon of guidance for future investigations. Also, a comprehensive approach like this has the potential to progress the fields of food innovation and flavor science, which will ultimately improve customer pleasure and gastronomic experiences.

Author's Contribution

The contributions of the authors are equal.

Conflict of Interest

The authors have declared there are no conflict of interest.

References

- Apak R., Güçlü K., Demirata B., Özyürek M., Çelik SE., Bektaşoğlu B., Berker KI., Özyurt D. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules* 2007; 12(7): 1496-1547.
- Arzani K., Khoshghalb H., Malakouti MJ., Barzegar M. Postharvest fruit physicochemical changes and properties of Asian (*Pyrus serotina Rehd.*) and European (*Pyrus communis L.*) pear cultivars. *Horticulture Environment and Biotechnology* 2008; 49(1): 244-252.
- Bursal E., Köksal E., Gülçin İ., Bilsel G., Gören AC. Antioxidant activity and polyphenol content of cherry stem (*Cerasus avium L.*) determined by LC–MS/MS. *Food Research International* 2013; 51(1): 66-74.
- Chen Y., Yin H., Wu X., Shi X., Qi K., Zhang, S. Comparative analysis of the volatile organic compounds in mature fruits of 12 Occidental pear (*Pyrus communis L.*) cultivars. *Scientia Horticulturae* 2018; 240: 239-248.
- Cui T., Nakamura K., Ma L., Li JZ., Kayahara, H. Analyses of arbutin and chlorogenic acid, the major phenolic constituents in oriental pear. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2005; 53(10): 3882-3887.
- Duan M., Yi H., Yang L., Wu Z., Wang J. Sugar and acid compositions and their contents in different *Pyrus pyrifolia* varieties. *Journal of Southern Agriculture* 2020; 51(9): 2236-2244.
- Durán-Soria S., Pott DM., Osorio S., Vallarino JG. Sugar signaling during fruit ripening. *Frontiers in Plant Science* 2020; 11: 564917.
- Fogliano V., Verde V., Randazzo G., Ritieni A. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1999; 47(3): 1035-1040.
- Gao S., Zhou C., Hou L., Xu K., Zhang Y., Wang X., Li J., Liu K., Xia Q. Narcissin induces developmental toxicity and cardiotoxicity in zebrafish embryos via Nrf2/HO-1 and calcium signaling pathways. *Journal of Applied Toxicology* 2023; 44: 344-354.
- Goliáš J., Balík J., Létal J. Identification of volatiles formed in Asian pear cultivars subjected to short-term storage using multinomial logistic regression. *Journal of Food Composition and Analysis* 2021; 97: 103793.
- Gülçin I. Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology* 2012; 86: 345-391.

- Jeong DE., Cho JY., Lee YG., Jeong HY., Lee HJ., Moon JH. Isolation of five proanthocyanidins from pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) fruit peels. *Food Science and Biotechnology* 2017; 26: 1209-1215.
- Jiang GH., Lee KC., Ameer K., Eun JB. Comparison of freeze-drying and hot air-drying on Asian pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai 'Nিতাকা') powder: changes in bioaccessibility, antioxidant activity, and bioactive and volatile compounds. *Journal of Food Science and Technology* 2019; 56: 2836-2844.
- Jiang GH., Nam SH., Yim SH., Kim YM., Gwak HJ., Eun JB. Changes in total phenolic and flavonoid content and antioxidative activities during production of juice concentrate from Asian pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *Food Science and Biotechnology* 2016; 25: 47-51.
- Jiang GH., Nam SH., Eun JB. Effects of peeling, drying temperature, and sodium metabisulfite treatment on physicochemical characteristics and antioxidant activities of Asian pear powders. *Journal of Food Processing and Preservation* 2018; 42(2): 13526.
- Jiang S., Li S., Luo J., Wang X., Shi C. QTL mapping and transcriptome analysis of sugar content during fruit ripening of *Pyrus pyrifolia*. *Frontiers in Plant Science* 2023; 14: 1137104.
- Kayacan S., Sagdic O., Doymaz I., Karasu S. The effect of different drying methods on total bioactive properties, individual phenolic compounds, rehydration ability, color, and microstructural characteristics of Asian pear. *Journal of Food Processing and Preservation* 2022; 46(7): 16682.
- Kim AN., Lee KY., Rahman MS., Kim HJ., Kerr WL., Choi SG. Thermal treatment of apple puree under oxygen-free condition: Effect on phenolic compounds, ascorbic acid, antioxidant activities, color, and enzyme activities. *Food Bioscience* 2021; 39: 100802.
- Kolniak-Ostek J., Kłopotowska D., Rutkowski KP., Skorupińska A., Kruczyńska DE. Bioactive compounds and health-promoting properties of pear (*Pyrus communis* L.) fruits. *Molecules* 2020; 25(19): 4444.
- Kou X., Jiang B., Zhang Y., Wang J., Xue Z. The regulation of sugar metabolism in Huangguan pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai) with edible coatings of calcium or Pullulan during cold storage. *Horticultural Science and Technology* 2016; 34(6): 889-911.
- Lara I., Mio RM., Fuentes T., Sayez G., Graell J., Lopez ML. Biosynthesis of volatile aroma compounds in pear fruit stored under long-term controlled-atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology* 2003; 29: 29-39.
- Lee KH., Cho JY., Lee HJ., Park KY., Ma YK., Lee SH., Cho JA., Kim WS., Park KH., Moon JH. Isolation and identification of phenolic compounds from an Asian pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) fruit peel. *Food Science and Biotechnology* 2011; 20: 1539-1545.
- Lee SH., Cho JY., Jeong HY., Jeong DE., Kim D., Cho SY., Kim WS., Moon JH. Comparison of bioactive compound contents and in vitro and ex vivo antioxidative activities between peel and flesh of pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *Food Science and Biotechnology* 2015; 24: 207-216.

- Leyla E. Bioactive components, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of *Berberis crataegina* fruit *Pharmacological Research - Natural Products* 2024; 2: 100020.
- Ma JN., Wang SL., Zhang K., Wu ZG., Hattori M., Chen GL., Ma CM. Chemical components and antioxidant activity of the peels of commercial apple-shaped pear (fruit of *Pyrus pyrifolia* cv. *pingguoli*). *Journal of Food Science* 2012; 77(10): C1097-C1102.
- Ma B., Chen J., Zheng H., Fang T., Ogutu C., Li S., Han Y., Wu B. Comparative assessment of sugar and malic acid composition in cultivated and wild apples. *Food Chemistry* 2015; 172: 86-91.
- Makhlouf-Gafsi I., Krichen F., Mansour RB., Mokni A., Sila A., Bougatef A., Blecker C., Attia H., Besbes S. Ultrafiltration and thermal processing effects on Maillard reaction products and biological properties of date palm sap syrups (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Chemistry* 2018; 256: 397-404.
- Omerovic M., Müştak HK., Kaya İB. *Escherichia coli* patotiplerinin virülens faktörleri. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi* 2017, 28(1): 1-6.
- Pilando LS., Wrolstad RE. Compositional profiles of fruit juice concentrates and sweeteners. *Food Chemistry* 1992; 44(1): 19-27.
- Ramchoun M., Alem C., Ghafoor K., Ennassir J., Zegzouti YF. Functional composition and antioxidant activities of eight Moroccan date fruit varieties (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 2017; 16(3): 257-264.
- Sadighara P., Mohajer A., Aghaee EM., Zirak MR. Exposure to acetaldehyde through food; a carcinogenic agent. *Journal of Food Safety and Hygiene* 2020; 6(2): 109-111.
- Schwab W., Davidovich-Rikanati R., Lewinsohn E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. *The Plant Journal* 2008; 54(4): 712-732.
- Seymour GB., Taylor JE., Tucker GA. *Biochemistry of fruit ripening*. 1st ed. Springer Science and Business Media; 2012.
- Sha S., Li J., Wu J., Zhang S. Characteristics of organic acids in the fruit of different pear species. *African Journal of Agricultural Research* 2011; 6(10): 2403-2410.
- Silva CL., Câmara JS. Profiling of volatiles in the leaves of lamiaceae species based on headspace solid phase microextraction and mass spectrometry. *Food Research International* 2013; 51(1): 378–387.
- Tsegay ZT. Total titratable acidity and organic acids of wines produced from cactus pear (*Opuntia-ficus-indica*) fruit and *Lantana camara* (L. *Camara*) fruit blended fermentation process employed response surface optimization. *Food Science & Nutrition* 2020; 8(8): 4449-4462.
- Wang C., Zhang W., Li H., Mao J., Guo C., Ding R., Wang Y., Fang L., Chen Z., Yang G. Analysis of volatile compounds in pears by HS-SPME-GC×GC-TOFMS. *Molecules* 2019; 24(9): 1795.
- Wu J., Fan J., Li Q., Jia L., Xu L., Wu X., Wang Z., Li H., Qi K., Qiao X., Zhang S. Variation of organic acids in mature fruits of 193 pear (*Pyrus* spp.) cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 2022; 109: 104483.

- Wu B., Quilot B., Kervella J., Génard M., Li S. Analysis of genotypic variation of sugar and acid contents in peaches and nectarines through the principle component analysis. *Euphytica* 2003; 132: 375-384.
- Yavuz M., Pirlak L. Phenological and pomological characteristics of some Asian pear cultivars in Ereğli-Konya. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences* 2018; 32(3): 449-453.
- Yen GC., Chen HY. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1995; 43(1): 27-32.
- Yim SH., Nam SH. Physiochemical, nutritional and functional characterization of 10 different pear cultivars (*Pyrus spp.*). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 2016; 89.
- Zhai KF., Duan H., Cui CY., Cao YY., Si JL., Yang HJ., Wang YC., Cao WG., Gao GZ., Wei ZJ. Liquiritin from *Glycyrrhiza uralensis* attenuating rheumatoid arthritis via reducing inflammation, suppressing angiogenesis, and inhibiting MAPK signaling pathway. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2019; 67(10): 2856-2864.
- Zhang X., Lee FZ., Eun JB. Changes of phenolic compounds and pectin in Asian pear fruit during growth. *Korean Journal of Food Science and Technology* 2007; 39(1): 7-13.
- Zhang XD., Allan AC., Chen XQ., Fan L., Chen LM., Shu Q., Su J., Li KZ. Coloration, anthocyanin profile and metal element content of Yunnan Red Pear (*Pyrus pyrifolia*). *Horticultural Science* 2012; 39(4): 164-171.
- Zhang X., Koo J., Eun, JB. Antioxidant activities of methanol extracts and phenolic compounds in Asian pear at different stages of maturity. *Food Science and Biotechnology* 2006; 15(1): 44-50.
- Zheng P., Zhang M., Fang X., Tang L., Wang Z., Shi F. Analysis of the fruit quality of pear (*Pyrus spp.*) using widely targeted metabolomics. *Foods* 2022; 11(10): 1440.

Kentsel Mekânlarda Kullanılan Yapay Bitkilere Yerel Halkın Bakış Açısı: Bingöl İli Örneği

Ahmet CAF^{1*}, Müge YURTCAN²

¹Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Bingöl

²Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Bingöl

¹<https://orcid.org/0000-0001-5894-8986>

²<https://orcid.org/0000-0003-1210-2787>

*Sorumlu yazar: acaf@bingol.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 10.05.2024

Kabul tarihi: 06.08.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Bingöl

Bitkisel tasarım

Peyzaj karakteri

Yapay bitkiler

ÖZ

Bitkiler, insanoğlunun her mekânda, her dönemde yaşam ortağı olmuştur. Gerek kırsal alanlarda gerekse kentsel alanlarda olduğu gibi, iç mekânlarda da insanların bir parçası olmaya devam etmişlerdir. Her bitkinin bir karakteri vardır ve bu özellikleri ile buldukları mekâna bir karakter kazandırır. Peyzaj mimarlığının temel unsurlarından biri olan bitkiler, peyzaj karakterinin oluşumunda ve tanımlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Peyzajın estetik, ekolojik ve fonksiyonel özelliklerini belirleyen bitkiler, doğal ve yapısal unsurlar arasında bir köprü görevi görür. Peyzaj tasarımında kullanılan bitki türleri, yerel iklim koşulları, toprak özellikleri ve su kaynakları gibi çevresel faktörlere uyumlu olmalıdır. Birlikte yalnız düşünülemeyen bu iki kavram; coğrafya ve doğal bitkiler bir mekânın, bir kentin karakterini belirleyen en önemli unsurlardandır. Bu çalışma, karasal iklimde kullanılan palmiye ve hurma ağaçlarının, kentin karakteri ile ne derece uyduğunu kent sakinleri ile yapılan görüşmeler neticesinde ortaya çıkartmak amacı ile yapılmıştır. Palmiye ve hurma ağaçları yapay olarak kullanılmıştır. Kentin ekolojik koşulları altında doğal olarak yetiştirilmesi zaten mümkün değildir. 200 kişi ile yapılan anketler neticesinde kent sakinlerinin fikir ve düşünceleri yapılan çalışmada belirtilmiştir. Anketlere göre; doğal bitki tercih edenler 180 (%90,5) iken yapay bitki tercih edenler 19 (%9,5) kişidir. Yine kullanılan bitki türünün kent ekolojisine uygunluğunu 57 (%28,6) iken 142 (%71,4) kişi uygun olmadığını belirtmiştir. Kullanılan görsellere bakıldığında ilk akla gelen ilk üç şehrin; Antalya, Mersin ve İzmir olduğu görülmüştür.

The Perspective of Local People on Artificial Plants Used in Urban Spaces: The Case of Bingöl Province

Research Article

Article History:

Received: 10.05.2024

Accepted: 06.08.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Bingol

Artificial plants

Landscape character

Plantation design

ABSTRACT

Plants have been always companions to humans in every place and every era. They have continued to be a part of people's lives in indoor spaces, just as they have in rural and urban areas. Each plant has its own character and imparts this character to the space it inhabits. As one of the fundamental elements of landscape architecture, plants play a critical role in forming and defining the landscape character. Plants, which determine the aesthetic, ecological, and functional characteristics of the landscape, act as a bridge between natural and structural elements. The plant species used in landscape design must be compatible with environmental factors such as local climate conditions, soil properties, and water resources. These two concepts that cannot be considered separately—geography and natural plants—are among the most important elements defining the character of a place or city. This study aims to reveal how well palm and date trees, used in a continental climate, match the city's character based on interviews with city residents. The plants used are not live but are

models, as it is impossible to cultivate them naturally under the city's ecological conditions. The opinions and thoughts of city residents were recorded through surveys conducted with 200 people. According to the surveys, 180 people (90.5%) preferred natural plants, while 19 people (9.5%) preferred artificial plants. Additionally, 57 people (28.6%) stated that the plant species used were suitable for the city's ecology, whereas 142 people (71.4%) stated that they were not suitable. When looking at the visuals used, the first three cities that came to mind were Antalya, Mersin, and İzmir.

To Cite: Caf A., Yurtcan M. Kentsel Mekânlarda Kullanılan Yapay Bitkilere Yerel Halkın Bakış Açısı: Bingöl İli Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1813-1825.

1. Giriş

Peyzaj mimarlığı, doğal ve yapay peyzaj materyallerini bir arada kullanarak dış mekânların planlanması ve tasarımıyla ilgilenen bir disiplindir. Doğal unsurlar, bitkiler, ağaçlar, toprak ve su gibi yaşam alanlarını oluşturan temel unsurları içerirken, yapay unsurlar ise taşlar, yapılar, aydınlatma sistemleri gibi insan eliyle yapılmış unsurları ifade eder. Peyzaj mimarları, bu iki farklı materyali bir araya getirerek harmonik ve işlevsel dış mekânlar yaratırken, kullanıcıların ihtiyaçlarına ve beklentilerine uygun çözümler üretmek zorundadır. Doğru kurgulanmış bir peyzaj tasarımı, kullanıcıların dış mekânı etkili bir şekilde kullanmalarını sağlar ve onların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde düzenlenmiş alanlar sunar. Bu nedenle, peyzaj mimarları doğal ve yapay materyaller arasındaki dengeyi kurabilmeli ve bu unsurları bir araya getirerek estetik açıdan hoş ve fonksiyonel mekânlar yaratmalıdır. Bu, kullanıcıların dış mekânı etkin bir şekilde kullanmalarını ve bu alanlardan yüksek düzeyde faydalanmalarını sağlayabilir (Kurdoğlu ve ark., 2013).

Sağlıklı yaşam çevrelerinin oluşturulması, kent insanlarının yaşam kalitesini artırmak ve doğayla olan bağlarını güçlendirmek adına önemli bir adımdır. Mekân özellikleriyle uyumlu peyzaj tasarımları, bu çevrelerin oluşturulmasında etkili bir rol oynar ve insanların fiziksel ve ruhsal ihtiyaçlarını karşılayacak ortamların yaratılmasına yardımcı olur (Ekici ve Şişman, 2020). Özkan ve Küçük Erbaş (1995), yapay çevreyi oluştururken kaliteyi arttırmak ve sürekliliği sağlamak için canlı ve cansız materyallerin bir arada kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Canlı materyal olarak bitkileri cansız materyaller ise binalar, sokak mobilyaları ve yapay su elemanları olarak sınıflandırılmıştır. Yapay çevrenin oluşturulmasında donatı elamanlarının rolü oldukça büyüktür (Özkan ve Küçük Erbaş, 1995).

Bitkilerin peyzaj çalışmalarında rolü ilk sırada yer almaktadır. Bitkiler fonksiyonel ve estetik amaçlar olmak üzere iki temel amaç için kullanılırlar. Fonksiyonel olarak; fauna ve flora yaşam ortamı hazırlama, erozyon, çığ, heyelandan koruma, rüzgâr perdesi oluşturma, havadaki tozları azaltma ve gürültüyü önleme, nem ve sıcaklığın dengelenmesi, kentlerdeki ışık yoğunluğunu azaltma ve mekân oluşturma ve sınırlama gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Ayrıca, çöp alanlarının ıslahı, karayollarında konforlu ve güvenli yolculuğa imkân sağlama vb. birçok amaç da sayılabilir (Lorenz, 1975; Çepel, 1988; Ürgenç, 1990; Walker, 1991; Braun ve Fluckiger, 1998; Beckett ve ark., 1998; Novak ve Crane, 2000; Özer ve ark., 2009). Planlamada kullanılan yapay bitkiler ile bu mümkün değildir. Peyzaj gereksinimi, insanların doğaya olan özleminin artması ile paralel olarak artmaktadır. Artan nüfus artışı ile birlikte kentleşme ve buna bağlı olarak doğal alanların tahribi her geçen gün artmaktadır. Ünlü felsefeci Marcus

T. Cicero ve K.Marx, vahşi doğayı birinci doğa, insan eli ile ekilip biçilip değiştirilen kültürel peyzaj olarak adlandırdığımız doğayı ise ikinci doğa olarak sınıflandırmışlardır (Bingöl, 2020). Bu bağlamda, doğaya en yakın peyzajlar en başarılı peyzajlardır. Bu açıdan yaklaşıldığında peyzaj projeleri yapılırken mekânın mevcut peyzaj karakteri göz önünde tutulmalıdır. Bitkiler de peyzaj karakterinin en önemli unsurlarındandır. Her bitkinin kendine has ekolojik isteği olduğu bilinmektedir. Bu da bitkilerin mekânsal olarak seçici olduklarını ve buldukları mekânın peyzaj karakterini yansıttıklarını gösterir. Örneklerle açıklayacak olursak, kaktüsler bize çölleri, huş ağaçları soğuk karlı iklimleri, turunc, zeytin ağaçları ve fıstık çamları ise Akdeniz kıyılarını aklımıza getiren bitkilerdir.

Kentsel mekânlarda doğa manzaralarına sıklıkla karşılaşmak mümkündür. Bu imajlar, doğanın sunduğu semboller, renkler, dokular veya görsel öğeler aracılığıyla insanların doğayla ilişkilerini şekillendirebilir. Örneğin, bir alışveriş merkezinde yapay bir doğa manzarası görmek, insanların doğaya olan bağlılığını veya doğal çevreye duydukları ilgiyi artırabilir. Sonuç olarak, kentsel mekânlarda kullanılan doğa imajlarının yani bitkisel materyalin insanların doğayı algılama ve anlamlandırma biçimlerini etkileyerek onların doğayla olan ilişkilerini dönüştürebilir ve doğaya duyarlılıklarını artırabilir. Bu yüzden, bu mekânlarda bitkisel materyalin nasıl kullandığı ve sunumunun nasıl yapıldığı önemlidir, çünkü bu, insanların doğayla olan ilişkilerini şekillendirebilir (Klingler, 2003). Yapay doğa, tüketim mekânlarında sıklıkla rastlanan yapay doğa imgelerine, diğer bir deyişle, “*Doğaya gönderme yapan, doğadaki süreçleri ve döngüleri işleyen, doğaya dair konseptleri taklit yoluyla yorumlayıp tasarım sürecine dâhil eden ürünlere*” referans vermektedir (Çalikoğlu, 2004; Yörük ve Poyraz, 2023). Olafur Eliason'un ekoeleştirel yaklaşımıyla doğanın mitsel ve büyüsel bir aura taşıdığını belirtmesi, doğayla insan ilişkisinin sadece fiziksel bir varlık değil, aynı zamanda duygusal ve sembolik bir boyutu olduğunu vurgular. Eliason'a göre, medeniyetin ilerlemesiyle birlikte doğanın kontrol altına alınması ve hapsedilmesi artmaktadır. Bu durum, doğal alanların suni olarak yeniden düzenlenmesi ve yapay unsurların doğal yaşamın yerini almasıyla açıkça görülebilir. Şehirlerdeki birçok alışveriş merkezinde yapılan çevre düzenlemelerinde kullanılan yapay bitkiler, doğanın doğallığını yitirmesine ve yapay bir atmosfer oluşturulmasına örnek olarak gösterilebilir. Bu yapay yeşillikler, doğanın yerine geçmek için adeta birer dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Heartney, 2008; Ünal, 2019; Yağmur ve Zorlu, 2021).

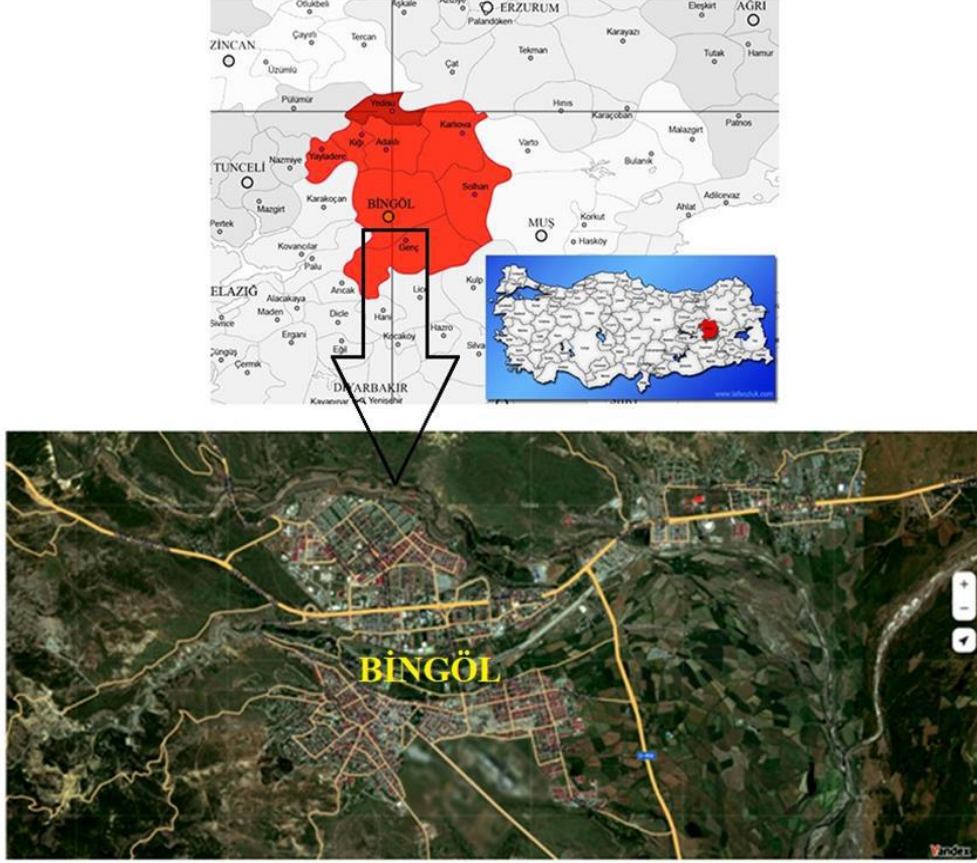
Bu çalışmada, karasal iklimin hüküm sürdüğü, kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları kurak ve sıcak geçen Bingöl ilinde kullanılan yapay bitkilerin, kentte yaşayan halk tarafından nasıl değerlendirildiğinin ve bu bitkilere bakış açılarının anketler aracılığıyla ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma için Bingöl Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulundan 22.01.2024 tarih 140616 sayı numarası ile etik kurul kararı alınmıştır.

Çalışmada, Bingöl ili merkez ilçesinde (Şekil 1) bulunan iki yeni alışveriş merkezi önünde kaldırımlarda kullanılan yapay palmye ve hurma ağaçlarına ait görsel materyaller kullanılmıştır (Şekil 2). Elde edilen

görseller ile kent halkına anket yapılarak veri toplanmıştır. Ancak insan popülasyonunun tamamına ulaşmak mümkün olmadığı için Alışveriş merkezi (AVM) kullanıcılarından 200 kişi ile bire bir anket yapılarak örnekleme yoluna gidilmiştir. Anket sonuçları SPSS 25 programında frekans, custom tables ve crosstabulation analizleri ile ilişkilendirip yorumlanmıştır.



Şekil 1. Bingöl ili merkez ilçesi çalışma alanı

Görsel materyal şehirde bulunan iki alışveriş merkezi (Şekil 2) önünde bulunan yapay palmiye ve hurma ağaçlarının bulunduğu alanlarda çekilmiştir. Kırmızıçizgi ile belirtilen alanlarda yapay bitkiler kullanılmıştır. Şehirde bu iki alan haricinde dış mekânda kullanılan yapay palmiye ağacı bulunmamaktadır.



Şekil 2. Ankette kullanılmak üzere seçilen görsel materyaller



Şekil 3. Çalışma yapılan iki alışveriş merkezi

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmada Şekil 3'teki fotoğraflar 199'u geçerli 200 kişiye yüz yüze yapılan anket sorularına verilen cevaplar neticesinde frekans dağılımları oluşturulmuş ve tablolar halinde sunulmuştur. Tablo 1'de cinsiyet, yaş ve eğitim durumuna ait değişkenler sıralanmaktadır.

Tablo 1. Cinsiyet durumuna ait değişkenlerin frekans dağılımları

	Cinsiyet			
	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
Kadın	62	31,2	31,2	31,2
Erkek	137	68,8	68,8	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Yapılan anketlerde katılımcıların 137'si (%68,8) erkek 62'sini (%31,2) kadınlar oluşturmaktadır.

Tablo 2. Yaş durumuna ait değişkenlerin Frekans Dağılımları

	Yaş			
	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
16-22	97	48,7	48,7	48,7
23-30	54	27,1	27,1	75,9
31-40	20	10,1	10,1	85,9
40+	28	14,1	14,1	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Yaş durumuna göre değişkenlere bakıldığında 16-22 yaş grubuna ait katılımcıların 97 (%48,7) kişi ile en fazla olduğu, 23-30 yaş grubunun 54 (%27,1) ikinci sırada olduğu ve 31-40 yaş grubunun 20 (%10,1) kişi ile en az katılımcıya sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Eğitim durumuna ait değişkenlerin frekans dağılımları

	Eğitim			
	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
İlkokul	26	13,1	13,1	13,1
Lise	75	37,7	37,7	50,8
Üniversite	87	43,7	43,7	94,5
Y. Lisans	11	5,5	5,5	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Eğitim durumuna göre en fazla katılımcının, üniversite 87 (43,7) kişi ile ilk sırada olduğu lise grubundaki katılımcıların 75 (%37,7) kişi ile ikinci sırada olduğu görülmektedir. En az katılımcı grubu ise 11 (%5,5) kişi ile Yüksek Lisans mezunu katılımcıların olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Kullanıcıların görselde kullanılan yapay ağaç türlerini tanımaya yönelik frekans analizi

	Kullanın yapay ağaç türünü tanıma			
	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
Evet	146	73,4	73,4	73,4
Hayır	53	26,6	26,6	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Görsel materyallerde kullanılan ağaç türlerini katılımcıların 146'sı bilmıştır. (%73,4) 53 (%26,6) kişi ise türleri bilememiştir.

Tablo 5'te Katılımcıların büyük bir çoğunluğu (%71,4) Kullanılan bitki türlerinin kent ekolojisine dolayısı ile kentin karakterine uygun olmadığını belirtmişlerdir.

Tablo 5. Katılımcıların görselde kullanılan bitki türlerinin kent ekolojisine uygunluğunu gösteren frekans analizi

Kullanılan bitki türünün kente uygun olup olmadığı				
	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
Evet	57	28,6	28,6	28,6
Hayır	142	71,4	71,4	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Tablo 6'da katılımcılara yöneltilen bitki türlerinin kente neden uygun olup olmadığı sorusuna %70,4 oranla iklime uygun olmadığı için hayır %29,6 oranla ise görsel olarak güzel görüldüğü için evet seçeneği işaretlenmiştir.

Tablo 6. Katılımcıların görselde kullanılan bitki türlerinin kent ekolojisine neden uygun olup/olmadığını gösteren frekans analizi.

Neden uygun olup/olmadığı				
	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
İklim	140	70,4	70,4	70,4
Görsellik	59	29,6	29,6	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Tablo 7'de anket katılımcıların %90,5'inin kentsel mekânlarda yapay bitkiler yerine doğal bitkileri tercih ettiği görülmüştür.

Tablo 7. Katılımcıların kentsel mekanlarda Yapay /Doğal bitki tercihini gösteren frekans analizi

Yapay / Doğal Bitki Seçimi				
	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
Doğal	180	90,5	90,5	90,5
Yapay	19	9,5	9,5	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Tablo 8. Katılımcıların kullanılan Palmiye ve Hurma bitki türleri yerine tercih ettikleri doğal türlerin frekans analizi

Ağaç türü tercihi				
	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
Çam	112	56,3	56,3	56,3
Meşe	24	12,1	12,1	68,3
Çınar	13	6,5	6,5	74,9
Meyve Ağaçları	11	5,5	5,5	80,4
Akasya	9	4,5	4,5	84,9
Akçaağaç	9	4,5	4,5	89,4
Ceviz	5	2,5	2,5	92,0
Mavi Ladin	5	2,5	2,5	94,5
Servi	4	2,0	2,0	96,5
Göknar	1	,5	,5	97,0
Mazı	2	1,0	1,0	98,0
Söğüt	2	1,0	1,0	99,0
Huş	1	,5	,5	99,5
Ihlamur	1	,5	,5	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Yukarıda verilen tabloda katılımcıların Bingöl ilinde en çok tercih ettiği ilk üç ağaç türü %56,3 ile çam, %12,1 ile meşe ve %5,5 ile çınar ağaçlarıdır. En az tercih edilen ağaçlar ise %0,5 ile huş, ıhlamur ve göknar ağaçlarıdır.

Tablo 9. Katılımcılara gösterilen fotoğraflarda akıllarına gelen ilk şehir sorusuna verilen cevapları gösteren frekans analizi

Görsele bakınca aklınıza ilk gelen şehir

	Sıklık	Oran	Geçerli Oran	Kümülatif Oran
Antalya	83	41,7	41,7	41,7
Mersin	38	19,1	19,1	60,8
İzmir	22	11,1	11,1	71,9
Adana	12	6,0	6,0	77,9
Bingöl	20	10,1	10,1	87,9
İstanbul	8	4,0	4,0	92,0
Muğla	7	3,5	3,5	95,5
Diyarbakır	7	3,5	3,5	99,0
Bursa	2	1,0	1,0	100,0
Toplam	199	100,0	100,0	

Katılımcılara gösterilen fotoğraflara bakıldığında aklınıza gelen ilk şehir %41,7 ile Antalya, %19,1 ile Mersin ve %11,1 ile İzmir olmuştur. Katılımcılara ilk izlenim uyandıran 3 şehir toplamda %71,9 ile deniz kıyısına sahip olan illerimizdir.

		Tablo 10. Katılımcılara gösterilen fotoğraflarda akıllarına gelen ilk şehir sorusuna							
		Eğitim							
		1		2		3		4	
Tür		İlkokul	N %	Lise	N %	Üniversite	N %	Y. Lisans	N %
	1	19	73,1%	42	56,0%	76	87,4%	9	81,8%
	2	7	26,9%	33	44,0%	11	12,6%	2	18,2%

Tablo 10’da tür bilgisi sorusuna verilen cevap oranlarının tüm eğitim gruplarında kendi içinde arttığı gözlemlenmiştir. Yine eğitim gruplarının tamamı ele alındığında ilköğretimden üniversiteye doğru tür tanıma oranlarının arttığı görülmektedir.

Tablo 11. Uygunluk ve Fikir arasında custom tables analizi

		Uygunluk	
		1	2
		Evet	Hayır
Fikir	İklim	0	140
	Görsellik	57	2

Uygunluk ve fikir arasında yapılan custom tables analizinde kullanılan ağaçların kente uygun olmadığını belirten toplam 142 kişinin 140’ı iklimden dolayı 2 kişinin ise görsellikten dolayı uygun olmadığını belirtmiştir. Kullanılan bitki türünün uygun olduğunu belirten 57 kişinin tamamı ise görsellikten dolayı uygun olduğunu işaretlemiştir.

Tablo 12. Uygunluk ve ağaç türü arasındaki custom tables analizi

		Uygunluk	
		1	2
		Evet	Hayır
Ağaç	Çam	36	76
	Meşe	4	20
	Çınar	1	12
	Meyve Ağaçları	6	5
	Akasya	0	9
	Akçaağaç	0	9

Ceviz	1	4
Mavi Ladin	4	1
Servi	2	2
Göknar	1	0
Mazı	0	2
Söğüt	1	1
Huş	1	0
Ihlamur	0	1

Custom tables analizine göre kullanılan bitkilerin kente uygun olmadığını belirten 142 kişiden 76'sı palmiye yerine çam ağacını tercih etmiş yine uygun olduğunu düşünen 57 kişiden 36 kişinin de Çam ağacını tercih ettiği görülmüştür.

Tablo 13. Uygunluk ve görsele bakıldığında akla ilk gelen şehir arasındaki custom tables analizi

		Uygunluk	
		1	2
		Evet	Hayır
Tahmin	Antalya	24	59
	Mersin	12	26
	İzmir	1	21
	Adana	2	10
	Bingöl	11	9
	İstanbul	3	5
	Muğla	2	5
	Diyarbakır	2	5
	Bursa	0	2

Kullanılan bitki türünün kente uygun olmadığını belirten 142 kişiden 59'u Antalya, 26'sı Mersin, 21 İzmir ve 10'u Adana illerini belirterek ılıman iklim kentlerini belirtmişlerdir. Uygun olduğunu belirten kişilerde yine 24 kişi Antalya, 12 kişi mersin illerini anımsattığını belirtmiştir.

Tablo 14. İlgili maddelerin çarpıklık ve basıklık değerleri

Statistics

	Tür_Bilgisi	Uygunluk	Fikir
Valid	199	199	199
Mean	1,266	1,714	1,296
Skewness	1,065	-,952	,898
Std. Error of Skewness	,172	,172	,172
Kurtosis	-,874	-1,105	-1,206
Std. Error of Kurtosis	,343	,343	,343

İlgili maddelerin çarpıklık ve basıklık değerleri +2 ve -2 arasında kalması verilerin, normal dağılımda olduğunu göstermektedir (Hair ve ark., 2009).

Tablo 15. Tür bilgisi, uygunluk ve fikir arasındaki korelasyon testi

Correlations

		Tür_Bilgisi	Uygunluk	Fikir
Tür_Bilgisi	Pearson Correlation	1	-,247**	,256**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000
	N	199	199	199
Uygunluk	Pearson Correlation	-,247**	1	-,976**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000
	N	199	199	199
Fikir	Pearson Correlation	,256**	-,976**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	
	N	199	199	199

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Korelasyon testine göre tür bilgisi ve uygunluk arasında negatif yönlü, anlamlı 0,01 seviyesinde bir korelasyon görülmektedir. Uygunluk ve fikir arasında pozitif yönlü, anlamlı 0,01 seviyesinde bir korelasyon görülmektedir. Yanı sıra uygunluk ve fikir arasında negatif yönlü, anlamlı 0,01 seviyesinde yüksek bir korelasyon görülmektedir.

4. Sonuç

Yapılan çalışma, kentsel mekânlarda kullanılan yapay bitkilere bakış açısını ve kullanılan yapay bitki türünün kentin peyzaj karakteri ile nedenli uyumlu olduğunu ortaya koymayı hedeflemiştir. Anket sonuçları kent sakinlerinin açık ara canlı bitki kullanımından yana olduğunu göstermiştir. Yöneltilen sorular kullanılan yapay bitki türünün de önemini vurgulamaktadır. Bitkiler buldukları mekânın karakterini yansıtırlar yapılan anket sonuçları bunu ispatlar niteliktedir. Akdeniz bitkilerinden Palmiye ve Hurma ağaçları her ne kadar Bingöl gibi karasal iklime sahip bir şehirde kullanılsa da katılımcıların akıllarına gelen ilk şehirler Akdeniz ve Ege kıyı illeridir. Kullanılan yapay bitkilerin yerinde yine yapay fakat bölge ekolojisine uygun kentin peyzaj karakterini yansıtan türler kullanılmış olsaydı sonuçlar verilen cevaplarda çok farklı olabilirdi. Kent sakinlerine mevcut kullanılan bitki türleri (Palmiye ve Hurma) yerine hangi türleri tercih edersiniz sorusuna; Çam, meşe ve çınar cevapları yoğunlukta verilmiştir. Bingöl'ün Doğal bitkisi olmasa da kentin iklimine adapte olmuş bu türleri kentin her yerinde her parkta görmek mümkündür. Yine meşe ağaçları Bingöl'ün %35'ini kaplayan bir yoğunlukta tüm dağlarında mevcuttur. Halk her ne kadar tüm dağlarında olsa da bu türü kentlerde görmek istediğini ifade etmiştir. Çınar ağacı ise bölgenin doğal türü olmamasına rağmen son zamanlara hızlı büyüdüğü için yaygın bir kullanım alanına sahip popüler bir tür olduğu için seçildiği düşünülmektedir. Anketlerde

çok az tercih edilen huş ağacı ise bölgenin karakterini yansıtan soğuk iklimlerin vazgeçilmez ağacıdır. Relikt bitki grubuna giren bu türün yayılım alanı daraldığından kent sakinleri tarafından bilinmediğinden ötürü tercih edilmediği düşünülmektedir. Yine eğitim durumu arttıkça kişilerin verdiği cevapların bir tasarımcı gözünden olumlu olduğu görülmektedir. Sonuç olarak; Eliason'un ekoeleştirel perspektifi, doğanın sadece fiziksel bir varlık değil, aynı zamanda insan kültürü ve duygusal bağlamda da önemli bir yer işgal ettiğini ve doğanın yapaylaştırılmasının doğal dengeyi bozabileceğini vurgular. Dolayısıyla, insanların doğayla olan ilişkisini yeniden değerlendirmek ve doğal çevreye saygı göstermek önemlidir. Bu bağlamda yapay ya da canlı olsun kent iklimine, ekolojisine ve karakterine uygun bitki türleri kullanmak gerekmektedir. Mecbur kalmadıkça canlı bitki tercih edilmelidir çünkü, bitkilerin vejetasyon dönemi içerisindeki gelişimini gözlemlemek, kişilere çağdaş dünyada pek az gerçekleştirebilecekleri doğa ile ilişki kurma olanağı sağlar (Çelem ve Arslan, 1995).

Teşekkür

Anket Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu peyzaj ve süs bitkileri yetiştiriciliği programında öğrenim gören bazı öğrenciler tarafından yürütülmüştür. Anketin uygulanmasında görev yapan Nur Efşan Gülsever, Rozerin Özmen ve Zeynep Aldanma isimli öğrencilere çok teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Beckett KP., Freer Smith PH., Taylor G. Urban Woodlands; their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 1998; 99, 347-360.
- Bingöl E. İzmir'de üretilen peyzajlar: J.B. Jackson'un peyzaj sınıfları üzerinden İzmir peyzajlarına yeniden bakış. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi* 2020, 3(1): 40-56.
- Braun-Blaunquet J. *Plant sociology*. Germany. 1932.
- Çalıkoglu A. *Yapay doğa (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimari Tasarım Bilim Dalı, İstanbul. 2004
- Çelem H., Arslan M. *İç mekan bitkileri*. Tagey Yayıncılık, Ankara. 1995.
- Çepel N. *Peyzaj ekolojisi*. İ.Ü. Orman Fak., Yayın No: 3510, s: 228, İstanbul. 1998.
- Ekici B., Şişman EE. Hastane iç mekan tasarımında bitki kullanımı. *Tekirdağ Kenti Örneği*. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi* 2020; 3(1): 1-9.
- Hair JF., Black WC., Babin BJ., Anderson RE. *Multivariate data analysis (7th ed.)*. Prentice Hall.2009
- Heartney E. *Sanat ve bugün*. (O. Akınhay, Çev.). Phaidon Yayıncılık. 2008.

- Klinge MW. Spaces of consumption in environmental history. *History and Theory* 2003; 42, 94-110.
- Kurdoğlu BÇ., Işık ÖB., Bayramoğlu E. Doğal-yapay peyzaj materyalleri ve kullanıcı ilişkişi: KTÜ Kanuni Yerleşkesi Örneği. *Kastamonu Üniv., Orman Fakóltesi Dergisi* 2013; 13(1): 164-174.
- Lorenz EH. Karayolları ağaçlandırma rehberi. Çeviren Fuat Tanrıverdi. *Karayolları G. M. Matbaası, Ankara. 1975.*
- Novak DJ., Crane DE. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution* 2002; 116(3): 381-389.
- Özer S., Yılmaz H., Kaya Y. Determination of the diversity of grassy and woody plant species in Sarıkamış/Turkey district and evaluation of their usability in planning and design attempts. *Biological Diversity and Conservation Online BioDiCon* 2/3, 2009, 75-81.
- Özkan MB., Küçükerbaş EV. Mimarlık bilgisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Yayınları No: 513, E.Ü.Z.F. Ofset Atölyesi, Bornova-İzmir, 1995.
- Ünal B. Antroposen ve yeni dünya tasarıları. *Fine Arts (NWSA)*, 2019; 14(3): 186-199.
- Ürgeç S. Ağaç ve süs bitkileri fidanlık ve yetiştirme tekniği. İstanbul Üniv., Orman Fakóltesi Yayınları, No:418, s: 569, İstanbul. 1990.
- Walker TD. *Planting design*. Van Nostrand Reinhold, p:196, New York. 1991.
- Yağmur Ö., Zorlu İ. Sanatta biyomimetik ve deneysel takı uygulaması. *GSED* 2021; 27(47): 387-399.
- Yörük B., Poyraz T. Gösteriye dönüşen doğa: doğayı araç sallaştırın mekânlar. *Tüketici ve Tüketim Araştırmaları Dergisi* 2023; 15(1): 113-154.

Afet Dönemlerinde E-Ticaret Sektöründe Uygulanan Fiyat Dalgalanmaları Analizi: İçecek Kategorisi için Türkiye Örneği

Pırl TEKİN^{1*}, Büşra MAT²

^{1,2}Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-2326-7571>

² <https://orcid.org/0009-0005-6200-1847>

*Sorumlu yazar: ptekin@atu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.04.2024

Kabul tarihi: 26.07.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

E-Ticaret sektörü

Gelir yönetimi

Dinamik fiyatlandırma

AHP

TOPSIS

ÖZ

Günümüzde gelir yönetimi anlayışı, müşterilerin internet ortamında birçok veriyi karşılaştırmalı olarak elde ederek rekabet durumunu daha akıllı ve kısa sürede analiz etmelerine olanak sağlamaktadır. Mağazaların fiziksel ortamlarından yapılan alışverişler hem müşterilerin yaşadığı bedensel yorgunluklara hem de fiyat alternatiflerini daha uzun zaman dilimlerinde daha göreceli olarak değerlendirmelerine neden olmasından dolayı son yıllarda yerini e-ticaret siteleri üzerinden gerçekleştirilen online alışverişlere bırakmıştır. E-ticaret özellikle müşterilere zaman kazandırmasından dolayı son yıllarda daha çok tercih edilmeye başlanmışken, dünya genelinde yaşanan COVID-19 salgını nedeniyle yaşanan kapanmalarla da tercih eğilimini daha hızlı artırmıştır. Dinamik fiyatlandırma ise, online alışveriş siteleri için oldukça cazip görünen ve son yıllarda sıklıkla kullanılan bir strateji haline gelmiştir. Ele alınan bu çalışma kapsamında, Türkiye’de çok tercih edilen bir online alışveriş sitesinde içecek kategorisinde yer alan en çok satan ürünler, COVID-19 dönemi birinci, ikinci, üçüncü dalgalanma dönemleri ve 11 ili etkileyen deprem döneminde uygulanan online fiyatlandırma yaklaşımları çerçevesinde incelenmiştir. Gelir yönetimi yaklaşımlarının ele alınan afet dönemleri içerisinde en çok etkilediği dönemleri tespit etmek amacıyla, farklı kriterlere bağlı olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri kullanılmış olup, gelir yönetiminin uygulanma başarı sıralaması gerçekleştirilmiştir.

Price Fluctuation Analysis in E-Commerce Sector During Disaster Period: A Case Study for Beverage Category in Türkiye

Research Article

Article History:

Received: 06.04.2024

Accepted: 26.07.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

E-Commerce sector

Revenue management

Dynamic pricing

AHP

TOPSIS

ABSTRACT

Today's revenue management approach allows customers to analyze the competitive situation more consciously and in a shorter time by obtaining many comparative data on the internet. Shopping in the physical stores has been replaced by online shopping through e-commerce sites in recent years, as it causes both the physical fatigue experienced by customers and the fact that they are able to evaluate price alternatives more relatively in longer periods of time. While e-commerce has become more preferred in recent years, especially because it saves time for customers, it has also increased its preference trend more rapidly with the shutdown experienced worldwide due to the COVID-19 epidemic. Dynamic pricing, on the other hand, has become a very tempting strategy for online shopping sites and frequently used in recent years. Within the scope of this study, the best-selling products in the beverage

category on a most preferred online shopping site in Turkey were examined within the framework of the online pricing approaches applied during the first, second and third waves of the COVID-19 period and the earthquake period that affected 11 provinces. In order to determine the most affected periods by means of revenue management approaches among the disaster periods, AHP and TOPSIS, which are multi-criteria decision-making methods, were used depending on different criteria, and the success ranking of the implementation of revenue management was obtained.

To Cite: Tekin P., Mat B. Afet Dönemlerinde E-Ticaret Sektöründe Uygulanan Fiyat Dalgalanmaları Analizi: İçecek Kategorisi için Türkiye Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1826-1850.

1. Giriş

Gelir yönetimi, karlılığı en üst düzeye çıkarmak için veri analitiğinin disiplinli uygulanması anlamına gelmektedir. Genellikle mikro pazar düzeyinde müşteri davranışını tahmin eden, ürün fiyatlarında ince ayar yapan ve geliri en üst düzeye çıkarmak için kullanılabilirliği ayarlayan bir sistem yaklaşımı benimser. Gelir yönetimi kavramı sadece geliri en üst düzeye çıkarmak değil, aynı zamanda sistem akışını sürdürmede maliyet kontrolü, müşteri memnuniyeti, sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı gibi bir dizi faktörün de dikkate alınmasını içerir. Bu amaçlar dikkate alındığında aslında gelir yönetimi, bir işletmenin ürettiği gelirleri optimize etmek, artırmak ve sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için uygulanan stratejik bir süreç olarak tanımlanabilir. Gelir yönetiminde uygulanan en önemli strateji fiyatlandırma stratejisidir. Fiyatlandırma stratejileri, müşteri talepleri, rekabet koşulları, iş hedefleri ve mevcut ekonomik koşullar dikkate alınarak belirlenen fiyat politikalarıdır (Fisher ve ark., 2018).

Dinamik fiyatlandırma, ürünlerin farklı koşullar altında fiyatlandırılması uygulamasını ve bu fiyatların zaman içinde değişmesini ifade eder. Bir başka deyişle firmaların arz ve talebe göre fiyatlarda değişiklik yaptığı fiyatlandırma stratejisidir. Dinamik fiyatlandırma ile firmalar sürekli olarak rakiplerin sunduğu fiyat alternatiflerini takip etmektedir. Örneğin bir online mağazanın fiyatlandırma stratejisi, onun ileride ne kadar başarılı olacağını belirler. Organizasyonlarda ürünler için doğru fiyatın belirlenmesi insanların satın alma kararlarını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bu aşamada fiyatlandırma tutumuna yönelik her türlü ihtiyacı karşılayan dinamik fiyatlandırma uygulamaları firmalar tarafından günümüzde tercih edilmektedir. Bir başka deyişle bir işletmenin gerektiğinde ürün veya hizmetlerinin fiyatlarını değiştirmesine olanak tanıyan bir fiyatlandırma stratejisi benimsemesi, özellikle son yıllarda en önemli başarı kriterlerinden biri haline gelmiştir (Ballestar ve ark., 2019).

Teknolojik gelişmeler çeşitli sektörlerde hızlı değişimlere neden olmaktadır. Son yıllarda internet teknolojisinin gelişmesiyle birlikte e-ticaret kavramı ortaya çıkmış ve bu alanda gelir yönetimi kavramı hızla yaygınlaşmıştır. Sonuç olarak kuruluşlar ürünlerini her koşulda, her zaman ve her yerde pazarlayabilir ve satabilirler. Müşteri açısından bakıldığında özellikle yoğun iş temposu nedeniyle zaman sıkıntısı çeken müşteriler, artık mağazalara gitmeden ürünlere ulaşabiliyor hale gelmeyi daha sıklıkla tercih etmeye başlamıştır. Bu nedenle son yıllarda birçok işletme odağını geleneksel ticaretten e-ticaret uygulamalarına kaydırmıştır. Özellikle son yıllarda online satışların artan önemi nedeniyle e-ticaret sektörü hızla genişlemiştir (Den Boer ve ark, 2015 ve Iiegva Acheme David, 2019).

2022 yılında hayatımıza ani bir şekilde giren ve dünya genelinde birçok kısıtlamayı beraberinde getiren COVID-19 dönemi, kapanmalar dolayısıyla evde oturmak zorunda kalan insanların mağazadan yapamadığı alışveriş potansiyelinin online alışveriş uygulamalarına kaymasına sebep olmuştur. Bu nedenle online sektörde yapılan alışverişlerin sayısı artmış, firmaların online sistemdeki gelir yönetimi çalışmalarını kullanmaları da hız kazanmıştır. Özellikle doğal afet dönemlerinde, satın alınan gıda maddelerinin bozulabilirlik oranlarının ve stok durumlarının da göz önüne alınarak fiyatlandırılması firmalara büyük gelir sağlamaktadır. COVID döneminde artan bu trend, Türkiye’de 11 ili etkileyen deprem ile hız kesmeden insanların online alışverişe olan ilgisini devam ettirmiştir. Online alışverişin sağladığı indirim politikaları, satış stratejileri altında optimum fiyatlandırma ve satış miktarı maksimizasyonu gibi birçok fayda, kurumların fiziki mağazalarını online çatısı altında birleştirerek maliyet minimizasyonu çalışmaları için tercih edilir hale dönüşmüştür (Loukili ve ark, 2023; Poh ve ark, 2023).

Özellikle zorunlu şekilde evde kalma sürecini yaşayan ya da deprem dolayısıyla marketlere erişimi imkânsız hale gelen insanların, satın alma tutumu farklılaşmak zorunda kalmıştır. Bu nedenler dolayısıyla farklı ürün gruplarının satıcılar tarafından farklı fiyatlandırılması ve dinamik olarak değişen fiyatlara müşterilerin gösterdiği tepkiler firmalar için satış, müşteriler için satın alma stratejileri değişimine neden olmuştur.

Bu kapsamda ele alınan bu çalışmanın ilk bölümünde dinamik fiyatlandırma ile ilgili detaylı bir literatür taraması yer almaktadır. İkinci bölümde, AHP ve TOPSIS Yönteminin Matrisleri adım adım anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise, örnek uygulamanın ele alındığı kurum verileri incelenmiş, gelir yönetimi uygulamaları COVID ve deprem gibi dört farklı afet dönemi için detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmanın dördüncü ve son bölümünde ise, kurumun online mağazalarında gelir yönetimi başarı sıralaması farklı dönemsel periyotlar için hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

Çalışma kapsamında literatür incelemeleri yapıldığında, e-ticaret sektöründeki fiyatlandırma yaklaşımlarını yapay sinir ağları, makine öğrenmesi, istatistiksel yöntemler gibi farklı açılardan ele alan çok sayıda makale incelenmiştir. Bu makalelerin birçoğu ürün satışlarını artırmayı, sipariş gelişlerini tahmin etmeyi ve e-ticaret verilerine dayanarak yoksulluk oranlarını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Ancak yapılan literatür çalışmaları kapsamında COVID gibi doğal afetlerin sadece başta yarattığı etkileri değil, devam eden veya yarattığı çarpan etkileri inceleyen ve/veya sonraki afet dönemlerinde fiyat dalgalanmalarına ilişkin tahminler konusunda yapılan kapsamlı araştırmaların eksik olduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda literatürde yer alan bazı güncel makaleler, amaç ve metot karşılaştırmaları yapılarak Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Güncel makalelerde amaç ve metot uygulamaları

MAKALE İSMİ	YAZARLAR	ÇALIŞMANIN AMACI	ÇALIŞMANIN METOTLARI
Vietnam'daki E-Ticaret Şirketlerinin Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi: ÇKKV'ye Dayalı Çok Kriterli Karar Verme Çerçevesi	Minh-Tai Le (2024)	Çalışmada Vietnam'ın önde gelen e-ticaret şirketlerini sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirmek ve bu değerlendirme sürecinde karar vericilere etkili bir şekilde destek olmak hedeflenmektedir. Ayrıca, yöneticilere en iyi e-ticaret uygulamalarını bulmaları için yardımcı olmak amacıyla ele alınan e-ticaret şirketlerinin performansını etkileyen kriterler değerlendirilmekte ve analiz edilmektedir.	Bulanık Karar Verme (Fuzzy) Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL) Yöntemi ve Nötrosifik Bulanık Aksiyomatik Tasarım Yöntemi
Tüketici Odaklı Enerji Verimli Kablosuz Sensör Ağlarıyla E-Ticarette Devrim Yaratmak: Çok Özellikli Bir Yaklaşım	Inam Ullah, Deepak ve ark. (2024)	Bu çalışmanın amacı, e-ticaret sektöründe Nesnelerin İnterneti (IoT) bağlamında kablosuz sensör ağlarının (WSN) kullanımını ve bu kullanımın e-ticaret operasyonlarını nasıl geliştirdiğini araştırmaktır. Aynı zamanda çalışma, enerji verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için geliştirilen teknolojilerle e-ticaretin sürdürülebilirliğini incelemektedir. Bu kapsamda e-ticaret platformlarının kişiselleştirilmesi ve kullanıcı deneyimlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir ve bu bağlamda entropi tabanlı çok kriterli karar verme yaklaşımı önerilmektedir.	Kablosuz Sensör Ağları (WSN), Entropi Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme, Karşılaştırmalı Analiz
B2C E-Ticaret Sitelerinde Online Alışveriş Seçiminde Fuzzy - AHP - Topsis Uygulaması	Tran Trung Dung ve ark. (2024)	Çalışma, çevrimiçi alışveriş karar süreçlerini daha etkili hale getirmek için bir değerlendirme modeli önermektedir. Özellikle fiyat, ürün kalitesi, marka, satış sonrası hizmet, teslimat süresi gibi çeşitli faktörlerle birlikte belirsizlikler ve bilgi eksikliklerini dikkate alarak, kullanıcıların dört büyük B2C e-ticaret sitesinde (Shopee, Tiki, Lazada, Sendo) ürün seçimini daha bilinçli ve etkili bir şekilde yapmalarına yardımcı olmayı hedeflemektedir.	Bulanık Mantık (Fuzzy), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), TOPSIS
E-Ticaret Sitelerinin Pisagor Bulanık AHP ve TOPSIS Yöntemleriyle Karşılaştırılması	Desticioğlu Taşdemir ve ark. (2023)	Bu çalışma, e-ticaret sitelerinin müşteri memnuniyetini artırmak ve rekabet avantajı elde etmek için müşteri yorumlarının ve belirlenen kriterlerin önemini ortaya koymaktadır.	Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci, Pisagor Bulanık TOPSIS
Müşteri kayıp tahmini için makine öğrenimi algoritmalarının uygulanması	El Youbi ve ark. (2023)	Bu makalede, doğru ve etkili bir fiyatlandırma modeli geliştirmek için makine öğrenimi tekniklerini kullanan dinamik fiyatlandırma üzerine bir çalışma sunulmaktadır.	Ortalama Kare Hatası R-Kare (R^2)
Otel E-ticaret pazarında bilgi asimetrisi değerlendirmesi: Pandemi altında dinamikler ve fiyatlandırma stratejisi	Ye ve ark. (2023)	Bu çalışma, uluslararası turistik otellerin konaklama fiyatları açısından bilgi asimetrisinin derecesini değerlendirmektedir.	Stokastik Sınır Yaklaşımı

AHP-TOPSIS Kullanarak E-Mağazaların Elektronik Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi: COVID-19 Karantinası Sırasında Yunan Kahve Zincirleri Örneği	Xenia J. Mamakou (2022)	Bu çalışmanın amacı, Yunan kahve zincirlerinin e-mağazalarını elektronik hizmet kalitesine göre değerlendirmek ve sıralamaktır. Araştırma, COVID-19 tecriti sırasında e-mağazaların hizmet kalitesini analiz ederek, yöneticilere ve uygulayıcılara bu süreçte önemli hizmet kalitesi unsurlarına odaklanmalarında yardımcı olmayı hedeflemektedir.	E-S-QUAL Modeli, Analitik Hiyerarşi Süreci, TOPSIS Yöntemi
Havayolu e-ticaretinde sürdürülebilir bir araç: Romanya tam hizmet veren havayolunun e-bilet fiyatlarının dinamik karşılaştırmalı analizi	Gabor ve ark. (2022)	Bu makalenin amacı, gelir yönetimi kavramının Romanya ulusal hizmet havayolu TAROM tarafından tam uygulanıp uygulanmadığını analiz etmek ve havayollarını değerlendirmek için hangi kriterlerin kullanılabileceğini, düşük bütçeli taşıyıcı (LCC) ile tam servis taşıyıcısı (FSC) arasındaki farkları vurgulamaktır.	Simülasyon Yöntemi
Döviz kurları ile NSE NIFTY endeksi arasındaki dinamik bağlantıların araştırılması	Victor ve ark. (2021)	Bu çalışmada, dinamik fiyatlandırmanın tüketici davranışları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma özellikle e-ticaret sektöründe kullanılan dinamik fiyatlandırmanın tüketici memnuniyet düzeyleri ve potansiyel satın alma kararları üzerindeki etkisine odaklanmıştır.	Likert Ölçeği T-Testi
İşbirliğine dayalı filtreleme ve yapay sinir ağlarını kullanarak e-ticarette ürün tahmini ve öneri: Hibrit bir yaklaşım	Bandyopadhyay ve ark. (2020)	Bu çalışmada, sadık müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayarak ürün satışlarının nasıl artırılacağı araştırılmıştır.	Yapay Sinir Ağları
E-ticarette fiyatlandırmanın dinamik faktörlerinin modellenmesi ve tahmin edilmesi	Chornous ve ark. (2020)	Bu makalede, dinamik fiyatlandırma modelleme deneyimi araştırılmış ve kişiselleştirilmiş fiyatlandırma stratejilerini kullanarak e-ticarette fiyatları tahmin etmeye yönelik çalışmalar geliştirilmiştir.	En Küçük Kareler Regresyonu
Aynı gün teslimat için dinamik fiyatlandırma ve yönlendirme	Ulmer (2020)	Bu çalışma, dinamik fiyatlandırmanın hem geliri hem de aynı gün hizmet verilen müşteri sayısını önemli ölçüde artırıp artırmayacağı üzerine araştırmalar sunmaktadır.	Markov Karar Süreci Değer Fonksiyonu Yaklaşımı
E-ticaret ile firma performansı arasındaki ilişki: İnternet satış kanallarının aracılık rolü	Šaković Jovanović ve ark. (2020)	Bu çalışmada, e-ticaretin firma performansı üzerindeki etkisinin doğrudan olup olmadığı araştırılmış, performansın daha verimli elde edilebilmesi için aracı faktörler kullanılarak analiz edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.	Sıradan En Küçük Kareler Modeli
Bulanık AHP ve Gri İlişkisel Temelli TOPSIS Metodolojisini Kullanarak Başarılı Bir B2C E-Ticaret Web Sitesi Tasarlamak İçin Faktörlerin Değerlendirilmesi	Ran Li ve Tao Sun (2020)	Çalışmada başarılı bir B2C e-ticaret web sitesi tasarlamak için gerekli faktörlerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi yapılmıştır. Bunun için çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak, karar verme sürecindeki belirsizlikleri ve grilikleri en aza indirmek hedeflenmiştir.	Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Gri İlişkisel Temelli TOPSIS Yöntemleri
Küresel marka reklamları yoluyla tüketim kültürünün küreselleşmesi	Yapıcıoğlu (2019)	Bu çalışma, tüketicilerin mağazalardan yapılan alışverişe karşı online alışverişini tercih etmelerine ilişkin düşüncelerini belirlemeyi amaçlamaktadır.	T Testi, ANOVA

Dinamik fiyatlandırma ile ilgili genel literatür değerlendirildiğinde, pek çok farklı sektörde yapılmış özellikle veri madenciliği yöntemlerinin uygulandığı çalışmalar mevcuttur (Liu ve ark., 2012; Serth Sebastian, 2017; Victor Vijay, 2018). Literatürde farklı birçok çalışma bulunmasına rağmen, özellikle son yıllarda dünya çapında etkisini gösteren pandemi dönemi gibi doğal afet durumlarının değerlendirildiği ve doğal afet döneminin farklı çarpan etkilerinin tartışıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Son yıllarda ele alınan güncel çalışmalar (2020 ve sonrası) incelendiğinde, e-ticaret sektörü için başarılı bir B2C web sitesi tasarımı için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak, belirsizliklerin ve karar sürecindeki griliklerin farklı yöntemlerle azaltılmaya çalışıldığı gözlemlenmiştir. Genellikle e-ticaret şirketleri sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirilerek, şirketlerin maliyet tasarrufu ve pazarlama etkinliğini artırmak için, e-ticaret platformlarının performans kriterleri analiz edilmektedir. Ayrıca, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve kablosuz sensör ağlarının e-ticaret operasyonlarına katkısı araştırılarak, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirliğin nasıl sağlandığı tespit edilmiştir. Bunların dışında çevrimiçi alışverişte, Fuzzy-Analtik Hiyerarşi Prosesi-TOPSIS modelleri kullanılarak kullanıcıların daha bilinçli kararlar vermesinin sağlanması için çalışmaların geniş çapta yapıldığı gözlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Kaynağı

E-ticaret sektöründe gelir yönetimi uygulamaları, özellikle doğal afet dönemleri gibi farklı değişen koşullar altında müşterilerin farklı satın alma davranışları ve alışkanlıkları üzerinde etkili olmaktadır. Bu faktörlerin ürünlerin dinamik fiyat politikalarını nasıl etkilediğini inceleyen çalışmaların kısıtlı olması dolayısıyla, ele alınan bu çalışmanın materyalini, Türkiye'deki büyük bir e-ticaret zincirinin internet sitesinden elde edilen 2020 yılının ilk çeyreğinden 2023 yılının ikinci çeyreğine kadar olan veriler oluşturmaktadır. Bu kapsamda firmanın internet sitesi üzerinden ulaşılabilen çeşitli ürün gruplarından derlenen ürünlerin fiyat değişimleri günlük olarak tutulmuş ve test aşamasında kullanılmıştır.

Tüketicileri, üreticileri ve küresel pazarları doğrudan etkileyen salgın hastalık ve deprem gibi doğal afetlerin e-ticaret sitelerinin dinamik fiyatlandırması üzerindeki etkileri önemlidir. Kriterlerin seçiminde literatüre dayanılarak alınan bilgilerin yanı sıra, veri toplanması aşamasında e-ticaret sitelerinden de veriler alınmıştır. Toplanan veriler MS Excelde ikili karşılaştırma matrisleri oluşturmak için kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, Türkiye'de popüler bir e-ticaret platformunun farklı doğal afet dönemlerindeki dinamik fiyat değişimlerini, sıklıkla tercih edilen içecek ürünlerine odaklanarak bu ürünlerin fiyatlarını periyodik olarak incelemektir. Dünyayı derinden etkileyen pandemi dönemini de kapsayan afet dönemlerinde, e-ticaret sitesindeki favori ürünlerin fiyatları farklı afet periyotları için 15 Mayıs 2020 - 18 Ocak 2023 tarihleri arasında incelenmiş, deprem dönemi için ise 6 Şubat 2023 - 6 Mayıs 2023 verileri kayıt altına alınmıştır. Çalışmanın e-ticaret sektöründeki fiyat dalgalanmaları

incelenmekte, afet dönemlerinde karşılaşılan müşteri tutumları ve ürün satış hacimleri belirlenmektedir. Ele alınan bu çalışma, geliri artırmak için ürün fiyatlandırmasını etkileyen müşteri satın alma davranışlarını değerlendirerek, dinamik fiyatlandırma sistemlerinin belirlenen müşteri kriterlerine göre karşılaştırmasını yaparak literatüre katkı sağlanmaktadır.

2.2. Metot: AHP ve TOPSIS

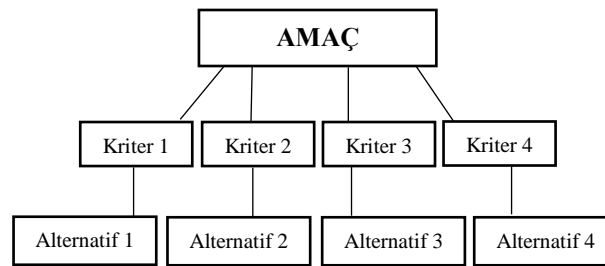
Ölçek kullanılarak belirlenen kriterlerin ikili karşılaştırmaları için Analitik Hiyerarşi Prosesi uygulanır. AHP'den elde edilen kriter ağırlıkları, daha sonra bu dönemlerde dinamik fiyatlandırmanın etkisini değerlendirmek için TOPSIS yönteminde kullanılır. Çok kriterli karar verme yöntemi ise, çok kriterli ve alternatifli durumlarda karar vermek için geliştirilen yöntemlerden oluşur. ÇKKV yöntemlerinin amacı, alternatiflerin seçilmesini, sıralanmasını veya sınıflandırılmasını içeren en doğru kararı vermektir. Hedefler, probleme göre değişkenlik göstermektedir. Bir seçim probleminde en iyi alternatifi seçmek olabileceği gibi, bir sıralama probleminde alternatiflerin en iyiden en kötüye doğru sıralanması olabilir. ÇKKV yöntemlerinin ortak özellikleri arasında, alternatiflerin ve kriterlerin belirlenmesi ve amaca yönelik en iyi alternatifin seçilmesi yer almaktadır. En uygun ÇKKV tekniğini seçmenin ise sabit bir kuralı yoktur. Her probleme özgü olarak değişen bu karar mekanizmaları farklılaşmaktadır.

2.2.1. AHP

Makalede yer alan Analitik Hiyerarşi Prosesi, birçok uygulamanın temelini oluşturan 6 adımdan oluşmaktadır;

Adım 1: Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

İlk adım, karar problemini anlaşılır ve değerlendirilebilir hale getirmek için hiyerarşik olarak organize etmeyi içerir. Şekil 1'de gösterildiği gibi ana hedefin, kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin hiyerarşik bir yapıda oluşturulması yer almaktadır.



Şekil 1. Üç seviyeli analitik hiyerarşi modeli

Adım 2: Önceliklerin Belirlenmesi

Saaty, Tablo 2'de görüldüğü gibi karar kriterlerini ikili olarak karşılaştırmak için bir ölçek geliştirmiştir. Bu matrise göre karar kriterleri ve seçenekleri ikili karşılaştırmalar yoluyla 1 ile 9 arasında bir değerle değerlendirilmektedir. Karar vericiler, karşılaştırılan ikili hakkında görüşlerini ölçekten seçerler. Bu ifadeye karşılık gelen sayısal değer daha sonraki hesaplamalarda kullanılır.

Tablo 2. Eşli karşılaştırma yönteminde kullanılan 1-9 ölçek

DERECELER	TANIM
1	Eşit Önemli
3	Biraz Daha Önemlidir
5	Kesinlikle Önemli
7	Çok Güçlü Önemli
9	Son derece önemli
2,4,6,8	Konsensüs (Ortalama) Değerler

Adım 3: İkili Karşılaştırma Matrisi

“İkili karşılaştırma” terimi, iki faktörün veya kriterin birbiriyle karşılaştırılmasını ifade eder ve karar vericinin kararına dayanır. AHP, hem niceliksel hem de niteliksel değişkenleri değerlendirerek bireysel veya grup önceliklerini dikkate alır. Oluşturulan hiyerarşi, içindeki öge çiftlerini almayı, bunları bir kriter gere karşılaştırmayı ve başka kriterleri dâhil etmeden her öge için ayrı yargılarda bulunmayı içermektedir. Farklı kriterlerin ikili karşılaştırmaları ise Tablo 3’te gösterildiği şekilde ele alınmaktadır. Karşılaştırma matrisinde “n”, $i=1,2,\dots,n$ ve $j=1,2,\dots,n$ sırasıyla şekilde düzenlenmiş satır ve sütunlarla kriter sayısını temsil eder. Matristeki w_i/w_j terimi i'nin ne kadar önemli olduğunu gösterir. Amaca ulaşmada ise kriter j ile karşılaştırılır.

Tablo 3. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisi oluşturma

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter n
Kriter 1	w_1/w_1	w_1/w_2	w_1/w_n
Kriter 2	w_2/w_1	w_2/w_2	w_2/w_n
.....
Kriter n	w_n/w_1	w_n/w_2	w_n/w_n

Matematiksel olarak ilişki $w_i / w_j = a_{ij}$ ($i,j = 1,2,\dots,n$) şeklinde ifade edilir; burada w_i , i'nin ağırlığıdır. w_j ise, j. alternatifinin ağırlığıdır. İkili karşılaştırma matrisi “A” aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{ij} & \dots & a_{mn} \\ \vdots & 1 & \dots & \dots & \vdots \\ 1/a_{ij} & \dots & 1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \dots & 1 & \vdots \\ 1/a_{mn} & \dots & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Karşılaştırma matrisinin üst kısmı karar vericiler tarafından doldurulurken alt kısmı aşağıdaki formül yardımıyla elde edilir.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2)$$

Adım 4: İkili Karşılaştırma Matrislerinin Normalleştirilmesi

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra matrisin sütunlarındaki öğeler toplanır ve her bir öge sütun toplamına bölünür. Bu nedenle normalizasyon süreci gerçekleştirilir. Normalleştirme formülü aşağıdaki gibidir.

$$C_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (3)$$

Adım 5: Öncelik Vektörünün Oluşturulması

Normalleştirilmiş matrisin satırları toplanır ve öge sayısına bölünür. Böylece öncelik vektörü elde edilir. Bu işlemle kriterlerin ve alternatiflerin önem düzeyleri belirlenir. Daha önce belirtilen aşamada dikkate alınması gereken bir diğer husus, normalleştirilmiş matrisin her sütununun toplamının 1 olması gerektiridir.

$$W_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad (4)$$

Adım 6: Tutarlılık Oranının Hesaplanması

İkili karşılaştırma matrisinin kendi içinde tutarlı olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için tutarlılık indeksinin hesaplanması gerekmektedir. Aşağıdaki formül tutarlılık indeksini (CI) hesaplamak için kullanılır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

CI değerini bulmak için öncelikle λ_{max} değerinin hesaplanması gerekir. CI değerini hesaplamak için öncelikle ikili karşılaştırma matrisi ile öncelik vektörünün çarpılması gerekir. Bu işlemle ağırlıklı toplam vektör bulunur.

$$A \cdot W = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ağırlıklı toplam vektörün ve öncelik vektörü W 'nin karşılık gelen elemanları birbirine bölünür. Bu işlemle d_i değeri elde edilir.

$$d_i = x_i / W_i \quad (7)$$

Daha sonra elde edilen değerlerin ortalaması alınarak λ_{max} değeri elde edilir.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (8)$$

Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması için tutarlılık indeksinin rassal indekse (RI) bölünmesi gerekir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

Tablo 4. Rassal indeks serisi (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Tablo 4’de RI değerleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, tutarlılık oranının 0,1’den küçük olması beklenmektedir. Yapılan işlemler sonucunda tutarlılık oranının 0,1’den büyük çıkması halinde karşılaştırma matrisinin tutarsız olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut durumda ikili karşılaştırma matrisinin gözden geçirilmesi gerekmektedir.

2.2.2. TOPSIS

TOPSIS, Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen çok kriterli bir karar verme yöntemidir. İdeal alternatif çözümün, pozitif-ideal çözüme en yakın, negatif-ideal çözüme ise en uzak olması ilkesi üzerine tasarlanmıştır. TOPSIS, nitel dönüşüme gerek kalmadan doğrudan verilere uygulanabilir. TOPSIS yönteminin hesaplama adımları şunları içerir:

Aşama 1: Karar Matrisinin Oluşturulması (A)

TOPSIS’te ilk adım, satırların alternatifleri, sütunların ise değerlendirme kriterlerini temsil ettiği karar matrisini (A) oluşturmaktır. Matris elemanı A_{ij} , karar noktalarının sayısını (m) ve değerlendirme kriterlerinin sayısını (n) gösterir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Aşama 2: Karar Matrisinin (R) Normalleştirilmesi

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_i a_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Bu aşamada karar matrisi normalleştirilir. Karar matrisindeki her değer, sütununda yer alan tüm değerlerin karelerinin toplamının kareköküne bölünür. Bu süreç, aşağıda R olarak temsil edilen normalleştirilmiş karar matrisiyle sonuçlanır.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Aşama 3: Normalleştirilmiş Karar Matrislerinin Ağırlıklandırılması (V)

Başlangıçta değerlendirme kriterleri için ağırlıklar (w_i) belirlenir. Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki öğeler, ilgili w_i değerleriyle çarpılarak Ağırlıklandırılmış Standart Karar Matrisi (V)

oluşturulur. Burada w_i değerleri toplamı 1'e eşittir. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları w_1, w_2, \dots, w_n olarak belirlenmiştir. V matrisinin sütunları, R matrisi sütunlarındaki değerlerin karşılık gelen değerlendirme kriteri ağırlık değerleriyle çarpılmasıyla hesaplanır.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{12} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_2 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Aşama 4: Pozitif İdeal (A^+) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümler

TOPSIS, her değerlendirme kriterinin monoton olarak arttığını veya azaldığını varsayar. Ağırlıklandırılmış standart karar matrisinin sütun değerlerinden en büyük değerlerin seçilmesiyle ideal çözüm belirlenir. Pozitif ideal çözüm kümesini belirleme yöntemi aşağıda gösterilmiştir.

Pozitif İdeal Çözüm Seti:

$$A^+ = \{(max v_{ij}/j \in J'), (min v_{ij}/j \in J')\} \quad (14)$$

Negatif ideal çözüm seti, ağırlıklı standart karar matrisinin sütun değerlerinden en küçük değerlerin seçilmesiyle oluşturulur. Negatif ideal çözüm kümesini belirleme yöntemi aşağıda gösterilmiştir.

Negatif İdeal Çözüm Seti:

$$A^- = \{(min v_{ij}/j \in J'), (max v_{ij}/j \in J')\} \quad (15)$$

Burada j fayda kriterini, J' ise maliyet kriterini belirtmektedir. Fayda kriteri için alternatifler arasında maksimum değer, maliyet kriteri için ise alternatifler arasında minimum değer gereklidir. Bu durumda A^+ en çok tercih edilen alternatifi, A^- ise en az tercih edilen alternatifi göstermektedir.

Aşama 5: Ayırma Ölçülerinin Hesaplanması

TOPSIS'te her karar noktasının değerlendirme kriteri değerlerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm setlerinden sapmalarını belirlemek için Öklid Uzaklık Yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu sapma değerleri Pozitif İdeal Ayırım (S_i^+) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) olarak adlandırılmaktadır. Pozitif İdeal Ayırım (S_i^+) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) hesaplama formülleri şu şekildedir:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (17)$$

Hesaplanacak (S_i^+) ve (S_i^-) sayısı doğal olarak alternatif sayısına eşittir.

Aşama 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

Her karar noktasının ideal çözüme (C_i^+) göreceli yakınlığı, pozitif ideal ve negatif ideal ayırma ölçüleri kullanılarak hesaplanır. Söz konusu kriter negatif ideal ayırma ölçüsünün toplam ayırma ölçüsü içindeki oranını temsil etmektedir. İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması aşağıda gösterilmiştir:

$$C_i^+ = S_i^- / (S_i^+ - S_i^-) \quad (18)$$

(C_i^+) değeri belirli bir aralıkta yer alır ve ilgili karar noktasının ideal çözüme ve negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir. C_i^+ değeri 0 ile 1 arasında olmalıdır.

2.2.3. Güven Aralığı Hesaplaması

Dinamik fiyatlandırma stratejileri, işletmelerin fiyatları periyodik olarak değiştirmesine olanak tanır. Tüketiciler bu dönemlerde bildiklerinde firmanın web sitesini daha sık ziyaret etme eğiliminde olurlar. Dinamik fiyatlandırma, özellikle bu fiyat dalgalanmaları ve yüksek potansiyel müşteri portföyünde önemli faydalar sağlayabilir. Ancak zaman zaman doğru fiyatlandırılma yapılamaması müşterinin ürün hakkındaki görüşlerini de olumsuz yönde etkileyebilir. Daha iyi tepkisel yaklaşımı hedefleyebilmek için ürün fiyatlarının güven aralığı hesaplanmalıdır. Bu aralığın dışındaki fiyatlar potansiyel olarak müşteri memnuniyetini azaltabileceği için güven aralığını doğru belirlemek, bir veri grubu hakkındaki kesinlik düzeyinin belirlenmesine yardımcı olur ve esas olarak verilerin ortalamaya ne kadar yakın olduğunu gösterir.

3. Bulgular ve Tartışma

Ele alınan çalışma kapsamında çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri, farklı COVID pandemi dalgalanmaları ve deprem dönemi boyunca gerçekleştirilen dinamik fiyatlandırma nedeniyle gelir yönetiminden en önemli etkilenen dönemi belirlemek için kullanılmıştır. Çalışmada AHP yöntemini kullanarak kriter ağırlıkları belirlenmiş, daha sonra da en çok etkilenen dönemi seçmek için TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.

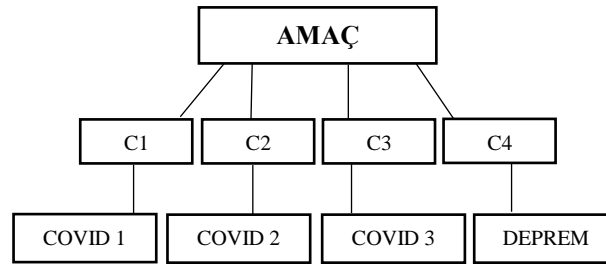
3.1. AHP Yöntemi Kullanılarak Ağırlıklandırma Kriterleri Belirlenmesi

Bu aşamada e-ticaret sektöründe ürün fiyatlandırmasını etkileyen dört farklı kriter, dört alternatif dönem için oluşturulacak hiyerarşik bir yapının kurulmasını içermektedir. Belirlenen alternatif dönemler, pandeminin ilk çıkışı ve sonraki dalgalanma dönemlerini içeren COVID 1, COVID 2, COVID 3 ve deprem dönemi olarak adlandırılmıştır. COVID 1 salgınının 2020'deki başlangıç evresini kapsamakta olup, ikinci dalga olan COVID 2'nin 2021'de başladığı ve ardından 2022'de üçüncü dalga olan COVID

3 dönemlerinin takip ettiği dönemler belirlenmiştir. Deprem dönemi analizi için ise, 6 Şubat'tan sonraki bir aya ait veriler incelenmeye alınmıştır.

3.1.1. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Çalışmanın hiyerarşik yapı değerlendirilmesi için çalışmada seçilen kriterler; Şekil 2'de gösterildiği şekilde satın alma gücü, enflasyon, indirimler ve düşük arz olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında bu kriterler kullanılarak, e-ticaret sektörünün önde gelen şirketlerinden birinde gerçekleşen, pandemi ve doğal afet dönemlerinde gelir yönetiminin müşteri perspektifinden etki düzeyini sıralamayı amaçlamaktadır. Yapılan ürün fiyatlandırmaları için çalışma kapsamında belirlenen kriterler Tablo 5'de detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Üç seviyeli afet dönemi analitik hiyerarşi modeli

Tablo 5. Belirlenen kriterler

Kriter Numarası	Kriterler
C1	Satın alma gücü
C2	Enflasyon
C3	İndirimler
C4	Düşük Arz

3.1.2. İkili Karşılaştırma Matrisleri Oluşturma

Hiyerarşik yapıdaki her kriter önem düzeyine göre belirlenmektedir. Süreçte Saaty'nin geliştirdiği 9 lu ölçek kullanılmış olup, burada müşteri satın alma davranışları baz alınarak e-ticarette doğal afetlerden en çok etkilenen dönemin belirlenmesi için, Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 6-9'da kriterlerin karşılaştırma matrisleri, Tablo 10'da ise kriterlerin ikili karşılaştırmaları sunulmuştur. Kriterlerin ikili karşılaştırmasının amacı, kriterlerin birbiri üzerindeki etkinin belirlenmesidir.

Tablo 6. C1'in ikili karşılaştırma matrisi

	C1			
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	1,000	2,000	3,000	5,000
COVID 2	0,500	1,000	2,000	4,000
COVID 3	0,333	0,500	1,000	3,000
DEPREM	0,200	0,250	0,333	1,000
Toplam	2,033	3,750	6,333	13,000

Tablo 7. C2'nin ikili karşılaştırma matrisi

C2				
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	1,000	0,500	0,333	0,200
COVID 2	2,000	1,000	0,333	0,250
COVID 3	3,000	3,000	1,000	0,500
DEPREM	5,000	4,000	2,000	1,000
Toplam	11,000	8,500	3,667	1,950

Tablo 8. C3'ün ikili karşılaştırma matrisi

C3				
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	1,000	0,330	0,330	1,000
COVID 2	3,000	1,000	1,000	2,000
COVID 3	3,000	1,000	1,000	2,000
DEPREM	1,000	0,500	0,500	1,000
Toplam	8,000	2,830	2,830	6,000

Tablo 9. C4'ün ikili karşılaştırma matrisi

C4				
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	1,000	5,000	2,000	4,000
COVID 2	0,200	1,000	1,000	0,200
COVID 3	0,500	1,000	1,000	0,333
DEPREM	0,250	5,000	3,000	1,000
Toplam	1,950	12,000	7,000	5,533

Tablo 10. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi				
	SATIN ALMA GÜCÜ	ENFLASYON	İNDİRİM	DÜŞÜK ARZ
SATIN ALMA GÜCÜ	1,000	1,000	4,000	1,000
ENFLASYON	1,000	1,000	4,000	2,000
İNDİRİM	0,250	0,250	1,000	0,200
DÜŞÜK ARZ	1,000	0,500	5,000	1,000
Toplam	3,250	2,750	14,000	4,200

3.1.3. İkili Karşılaştırma Matrisinin Normalleştirilmesi

İkili karşılaştırma matrisinin normalizasyonu Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır. Öncelikle her sütundaki değerler toplanmış, sütun toplamaları elde edildikten sonra her bir kriter sütun toplamına bölünmüştür. Bu işlemle normalleştirilmiş karar matrisleri elde edilmiştir. Kriterlerin normalize edilmiş karar matrisleri aşağıda Tablo 11-15'te verildiği şekilde hesaplanmıştır;

Tablo 11. Satın alma gücü kriterinin normalleştirilmiş matrisi

Satın Alma Gücü Kriterinin Normalleştirilmiş Matrisi				
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	0,492	0,533	0,474	0,385
COVID 2	0,246	0,267	0,316	0,308
COVID 3	0,164	0,133	0,158	0,231
DEPREM	0,098	0,067	0,053	0,077

Tablo 12. Enflasyon kriterinin normalleştirilmiş matrisi

Enflasyon Kriterinin Normalleştirilmiş Matrisi				
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	0,091	0,059	0,091	0,103
COVID 2	0,182	0,118	0,091	0,128
COVID 3	0,273	0,353	0,273	0,256
DEPREM	0,455	0,471	0,545	0,513

Tablo 13. İndirim kriterinin normalleştirilmiş matrisi

İndirim Kriterinin Normalleştirilmiş Matrisi				
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	0,125	0,117	0,117	0,167
COVID 2	0,375	0,353	0,353	0,333
COVID 3	0,375	0,353	0,353	0,333
DEPREM	0,125	0,177	0,177	0,167

Tablo 14. Düşük arz kriterinin normalleştirilmiş matrisi

Düşük Arz Kriterinin Normalleştirilmiş Matrisi				
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	0,513	0,417	0,286	0,723
COVID 2	0,103	0,083	0,143	0,036
COVID 3	0,256	0,083	0,143	0,060
DEPREM	0,128	0,417	0,429	0,181

Tablo 15. İkili kriterlerin normalleştirilmiş matrisi

Kriterlerin Normalleştirilmiş Matrisi				
	COVID 1	COVID 2	COVID 3	DEPREM
COVID 1	0,308	0,364	0,286	0,238
COVID 2	0,308	0,364	0,286	0,476
COVID 3	0,077	0,091	0,071	0,048
DEPREM	0,308	0,182	0,357	0,238

Tablo 15'te tüm kriterlerin ikili karşılaştırmalarının hesaplanan önem düzeyleri verilmiştir. Bu matrisin temel amacı, her bir kriterin bir diğer dönem üzerinde yarattığı etki düzeyinin saptanmasıdır.

3.1.4. Öncelik Vektörünün Hesaplanması

Öncelik vektörünü hesaplama işlemi, normalleştirilmiş matrisin her satırındaki değerlerin toplanması ve ardından bu toplamın öğe sayısına bölünmesi şeklinde hesaplanmaktadır. Bu adımda öncelik vektörü Eşitlik 4 kullanılarak oluşturulmuştur.

3.1.5. Tutarlılık Oranının Hesaplanması

Bu hesaplama aşamasında Eşitlik 5 - 9 kullanılmıştır. Tutarlılık indeksi hesaplanarak ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı belirlenmiştir. Tutarlılık indeksini bulmak için öncelikle ikili karşılaştırma matrisi öncelik vektörüyle çarpılmıştır. Sonuçta ağırlıklı toplam vektörü elde edilmiştir. Hesaplardan elde edilen ağırlıklı toplam vektörü daha sonra λ_{max} hesaplamak için kullanılmıştır. Bu, ağırlıklı toplam vektörünün satır toplamlarının öncelik vektöründe karşılık gelen öğelere bölünmesi ve ardından 0.0325 olarak hesaplanan λ_{max} 'ı bulmak için elde edilen d_i değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Yapılan hesaplamalar Tablo 16'da ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 16. Tutarlılık oranı hesaplama tabloları

A.W=	Kriter Karşılaştırma Matrisi				X	Kriter Tercih Matrisi		=	
	1	1	4	1		0,2988	1,2152		
	1	1	4	2		0,3583	1,4863		
	¼	¼	1	0,2		0,0717	0,2902		
	1	½	5	1		0,2712	1,1077		

CI Index = 0,0289

CI/RI = 0,0325

3.2. TOPSIS Karar Matrisinin Oluşturulması

AHP yöntemi kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları, e-ticarette en çok etkilenen dönemin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu bölümde Eşitlik 10'dan yararlanılmış olup, TOPSIS yöntemini uygulamak için ilk adım bir karar matrisi oluşturulmasıdır. Bu matris, alternatif olarak belirlenen dönemleri (COVID 1, COVID 2, COVID 3 ve deprem dönemi) kriterler bazında değerlendirmeye olanak sağlayacaktır. Kriterlere dayalı değerlendirme, kriterlere 1 - 9 arası sayısal değerler atanmasını içermektedir. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmiş karar matrisi Tablo 17'de sunulmuştur.

Tablo 17. Tutarlılık oranı hesaplama tablosu

Hesaplanan Ağırlıklar	0,299	0,358	0,072	0,271
Kriterler	Satın Alma Gücü	Düşük Arz	İndirim	Enflasyon
COVID 1	6	8	2	4
COVID 2	4	2	3	6
COVID 3	3	4	5	7
DEPREM	2	7	5	9

3.2.1. Karar Matrisinin Normalleştirilmesi

Normalleştirilmiş karar matrisi Eşitlik 13 kullanılarak oluşturulmuştur. TOPSIS yönteminde karar matrisi, her bir kriter sütunundaki değerlerin o sütundaki değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünmesiyle normalleştirilir. Söz konusu süreç, değer aralıklarını standartlaştırarak kriterlerin karşılaştırılabilirliğine olanak sağlar. Hesaplanan matris Tablo 18'de sunulmuştur.

Tablo 18. TOPSIS normalleştirilmiş karar matrisi

	Satın Alma Gücü	Düşük Arz	İndirim	Enflasyon
COVID 1	0,744	0,693	0,252	0,296
COVID 2	0,496	0,173	0,378	0,444
COVID 3	0,372	0,346	0,629	0,518
DEPREM	0,248	0,607	0,629	0,667

3.2.2. Normalleştirilmiş Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması

Normalleştirilmiş karar matrisindeki her bir değer, AHP yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılır. Her bir kriterin göreceli önemi, analize entegre edilerek, göz önünde bulundurulmuş alternatiflerin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlanır. Tablo 19'da hesaplanan karar matrisi gösterilmiştir.

Tablo 19. Kriter ağırlıkları ve normalleştirilmiş karar matrisi

	Satın Alma Gücü	Düşük Arz	İndirim	Enflasyon
COVID 1	0,222	0,248	0,018	0,080
COVID 2	0,148	0,062	0,027	0,120
COVID 3	0,111	0,124	0,045	0,140
DEPREM	0,074	0,217	0,045	0,180

3.2.3. İdeal ve İdeal Olmayan Çözüm Değerlerinin Belirlenmesi

Eşitlik 14 ve 15 kullanılarak ağırlıklı normalleştirilmiş matristeki ideal ve ideal olmayan çözüm değerleri Tablo 20’de sunulmuştur. Ağırlıklandırılmış normalleştirilmiş matrisin her sütunundaki maksimum ve minimum değerler bu amaçla tanımlanmış olup, maksimum değerler hesaplanan pozitif ideal çözüm değerlerini, minimum değerler ise negatif ideal çözüm değerlerini temsil etmektedir.

Tablo 20. Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri

	Satın Alma Gücü	Düşük Arz	İndirim	Enflasyon
COVID 1	0,2225	0,2483	0,0181	0,0804
COVID 2	0,1483	0,0621	0,0272	0,1205
COVID 3	0,1113	0,1242	0,0454	0,1406
DEPREM	0,0742	0,2173	0,0454	0,1808
A ⁺	0,2225	0,2483	0,0454	0,1808
A ⁻	0,0742	0,0621	0,0181	0,0804

3.2.4. Mesafe Değerlerinin Hesaplanması

Mevcut aşamada, ağırlıklı normalleştirilmiş matristeki her bir kriterin, karşılık gelen pozitif ideal çözüm değerinden çıkarılması ve ardından bu farkların karesi alınarak pozitif ideal noktalara olan mesafe hesaplanır. Hesaplamalar Eşitlik 16 ve 17 kullanılarak yapılmış olup, pozitif ideale olan mesafenin hesaplanması için kare değerleri toplanmış ve karekökleri alınmıştır. Her kriterin karşılık gelen negatif ideal çözüm değerinden çıkarıldığı negatif ideal noktalara olan mesafeyi hesaplamak için aynı işlem tekrarlanmış, bu hesaplamalar Tablo 21’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 21. Pozitif İdeal ve negatif ideal çözüm değerleri

S _i ⁺	S _i ⁻
0,1041	0,2381
0,2101	0,0848
0,1715	0,0980
0,1516	0,1869

3.2.5. Göreceli Yakınlığın Hesaplanması

Göreceli yakınlık, bir önceki adımda elde edilen negatif ideal çözüm değeri ve pozitif ideal çözüm değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. Göreceli yakınlık değerlerini hesaplamak için öncelikle pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri toplanarak toplam uzaklık değeri elde edilmiştir. Daha sonra negatif ideal çözüm değerinin toplam uzaklık değerine bölünmesiyle bağlı yakınlık değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar için Eşitlik 18’den yararlanılmış olup, Tablo 22’de alternatif dönemlerin önem sıralamaları verilmiştir.

Tablo 22. Göreceli yakınlık değerleri

Alternatifler	C_i	Sıralama
COVID 1	0,695882755	1
COVID 2	0,287627289	4
COVID 3	0,363620243	3
DEPREM	0,552166657	2

E-ticaret sektöründe online alışverişte müşteri tercihlerinin belirlenmesi ve bu tercihlerin gelir yönetimini etkileme oranlarının belirlenmesine odaklanan bu çalışmada, e-ticaret müşterilerini en çok etkileyen dönemin 0,6958 göreceli yakınlık değeriyle COVID 1 dönemi olduğu tespit edilmiştir. İkinci sırada 0,56 değeriyle deprem dönemi gelirken, üçüncü sırada 0,36 değeriyle COVID-19 üçüncü dalgasının (COVID 3) yer aldığı belirlenmiştir. En az etkiyi gösteren COVID 2 dönemi ise 0,29 değeriyle son sırada yer almıştır. Bir başka ifadeyle bu dönemler arasında en çok etkilenen dönem COVID 1 olurken, ideal çözümden en uzak olan dönem ise COVID 2 olmuştur.

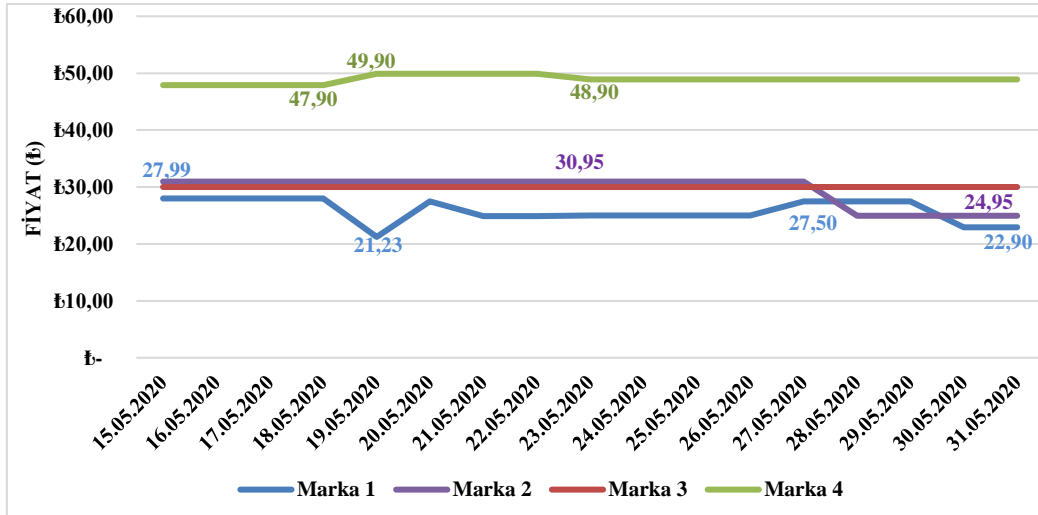
3.3. Güven Aralığı Hesaplaması

Bu çalışmada içecek kategorisinde yer alan ve en çok rağbet gören ürünlerin fiyatları kullanılarak güven aralığı hesaplaması yapılmıştır. Önceki bölümlerdeki TOPSIS hesaplamalarına göre en çok etkilenen dönemin COVID 1 dönemi olduğu gözlemlendi. Bu nedenle çalışmanın bu aşamasında, afet döneminde gelir yönetimi çalışmalarından en çok etkilenen dönem olan COVID 1 dönemine ait özel güven aralığı hesaplaması yapıldı.

Tablo 23. Siyah çay ve bitki çayı ürünlerinin güven düzeyi

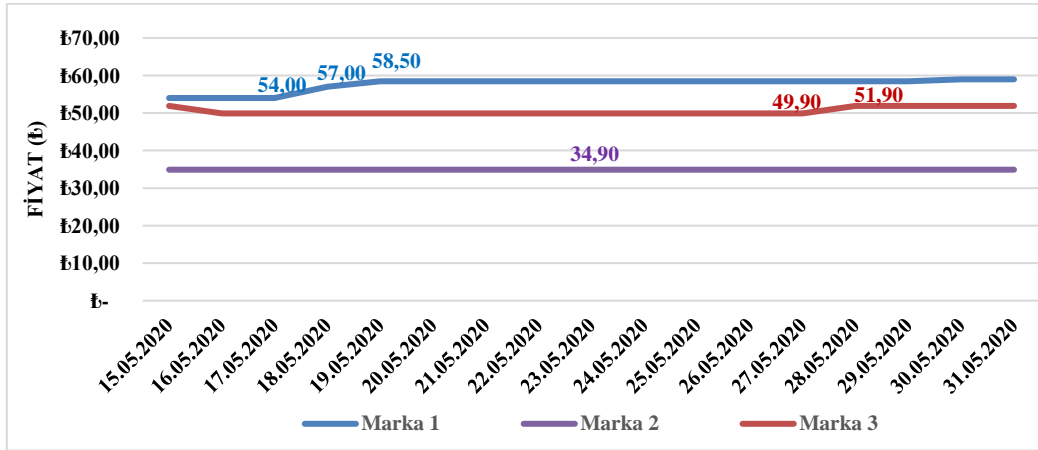
SİYAH ÇAY	Güven Seviyesi ($\alpha=0.05$)		Güven Seviyesi ($\alpha=0.1$)		Güven Seviyesi ($\alpha=0.9$)		Güven Seviyesi ($\alpha=0.95$)		Güven Seviyesi ($\alpha=0.01$)	
Marka 1	25,2	26,5	25,3	26,4	25,8	25,9	25,8	25,9	25,0	26,7
Marka 2	27,4	29,4	27,6	29,3	28,3	28,5	28,4	28,4	27,1	29,7
Marka 3	30,4	31,3	30,4	31,2	30,8	30,9	30,8	30,8	30,2	31,5
Marka 4	48,3	50,5	48,5	50,3	49,3	49,5	49,4	49,4	48,0	50,8
Marka 5 (Bitki Çayı)	7,2	7,5	7,2	7,5	7,3	7,4	7,4	7,4	7,1	7,6

Ürün çeşitliliğinin çok olması ve ürün gruplarının karşılaştırmaya uygunluğu nedeniyle farklı markalara ait soğuk ve sıcak içecek kategorisinde yer alan ürünler incelemeye alınmıştır. İlk olarak sıcak içecekler kategorisinde yer alan siyah çay ürünlerinin 31 günlük fiyat verileri değerlendirilerek güven aralıkları belirlenmiştir. Tablo 23'de ayrıntıları verilen hesaplama sonuçları, %99 güven aralığına sahip ürünlerin, %95 güven aralığından daha geniş bir fiyat aralığına sahip olduğunu göstermektedir. Müşterilerin ürünleri, bu aralıkların dışında yer alan fiyatlar ile karşılaşma ihtimali, müşteri memnuniyetini olumsuz yönde etkileyebilecek ve bu da kurumlar için önemli bir belirsizlik unsuru olacaktır. Online satışlarda siyah çaya alternatif olan bitki çaylarında ise Marka 5'in bir aydaki güven aralığının diğer ürün gruplarına göre daha dar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Siyah çay ürününün farklı markalarına ait 15 günlük fiyat dağılımı

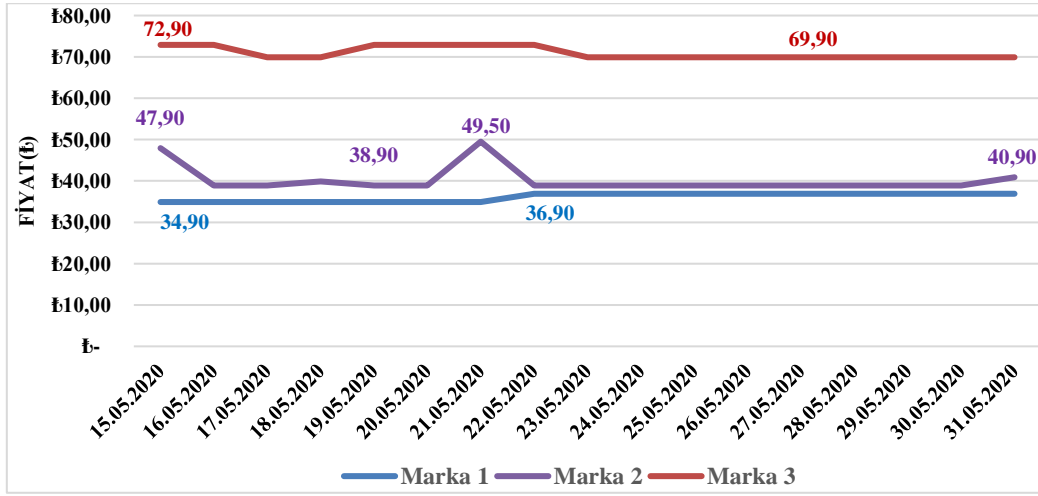
COVID 1 döneminde evde kalan müşterilerin sıklıkla tercih ettiği siyah çay ürünlerinin marka bazlı 15 günlük fiyat analizi Şekil 3 de sunulmuştur. İçecek segmentindeki bu kategori, farklı markalar arasında fiyat farklılıklarının önemli olmadığını göstermiş, özellikle Marka 1 siyah çay ürünlerinin diğer markalara göre daha fazla fiyat değişimi sergilediği tespit edilmiştir. Müşterilerin marka bazlı tercihlerinin online pazardaki değişkenliğe katkıda bulunduğu da bu fiyat alternatiflerinde gözlenmektedir.



Şekil 4. Granül kahve ürününün farklı markalarına ait 15 günlük fiyat dağılımı

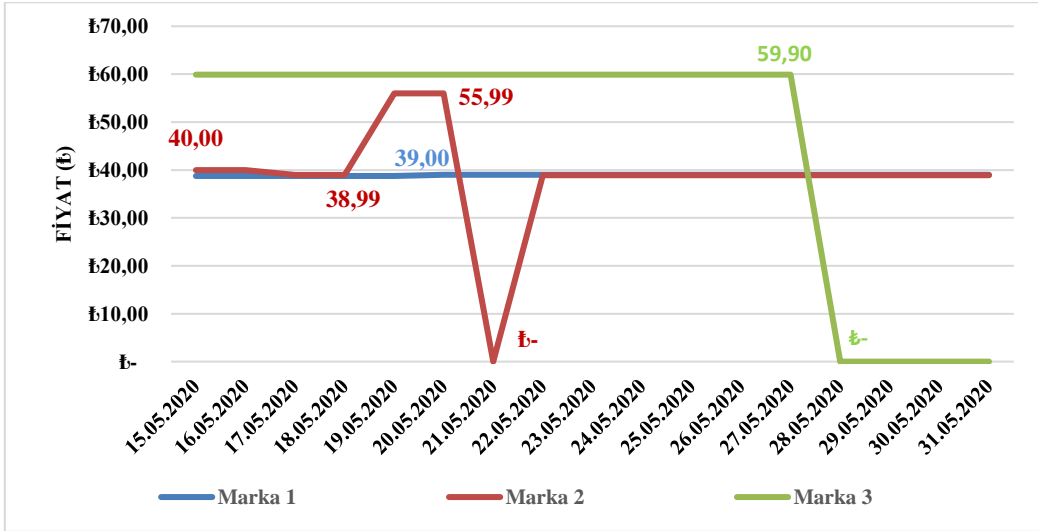
Türkiye'nin önde gelen bir e-ticaret mağazası için müşteri satın alım analizinde, toz kahve ürünlerinin COVID 1 dönemindeki 15 günlük fiyat değişimi Şekil 4'de gösterilmektedir. Tabloda da açıkça görüldüğü üzere en çok dinamik fiyatlandırmanın Marka 1 ürünlerinde gerçekleştirildiği gözlenmektedir. Diğer markalara bakıldığında Marka 2 ürünlerinin yaklaşık iki hafta boyunca fiyatlarını sabit tuttuğu, Marka 3 ürünlerinin ise minimum fiyat değişimi ile hareket ettiği görülmektedir. Bu bilgilere göre Marka 1, granül kahve kategorisinde müşteriler arasında en çok tercih edilen ve en çok

satan marka olarak belirlenmiştir. Bu nedenle de müşteri tercihlerinin sıklıkla etkilendiği ürünlerde hızlı bir şekilde fiyat değişimi gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.



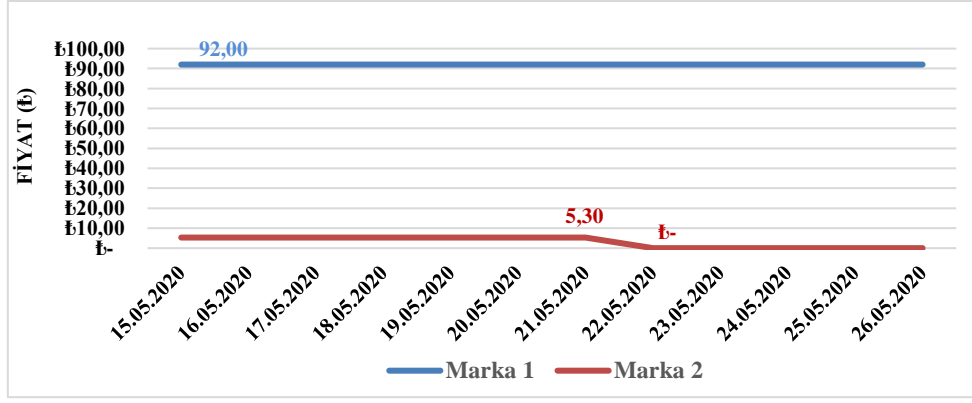
Şekil 5. Filtre kahve ürününün farklı markalarına ait 15 günlük fiyat dağılımı

Şekil 5’de gösterilen filtre kahve ürün fiyatlarının analizinde, üç markada dinamik fiyatlandırma gözlemlenmiş ve kısa süreler içerisinde hızlı fiyat dalgalanmaları tespit edilmiştir. Spesifik olarak Marka 2 ürünlerinde ani artış ve düşüşler görülmüş, bu da ürünün yüksek talep değişkenliğine işaret etmektedir.



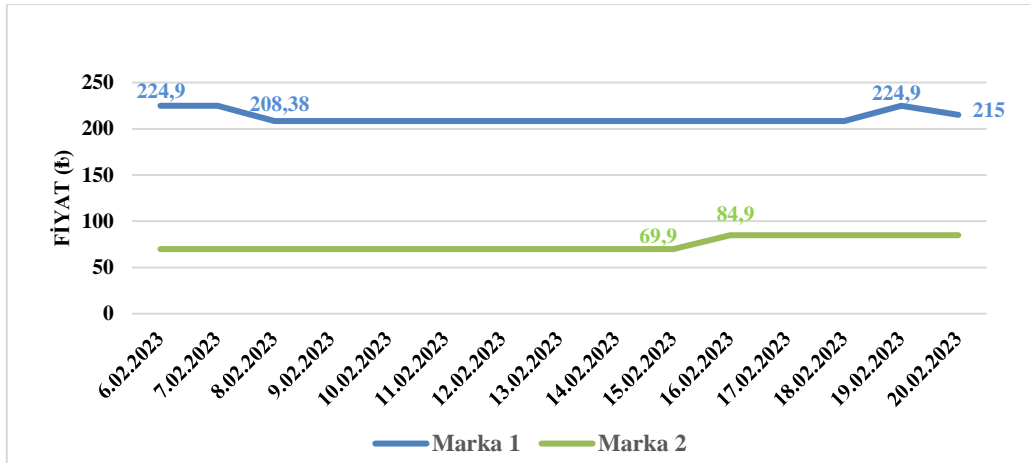
Şekil 6. Gazoz ürününün farklı markalarına ait 15 günlük fiyat dağılımı

Soğuk içecekler kategorisinde yer alan gazoz ürünlerinin 15 günlük fiyatlandırılması Şekil 6’da detaylandırılmıştır. Veriler, diğer markalarla karşılaştırıldığında Marka 2 ürünlerinde dinamik fiyatlandırmanın daha belirgin olduğunu ve fiyat dalgalanmalarının daha sık olduğu tespit edilmiştir. Marka 3 de ise fiyatın aynı kalıp belli bir süre sonra stoğun tükendiğini söylenebilir.



Şekil 7. Kola ürününün farklı markalarına ait 15 günlük fiyat dağılımı

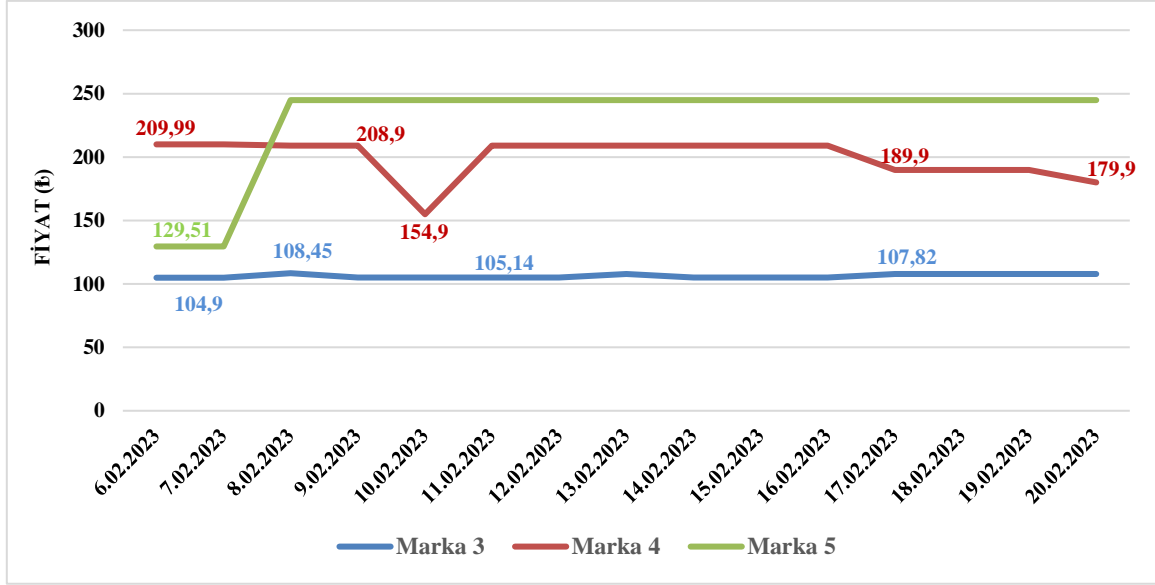
Soğuk içecekler kategorisindeki bir diğer popüler ürün olan kola ürünleriyle ilgili olarak, Şekil 7'deki veriler ışığında Marka 1'in ürünlerinin 12'li olarak satışa sunulduğu, Marka 2'nin ise tekli olarak müşterilere sunulduğu gözlemlenmiştir. Marka 2'ye olan yüksek talep nedeniyle genellikle stokta kalmadığı ve bu durumun müşteriler için "tükendi" ve sürekli yok algısına yol açtığını göstermektedir. Bir diğer açıdan diğer markanın toplu satış için ürünlerini teker teker satmaması, hem fiyat pahalılığı hem de çoklu ürün satın alma zorunluluğu şeklinde algılanmaktadır. Bu bağlamda Marka 1'in fiyatları çoğunlukla değişmemiş, önemli fiyat değişiklikleri olmaksızın müşterilere sunulmaya devam etmiştir. Deprem döneminde granül ve filtre kahve ürünlerinin fiyatları Şekil 8 ve 9'da incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu analiz ile üç marka arasında dinamik fiyatlandırma dalgalanmaları incelenmiştir. Granül kahve kategorisinde fiyat alternatifi olarak birbirinden çok uzak olan iki markanın pahalı olan ürün grubunda sıklıkla dinamik fiyatlandırılmanın uygulandığı ancak fiyat değişim skalasının düşük tutulduğu gözlenmiştir. Marka 2 için ise fiyat artışı yüzdesel olarak Marka 1'e göre daha yüksek oranda tek seferde yapılmıştır.



Şekil 8. Granül kahve ürününün farklı markalarına ait deprem dönemi 15 günlük fiyat dağılımı

Filtre kahve için ise özellikle Marka 4 ürün fiyatlarında hızlı artış ve düşüşler gözlenmiştir. Deprem döneminde soğuk hava koşulları nedeniyle kahve, çay gibi sıcak içecekler için talebin arttığı tespit edilmiştir. Marka 5'de ise, artan talep ile hızlı bir fiyat artışı gerçekleştirilmiştir. Aynı kategoride yer

alan Marka 3 ise ücret politikasını neredeyse 15 günlük süre boyunca sabit tutmuştur. Marka 1 ve 2 ürünlerine ulaşım sağlanamadığı için (tükenmesi dolayısıyla) Şekil 9’da yer almamıştır.



Şekil 9. Filtre kahve ürününün farklı markalarına ait deprem dönemi 15 günlük fiyat dağılımı

Tüm gerçekleştirilen ürün fiyatları ve stok durumları incelemesinde, özellikle depremin bölgesel etkisinin fiyatlamalarda sınırlı değişikliklere yol açtığı da gözlenmiştir. Ayrıca, deprem felaketinde farklı sektörlerin gösterdiği desteğe benzer şekilde online perakendenin de gelir yönetimi stratejisi kapsamında destekleyici fiyatlama politikalarını sürdürdüğü ve fiyat değişimlerini sınırlı tuttuğu tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında e-ticaret sektörü gelir yönetimi için ürünlerin dinamik fiyatlama politikaları, dört farklı afet dönemi için incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, belirlenen farklı kriterlere bağlı olarak, gelir yönetimi çerçevesinde doğal afet dönemlerinden en çok etkilenen dönemlerin bulunması amacıyla çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Farklı zorlu dönemlerde müşterilerin satın alma tutumlarının değiştiği ve buna bağlı olarak online sistemin dinamik fiyatlandırmasının da bu kapsamda değiştirildiği tespit edilmiştir. Pandemi ve deprem gibi doğal afet dönemini etkileyen kriterler AHP yöntemiyle ağırlıklandırılarak, TOPSIS yöntemiyle en çok etkilenen dönem seçimi yapılmıştır.

Online perakende ürünlerin dinamik fiyatlama aşamaları ve müşterilerin satın alma tutumları dikkate alınarak müşteri tercihlerinde etkili olan satın alma gücü, enflasyon, indirim ve düşük arz gibi kriterlerin etkisi saptanmıştır. Bu kriterlerin AHP yöntemiyle belirlenen ağırlıklandırma sırası satın alma gücü için 0,299, enflasyon için 0,358, indirim için 0,072 ve düşük arz için 0,271 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu kriter ağırlıkları TOPSIS yöntemi kullanılarak afet döneminin dalgaları olarak nitelendirilen

COVID 1, COVID 2 ve COVID 3 dönemi ve son olarak ülkemizde meydana gelen ve etkisi oldukça yüksek düzeyde hissedilen deprem dönemi için incelenmiştir. Bu dönemlerin çarpan etkisi ve değişen ülke koşulları nedeniyle gelir yönetimi sistemi kapsamında en çok etkilenen dönemin COVID 1 olduğu belirlenmiştir. İkinci önem sıralamasında, 0,5522 puanla deprem dönemi yer almış, bu sırayı 0,3636 puanla COVID 3 ve 0,2876 ile COVID 2 dönemi takip etmiştir. COVID 1 ve deprem dönemlerinde sonuçların birbirine yakın çıkmasının nedeni, deprem sonrasında hava koşulları dolayısıyla ortaya çıkan sağlık problemlerinin e-ticareti fazlasıyla etkilemesidir. COVID 1 dönemi, dünya genelinde yaşanan pandemi sonrası çarpan etkisi ve enflasyon, alım gücü gibi müşterilerin satın alma tutumunu etkileyen değişen ekonomik koşullarla müşterilerin satın alma davranışları değişmiştir. Ayrıca deprem dönemi ve COVID 1 döneminde belirsizliğin yüksek düzeyde olması dolayısıyla e-ticaret sektörünün lojistik ayağının da fiziksel olarak etkilendiği düşünülebilir.

Gerçekleştirilen araştırmalarda COVID 1 döneminde kriter ağırlıklarının yüksek olmasının sebebi; tüm dünyayı etkileyen ve küresel piyasaları sarsan belirsizliklerin oldukça yoğun olduğu, bu belirsizliklerden kaynaklanan panik atmosferinin hem üreticileri hem de tüketicileri yüksek düzeyde etkilediği ifade edilebilir. Tüketicinin ihtiyaçlarının kapanma dönemi dâhil artmaya devam ettiği içecek ürünlerine olan talebin arttığı bu sezonluk ürünlerin fiyatlarının, üreticilerin sınırlı çalışmaları nedeniyle taleplere yetişememeleri (tedarik düşüklüğü) nedeniyle arttığı gözlemlendi. İndirim kriterinin COVID 1 döneminde daha az etkilenmesinin nedeni ise, katsayının düşük olması yani yüksek talebe ayak uyduramayan arz kriteridir. Henüz yaraları sarılamayan afet döneminden çıkılmadan deprem gibi bir doğal afetin yaşanması çarpan etkileri artırmıştır. Böyle bir durumunda ise depremin 11 ilde meydana gelmesine rağmen depremzedelerin Türkiye'nin dört bir yanına göç etmesi ve Türkiye'nin diğer illerinden gelen ekiplerin arama kurtarma çalışmalarında yer alması, bu doğal afetin tüm Türkiye'yi etkilemesine neden olmuş ve bu panik havası tüm Türkiye'de hissedilmiştir. Deprem döneminde yüksek enflasyon ve düşük alım gücü ile hızla artan talebe ayak uyduramayan arz unsuru da fiyatlamayı büyük ölçüde etkilemiş olduğu belirlenmiştir.

COVID 1 dalgası olan COVID 3 dönemi fabrikaların açık olduğu ve kapanma korkusunun en az hissedildiği dönemdir. COVID 3 döneminde hızla artan enflasyon ve düşen satın alma gücü, indirimi daha da önemli hale getirmiştir. Belirsizliklerin tüm dünyada hissedildiği COVID 1 döneminde ve ilk dalgasında (COVID 2 dönemi) panik atmosferi devam etmiş, kapanmalar ise ilk döneme göre önemli ölçüde azalmıştır. Ancak küresel piyasaları sarsan enflasyon gibi COVID 1'in finansal etkileri artmaya devam etmiştir. Afet döneminde incelediğimiz bazı ürünlerde üretim aşamasını yürütüp büyük bir kısmını ihraç etmemize rağmen müşterilerin evde olduğu kapanma döneminde tüketim taleplerinin arttığı belirlenmiştir. Kahve ve çay başta olmak üzere bazı içecek kategorilerindeki ürünlerin iç ve dış talep miktarlarındaki değişime göre fiyatlandırıldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, e-ticaret sektöründe pandemi dönemi ve deprem gibi olağanüstü durumlar sırasında içeceklerin fazla kullanılması, bir dizi operasyonel ve pazarlama zorluğunu beraberinde getirdiği tespit edilmiştir. Ancak, bu dönemlerin aynı zamanda e-ticaret platformları için fırsatlar da sunabileceği, kurumların bu krizleri fırsata çevirerek,

esneklik, hızlı tepki verme yeteneği ve müşteri odaklılık gibi kavramları daha ön planda tutarak fiyatlandırmalar yapabileceği de düşünülmektedir.

Araştırmada, yaşanabilecek olağanüstü durumlarda e-ticaret sektöründe içeceklerin fazla kullanımının operasyonel ve pazarlama zorlukları getirdiği ancak bu durumların aynı zamanda firmalara fırsatlar da sunduğu vurgulanmaktadır. Firmaların, esneklik, hızlı aksiyon alma - tepki verme ve müşteri odaklılık gibi kavramları ön planda tutarak bu kriz dönemlerini fırsata çevirecek şekilde etkili fiyatlandırma stratejileri geliştirebildiği tespit edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar, makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Teşekkür

Bu araştırma, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Proje Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 22303014).

Kaynaklar

- Ballestar MT., Pilar GC., Jorge S. Predicting customer quality in e-commerce social networks: a machine learning approach. *Review of Managerial Science* 2019; 13: 589-603.
- Bandyopadhyay S., Thakur SS. Product prediction and recommendation in e-commerce using collaborative filtering and artificial neural networks: A hybrid approach. *Intelligent Computing Paradigm: Recent Trends* 2020; 59-67.
- Chornous G., Yaroslava H. Modeling and forecasting dynamic factors of pricing in e-commerce. *IT&I* 2020; 71-82.
- Den B., Arnoud V. Dynamic pricing and learning: historical origins, current research, and new directions. *Surveys in Operations Research and Management Science* 2015; 20(1): 1-18.
- Desticioğlu Taşdemir B., Kumcu S., Özyörük B. Comparison of E-commerce sites with pythagorean fuzzy AHP and TOPSIS methods. *Intelligent and Fuzzy Systems (INFUS) 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*.
- Dung T., My HT., Mai NH., Linh C. Application of Fuzzy-AHP-Topsis in online shopping selection on B2C e-commerce websites. *Valley International Journal Digital Library* 2020; 1196-1206.
- Fisher M., Santiago G., Jun L. Competition-based dynamic pricing in online retailing: A methodology validated with field experiments. *Management Science* 2018; 64(6): 2496-2514.

- Gabor MR., Mihaela K., Flavia DO. Yield management - a sustainable tool for airline e-commerce: dynamic comparative analysis of e-ticket prices for romanian full-service airline vs. low-cost carriers. *Sustainability* 2022; 14: 15150.
- Ijegwa AD. A bayesian based system for evaluating customer satisfaction in an online store. *Intelligent Systems and Applications: Proceedings of the 2018 Intelligent Systems Conference (IntelliSys) Volume 2*, Springer International Publishing, 2019.
- Le MT. Sustainable evaluation of e-commerce companies in Vietnam: a multi-criteria decision-making framework based on MCDM. *Mathematics* 2024; 12(11): 1681.
- Li R., Sun T. Assessing factors for designing a successful B2C E-Commerce website using fuzzy AHP and TOPSIS-Grey methodology. *Symmetry* 2020; 12(3): 363.
- Liu D., Bocheng C. Dynamic pricing for e-tailers with two B2C platform online-stores. *ICSSSM12, IEEE*, 2012.
- Loukili M., Fayçal M., Raouya EY. Implementation of machine learning algorithms for customer churn prediction. *Journal of Information Systems and Telecommunication (JIST)* 2023; 3: 196.
- Mamakou XJ., Roumeliotou KP. Evaluating the electronic service quality of E-shops using AHP-TOPSIS: the case of Greek coffee chains during the COVID-19 lockdown. *Journal of Electronic Commerce in Organizations (JECO)* 2022; 20(1): 1-17.
- Poh LZ., Connie T., Ong TS., Goh M. Deep reinforcement learning-based dynamic pricing for parking solutions. *Algorithms* 2023; 16(1): 32.
- Saaty T. *The analytic hierarchy process*. USA: McGraw-Hill International Book Company 1980.
- Šaković JJ. The relationship between e-commerce and firm performance: the mediating role of internet sales channels. *Sustainability* 2020; 12(17): 6993.
- Serth S. An interactive platform to simulate dynamic pricing competition on online marketplaces. *IEEE 21st International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC)*. IEEE, 2017.
- Ullah I., Adhikari D., Ali F., Ali A., Khan H., Sharafian A., Bai X. Revolutionizing e-commerce with consumer-driven energy-efficient WSNs: a multi-characteristics approach. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 2024.
- Ulmer MW. Dynamic pricing and routing for same-day delivery. *Transportation Science* 2020; 54: 1016-1033.
- Victor V. Factors influencing consumer behavior and prospective purchase decisions in a dynamic pricing environment—an exploratory factor analysis approach. *Social Sciences* 2018; 7(9): 153.
- Victor V. Investigating the dynamic interlinkages between exchange rates and the NSE NIFTY index. *Journal of Risk and Financial Management* 2021; 14(1): 20.
- Yapıcıoğlu AY. Glocalization of consumption culture through global brand advertisements. *Global Media Journal: Turkish Edition* 2019; 9(18).
- Ye X. Information asymmetry evaluation in hotel e-commerce market: Dynamics and pricing strategy under pandemic. *Information Processing & Management* 2023; 60: 103117.

Kahve Tüketiminin Meme Kanseri Karşı Koruyucu Etkisi

Deniz TAZE OĞLU¹, Fatma Bengü KUYULU BOZDOĞAN², Aybala TAZE OĞLU^{3*}

¹ Republic of Turkey Ministry of Health Osmaniye State Hospital, Surgical Oncology, Osmaniye, TÜRKİYE

^{2,3} Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye, TÜRKİYE

¹<https://orcid.org/0000-0002-5947-8653>

²<https://orcid.org/0000-0003-4400-6271>

³<https://orcid.org/0000-0002-4144-8456>

*Corresponding author e-mail: aybala_86@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 17.12.2023

Kabul tarihi: 29.07.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Meme kanseri

Kahve

Neoplazmlar

Risk

ÖZ

Meme kanseri gelişiminde önemli risk faktörü tanımlanmaktadır. Öte yandan koruyucu faktörler de güncel araştırmaların konusu olmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada kadınlardaki kahve tüketiminin meme kanserine karşı koruyucu etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Ocak 2022-Mayıs 2022 tarihleri arasında Onkoloji kliniğinde meme kanseri tanısıyla takip edilen (1. grup, n=72) ve meme ile ilgili herhangi bir hastalığı veya şikâyeti olmayan (2. grup, n=212) kontrol grubundaki kadın hastalar gözlemsel olarak incelenmiştir. Hastaların demografik verileri (yaş, cinsiyet), yandaş hastalık varlığı, menopoz durumu, beden kütle indeksi (BKİ), toplam vücut ve gövde yağ oranları (%) ile kahve tüketim miktarları kaydedilmiştir. Hastaların yaşları ortalama 49,68±11,43 yıl olarak bulunmuştur. Kontrol grubundaki hastaların kahve tüketimleri, 1. gruptakilere kıyasla daha fazla tespit edilmiştir (p=0,01). Günlük kahve tüketimi ile meme kanseri gelişme oranı arasında negatif ve anlamlı bir ilişki olduğu gözlenmiştir (p<0,05). Sonuç olarak; kadınlarda görülen meme kanseri ile kahve tüketimi arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir. Kahve tüketiminin meme kanserine karşı koruyucu etkisinin olabileceğine dair bulguların epidemiyolojik çalışmalar ile desteklenmesine ihtiyaç vardır.

Protective Effect of Coffee on Breast Cancer

Research Article

Article History:

Received: 17.12.2023

Accepted: 29.07.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Breast cancer

Coffee

Neoplasms

Risk

ABSTRACT

Important risk factors for the development of breast cancer are identified. On the other hand, protective factors are also the subject of current research. Therefore, this study aimed to investigate the protective effect of coffee consumption in women against breast cancer. Female patients in the control group who were followed up with a diagnosis of breast cancer in the Oncology clinic between January 2022 and May 2022 (group 1, n=72) and did not have any breast-related disease or complaints (group 2, n=212) were examined observationally. Demographic data of the patients (age, gender), presence of comorbidities, menopausal status, Body Mass Index (BMI), total body and trunk fat percentages (%), and coffee consumption amounts were recorded. The average age of the patients was found to be 49.68±11.43 years. The coffee consumption of the patients in the control group was determined to be higher compared to those in the 1st group (p = 0.01). It was observed that there was a negative and significant relationship between daily coffee consumption and breast cancer development rate (p<0.05). In conclusion; It has been determined that there is a relationship between breast cancer in women and coffee consumption. Findings that coffee consumption may have a protective effect against breast cancer need to be supported by epidemiological studies.

1. Introduction

Coffee, one of the most consumed beverages worldwide, contains various phytochemicals. It has been reported that the majority phytochemicals in coffee consist of antioxidants and provide 60% of the daily antioxidant intake (Svilaas et al., 2004; Halvorsen et al., 2006).

Caffeine, an essential component in coffee, has been suggested to exert anti-carcinogenic effects by altering antioxidant-sensitive element-mediated signaling. It is also known that diterpenes have anti-carcinogenic potential (Godos et al., 2017). Caffeic acid can inhibit deoxyribonucleic acid (DNA) methylation in cancerous cells. In addition, caffeic acid is associated with cell cycle regulation, inflammatory response, and apoptosis (Yu et al., 2011).

The World Cancer Research Fund (WCRF) published in 2007, reported a negative relationship between coffee consumption and cancer. However, an inverse relationship has also been reported without regional differences in the meta-analyses conducted since the publication of the WCRF report (Jiang et al., 2017; Li et al., 2013).

Epidemiological studies have evaluated the association between coffee consumption and cancer incidence or mortality. Most cancer research studies have focused on the gastrointestinal tract, bladder, endometrium, ovaries, lungs, and prostate. However, the limited number of studies have examined breast cancer. Therefore, this study was aimed to investigate the protective effect of coffee consumption on breast cancer.

2. Material and Method

The study was conducted between January and May 2022. Female patients were divided into two groups. In the first group, female patients who followed up with the diagnosis of breast cancer in the oncology clinic of our hospital (who underwent surgery with a breast cancer diagnosis, followed up on oncology) and agreed to participate in the study were included. In the second group, female patients without breast disease were included in the control group of the study. In the first group, female patients with inoperable or metastatic breast cancer, patients diagnosed with breast cancer and scheduled for surgery after preoperative systemic treatment were excluded from the study. In both groups patients, did not complete data and did not agree to participate in the study, were also excluded.

2.1. Data collecting

Female patients' demographic data (age, gender), presence of comorbid disease and menopausal status were recorded.

Body weight was recorded by the researchers after each patient was measured individually using a weighing scale.

The height of each patient was recorded using a height meter. Anthropometric measurements of height measurements (cm), body weights (kg), body fat percentage (%), abdominal fat percentage (%) were also recorded. Body Mass Index (BMI; kg/m²) was calculated by dividing body weight (kg) by height (m²) square. In addition, the body and abdominal fat rate estimated by bioelectrical impedance analysis (BIA) was calculated and recorded. Bioelectrical impedance analysis (BIA) is performed to calculate estimated body fat. In bioelectrical impedance analysis, a very small electrical current is passed through the person's body and the total body water in the person's body is measured through monitors (Ling et al., 2011).

Coffee consumption was asked to the patient and data was obtained using the food recording method. Patients' coffee consumption, coffee consumption status, daily coffee consumption status, and daily coffee consumption amount (cup) were recorded. A standard coffee cup is calculated as 200 ml. When questioning the food consumption method of the patients, they were questioned according to this value.

The study design and content were explained to all participants. Participants were asked to sign a voluntary consent form. This study was conducted according to the guidelines laid down in the Declaration of Helsinki and all procedures involving human subjects/patients were approved by the [Osmaniye State Hospital, Ministry of Health of the Republic of Turkey; 2022/623]. Written informed consent was obtained from all subjects/patients.

2.2. Statistical analysis

Mean, standard deviation, minimum and maximum values of the features were used in the statistics of continuous data in the scales. Frequency and percentage values were used to define categorical variables. Mean was used for daily coffee consumption amount. The Student's t-test was used to compare the means of two independent groups. The Chi-square test was used to evaluate the relationship between categorical variables. In order to evaluate coffee consumption and breast cancer incidence, logistic regression analysis was performed with the variables that were statistically significant using backward and enter methods. The statistical significance level of the data was taken as $p < 0,05$. Statistical analyzes were performed using the MedCalc program and www.e-picos.com.

3. Results

During the study, 89 patients were followed up due to breast cancer in the oncology clinic of our hospital. Five patients who received preoperative systemic therapy, seven patients with metastases in their postoperative follow-up, four patients who were considered inoperable at the first admission due to their metastases, and one who refused to participate in the study, were excluded from the study.

The study was conducted with 284 patients, 72 of whom met the inclusion criteria with a diagnosis of breast cancer (group 1) and 212 in the control group (group 2). The demographic and clinical characteristics of the patients in both groups are summarized in Table 1.

The mean age of the patients was 49.68±11.43 years. All of the patients were women. 119 (41.9%) of the patients were in the premenopausal period, and 165 (57,1%) were in the postmenopausal period. In addition, 159 (55.9%) of the patients had a comorbid disease history. There was no statistically significant difference between the groups regarding age, menopausal period, and comorbid disease (p>0,05) (Table 1).

In the first and control group; the mean BMI values were respectively 26.83±5.23 and 24,.47±4.83 kg/m²; the mean body fat ratio values were 42.63±10.52 and 38.05±8.89%, the mean abdominal fat ratio values were 32.17±6.57 and 29.43±4.56%. In the first group, the mean BMI and abdominal fat ratio values were statistically significantly higher than in the control group (p<0.001 for all) (Table 1). Of the patients 29 (40.3%) in group 1 and 121 (57.1%) in group 2 stated that they preferred to drink coffee. Seventeen (58.6%) patients in group 1 and 94 (77.7%) patients in group 2 consumed coffee regularly every day. Six (35.3%) of the patients in group 1 and 64 (68.1%) in group 2 were consuming ≥2 cups of coffee per day (Table 1).

Table 1. Demographic and clinical data of the patients

	All patients (n=284)	Group 1 (n=72)	Group 2 (n=212)	p value
	x±SD	x±SD	x±SD	
Age (year)	49.68±11.43	50.26±12.31	48.51±10.22	0.17*
BMI (kg/m²)	25.11±6.08	26.83±5.23	24.47±4.83	<0.001*
Body fat (%)	40.57±14.52	42.63±10,.52	38.05±8.89	<0.001*
Abdominal fat (%)	30.78±6.98	32.17±6.57	29.43±4.56	<0.001*
Coffee consumption amount (cup=200 ml)	1 (1-6) 0.79±0.71	1 (1-4) 0.68±0.52	1 (1-6) 0.83±0.61	<0.001*
	n (%)	n (%)	n (%)	
Menopause				
Premenopausal	119 (41.9)	25 (34.7)	94 (44.3)	0.15**
Postmenopausal	165 (57.1)	47 (65.3)	118 (55.7)	
Comorbid disease				
Yes	159 (55.9)	44 (61.1)	115 (54.2)	0.31**
No	125 (44.1)	28 (38.9)	97 (45.8)	
Do you drink coffee ?				
Yes	150 (52.8)	29 (40.3)	121 (57.1)	0.01**
No	134 (47,2)	43 (59,7)	91 (42,9)	
Do you drink coffee everyday?				
Yes	111 (74)	17 (58.6)	94 (77.7)	0.04**
No	39 (26)	12 (41.4)	27 (22.3)	
How many cups do you drink daily?				
1 (200 ml)	41 (36.9)	11 (64.7)	30 (31.9)	0.01**
≥2 (>200 ml)	70 (63.1)	6 (35.3)	64 (68.1)	

* Student's t-test, ** Chi-square (p<0.05).

The median coffee consumption value of the patients was one cup. The mean value of coffee consumption was statistically higher in group 2 than in group 1 (p<0.001). In addition, group 2 patients preferred to drink more coffee than group 1 (p=0.01). Coffee drinkers in group 2 consumed

more daily coffee and drank more cups of coffee compared to group 1 (p=0.04, p=0.01, respectively) (Table 1).

The risk of developing breast cancer in those who prefer to drink coffee is 51% of the risk of those who do not prefer coffee (OR: 0.51 95% CI 0.29 – 0.87). The risk of developing breast cancer in coffee drinkers and daily coffee drinkers is 41% compared to those who do not consume coffee daily (OR: 0.41 95% 0.17 – 0.96). Those who consume ≥ 2 cups of coffee per day have a 26% risk of developing breast cancer than those who consume one cup per day (OR: 0.26 95% 0.09 – 0.76). Consuming more than 2 cups of coffee every day statistically reduces breast cancer (p<0.05) (Table 2).

Table 2. Relationship between multivariate analysis and coffee consumption and breast cancer

	Odds ratio	95% Confidence Interval (Lower – Upper)	p value
Coffee consumption (yes/no)	0.51	0.29 – 0.87	<0.05*
Daily consumption (yes/no)	0.41	0.17 – 0.96	<0.05*
Amount of coffee consumed (200/\geq200)	0.26	0.09 - 0.76	<0.05*

* Multivariate Analysis of Variance, (p<0.05)

4.Discussion

Breast cancer is the most common cancer in women. Various mechanisms are effective in the formation of breast cancer in women. The current research topic is substances and agents that prevent breast cancer.

Coffee is the subject of current research into cancer prevention. The anti-carcinogenic effects of many substances in coffee have been described. The amount and type of antioxidant compounds consisting of polyphenols (caffeic acids, ferulic, chlorogenic and coumaric), diterpenes (kahweol and cafestol) and melanoidins formed during the roasting process depend on the type of coffee blend, brewing method, roasting degree and portion size (Alicandro et al., 2017).

In the report published in 2007 of a study conducted by the World Cancer Research Fund (WCRF), it was stated that there was a non-significant inverse relationship between drinking one cup of coffee a day and the risk of breast cancer (Van't et al., 2007; Jiang et al., 2013). In case-control studies where the relationship between colorectal cancer risk and coffee consumption was evaluated, no linear relationship was found regarding the decrease in the risk of colorectal cancer in those who consumed more than 4 cups of coffee per day, and in cohort studies, in those who consumed 5 cups of coffee per day (Tian et al., 2013). In our study, those who consume ≥ 2 cups of coffee a day have a 26% risk of developing breast cancer compared to those who consume one cup of coffee a day (OR: 0.26, 95% 0.09 – 0.76). Consuming more than 2 cups of coffee every day statistically reduces the risk of breast cancer (p<0.05) (Table 2).

Kahweal and cafetel are two specific diterpenes that are involved in inducing enzymes involved in carcinogenic detoxification. It is also known that these diterpenes provide inhibition of the enzyme responsible for carcinogenic activation (World Cancer Research Fund, 2007; Alicandro et al., 2017).

Coffee has been associated with inhibition of aromatase, the enzyme that converts androgens to estrogens. These mechanisms cause circulating free estrogen levels to be a risk factor for breast cancer. Coffee has been found to regulate estrogen levels (Liu et al., 2017). Additionally, coffee affects DNA damage repair, activation of proto-oncogenes, and inactivation of onco-suppressor (Ellingjord-Dale, 2021). Caffeine and coffee intake are inversely related, directly or indirectly, to free estradiol levels in women. Sex hormone binding globulin (SHBG) is effective in this mechanism. SHBG, the primary transporter of sex steroids, reduces circulating free estrogen levels. A positive relationship has been found between coffee consumption and SHBG in postmenopausal women (Grosso, 2017; Liu et al., 2017). In our study, there was no statistically significant difference between the groups in terms of menopausal period ($p>0.05$) (Table 1).

A meta-analysis of 21 prospective cohort studies reported a weak inverse association between coffee consumption and breast cancer (Lafranconi, 2018). Zheng et al. (2021) found no association between caffeine consumption and overall breast cancer risk. The data obtained from our study determined that breast cancer patients did not consume coffee or consumed less coffee. Based on these data, we think that coffee consumption has a preventive effect on breast cancer.

As seen in other types of cancer, breast cancer is accompanied by comorbidities. Insulin resistance and metabolic syndrome observed in cancer patients play an important role in the function of many endocrine and immune factors related to cell proliferation (Svilaas et al., 2004; Zheng, 2021). Coffee consumption is also thought to affect comorbidities. For example, studies aiming to reverse metabolic syndrome in breast cancer patients have emphasized that coffee consumption reduces the risk of diabetes, metabolic syndrome and hepatosteatosis (Marventano et al. 2016). In our study, the relationship between comorbidities in breast cancer patients was also examined, but no statistically significant difference was found. This situation was interpreted as a result of the similar distribution of the groups. Mehta et al. (2018) examined comorbidities in breast cancer patients and the mechanisms affecting their incidence. In our study, there was no statistically significant difference between the groups in terms of age, menopausal period and comorbidities ($p>0.05$) (Table 1).

Obesity is associated with a higher mortality rate from both premenopausal and postmenopausal breast cancer. Palmioli et al. (2017) found that the risk of postmenopausal breast cancer was positively associated with every 5 kg/m² increase in BMI. Obesity causes preadipocyte formation. In our study, the average BMI and abdominal fat ratio values in group 1 (patient group) were statistically significantly higher than the control group ($p<0.001$ for all) (Table 1).

5. Conclusion

Breast cancer is the most common type of cancer seen in women. Coffee may be a protective factor for breast cancer risk. More evidence considering population subsets and specific strata is needed to confirm the relationships obtained.

Acknowledgements: The authors declare no conflict of interest.

Statement of Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Ethics Committee Approval: The study was submitted to Osmaniye Korkut Ata University Ethics Committee and study approval was received (no: 2023/7/13).

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship and/or publication of this article.

Authorship : DT developed the study hypothesis, performed the data analysis, and wrote the first draft. FBKB and AT performed the data analysis and critically revised the manuscript. All authors approved the final manuscript.

References

- Alicandro G., Tavani A., La Vecchia C. Coffee and cancer risk: a summary overview. *Eur J Cancer Prev.* 2017; 26(5): 424-432.
- Ellingjord-Dale M., Papadimitriou N., Katsoulis M., Yee C., Dimou N., Gill D., Aune D., Ong JS., MacGregor S., Elsworth B., Lewis SJ., Martin RM., Riboli E., Tsilidis KK. Coffee consumption and risk of breast cancer: A Mendelian randomization study. *PLoS One.* 2021; 16(1): e0236904.
- Feigelson HS., Caan B., Weinmann S., Leonard AC., Powers JD., Yenumula PR., Arterburn DE., Koebnick C., Altaye M., Schauer DP. Bariatric surgery is associated with reduced risk of breast cancer in both premenopausal and postmenopausal women. *Ann Surg.* 2020; 272(6): 1053-1059. doi: 10.1097/SLA.0000000000003331.
- Godos J., Micek A., Marranzano M., Salomone F., Rio DD., Ray S. Coffee consumption and risk of biliary tract cancers and liver cancer: A dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Nutrients* 2017; 9(9): 950. doi: 10.3390/nu9090950.
- Grosso G., Godos J., Lamuela-Raventos R., Ray S., Micek A., Pajak A., Sciacca S., D'Orazio N., Del Rio D., Galvano F. A comprehensive meta-analysis on dietary flavonoid and lignan intake and cancer risk: Level of evidence and limitations. *Mol Nutr Food Res.* 2017; 61(4). doi: 10.1002/mnfr.201600930.

- Gunter MJ., Xie X., Xue X., Kabat GC., Rohan TE., Wassertheil-Smoller S., Ho GY., Wylie-Rosett J., Greco T., Yu H., Beasley J., Strickler HD. Breast cancer risk in metabolically healthy but overweight postmenopausal women. *Cancer Res.* 2015; 75(2): 270-274. doi: 10.1158/0008-5472.
- Halvorsen BL., Carlsen MH., Phillips KM., Bøhn SK., Holte K., Jacobs DR Jr., Blomhoff R. Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. *Am J Clin Nutr.* 2006; 84(1): 95-135. doi: 10.1093/ajcn/84.1.95.
- Harding JL., Shaw JE., Anstey KJ., Adams R., Balkau B., Brennan-Olsen SL., Briffa T., Davis TM., Davis WA., Dobson A., Flicker L., Giles G., Grant J., Huxley R., Knuiman M., Luszcz M., MacInnis RJ., Mitchell P., Pasco JA., Reid C., Simmons D., Simons L., Tonkin A., Woodward M., Peeters A., Magliano DJ. Comparison of anthropometric measures as predictors of cancer incidence: A pooled collaborative analysis of 11 Australian cohorts. *Int J Cancer.* 2015; Oct 1; 137(7): 1699-708. doi: 10.1002/ijc.29529.
- Jiang W., Wu Y., Jiang X. Coffee and caffeine intake and breast cancer risk: an updated dose-response meta-analysis of 37 published studies. *Gynecol Oncol.* 2013; 129(3): 620-629. doi: 10.1016/j.ygyno.2013.03.014.
- Lafranconi A., Micek A., De Paoli P., Bimonte S., Rossi P., Quagliariello V., Berretta M. Coffee intake decreases risk of postmenopausal breast cancer: A dose-response meta-analysis on prospective cohort studies. *Nutrients.* 2018; 10(2): 112. doi: 10.3390/nu10020112.
- Li XJ., Ren ZJ., Qin JW., Zhao JH., Tang JH., Ji MH., Wu JZ. Coffee consumption and risk of breast cancer: an up-to-date meta-analysis. *PLoS One.* 2013; 8(1): e52681. doi: 10.1371/journal.pone.0052681.
- Ling CH., de Craen AJ., Slagboom PE., Gunn DA., Stokkel MP., Westendorp RG., Maier AB. Accuracy of direct segmental multi-frequency bioimpedance analysis in the assessment of total body and segmental body composition in middle-aged adult population. *Clin Nutr.* 2011; Oct; 30(5): 610-615. doi: 10.1016/j.clnu.2011.04.001.
- Liu M., Song SS., Park S. Coffee intake interacted with the Bcl-2 rs1944420, rs7236090, and rs2849382 haplotype to influence breast cancer risk in middle-aged women. *Nutr Cancer.* 2022; 74(1): 131-140. doi: 10.1080/01635581.2021.1871926.
- Lowcock EC., Cotterchio M., Anderson LN., Boucher BA., El-Sohemy A. High coffee intake, but not caffeine, is associated with reduced estrogen receptor negative and postmenopausal breast cancer risk with no effect modification by CYP1A2 genotype. *Nutr Cancer* 2013; 65(3): 398-409.
- Marventano S, Salomone F, Godos J, Pluchinotta F, Del Rio D, Mistretta A, Grosso G. Coffee and tea consumption in relation with non-alcoholic fatty liver and metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Clin Nutr.* 2016 Dec; 35(6): 1269-1281. doi: 10.1016/j.clnu.2016.03.012.

- Mehta LS., Watson KE., Barac A., Beckie TM., Bittner V., Cruz-Flores S., Dent S., Kondapalli L., Ky B., Okwuosa T., Piña IL., Volgman AS. American heart association cardiovascular disease in women and special populations committee of the council on clinical cardiology; council on cardiovascular and stroke nursing; and council on quality of care and outcomes research. cardiovascular disease and breast cancer: Where these entities intersect: A scientific statement from the american heart association. *Circulation*. 2018; Feb 20; 137(8): e30-e66.
- Moslehi JJ. Cardiovascular toxic effects of targeted cancer therapies. *N Engl J Med*. 2016; 375(15): 1457-1467. doi: 10.1056/NEJMra1100265.
- Palmioli A., Ciaramelli C., Tisi R., Spinelli M., De Sanctis G., Sacco E., Airoidi C. Natural compounds in cancer prevention: Effects of coffee extracts and their main polyphenolic component, 5-O-caffeoylquinic acid, on oncogenic ras proteins. *Chem Asian J*. 2017; Sep 19; 12(18): 2457-2466. doi: 10.1002/asia.201700844.
- Steele CB., Thomas CC., Henley SJ., Massetti GM., Galuska DA., Agurs-Collins T., Puckett M., Richardson LC. Vital signs: Trends in incidence of cancers associated with overweight and obesity - United States, 2005-2014. *Morb Mortal Wkly Rep*. 2017; 66(39): 1052-1058. doi: 10.15585/mmwr.mm6639e1.
- Svilaas A., Sakhi AK., Andersen LF., Svilaas T., Ström EC., Jacobs DR Jr., Ose L., Blomhoff R. Intakes of antioxidants in coffee, wine, and vegetables are correlated with plasma carotenoids in humans. *J Nutr*. 2004; 134(3): 562-567. doi: 10.1093/jn/134.3.562.
- Tamaki K., Tamaki N., Terukina S., Kamada Y., Uehara K., Arakaki M., Miyashita M., Ishida T., McNamara KM., Ohuchi N., Sasano H. The correlation between body mass index and breast cancer risk or estrogen receptor status in Okinawan women. *Tohoku J Exp Med*. 2014; Nov; 234(3): 169-174. doi: 10.1620/tjem.234.169.
- Tian C., Wang W., Hong Z., Zhang X. Coffee consumption and risk of colorectal cancer: a dose-response analysis of observational studies. *Cancer Causes Control* 2013; 24(6): 1265-1268.
- Van't Veer P., Kampman E. Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective. *World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research* 2007.
- Yaghjian L., Rich S., Mao L., Mai V., Egan KM. Interactions of coffee consumption and postmenopausal hormone use in relation to breast cancer risk in UK Biobank. *Cancer Causes Control*. 2018; Jun; 29(6): 519-525. doi: 10.1007/s10552-018-1028-x.
- Yu X., Bao Z., Zou J., Dong J. Coffee consumption and risk of cancers: a meta-analysis of cohort studies. *BMC Cancer* 2011; 11: 96. doi: 10.1186/1471-2407-11-96.
- Zheng KH., Zhu K., Wactawski-Wende J., Freudenheim JL., LaMonte MJ., Hovey KM., Mu L. Caffeine intake from coffee and tea and invasive breast cancer incidence among postmenopausal women in the Women's Health Initiative. *Int J Cancer* 2021; Dec 15; 149(12): 2032-2044. doi: 10.1002/ijc.33771.

Elektromanyetik Ekranlama İşlemlerinde Kullanılan Çeşitli Malzemelerin Değerlendirilmesi

Uğur SORGUCU¹, Sema ATASEVER^{2*}

¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir

² Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir

¹<https://orcid.org/0000-0001-9227-1526>

²<https://orcid.org/0000-0002-2295-7917>

*Sorumlu yazar: sema@nevsehir.edu.tr

Derleme

ÖZ

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 06.11.2023

Kabul tarihi:04.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Elektromanyetik ekranlama

Elektromanyetik girişim

Ekranlama etkinliği

Kompozit

Polimer

Elektromanyetik ekranlama; günümüz teknolojik dünyasında büyük öneme sahip bir konudur. Elektromanyetik kirlilik, elektronik cihazlardan ve dış kaynaklardan yayılan elektromanyetik alanların istenmeyen etkilerine işaret eder. Bu tür etkiler, sağlık sorunlarından elektronik cihazların çalışma performansını etkileyen sorunlara kadar uzanabilir. Elektromanyetik ekranlama, bu olumsuz etkileri en aza indirmek için kullanılan yöntemler bütünüdür. Bu nedenle elektromanyetik ekranlayıcı malzemelerin özelliklerinin araştırılması, modern teknolojinin sürdürülebilirliği açısından da hayati öneme sahiptir. Bu derleme çalışması, farklı malzemelerin elektromanyetik ekranlama kapasitelerini incelemekte ve endüstri, tıp, savunma ve iletişim gibi birçok alanda uygulama potansiyeli taşıyan bu teknolojinin gelişimini ilerletmeyi amaçlamaktadır. Sonuç olarak, malzemelerin elektromanyetik ekranlama özelliklerini derleyen bu makale, elektromanyetik alanların kontrolünü sağlamak için bu malzemelerin nasıl kullanılabileceği konusunda bilimsel bir temel sunmaktadır.

Evaluation of Various Materials Used in Electromagnetic Shielding Processes

Reviews

ABSTRACT

Article History:

Received: 06.11.2023

Accepted: 04.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Electromagnetic shielding

Electromagnetic interference

Shielding effectiveness

Composite

Polymer

Electromagnetic shielding is a topic of major importance in today's technological world. Electromagnetic pollution refers to the undesirable effects of electromagnetic fields emitted from electronic devices and external sources. Such effects can range from health problems to problems affecting the operating performance of electronic devices. Electromagnetic shielding is a set of methods used to minimize these negative effects. For this reason, investigating the properties of electromagnetic shielding materials is of critical importance for the sustainable development of modern technology. This review study examines the electromagnetic shielding capacities of different materials and aims to advance the development of this technology, which has the potential for applications in many fields such as industry, medicine, defense, and communication. In conclusion, this article, which reviews the electromagnetic shielding properties of materials, provides a scientific basis on how these materials can be used to control electromagnetic fields.

To Cite: Sorgucu O., Atasever S. Elektromanyetik Ekranlama İşlemlerinde Kullanılan Çeşitli Malzemelerin Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1860-1881.

1. Giriş

Günümüzün hızla ilerleyen teknolojik ortamı, elektromanyetik alanların her zamankinden daha yaygın bir şekilde kullanılmasına neden olmaktadır. Kablosuz iletişim, radyo frekanslı tanıma, elektrik enerjisi iletimi ve birçok diğer uygulama elektromanyetik alanların önemini vurgulamaktadır. Ancak bu elektromanyetik alanlar, bir taraftan cihazların performansını artırırken diğer taraftan çevresel ve insan sağlığıyla alakalı potansiyel riskler de taşıyabilmektedir (Jha, 2012). Bu bağlamda, elektromanyetik kirlilik ve elektromanyetik etkileşimlerle mücadele etme ihtiyacı daha önemli hale gelmektedir. Elektromanyetik ekranlama, bu zorluğun üstesinden gelmek için tasarlanan bir dizi teknik ve malzeme çeşitliliğinden faydalanır. Bu teknikler ve malzemeler, elektromanyetik alanların yayılmasını engelleyerek istenmeyen etkileri minimize etmeye yardımcı olur. Elektromanyetik kalkanlama ve ekranlama çalışmaları, birçok disiplini kapsamakta ve elektromanyetik alanlar ile malzemelerin etkileşimi bu konunun temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada; elektromanyetik alanlar ile malzemelerin etkileşimi derinlemesine incelenmiştir. Malzemelerin elektromanyetik alanlarla etkileşimi bu konunun anahtarıdır. Bahsedilen bu etkileşimler özel uygulamalara ve gereksinimlere bağlı olarak değişebilen malzeme seçimini ve tasarımını yönlendirmektedir. Elektromanyetik ekranlama malzemeleri, genellikle elektromanyetik dalgaları soğurma, yansıtma veya saçma özelliklerine sahip olurlar. Bu nedenle, bu özelliklerin anlaşılması ve optimize edilmesi, malzemelerin performansını belirlemek için kritik öneme sahiptir (Smith ve Pendry, 2006; Hamouni ve ark., 2014).

Elektromanyetik uyumluluk çalışmaları, askeri kalkanlama, tıbbi cihazlar ve elektromanyetik radyasyonun etkilerini azaltma gibi çok sayıda çalışma alanına sahiptir (Paul ve ark., 2022). Bu nedenle, elektromanyetik ekranlama çalışmalarının, teknolojik gelişmelere ayak uydurmayı ve çevresel etkilere karşı koruma sağlamayı amaçlayan araştırmacılara önemli bir potansiyel sunacağı düşünülmektedir.

Ekranlamada kullanılan malzemeler özel uygulamalara ve gereksinimlere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Gelişen günümüz teknolojisi, farklı geniş bant aralıklarındaki çalışmaları desteklediği gibi farklı frekansların aynı uygulamalarda çalışmasına da izin verebilmektedir. Bu sebeple kullanılan ekranlama malzemeleri de ilgili probleme göre seçilir hale gelmiştir. İletken özelliği yüksek metaller, farklı tekniklerle üretilen kompozitler ve polimerler en sık kullanılan malzeme çeşitleri olarak literatürde görülmektedir. Malzeme sınıfları ve detayları ile ilgili bölümler aşağıda detaylıca izah edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda ekranlama malzemesi seçilirken temel alınan iki anahtar özellik bulunmaktadır. Bunlar, yüksek elektriksel iletkenlik ve yüksek manyetik geçirgenliktir. Yüksek elektriksel iletkenlik; elektromanyetik dalganın ilgili malzeme ile etkileşimi halinde yüksek yansıtma sağlamaktadır. Yüksek manyetik geçirgenlik ise, malzeme ile elektromanyetik alanın etkileşimi durumunda manyetik enerjii ısıya çevirerek soğurma işlemini yapmaktadır (Yılmaz, 2014). Her malzemenin elektriksel ve manyetik özelliği birbirinden farklıdır. Malzemenin pürüzlü olup olmaması, kalınlığı ve saflığı ekranlama performansı üzerinde doğrudan etkilidir (Hariyawan ve ark., 2021). Bu sebeple ekranlama uygulamalarında probleme uygun malzeme seçimi önem arz etmektedir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde, ekranlama uygulamalarında kullanılan malzemeler çeşitli başlıklar altında incelenecek ve ölçüm yöntemlerinden bahsedilecektir.

1.1. Ekranlamada Kullanılan Metaller

Elektromanyetik alanlar; modern teknolojinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Kablosuz iletişim, elektrik enerjisi iletimi, radyo yayınları ve bir dizi diğer uygulama, elektromanyetik dalgaların kullanımını içerir. Ancak bu elektromanyetik alanlar, elektronik sistemler, insan sağlığı ve diğer hassas cihazlar üzerinde istenmeyen etkilere neden olabilmektedir (Luo ve ark., 2020; Schuermann ve Mevissen, 2021; Markus ve ark., 2023). Elektromanyetik kirlilik ve elektromanyetik girişim, bu konulara karşı çeşitli endişeler oluşturmuştur. Elektromanyetik ekranlama, bu tür istenmeyen etkilere karşı koruma sağlamak amacıyla geliştirilen bir tasarım yaklaşımı olarak da kullanılabilir (Yu ve ark., 2023). Bu teknikler ve malzemeler, elektromanyetik alanların kontrolünü ele almaktadır ve bu alanların istenmeyen etkilerini minimize etmeyi amaçlar (Li ve ark., 2010; Los ve ark., 2016). Bu bağlamda, elektromanyetik alanlar ile malzemelerin etkileşimi ve metallerin bu bağlamdaki rolü oldukça kritik bir öneme sahiptir (Bachir ve ark., 2016). Elektromanyetik ekranlama uygulamalarında kullanılan metaller, elektromanyetik alanlara karşı koruyucu bariyerler oluşturmak için önemli bir bileşeni temsil eder. Bu metaller, elektromanyetik dalgalara karşı etkili bir şekilde direnç gösterir ve bu dalgaların yayılmasını engeller. Elektromanyetik kalkanlama ve ekranlama performansını belirleyen faktörler arasında metallerin seçimi ve özellikleri önemli bir rol oynar.

Elektromanyetik ekranlama ve kalkanlama uygulamalarında yaygın olarak kullanılan metaller arasında; bakır, alüminyum, nikel ve demir sayılabilir. Ancak bunlarla metalleri sınırlandırmak mümkün değildir. Nitekim ismi anılan metallerden çok daha fazlası hali hazırda kullanılmaktadır ve birçoğu ile ilgili çalışmalar da devam etmektedir. Ancak periyodik cetveldeki tüm metalleri bu çalışma kapsamında değerlendirmek pratik olarak mümkün değildir, bu sebeple burada en çok kullanılan birkaç metale değinilmiştir.

1.1.1. Bakır (Cu)

Bakır; yüksek elektriksel iletkenliği sayesinde elektromanyetik ekranlama ve kalkanlama uygulamalarında en sık tercih edilen metallerden biridir (Kaya ve Çifci, 2018). Ayrıca bakır, maliyet açısından da oldukça makul bir seçenektir (Chang ve ark., 2022). Bakır folyo veya kaplama malzemeler, elektronik cihazlar ve Radyo Frekansı (RF) ekranlamada kullanılır (Chen ve ark., 2015). Bakırın yansıtma özellikleri ve iletkenliği, elektromanyetik dalgaların soğurulmadan yansıtılmasına yardımcı olur (Inudo ve ark., 2013). Örneğin, Yeşildağ ve Kadoğlu'nun çalışması (2018), bakır özlü ipliklerin kullanılmasıyla daha iyi elektromanyetik ekranlama performansına erişilebileceğini vurgulamaktadır.

1.1.2. Alüminyum (Al)

Alüminyum; hafifliği ve düşük maliyeti nedeniyle elektromanyetik ekranlama uygulamalarında sıklıkla tercih edilen bir başka metaldir (Xu ve Hao, 2014). Alüminyum folyo veya kaplama malzemeler, birçok endüstriyel uygulama için idealdir (Wanasinghe ve Aslani, 2019). Alüminyum hem saf halde hem de alaşım olarak kullanılabilir. Literatürde alüminyumdan faydalanan birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Bulut ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada birçok metali ev içindeki elektromanyetik alanın yansıtılmasında denemişlerdir ve bu çalışmada kullanılan metallerden birisi olan alüminyumun elektromanyetik ekranlama konusunda kullanılabilirliği görülmüştür. Yang ve ark., (2017) alüminyum köpüğün elektromanyetik ekranlama etkisinin değerlendirdikleri çalışmada, alüminyum köpüğün kompozit ile neredeyse aynı, ancak 304L paslanmaz çelikten biraz daha iyi ekranlama performansı gösterdiğini vurgulamışlardır.

1.1.3. Nikel (Ni)

Nikel; özellikle yüksek frekansta çalışan elektromanyetik dalgaları yansıtma yeteneği nedeniyle elektromanyetik ekranlama için kullanılmaktadır. RF ve mikrodalga ekranlama uygulamalarında tercih edilir. Testov ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada 2-18 GHz frekans bandındaki nikel ile ince film kaplama konusunu araştırmışlardır ve 35 dB'ye kadar ekranlama etkinliği sağlanmıştır. Bir diğer çalışmada ise, karbon fiber üzerine yapılan nikel kaplama ile çimentonun elektromanyetik girişim korumasının arttığı belirlenmiştir (Ozturk ve Chung, 2021a). Ekranlama performansındaki bu artışın, nikelin elektriksel özelliklerinden kaynaklandığı da yine aynı çalışmada vurgulanmıştır. İrgin (2022) çalışmasında, karbon fiber kumaşlar üzerine nikel kaplama yaparak 3 farklı frekans için ölçümler gerçekleştirmiştir. 300-1500 MHz, 2170-3300 MHz, 3300-4900 MHz nikel kaplamanın her frekans bölgesi için kalkanlama özelliklerini arttırdığı raporlanmıştır.

1.1.4. Demir / Çelik

Demir ve çeliğin; sahip olduğu özellikler nedeniyle elektromanyetik ekranlama ve kalkanlama uygulamalarında yaygın olarak kullanıldığına dair çeşitli araştırmalar mevcuttur. Fiziksel özellikleri sebebiyle sıklıkla tercih edilen bir malzemedir. Elektromanyetik alanların özellikle manyetik bileşenleri üzerinde etkili bir şekilde kontrol sağlamak için kullanılmaktadır. Manyetik kalkanlama gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ozturk ve Chung, 2021b). Demir ve çelik ile yapılan çalışmalar inşaattan tekstile birçok alanda sürdürülmektedir. Örneğin; Yuan ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada beton içine çelik çürüfleri katarak 600-1000 MHz frekans bandında ölçümler yapmışlardır. Yapılan çalışmada çelik çürüf katılan numunelerin saf hallerine göre daha iyi ekranlama performansı gösterdiği bulunmuştur. Başka bir çalışmada (Jagatheesan ve ark., 2018) bir dizi iletken hibrit örme kumaş ve bunların kompozitleri, 50 MHz ila 1,5 GHz (düşük frekans) ve 4 ila 8 GHz (C-Bandı) frekans aralıklarında ekranlama etkinliği açısından incelenmiştir. Çelik katkılı ipliklerle hazırlanan numunelerin 20-45 dB daha iyi ekranlama performansı gösterdiği vurgulanmıştır.

Demir katkılı ürünlerden özellikle yüksek frekanslı uygulamalarda faydalanılmaktadır. Nitekim, Singh ve ark., (2017) demir tozları ve demir cürufu ile numuneler hazırlamışlardır ve her iki katkı durumunda da daha iyi ekranlama performansı elde etmişlerdir. Bu çalışma gama radyasyon bölgesinde yapılmıştır. Bununla birlikte, saf uçucu kül ile karşılaştırılmış ve cürufun radyasyon kalkanlama konusunda da uçucu külden daha iyi bir agrega olduğu görülmüştür.

Görüldüğü gibi metallerin seçimi, uygulamanın ya da problemin ihtiyaçlarına ve elektromanyetik alanın frekansına bağlı olarak değişmektedir. Her metal, farklı frekansta çalışan elektromanyetik dalgaları etkili bir şekilde kalkanlayabilir. Elektromanyetik ekranlama uygulamaları, elektronik cihazlardan tıbbi ekipmanlara, askeri sistemlere ve daha fazlasına kadar geniş bir yelpazede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metaller, elektromanyetik kalkanlama ve ekranlama performansını artırarak, uygulamaların güvenilirliğini ve işlevselliğini sağlamaya yardımcı olur.

1.2. Ekranlamada Kullanılan Kompozitler

Kompozitler veya kompozit malzemeler; farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşen malzemeden oluşan tasarlanmış malzemelerdir (Egbo, 2021). Elektromanyetik ekranlama uygulamalarında kullanılan kompozitler, genellikle metallerin ve dielektrik malzemelerin bir kombinasyonunu içermektedir (Los ve ark., 2016). Bu kombinasyon, elektromanyetik alanları etkili bir şekilde soğurma, yansıtma ve saçma yeteneğini barındırmaktadır. Kompozit malzemelerin elektromanyetik ekranlama performansı, içerdikleri malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Bu konuda yakın zamanda yürütülen çalışmaların sayısı oldukça fazladır. Metallerle karşılaştırıldığında; polimerler hafiflik, yüksek korozyon direnci, iyi işleme performansı ve maliyet rekabeti gibi benzersiz avantajlara sahiptir. Bu nedenle ekranlama davranışını sergileyen polimerler ve kompozitleri literatürde büyük ilgi görmüştür (Tian ve ark., 2023). Los ve ark., (2016) çalışmalarında elektromanyetik alan kalkanı için metalik dolgulu polimer kompozitlere artan ilgiyi vurgulamaktadır. Balan ve ark., (2016) bir polimer matris içine gömülü Ni ve Fe tozlarından oluşan kompozit malzemelerin elektromanyetik kalkanlama yeteneklerini araştırmış ve nikel ve demir tozlarına karbon matrislerin eklenmesi ile çok daha iyi ekranlama performansı gözlemlendiğini raporlamışlardır. Bu çalışma 0,9-4 GHz bandında yürütülmüştür, bu anlamda mikrodalga/haberleşme bandı için kullanılabilir yeni bir malzeme olduğu söylenebilir. Kompozit malzemeler aynı zamanda atık malzemelerden de oluşturulabilmektedir. Jakubas ve ark., (2023) elektromanyetik alan ekranlanması için geri dönüştürülmüş malzemelere dayalı polimer-metal kompozitlerin kullanımını araştırmışlardır. Özetle, metallerin avantajlarının yanı sıra birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Şöyle ki; metaller yoğun yapıları sebebiyle ağırlık, montaj ve taşıma yönünden ciddi zorluklar oluşturabilirler. Bununla birlikte, metallerin pahalı malzemeler olması muhafaza maliyetini genellikle arttırmaktadır. Ayrıca, korozyon ve iletkenlik gibi yapısal riskleri de bulunmaktadır. Tüm bu hususlar göz önünde alınarak işlemler yapılmalıdır. Bu bağlamda kompozitler birçok uygulama alanında başarılı sonuçlar üretmektedir (Barsukov ve ark., 2018). Ancak kompozitleri tek bir başlık altında incelemek, sistematik bir hata doğuracaktır ve anlam karmaşası oluşturacaktır. Bu

sebeple, aşağıda bazı kompozit malzeme türleri ve elektromanyetik ekranlama özellikleri sırasıyla sunulmuştur.

1.2.1. Karbon Nanotüp Kompozitler

Karbon nanotüpler; mükemmel elektriksel iletkenlikleri nedeniyle elektromanyetik kalkanlama uygulamaları için idealdir. Bu nanotüpler, elektromanyetik dalgaları iyi bir şekilde absorbe edebilirler. Karbon nanotüp kompozitler, hafiflikleri ve mükemmel iletkenlikleri ile bilinmektedir. Bu sebeple birçok frekans bölgesinde tercih edilmektedir. Örneğin, Wan ve ark., (2020) 5 GHz frekans bölgesinde çalışmalar yürüterek, karbon-nano tüp ile yapılan film kaplamanın yeterli elektromanyetik ekranlama performansı gösterdiğini ve giyilebilir elektronik endüstri sektörü adına önemli sonuçlar elde edildiğini vurgulamışlardır. Ayrıca, karbon nano tüp kompozitlerin yüksek performanslı elektromanyetik parazit (EMI) koruyucu malzemelerin geliştirilmesinde de kullanılabileceği literatürde bahsedilen bir diğer husus olmuştur. Nitekim Poothanari ve ark., (2019) karbon nano tüpler de dahil olmak üzere çeşitli karbon nano yapıların kullanımını tartışmaktadır ve gelişmiş yeni teknikler ile yüksek ekranlama performanslarının elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada Zhang ve ark., (2019) elektromanyetik girişimin ekranlanması uygulamaları için karbon nano tüp tabanlı nanokompozitlerin önemini vurgulamakta ve belirli gereksinimleri karşılamak için özelliklerinin ayarlanabilirliğini tartışmaktadır. Kompozitlerin oluşturulma biçiminin ve kompoziti oluşturan malzemelerin değiştirilmesi ile farklı frekanslarda etkin kompozitlerin oluşturulabileceği söylenmiştir.

1.2.2. Karbon Fiber Kompozitler

Karbon fiber; yüksek mukavemet ve hafiflik kombinasyonu ile elektromanyetik ekranlama için kullanılmaktadır. Bu kompozitler genellikle elektromanyetik dalgaları iyi bir şekilde yansıtır ve saçar. Bu tip karbon fiber malzemelerle gerçekleştirilen pek çok çalışma bulunmaktadır. Wanasinghe ve ark., (2020) çalışmalarında 3,6 ve 12 mm boyutlarında karbon taneleri çimentoya farklı oranlarda (%0,1, %0,3, %0,5 ve %0,7) karıştırarak, her karışıma ilişkin elektriksel, mekaniksel ve ekranlamaya ilişkin ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, karbon fiber eklenmesiyle, bükülme, elektriksel iletkenlik ve ekranlama özelliklerinde ciddi bir iyileşmenin olduğu yönündedir. Bir diğer çalışmada Zhang ve ark., (2013) karbon fiber takviyeli yeni bir köpük üreterek, geliştirilen bu yeni ürünün elektromanyetik ekranlama özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma 30-1200 MHz bandında gerçekleştirilmiştir. Hacimce %2'lik karbon fiber katkısının 25 dB'ye kadar daha iyi ekranlama performansı gösterdiği raporlanmıştır.

Literatürde karbon fiber katkılı malzemelerle ilgili yürütülen çalışmalar birçok frekans bölgesi için yürütülmüştür. Örneğin Khalid ve ark., (2017), 1 GHz'den 5 GHz'ye kadar olan bölgede yapılan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar yarı yankısız bir odada ve network analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak karbon fiber katkılı betonlar, katkısız eşleniklerine göre 50 dB'ye kadar daha iyi ekranlama özellikleri göstermiştir.

1.2.3. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler; metal matrisi içeren kompozitlerdir. Bu tür kompozitler, metallerin iletkenlik özelliklerini korurken, dielektrik malzemelerin elektromanyetik dalgaları yutma yeteneklerinden faydalanmaktadır (Mei ve ark., 2016). Farklı malzemelerin özelliklerinin bir araya getirilmesi ile ortaya çıkan bu birleşim yüksek performanslı elektromanyetik ekranlama sağlamaktadır. Ayrıca bu malzemeler yüksek çalışma sıcaklığı gerektiren durumlarda kullanmaya elverişlidir (Çelik, 2020).

Metal malzemeler pahalı olmanın yanı sıra, bu malzemelerle hazırlanan özellikle kutu formundaki yapıların bağlantı noktaları, elektromanyetik alan kaçakları için bir zayıflık oluşturmaktadır (Jia ve ark., 2020). Metal matris katkılı kompozitlerin hazırlanmasıyla bu dezavantajlar bertaraf edilerek, daha iyi korozyon dayanımı, daha düşük maliyet gibi avantajlar sağlanmaktadır (Zhang ve ark., 2020a; Zhao ve ark., 2020). Metalin iletkenlik ve fiziksel dayanım özellikleri ile katkı maddesinin özel özelliklerinin birleştirilmesi ile elde edilen bu kompozit malzemeler, sanayide ve endüstride pek çok alanda kullanım olanağı elde etmiştir. Örneğin Budumuru ve Anuradha (2021), bu malzemelerin havacılık alanındaki kullanımına yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışma 8-12 GHz frekans aralığında yürütülmüştür. Al_2O_3 ve SiC gibi katkılar sonucunda artan ekranlama performansı gözlemlenmiştir. Özellikle Al_2O_3 katkısı ile 93.48 dB'ye kadar ekranlama performansı ölçülmüştür. Bir diğer çalışmada ise nötron ve gama ışınlarına karşı ekranlama sağlamak üzere yeni bir tür metal matrisli kompozit koruyucu malzeme önerilmiştir (Zhou ve ark., 2022).

1.3. Ekranlamada Kullanılan Polimerler

Radyoaktif ve elektromanyetik elemanların kullanılmasının artmasıyla, bu anlamda bir kirlilik ve kontrol edilmesi gereken bir mesele ortaya çıkmıştır. Polimerler de esasen bu noktadaki problemlere çözüm olarak geliştirilmişlerdir. Nitekim polimerlerin, mekaniksel, termal, elektriksel ve çok fonksiyonlu özellikleri onları birçok alanda kullanılabilir kılmıştır. Elektromanyetik ekranlama uygulamaları da bu alanlardan birisidir. (Geesala ve ark., 2018)

Polimer malzemeler, elektromanyetik alanlara karşı direnç gösterme yetenekleri ve esnek yapıları sayesinde avantajlıdır. Bazı polimer malzeme türleri ve özellikleri sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

1.3.1. Elektriksel Polimerler

Elektriksel polimerler, yüksek dielektrik sabitlere sahiptirler ve elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkili bir şekilde engellerler. Özellikle radyo frekans (RF) ve mikrodalga frekanslarında etkilidirler. Birçok elektriksel polimer tipinin güvenilir birer elektromanyetik gürültü önleyici olarak kullanılabileceği literatürde raporlanmıştır (Lyu ve ark., 2018).

1.3.2. Karbon Nanotüp Takviyeli Polimerler

Polimer hibritler; etkili bir yansıma/emilim kalkanı olarak kullanılacak yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olmalıdır. Bu özellik, polimer matrisine iletken dolgu maddeleri dahil edilerek kazandırılabilir. Karbon nanotüpler, polimer matrisine entegre edildiğinde mükemmel bir iletkenlik sağlayarak, iyi EMI koruma performansı sergilerler (Dassan ve ark., 2020). Bu tür kompozitler, elektromanyetik dalgaları yansıtmada yüksek performans gösterir. Küçük boyutları, geniş yüzey alanları ve kuantum tünel etkileri sebebiyle yüksek ekranlama özelliği gösterebilmektedir (He ve ark., 2014).

1.3.3. Ferrit Dolgulu Polimerler

Dar bant elektromanyetik dalga soğurucu sunan, ferrit-polimer kompozitlerin uygulama sahasını genişletmenin önündeki en büyük sınırlama, dielektrik geçirgenliğin ve manyetik geçirgenliğin oldukça farklı frekans dağılımına sahip olmasıdır. Bu durum malzemenin çalışma frekansı aralığını sınırlar. Bibikov ve Prokof'Ev (2011) çalışmalarında bahsedilen bu probleminin üstesinden gelmek için amorf alaşımlar kullanılarak yeni ince elektromanyetik dalga soğurucularının geliştirilmesini denemişlerdir.

1.3.4. Kaplama Polimerleri

Elektromanyetik dalgaların soğurulması edilmesi için yüzeylere uygulanan ince polimer kaplamalar, özellikle elektromanyetik radyasyon sızıntısını engelleme konusunda etkilidir.

1.3.5. Polimer Malzemelerin Uygulama Alanları

Elektromanyetik kalkanlama ve ekranlama uygulamalarında kullanılan polimer malzemeler, bir dizi uygulamada büyük öneme sahiptir. Bunlar arasında askeri teknolojiler gibi kritik alanlar, uzay ve havacılık endüstrisi, kablosuz iletişim ekipmanları, mikrodalga fırınlar, tıbbi cihazlar ve elektronik devreler bulunur. Polimerlerin hafifliği, esnekliği ve özelleştirilebilirliği, bu uygulamalarda kullanılmalarını ön plana çıkarmıştır. Ek olarak, metallerin yansıma egemen EMI korumasının aksine, polimer bazlı malzemeler, askeri teknoloji gibi birçok uygulamada giderek daha fazla tercih edilen elektromanyetik dalgaları öncelikle emilim yoluyla koruma yeteneği sergilemektedir (Kruželák ve ark., 2021). Güçlü soğurucu yetenekleri nedeniyle, bu malzemeler hem askeri teknoloji gibi kritik alanlarda kapsamlı uygulama alanları bulurken hem de elektromanyetik dalga yansımasının neden olduğu ikincil kirliliği önemli ölçüde azaltırlar (Wang ve ark., 2023).

1.4. Diğer Malzemeler

Elektromanyetik kalkanlamada kullanılan tüm malzemelerin bir makale içinde detaylı incelenmesi pratik olarak mümkün değildir. Nitekim gün geçtikçe teknoloji gelişmekte ve gelişen teknoloji ile üretilen malzemeler de çeşitlenmektedir. Ayrıca, ekranlama konusunda çalışan bilim dalları da çeşitlenmektedir. Böylesi geniş bir başlık altında incelenen birçok ürüne karşın hala değinilmeyen bazı malzemeler aşağıda belirtilmiştir.

Metalik kumaşlar, elektromanyetik ekranlama amacıyla yaygın olarak kullanılan etkili malzemelerdir. Bu kumaşlar, metalik tellerle dokunmuş veya örülmüş yapılar şeklinde ifade edilmekte ve genellikle elektriksel iletkenlik sağlayan malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Elektromanyetik ekranlama için metalik kumaşlar kullanılmasının ana nedeni, tıpkı diğer uygulamalarda olduğu gibi elektromanyetik alanların geçişini engelleyerek elektronik cihazları dış etkenlerden korumaktır (Dağ, 2010). Ancak giyilebilir teknoloji ile bu konuda yeni bir ihtiyaç oluşmuş ve teknolojinin insan bedenine zarar vermemesi gibi yeni bir amaç da ortaya çıkmıştır. Metalik kumaşlar, özellikle RF ve mikrodalga frekansları gibi yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların etkili bir şekilde soğurulmasını veya yansıtılmasını sağlamaktadır (Jia ve ark., 2019). Bu özellikleri sayesinde, metalik kumaşlar birçok endüstriyel ve askeri uygulamada kullanılmaktadır. Örneğin, elektronik ekipmanların elektromanyetik parazitlenmeden korunması, tıbbi cihazların elektromanyetik uyumluluğu sağlanması ve askeri iletişim sistemlerinin güvenliği gibi alanlarda metalik kumaşlar önemli bir rol oynamaktadır. Literatürde metalik kumaşların elektromanyetik ekranlama performansı üzerine birçok çalışma bulunmaktadır (Jagatheesan ve ark., 2015; Yin ve ark., 2022). Bu çalışmalarda, farklı metalik kumaşların yapıları, malzeme bileşenleri, dokuma desenleri ve işleme yöntemleri üzerinde durulmuş ve bu faktörlerin elektromanyetik kalkanlama etkinliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, metalik kumaşların frekans bağımlılığı, iletkenlik özellikleri ve dayanıklılığı gibi konular da araştırmacılar tarafından ele alınmıştır.

Ayrıca, seramik, plastik ve cam gibi dielektrik malzemeler, elektromanyetik dalgaların geçişine dirençli olan malzemelerdir (Jang ve ark., 2020; Kittur ve ark., 2020; Zachariah ve ark., 2022). Ancak, bu malzemelerin yüzeylerine metal kaplama uygulamak suretiyle elektromanyetik ekranlama performansında ciddi miktarda artış sağlanabilmektedir. Metal kaplama işlemi, yüzeylerin üzerine bir metal tabaka uygulamak suretiyle gerçekleştirilmektedir (Chung, 2000). Bu metal tabaka genellikle nikel, bakır veya gümüş gibi yüksek iletkenlik özelliklerine sahip metallerden oluşmaktadır. Metal kaplama işlemi, yüzeyin elektriksel iletkenliğini artırarak elektromanyetik dalgaların yüzeyden yansımalarını sağlamaktadır. Dielektrik malzemelerin metal kaplama ile elektromanyetik ekranlama sağlanması, özellikle elektronik cihazların iç kısımlarını dış etkenlerden korumak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Cep telefonları, bilgisayarlar, radar sistemleri ve mikrodalga fırınlar gibi cihazlarda, iç bileşenlerin elektromanyetik parazitlenmeden korunması için metal kaplama ile üretilmektedir. Metal kaplamalı dielektrik yüzeylerin elektromanyetik ekranlama performansı, kullanılan metal malzemenin iletkenlik özellikleri, kaplama kalınlığı ve yüzeyin geometrisi gibi parametrelere bağlıdır. Bu nedenle, metal kaplamalı dielektrik yüzeylerin elektromanyetik ekranlama etkinliğini optimize etmek için dikkatli bir tasarım ve işleme süreci gerekli olmaktadır.

Elektromanyetik ekranlamada kullanılan bir diğer malzeme tipi metamalzemelerdir (Mishra ve ark., 2021; Zhao ve ark., 2022). Geleneksel elektromanyetik ekranlama malzemeleri genellikle metalik yapılar veya dielektrik malzemelerden oluşmaktadır ve belirli frekans aralıklarında etkili olabilirler. Ancak, metamalzemeler adı verilen malzeme sınıfı, elektromanyetik ekranlama performansını daha da geliştirmek için umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Metamalzemeler, geleneksel malzemelerin

özelliklerini manipüle ederek elektromanyetik dalgaları istenen şekilde yönlendirebilen özel yapılar olarak tanımlanabilirler. Bu malzemeler, nano ölçekte yapılanmış yapılardan oluşmakta ve benzersiz elektromanyetik özellikler sergileyebilmektedir. Metamalzemeler, özellikle frekans seçici ve çok yönlü elektromanyetik ekranlama gerektiren uygulamalarda önemli bir potansiyele sahiptir. Metamalzemelerin elektromanyetik ekranlama performansı, yapılarının geometrisine, malzeme bileşenlerine ve tasarım parametrelerine bağlıdır ve ciddi bir ARGE sonucu üretilmektedir (Jia ve ark., 2020; Li ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2020b).

Elektromanyetik ekranlama için nikel, bakır veya gümüş gibi iletken malzemeler içeren doğrudan yüzeylere uygulanan boyalar da son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır (Karadakov ve VanVeller, 2021; Pavlik ve Medved, 2021). Elektromanyetik dalgaların geçişini engellemek ve elektronik cihazları dış etkenlerden korumak için özellikle inşaat sektöründe kullanılan etkili bir çözümdür. Bu tür boyalar, genellikle bir polimer matris içinde iletken parçacıkların dağılmasıyla elde edilmekte ve yüzeye uygulandığında elektriksel iletkenlik sağlamasıyla da ekranlama özelliği göstermektedir. Bu boyalar rulo fırça veya püskürtme ile birçok yüzey tipine uygulanabilmektedir. Uygulama sürecinin basitliği ve birçok malzeme tipi ile olan adaptasyonu, ekranlama boya malzemelerini birçok yerde tercih edilmesine vesile olmuştur. Ayrıca esnek polimer matrislerle oluşturulması sebebiyle, çeşitli yüzeylere uygulama imkânı da boyalarla mümkün olabilmektedir Hafiflik gibi çok büyük bir avantajı bulunmaktadır. Radar sistemlerinin kurulduğu binalarda özellikle tercih edilmektedir (Parmar ve ark., 2019).

Görüldüğü üzere elektromanyetik ekranlamada kullanılan malzemeleri birkaç basit başlık altında incelemek ve irdelemek mümkün değildir. Ancak bu konudaki geniş literatür, araştırmacılara yol gösterecek niteliktedir. Yürütülen bu çalışma ile de bu anlamdaki bilgi birikimine katkı da bulunulmuştur.

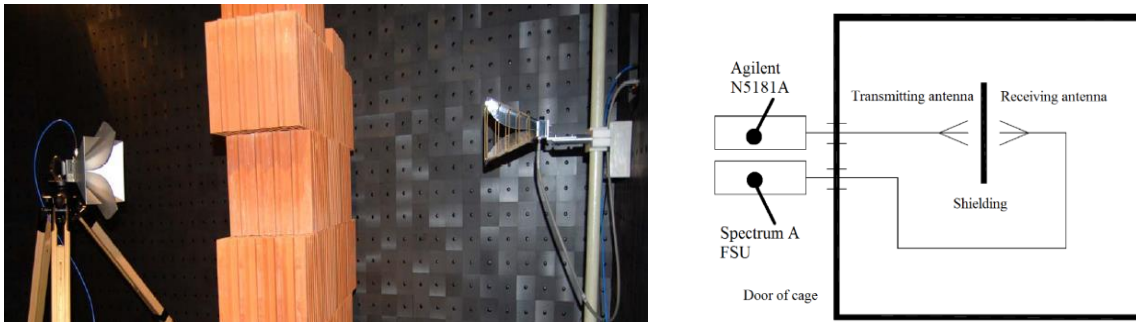
2. Elektromanyetik Ekranlama Ölçüm Yöntemleri

Elektromanyetik ekranlama özelliklerini ölçmek; malzemelerin performansını anlamak ve karşılaştırmak için kritik öneme sahiptir. Bu özellikler, elektromanyetik dalgaların malzeme üzerindeki etkisini değerlendirmede önemli bir ölçüttür. Ölçüm sonuçları, mühendislerin ve tasarımcıların daha iyi kalkanlama malzemeleri geliştirmelerine rehberlik etmektedir. Elektromanyetik kalkanlama/ekranlama özelliklerini ölçme yöntemlerine ilişkin birçok metot bulunmaktadır. Planar (Düzlemsel) malzemelerin ekranlama etkinliğini ölçmek için en yaygın olarak kullanılan standart ASTM D4935-18'dir (Amaro ve ark., 2023). Düzlemsel malzemelerin kenarlarında saçılan enerjiyi emerek kenar sonlandırma sorunlarını aşan bir yöntemdir. Ancak ekranlama ölçüm metotlarını bununla sınırlandırmak mümkün değildir. Çünkü problemin tipi, uygulanacağı saha ölçüm yöntemi üzerinde etkilidir (Karaman ve ark., 2016). Diğer ölçüm yöntemleri sırasıyla aşağıda açıklanmıştır:

2.1. Yansıma Kaybı Ölçümleri

Yansıma kaybı ölçüm yöntemi; elektromanyetik ekranlama etkinliğinin ölçümü için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, malzemenin yüzeyine düşen elektromanyetik dalgaların bir kısmı malzeme tarafından yansıtılır ve bir kısmı malzeme tarafından emilir. Yansıyan dalgaların gücü, malzemenin yüzeyindeki yansıma kaybına bağlıdır. Yansıma kaybı, malzemenin yüzeyindeki elektromanyetik dalgaların ne kadarının yansıtıldığını gösterir. Yansıma kaybının ölçümü, elektromanyetik uyumluluk tasarımının önemli bir bileşenidir ve malzemelerin elektromanyetik alanları ne kadar iyi engellediğini belirlemek için kullanılır. Malzemelerin ekranlama etkinliği frekansla değişebilir ve bu nedenle farklı frekans aralıklarında ölçülmelidir. Yansıma kaybının ölçümü için çeşitli yöntemler vardır. Planar malzemelerin ekranlama etkinliğini ölçmek için en yaygın olarak kullanılan standart yukarıda da izah edilen ASTM D4935-18'dir. Bir diğer yöntem ise yankı odasıdır. Yankı odası; elektromanyetik dalgaların rastgele yönlerde yansıtılmasıyla homojen bir alan oluşturur. Bu yöntemde, malzeme örneği odanın içine yerleştirilir ve örneğe farklı açılardan elektromanyetik dalgalar gönderilir. Yansıyan dalgaların gücü ölçülür ve bu değerler kullanarak yansıma kaybı hesaplanır (Doğan ve ark., 2014). Diğer bir yöntem ise tek modlu boşluk yöntemidir. Bu yöntemde, malzeme örneği tek modlu boşluğa yerleştirilir ve boşluğa gönderilen elektromanyetik dalgaların gücü ölçülür. Yansıyan dalgaların gücü hesaplanarak yansıma kaybı hesaplanır (Yetik ve Mehmetcan, 2021). Altı çizilmesi gereken bir diğer yöntem ise, mikrodalga bant geçiş yöntemidir. Bu yöntemde, malzeme örneği iki adet mikrodalga anten arasına yerleştirilir ve antenler arasındaki bant genişliği ölçülür. Malzemenin yüzeyindeki yansımanın gücü hesaplanarak yansıma kaybı hesaplanır (Dökmetaş, 2021).

Yansıma kaybı yöntemi literatürde pek çok çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmalardan birinde 1-9 GHz frekans bandında ölçümler yapılmıştır. 0,25 m kalınlığında ve 2x2 m yüzey alanına sahip bir tuğla duvar ölçüm nesnesi olarak kullanılmıştır. IEEE Standartlarına göre gerçekleştirilen ölçümlerde, elektromanyetik ekranlama muhafazalarının etkinliğini ölçme yöntemi (Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures) olarak bilinen yöntem uygulanmıştır. Ölçümler dış etkilerden kaçınmak amacıyla yansıma yapmayan bir odada gerçekleştirilmiştir. Özellikle iletişim bandındaki yansıma ölçümleri dikkat çekicidir. 1.8 GHz' de 6.93 dB, 2.1 GHz' de 6.3 dB ve 2.4 GHz' de - 7.3 dB ekranlama performansı elde edilmiştir. Ölçüm düzeneği Şekil 1' de sunulmuştur (Pavlik ve ark., 2015).



Şekil 1. Yansıma kaybı ölçümü. Örnek bir düzenek (Pavlik ve ark., 2015).

2.2. S-parametreleri Ölçümü

Elektromanyetik ekranlama için en sık kullanılan yöntemlerden bir tanesi de S-parametre ölçümüdür. S-parametreleri; elektromanyetik dalgaların bir malzeme tarafından nasıl yansıtıldığını ve iletildiğini analiz etmek için kullanılmaktadır. Yansıma kaybı ölçümleri, malzemenin elektromanyetik kalkanlama performansını anlamak, optimize etmek ve karşılaştırmak için temel bir araçtır. Araştırmacılar, bu ölçümleri kullanarak kalkanlama malzemelerini tasarlarken, elektromanyetik uyumluluk (EMU) gereksinimlerini karşılamak için gelişmiş çözümler üretebilmektedirler.

Bir malzeme ve elektromanyetik alan karşılaştığında, yansıma, çoklu yansıma ve soğurma gibi temel davranışların genellikle farklı oranlarda sergilenmesi beklenir. Bazen soğurma fazla, bazen yansıma fazla olabilir. Burada gelen manyetik dalğanın frekansı kadar malzemenin özellikleri de belirleyici olabilmektedir. Bu sebeple bir malzeme ile bir elektromanyetik dalga karşılaştığında, yansıma, çoklu yansıma ve soğurma özellikleri ayrı ayrı ölçümlenir ve malzemenin ekranlama performansı toplam olarak ifade edilir. Desibel olarak ifade edilen ve SE (Shielding Effectiveness – Ekranlama Performansı) kısaltmasıyla matematiksel olarak da eşitlik 1’de sunulmuştur (Van Deventer ve ark., 1989; Yudidistra, 2019).

$$SE = \underbrace{20\log(|\eta_w|/4|\eta_s|)}_{SE_R} + \underbrace{20\log(e^{d/\delta})}_{SE_A} + \underbrace{20\log(1 - e^{-2d/\delta})}_{SE_{MR}} \quad (1)$$

SE_R malzemenin yansıma özelliklerini, SE_A malzemenin soğurma özelliklerini, SE_{MR} malzemenin çoklu yansıma özelliklerini ifade etmektedir. Bu katsayıları hesaplamak için de network analizör yardımıyla hesaplanan S parametrelerinden faydalanılmaktadır. 4 tane temel S parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler Şekil 2’de sunulmaktadır:



Şekil 2. S Parametreleri

Şekil 2’de sunulan S parametreleri matrisi, yansıma katsayılarını ve iletim kazançlarını iki portlu bir ağın her iki tarafından belirlemek için kullanılabilir. Bu kavram daha sonra çoklu portlu bir ağın S parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Bu kavramlar, kazanç, geri dönüş kaybı, VSWR ve Insertion Loss (araya girme kaybı)’un belirlenmesinde kullanılabilir. S parametrelerinin dört türü vardır: S_{11} , S_{12} , S_{21} ve S_{22} . S_{11} , giriş portu gerilim yansıma katsayısıdır. S_{12} , ters gerilim kazancını ifade eder. S_{21} , ileri gerilim kazancını ifade eder. S_{22} ise çıkış portu gerilim yansıma katsayısıdır (Erdei ve ark., 2020). Network analizör yardımıyla ölçümlenen S parametreleri kullanılarak SE_R , SE_A ve SE_{MR} katsayıları hesaplanabilmektedir. Eşitlik 2 ve 3 ile S parametrelerinin nasıl hesaplandığı sunulmuştur.

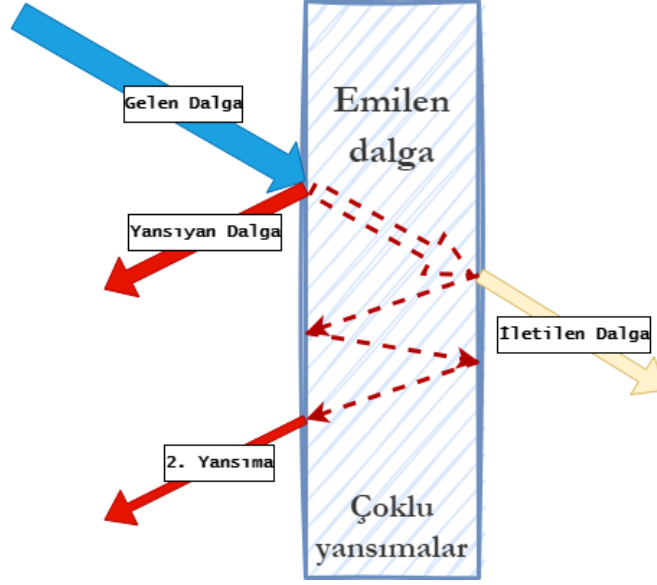
$$SE_R = -10\log(1 - |S_{11}|^2) \quad (2)$$

$$SE_A = -10\log\left(\frac{|S_{21}|^2}{1 - |S_{11}|^2}\right) \quad (3)$$

S parametrelerini tespit edebilmek için 1 adet network analizör ve dalga kılavuzlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Örnek bir S parametre ölçüm sistemi Şekil 3’ de sunulmuştur. Bu S parametre ölçüm sistemi ile de Şekil 4’ te ifade edilen gelen dalga, yansıyan dalga ve iletilen dalga arasındaki matematiksel ilişki hesaplanmaktadır.



Şekil 3. Örnek S parametre Ölçüm Sistemi



Şekil 4. Elektromanyetik dalga yüzey etkileşimi (Ekranlama Performansı) (Wu ve ark., 2014).

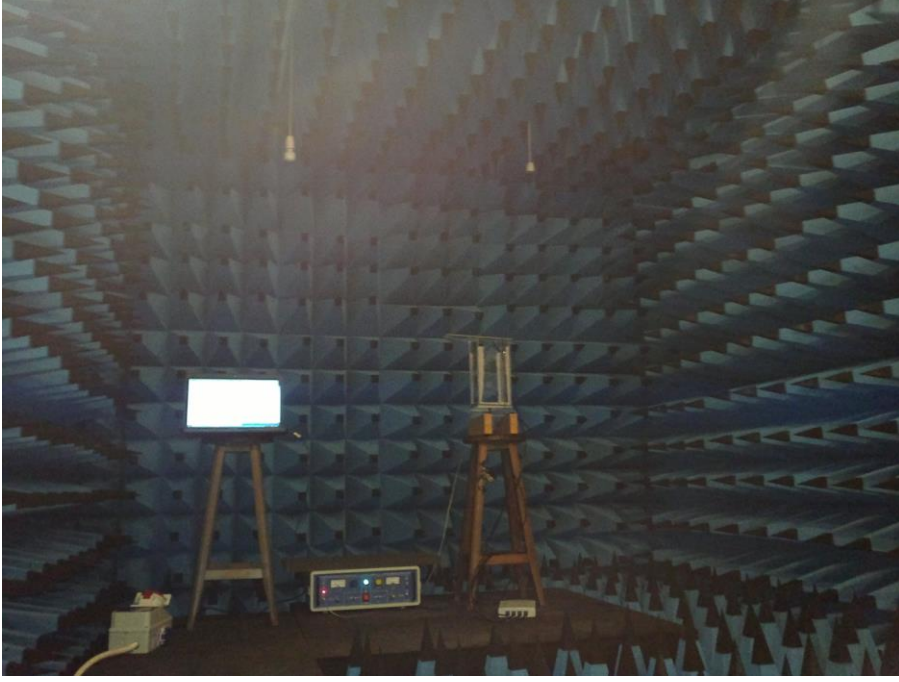
2.3. Yüzey Empedans Ölçümleri

Yüzey empedansı; bir malzemenin elektromanyetik alanlara karşı direncini ölçer. Bu, malzemenin yüzeyinin elektromanyetik dalgalarla nasıl etkileştiğini belirler. Yüzey empedansı, genellikle yüzey empedans analizörleri kullanılarak ölçülür (Warembra ve Betaubun, 2018). Yüzey empedansı, bir malzemenin elektromanyetik alanlara karşı direncini veya empedansını tanımlayan bir ölçümdür. Bu empedans, malzemenin yüzeyindeki elektriksel ve manyetik alanlara karşı tepkisini ifade eder. Yüzey empedansı, genellikle ohm cinsinden ifade edilir ve malzemenin elektromanyetik alanlara karşı ne kadar etkili bir şekilde direnç gösterdiğini yansıtır. Elektromanyetik ekranlama malzemelerinin yüzey empedansı ölçümleri, malzemenin elektromanyetik performansını anlamak ve optimize etmek için kullanılır. Zhao ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada, karbon nanofiber yapraklar karbon nano tüplerle geliştirilmiştir. Çalışmada yüzey empedans ölçümleri gerçekleştirilerek malzeme karakterizasyonu yapılmıştır.

2.4. Elektromanyetik Yankısız Oda Testleri

EMU testleri; tam ölçekli elektromanyetik ekranlama performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu tür testler, Şekil 5’ de iki ayrı örneği sunulduğu üzere, tam yankısız ve yarı yankısız odalarda veya laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilmektedir. Yarı yankısız odaların tabanında, elektromanyetik sönümleyici konik köpüklerden bulunmaz, bunun yerine epoksi kaplanmış yalıtımlı malzemeler tercih edilirken, tam yankısız odaların tüm iç yüzeylerinde farklı geometrilerde konik elektromanyetik sönümleyiciler bulunmaktadır. Elektromanyetik sönümleyiciler, oda içinde bir elektromanyetik alan karmaşasını önlemek üzere özel olarak belirlenen geometrilerde üretilmektedir. EMI odası testleri, bir dizi uygulama için kullanılmaktadır ve elektromanyetik kalkanlama

malzemelerinin performansını değerlendirmek için de sıklıkla başvurulan ölçüm alanlarıdır. Aşağıda bazı yaygın EMI testleri ve uygulamaları verilmiştir:



Şekil 5. Örnek EMI Test Odası (Tam yankısız oda)

EMU Testleri; EMI odaları, elektronik ürünlerin EMU gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığını değerlendirmek için kullanılır. Bu testler, ürünlerin elektromanyetik gürültüyü engelleme yeteneklerini belirlemek için yapılır.

Elektromanyetik Karşıt Testler; EMI odaları, elektromanyetik karşıt (TEMPEST) testlerini gerçekleştirmek için kullanılır. Bu testler, elektronik cihazların elektromanyetik sızıntılarını ve gürültülerini sınırlamak için yapılır. Kalkan Malzeme Performans Testleri; EMI odaları, elektromanyetik kalkanlama malzemelerinin performansını ölçmek için kullanılır. Bu testler, malzemelerin yüzey empedansı, yansıma kaybı ve geçirgenlik gibi özelliklerini değerlendirir. Anten Testleri; Elektromanyetik kalkanlama ile ilgili araştırmalarda, antenlerin performansı da incelenir. EMI odaları, anten testlerinin kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmesine olanak tanır. EMI odası testleri, elektromanyetik kalkanlama malzemelerinin tasarımını ve performansını geliştirmek için kritik bir araçtır. Araştırmacılar, bu testler aracılığıyla malzemelerin elektromanyetik uyumluluk gereksinimlerini karşılayacak şekilde optimize edilmesini sağlar.

2.5. Maliyet ve Erişilebilirlik

Elektromanyetik ekranlama uygulamalarında kullanılan malzemeler makalenin önceki bölümlerinde tanıtılmıştır. Ancak bu malzemelerin maliyetleri ve erişilebilirlikleri ile ilgili de bilgi sunulması gerekmektedir. Çünkü olası bir tasarım durumunda, hangi malzemelere nasıl bir bütçe ayrılacağı önemli bir parametre olmaktadır. Bununla birlikte, ilgili malzemeye erişim imkanları da değerlendirilmelidir.

Bu bağlamda uygulama gereksinimleri ve performans beklentilerine göre değişiklik gösteren malzeme seçimleri için maliyet ve erişilebilirlik perspektifinin ortaya konulması önemlidir.

Metallerin elektromanyetik ekranlama tasarımlarında sıklıkla tercih edildiği vurgulanmıştır. Özellikle bakır, alüminyum, krom gibi metaller, endüstrisinin birçok alanında sık kullanılan malzemeler olması sebebiyle kolaylıkla bulunabilmektedir ve bu gruptaki malzemeler genellikle düşük maliyetlidir. Ancak, bazı yüksek performanslı metallerin, özellikle gümüş ve titanyum gibi özel alaşımların maliyeti yüksek olabilir (Wanasinghe ve Aslani, 2019; Kittur ve ark., 2020). Nitekim bu yüksek maliyet sebebiyle, askeri, tıbbi ya da haberleşmeye yönelik uygulamalarda tercih edilmektedir. Kompozit malzemeler, farklı malzemelerin birleşimiyle oluşturulması sebebiyle maliyet kontrollü ürünler geliştirilmesine imkân tanımaktadır (Bozkurt ve ark., 2022). Bu yönüyle ciddi avantajlar sunmaktadır. Genellikle ucuz bir taban malzemesini iletken başka bir malzeme ile destekleyerek, ekranlama performansı yüksek ürün geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ancak bunun aksi de mümkün olabilmektedir. Örneğin, karbon fiber kompozitler, yüksek mukavemet ve düşük ağırlık gibi avantajlar sunarken, maliyetleri genellikle yüksektir ve işlenmeleri daha zordur. Bir diğer ürün grubu olan seramikler, yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal direnç ve düşük dielektrik kaybı gibi özellikler sunmaktadır ve bu sebeple özel uygulamalarda tercih edilmektedir. Ancak bazı seramik malzemeler, özellikle yüksek frekanslı uygulamalarda etkili bir şekilde çalışabilirken, diğerlerinin maliyetleri ve işlenebilirlikleri konusunda zorluklar olabilir. Diğer ürün grubu olarak makale kapsamında bahsedilen polimerler genellikle düşük maliyetli, hafif ve esnek malzemelerdir. Elektriksel yalıtım ve kimyasal süreçlere olan dayanıklılıkları özel uygulamalarda polimerleri tercih sebebi kılmıştır. Son olarak, meta malzemeleri değerlendirmek gerekirse, geleneksel malzemelerin özelliklerini manipüle ederek benzersiz elektromanyetik özellikler elde etmek için tasarlanan bu gruptaki malzemeler karmaşık üretim süreçleri gerektirmesi sebebiyle yüksek maliyetlidir ve ARGE sonucu oluşması yönüyle de erişilebilirliği de düşük denilebilir. Sonuç olarak, elektromanyetik ekranlama uygulamalarında kullanılan malzemelerin seçimi, performans, maliyet ve işlenebilirlik gibi birçok faktörü dikkate almayı gerektirir. Her bir malzemenin avantajları ve dezavantajları, spesifik uygulama gereksinimleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir (Zachariah ve ark., 2022).

3. Sonuç

Elektronik cihazlar arasındaki elektromanyetik etkileşimleri engelleyerek ve dış elektromanyetik girişimleri azaltarak cihazların düzgün bir şekilde çalışmasını sağlayan elektromanyetik ekranlama veya kalkanlama, günümüzün hızla gelişen teknolojik ortamında büyük bir öneme sahiptir. Bu öneme dikkat çekmek için hazırlanan bu makalede, literatürdeki güncel çalışmalar incelenerek, ekranlamada kullanılan malzemeler, elektromanyetik alanların malzemelerle etkileşimi, elektromanyetik alanların malzemeler üzerindeki etkileri, malzemelerin elektromanyetik ekranlama özellikleri konularına değinilmiştir. Bu etkileşimlerin derinlemesine anlaşılması, daha iyi ekranlayıcı malzemelerinin tasarımı ve geliştirilmesi için temel bir gerekliliktir. Elektromanyetik kalkanlama ve ekranlama özelliklerini

değerlendirmek için EMU testleri ve elektromanyetik girişim ölçümleri gibi bir dizi yöntem ve standart geliştirilmiştir. Bu testler, malzemelerin elektromanyetik performansını değerlendirmek ve tasarımlarını optimize etmek için kullanılan kritik araçlardır.

Ayrıca, bu makalede elektromanyetik alanların yüzey empedansı, yansıma kaybı ve geçirgenlik gibi önemli özelliklerini ölçmek için kullanılan yöntemlere de yer verilmiştir. Bu ölçümler, kalkanlama malzemelerinin elektromanyetik performansını anlamak ve iyileştirmek için hayati öneme sahiptir. Sonuç olarak, elektromanyetik kalkanlama ve ekranlama, modern elektronik sistemlerin güvenilirliği ve elektromanyetik uyumluluğu için kritik bir rol oynar. Bu alandaki araştırmaların, gelecekteki daha karmaşık ve yüksek frekansta çalışan cihazların gereksinimlerini karşılayacak yeni malzemelerin geliştirilmesine katkı sağlayacağına inanıyoruz. Elektromanyetik kalkanlama ve ekranlama konusundaki çalışmaların devam etmesi, güvenilir ve elektromanyetik uyumlu teknolojilerin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Göz önünde bulundurulması gereken birçok karmaşık faktör olmasına rağmen, elektromanyetik kalkanlama ve ekranlama alanındaki araştırmaların gelecekte daha fazla ilerleme kaydetmesini bekliyoruz. Bu ilerlemeler, modern teknolojinin elektromanyetik uyumluluk ve güvenilirlik, sağlık ve çevresel etkilerin azaltılması, yasal ve endüstri standartlarına uygunluk gibi gereksinimlerin karşılanmasına yardımcı olacaktır.

Çıkar Çatışma Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Amaro A., Suarez A., Torres J., Martinez P.A., Herraiz R., Alcarria A., Benedito A., Ruiz R., Galvez P., Penades A. Shielding effectiveness measurement method for planar nanomaterial samples based on CNT materials up to 18 GHz. *Magnetochemistry* 2023; 9(5): 114.
- Bachir G., Abdechafik H., Mecheri K. Comparison electromagnetic shielding effectiveness between single layer and multilayer shields. 2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC) 2016; 1-5.
- Balan I., Morari C., Patroi AE. Composite materials for electromagnetic shielding. *UPB Scientific Bulletin, Series B* 2016; 78(2): 233-238.
- Barsukov V., Senyk I., Kryukova O., Butenko O. Composite carbon-polymer materials for electromagnetic radiation shielding. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5(8): 15909-15914.
- Bibikov S., Prokof'Ev M. Composite materials for some radiophysics applications. In *Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses* 2011; IntechOpen.

- Bozkurt M., Şahin N., Karabul Y., Kılıç M., Özdemir, ZG. Radiation shielding performances of Na₂SiO₃ based low-cost micro and nano composites for diagnostic imaging. *Progress in Nuclear Energy* 2022; 143: 104058.
- Budumuru S., Anuradha MS. Electromagnetic shielding and mechanical properties of al6061 metal matrix composite at x-band for oblique incidence. *Advanced Composites and Hybrid Materials* 2021; 4: 1113-1121.
- Bulut F., Efendoğlu HS., Solak V., Yabuloğlu M., Özer H. Electromagnetic shielding behavior of different metallic wire-meshes and thin metal plate. 2017 IV International Electromagnetic Compatibility Conference (EMC Türkiye) 2017; 1-3.
- Chang J., Zhai H., Hu Z., Li J. Ultra-thin metal composites for electromagnetic interference shielding. *Composites Part B: Engineering* 2022; 110269.
- Chen X., Liu L., Liu J., Pan F. Microstructure, electromagnetic shielding effectiveness and mechanical properties of Mg–Zn–Y–Zr alloys. *Materials ve Design (1980-2015)*; 65: 360-369.
- Chung DDL. Materials for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Engineering and performance* 2000; 9: 350-354.
- Çelik ME. Karbon kompozit çarpışma kutularında metal takviyesinin çarpışma performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Bursa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa, Türkiye, 2020.
- Dağ N. İletken tekstil yüzeylerinde elektromanyetik kalkanlama özelliğinin araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Denizli, Türkiye, 2010.
- Dassan EGB., Anjang Ab Rahman A., Abidin MSZ., Akil HM. Carbon nanotube–reinforced polymer composite for electromagnetic interference application: A review. *Nanotechnology Reviews* 2020; 9(1): 768-788.
- Chang J., Zhai H., Hu Z., Li J. Ultra-thin metal composites for electromagnetic interference shielding. *Composites Part B: Engineering* 2022; 110269.
- Doğan AK., Celep M., Sefa O. Sar ölçümlerinde kullanılmak üzere dipol anten yapımı ve karakterizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2014; 20(8): 310-313.
- Dökmetaş B. S-bant mikroşerit wilkonson güç bölücü tasarımı. *Journal of Scientific Reports-B* 2021; 004: 8-18.
- Egbo MK. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 2021; 33(8): 557-568.
- Geesala S., Pukkala SK., Gottapu AN. Modeling & simulation analysis for evaluation of electromagnetic sheilding effectiveness of conductive fabrics using flanged co-axial transmission line holder as per ASTM D4935-10 standard. 15th International Conference on ElectroMagnetic Interference & Compatibility (INCEMIC) 2018; 1-4.
- Hamouni M., Ansri A., Khaldi S. Reflection and absorption contribution to the multilayers electromagnetic shielding effectiveness. *Plast. Polym. Technol* 2014; 3: 19-25.

- Hariyawan MY., Darwis RS., Posma SN. Pengaruh ketebalan material terhadap shielding effectiveness pada frekuensi rendah. *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan* 2021; 7(2): 18-24.
- He Q., Yuan T., Yan X., Luo Z., Haldolaarachchige N., Young DP., Wei S., Guo Z. One-pot synthesis of size-and morphology-controlled 1-D iron oxide nanochains with manipulated magnetic properties. *Chemical Communications* 2014; 50(2): 201-203.
- Inudo S., Miyake M., Hirato T. Electrical properties of Cu I films prepared by spin coating. *Physica Status Solidi (a)* 2013; 210(11): 2395-2398.
- Jagatheesan K., Ramasamy A., Das A., Basu A. Fabrics and their composites for electromagnetic shielding applications. *Textile Progress* 2015; 47(2): 87-161.
- Jagatheesan K., Ramasamy A., Das A., Basu A. Electromagnetic shielding effectiveness of carbon/stainless steel/polypropylene hybrid yarn-based knitted fabrics and their composites. *The Journal of the Textile Institute* 2018; 109(11): 1445-1457.
- Jang JM., Lee HS., Singh JK. Electromagnetic shielding performance of different metallic coatings deposited by arc thermal spray process. *Materials* 2020; 13(24): 5776.
- Jha BK. Effects of electromagnetic fields on human beings and electronic devices. *Himalayan Physics* 2012; 3: 38-39.
- Jia LC., Ding KQ., Ma RJ., Wang HL., Sun WJ., Yan DX., Li B., Li ZM. Highly conductive and machine-washable textiles for efficient electromagnetic interference shielding. *Advanced Materials Technologies* 2019; 4(2): 1800503.
- Jia Z., Zhang M., Liu B., Wang F., Wei G., Su Z. Graphene foams for electromagnetic interference shielding: a review. *ACS Applied Nano Materials* 2020; 3(7): 6140-6155.
- Karadakov PB., VanVeller B. Magnetic shielding paints an accurate and easy-to-visualize portrait of aromaticity. *Chemical Communications* 2021; 57(75): 9504-9513.
- Karaman ÖF., Çeven EK., Dırık AE. Metal iplikli dokuma kumaşlarının elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin mobil cihazlar ile tespiti. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 2016; 21(2): 85-94.
- Kaya Aİ., Çifci A. Bakır folyo kaplı yönlendirilmiş yonga levhanın elektromanyetik girişimi soğurma etkinliği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018; 9(1): 279-284.
- Khalid T., Albasha L., Qaddoumi N., Yehia S. Feasibility study of using electrically conductive concrete for electromagnetic shielding applications as a substitute for carbon-laced polyurethane absorbers in anechoic chambers. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 2017; 65(5): 2428-2435.
- Kittur J., Desai B., Chaudhari R., Loharkar PK. A comparative study of EMI shielding effectiveness of metals, metal coatings and carbon-based materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2020; 810(1): 12019.
- Kruželák J., Kvasničáková A., Hložeková K., Hudec I. Progress in polymers and polymer composites used as efficient materials for EMI shielding. *Nanoscale Advances* 2021; 3(1): 123-172.

- Li L., Dong S., Dong X., Yu X., Han B. Electromagnetic wave shielding/absorption performances of cementitious composites incorporating carbon nanotube metamaterial with helical chirality. *Journal of Composite Materials* 2020; 54(25): 3857-3870.
- Li P., Shan Y., Deng J., Xijiang Y. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon-nanotubes based coatings. 2010 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility 2010; 969-972.
- Los P., Lukomska A., Jeziorska R. Metal-polymer composites for electromagnetic interference shielding applications. *Polimery* 2016; 61(10): 663-669.
- Luo J., Huo L., Wang L., Huang X., Li J., Guo Z., Gao Q., Hu M., Xue H., Gao J. Superhydrophobic and multi-responsive fabric composite with excellent electro-photo-thermal effect and electromagnetic interference shielding performance. *Chemical Engineering Journal* 2020; 391: 123537.
- Lyu L., Liu J., Liu H., Liu C., Lu Y., Sun K., Fan R., Wang N., Lu N., Guo Z., Wujcik EK. An overview of electrically conductive polymer nanocomposites toward electromagnetic interference shielding. *Engineered Science* 2018; 2(59): 26-42.
- Markus I., Ohayon E., Constantini K., Geva-Kleinberger K., Ibrahim R., Ruban A., Gene Y. The effect of extremely low-frequency electromagnetic fields on inflammation and performance-related indices in trained athletes: A double-blinded crossover study. *International Journal of Molecular Sciences* 2023; 24(17): 13463.
- Mei H., Han D., Xiao S., Ji T., Tang J., Cheng L. Improvement of the electromagnetic shielding properties of C/SiC composites by electrophoretic deposition of carbon nanotube on carbon fibers. *Carbon* 2016; 109: 149-153.
- Mishra RK., Gupta RD., Datar S. Metamaterial microwave absorber (MMA) for electromagnetic interference (EMI) shielding in X-band. *Plasmonics* 2021; 16(6): 2061-2071.
- Ozturk M., Chung DDL. Enhancing the electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon-fiber reinforced cement paste by coating the carbon fiber with nickel. *Journal of Building Engineering* 2021a; 41: 102757.
- Ozturk M., Chung DDL. Radio-wave shielding behavior of steel structures. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 2021b; 35(11): 1407-1419.
- Parmar S., Ray B., Date K., Datar S. Modified graphene as a conducting ink for electromagnetic interference shielding. *Journal of Physics D: Applied Physics* 2019; 52(37): 375302.
- Paul CR., Scully RC., Steffka MA. Introduction to electromagnetic compatibility. John Wiley ve Sons 2022.
- Pavlik M., Kolcunova I., Lukáš L. Measuring the shielding effectiveness and reflection of electromagnetic field of building material. 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE) 2015; 56-59.

- Pavlik M., Medved D. Measuring shielding effectiveness of electromagnetic field for degradation shielding paint. *Przeglad Elektrotechniczny* 2021; 97(12).
- Poothanari MA., Pottathara YB., Thomas S. Carbon nanostructures for electromagnetic shielding applications. *Industrial Applications of Nanomaterials* 2019; 205-223.
- Schuermann D., Mevissen M. Manmade electromagnetic fields and oxidative stress-biological effects and consequences for health. *International Journal of Molecular Sciences* 2021; 22(7): 3772.
- Singh R., Singh S., Singh G., Thind KS. Gamma radiation shielding properties of steel and iron slags. *New Journal of Glass and Ceramics* 2017; 7(01): 1.
- Smith DR., Pendry JB. Homogenization of metamaterials by field averaging. *JOSA B* 2006; 23(3): 391-403.
- Testov OA., Komlev AE., Gareev KG., Khmel'nitskiy IK., Luchinin VV., Sevost'yanov EN., Testov IO. Providing a specified level of electromagnetic shielding with nickel thin films formed by DC magnetron sputtering. *Coatings* 2021; 11(12): 1455.
- Tian K., Hu D., Wei Q., Fu Q., Deng H. Recent progress on multifunctional electromagnetic interference shielding polymer composites. *Journal of Materials Science & Technology* 2023; 134: 106-131.
- Van Deventer TE., Katehi PB., Cangellaris AC. High frequency conductor and dielectric losses in shielded microstrip. *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest* 1989; 919-922.
- Wan YJ., Wang XY., Li XM., Liao SY., Lin ZQ., Hu YG., Zhao T., Zeng XL., Li CH., Yu SH., Zhu PL., Sun R., Wong CP. Ultrathin densified carbon nanotube film with "metal-like" conductivity, superior mechanical strength, and ultrahigh electromagnetic interference shielding effectiveness. *ACS Nano* 2020; 14(10): 14134-14145.
- Wanasinghe D., Aslani, F. A review on recent advancement of electromagnetic interference shielding novel metallic materials and processes. *Composites Part B: Engineering* 2019; 176: 107207.
- Wanasinghe D., Aslani F., Ma G. Electromagnetic shielding properties of carbon fibre reinforced cementitious composites. *Construction and Building Materials* 2020; 260: 120439.
- Wang Y., Zhao W., Tan L., Li Y., Qin L., Li, S. Review of polymer-based composites for electromagnetic shielding application. *Molecules* 2023; 28(15): 5628.
- Waremra RS., Betaubun P. Analysis of electrical properties using the four point probe method. *E3S Web of Conferences* 2018; 73: 13019.
- Wu F., Xu Z., Wang Y., Wang M. Electromagnetic interference shielding properties of solid-state polymerization conducting polymer. *Rsc Advances* 2014; 4(73): 38797-38803.
- Xu Z., Hao H. Electromagnetic interference shielding effectiveness of aluminum foams with different porosity. *Journal of Alloys and Compounds* 2014; 617: 207-213.
- Yang QQ., Qian WX., Liu JY., Chen M., Li H., Zhang Y. Electromagnetic shielding effect of aluminum foam in 10~ 500 kV electrical substations. *Materials Science Forum* 2017; 898: 2378-2383.
- Yetik AK., Mehmetcan A. Toprak nem içeriğinin izlenmesi ve tayininde kullanılan yöntemler. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2021; 8(1): 484-496.

- Yılmaz R. Elektromanyetik kalkanlama özelliği olan malzemeler. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)* 2014; 4(1): 136-150.
- Yin J., Ma W., Gao Z., Lei X., Jia C. A review of electromagnetic shielding fabric, wave-absorbing fabric and wave-transparent fabric. *Polymers* 2022; 14(3): 377.
- Yu F., Jia P., Song L., Hu Y., Wang B., Wu R. Multifunctional fabrics based on copper sulfide with excellent electromagnetic interference shielding performance for medical electronics and physical therapy. *Chemical Engineering Journal* 2023; 472: 145091.
- Yudistira HT. Tailoring multiple reflections by using graphene as background for tunable terahertz metamaterial absorber. *Materials Research Express* 2019; 6(7): 75804.
- Zachariah S. M., Grohens Y., Kalarikkal N., Thomas S. Hybrid materials for electromagnetic shielding: A review. *Polymer Composites* 2022; 43(5): 2507-2544.
- Zhang L., Wang LB., See KY., Ma J. Effect of carbon nanofiber reinforcement on electromagnetic interference shielding effectiveness of syntactic foam. *Journal of Materials Science* 2013; 48: 7757-7763.
- Zhang S., Nguyen N., Park JG., Hao A., Liang R. Carbon nanotubes and their assemblies: Applications in electromagnetic interference shielding. *Nanotube Superfiber Materials* 2019; 335-357.
- Zhang X., Zhao N., He C. The superior mechanical and physical properties of nanocarbon reinforced bulk composites achieved by architecture design—a review. *Progress in Materials Science* 2020a; 113: 100672.
- Zhang Y., Dong H., Mou N., Chen L., Li R., Zhang L. High-performance broadband electromagnetic interference shielding optical window based on a metamaterial absorber. *Optics Express* 2020b; 28(18): 26836-26849.
- Zhao J., Zhang J., Wang L., Li J., Feng T., Fan J., Chen L., Gu J. Superior wave-absorbing performances of silicone rubber composites via introducing covalently bonded SnO₂@ MWCNT absorbent with encapsulation structure. *Composites Communications* 2020; 22: 100486.
- Zhao Y., Hao L., Zhang X., Tan S., Li H., Zheng J., Ji G. A novel strategy in electromagnetic wave absorbing and shielding materials design: multi-responsive field effect. *Small Science* 2022; 2(2): 2100077.
- Zhao Z., Zhou Y., Zhang C., Wang Z. Thermoset composites functionalized with carbon nanofiber sheets for EMI shielding. *Journal of Applied Polymer Science* 2015; 132(17).
- Zhou J., Zeng Q., Xiong Y., Xu J., Zhang F., Wang D., Zheng J. Research on the shielding performance and optimization of new type foam metal matrix composite shielding materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 2022; 516: 31-37.

Bitkilerde Nitrat Birikim Potansiyeli ve Nitratın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Güney AKINOĞLU^{1*}, Arzu ERDAL², Songül RAKICIOĞLU³, Ayhan HORUZ⁴

^{1,3,4}Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 55139, Samsun, Türkiye

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı, 55139, Samsun, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-4624-2876>

²<https://orcid.org/0000-0002-4845-6504>

³<https://orcid.org/0000-0002-8013-6439>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-8338-3208>

*Sorumlu yazar: guney_akinoglu@ymail.com

Derleme Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 04.12.2023

Kabul tarihi: 04.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Nitrat asimilasyonu ve taşınımı

Nitrat toksisitesi

Nitrat redüktaz

Yapraklı sebzeler

İnsan sağlığı

ÖZ

Yapraklı sebzeler, insanların beslenmesinde çok önemli bir yer tutmakla birlikte canlıların nitrat (NO_3^-) alınmasına yüksek seviyelerde katkı sağlayan besin grubunu da oluşturmaktadırlar. Bitkilerde nitrat birikimi genetik faktörlere, çevresel faktörlere (fotoperiyot, CO_2 , sıcaklık vb.) ve tarımsal uygulamalara (kullanılan gübrelerin türü ve miktarı) bağlı olarak değişkenlik gösterir. Özellikle, azotlu gübrenin aşırı uygulanması durumunda yapraklı sebzeler yüksek düzeyde nitrat biriktirebilir. Nitrat iyonları doğrudan toksik etkiye sahip değildir. Ancak, bakteriyel nitrat redüktaz aktivitesi sonucunda nitrat, nitrit iyonlarına indirgenir. Bu da insanlarda çeşitli sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Sebzelerdeki NO_3^- düzeyinin yasal sınırların altında tutulması gıda güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, NO_3^- birikim metabolizmasının mekanizmasını anlamak, sebzelerdeki NO_3^- içeriğini azaltmak için bir ön koşuldur. Optimum gübre/besin elementi yönetimi ve uygun çevresel koşulların sürdürülmesi, düşük NO_3^- içeriğine sahip sebzelerin üretilmesinde belirleyici bir rol oynar. Bununla birlikte, sebzelerde NO_3^- birikiminin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir, yenilikçi ve ucuz yaklaşımların belirlenmesi ve geliştirilmesi gerekir. Bu derleme çalışmasında, bitkilerde NO_3^- asimilasyonu ve taşınımı ve nitrat birikimini etkileyen besinsel, çevresel ve fizyolojik faktörlerin yanı sıra, insanların besinlerle NO_3^- alınmasına sebzelerin katkısı ve nitratın insan sağlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

The Potential of Nitrate Accumulation in Plants and the Effects of Nitrate on Human Health

Review Article

Article History:

Received: 04.12.2023

Accepted: 04.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Nitrate assimilation and transport

Nitrate toxicity

Nitrate reductase

Leafy vegetables

Human health

ABSTRACT

Leafy vegetables occupy a very important place in the human diet and also represent a food group that contributes significantly to the uptake of nitrate (NO_3^-) by living organisms. Nitrate accumulation in plants varies depending on genetic factors, environmental factors (photoperiod, CO_2 , temperature, etc.) and agricultural practices (amount and kind of fertilizers used). In particular, leafy vegetables can accumulate elevated levels of nitrate due to excessive application of nitrogen fertilizer. Nitrate ions do not have a direct toxic effect. However, nitrate is converted into nitrite ions by the action of bacterial nitrate reductase. This can lead to various health problems in humans. It is of great importance for food safety to keep the NO_3^- content in vegetables below the legal limits. Therefore, understanding the mechanism of NO_3^- accumulation metabolism is a prerequisite for reducing the NO_3^- content in vegetables. Effective fertilizer/nutrient management and ensuring favourable environmental

conditions are crucial for producing vegetables with low NO_3^- content. In addition, sustainable, innovative and cost-effective approaches to reduce NO_3^- accumulation in vegetables need to be identified and developed. This review focuses on NO_3^- assimilation and transport in plants, nutritional, environmental and physiological factors affecting nitrate accumulation, the contribution of vegetables to nitrate uptake in humans, and the effects of nitrate on human health.

To Cite: Akınoğlu G., Erdal A., Rakıcıoğlu S., Horuz A. Bitkilerde Nitrat Birikim Potansiyeli ve Nitratın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1882-1912.

1. Giriş

Azot (N); mahsullerin büyümesini, gelişimini, verimini ve kalitesini etkileyen temel makro besin elementlerinden biridir (Koch ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2021). Bu besin elementi, organizmaların metabolizmasında ve enerji üretiminde önemli rol oynayan proteinler ve nükleik asitler gibi makromoleküler bileşiklerin sentezi için gereklidir (He ve ark., 2023; Krysenko, 2023). Bitkiler, topraklarda çeşitli N formlarını kullanırlar. Nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) iyonları bitkiler tarafından yetiştirme ortamından tercih edilerek alınan N formlarıdır (O'Brien ve ark., 2016; Cui ve ark., 2017). Nitrat, havalanması iyi olan çoğu toprakta başlıca N formudur. Amonyum (NH_4^+) ise bazı asidik topraklarda veya anaerobik ortamlarda baskın N formudur (Miller ve Cramer, 2004).

İnsan kaynaklı azot (N) girdisi bir asır öncesine göre on kattan fazla artmıştır (Battye ve ark., 2017). Gıda üretimini arttırmaya yönelik antropojenik faaliyetler, bitkilerde istenmeyen maddelerin birikmesini kolaylaştırabilmekle birlikte toprak kalitesini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Azotlu gübreler, verim kayıplarına ve bunların ekonomik sonuçlarına karşı makul bir sigorta olduğu düşünülerek, bitkilere aşırı miktarda uygulanmaktadır. Ancak, N girdisi bitkinin talebini aştığında, bitkiler artık onu absorbe edemez ve N toprakta öncelikle NO_3^- olarak birikir (Nosengo, 2003). Nitrat, topraktaki geniş dağılımı ve sudaki yüksek çözünürlüğü nedeniyle kuvvetle muhtemel dünya çapında en yaygın kirletici iyonlardan biri olup, su kaynaklarının ve tarım ürünlerinin kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Zendehbad ve ark., 2022).

Nitrat, uzun zamandan beri pozitif veya negatif yönleriyle ele alınan anyonlardan biri olmuştur (Hill, 1999). İnsanların beslenmesinde karşılaştığı NO_3^- (nitrat) seviyeleri ile ilişkili potansiyel uzun vadeli sağlık risklerine dair literatürde çelişkili bulgular mevcuttur. Bununla birlikte, diyet nitratının azaltılmasının arzu edilen bir önleyici tedbir olduğu tartışılmazdır (Salehzadeh ve ark., 2019).

Araştırmalar, bitkilerde yüksek NO_3^- birikiminin nitrit üretimine yol açtığını, bunun da nitrik okside (NO) dönüştüğünü ve O_2^- ile nitrat redüktaz tarafından bitkiler için oldukça toksik olan peroksinitrite (ONOO^-) hızla katalize edilebildiğini göstermiştir (Lamattina ve ark., 2003). Bu nedenle, bitkilerde yüksek NO_3^- birikimi insan sağlığı için zararlıdır (Bian ve ark., 2020).

Bitkilerde NO_3^- birikiminden sorumlu faktörler temel olarak besinsel, çevresel ve fizyolojiktir. Azotlu gübreleme ve ışık yoğunluğu, sebzelerdeki NO_3^- akümülyasyonunu etkileyen başlıca faktörler olarak tanımlanmıştır (Cantliffe, 1973). Işık yoğunluğundaki günlük değişiklikler, bitkilerde günlük NO_3^- birikiminde değişmelere yol açar. Klorür, kalsiyum, potasyum, sülfat ve fosfor gibi pek çok besin maddesi bitkilerde NO_3^- biriktirme sürecine dâhil olur. Nitrat içeriği bitkinin çeşitli kısımlarına ve

bitkinin yaşına göre değişkenlik gösterir (Santamaria ve ark., 1999; Anjana ve ark., 2006). Nitrat içeriğindeki bir azalma, besleyici ve terapötik özellikleri nedeniyle çok popüler olan bitkisel ürünlere değer katabilir (Santamaria, 2006). Bu nedenle, sebzelerde NO_3^- birikimini sınırlamak, gübrede azot kullanımını optimize etmek ve toprak-su kaynaklarının potansiyel bozulmasını azaltmak için uygun stratejilerin benimsenmesi ve bireysel fizyolojik faktörlerin süreçteki rolünün belirlenmesi önemlidir (Anjana ve Iqbal, 2007).

Bu derleme çalışması bitkilerde NO_3^- asimilasyonu ve taşınımı, nitrat birikiminden sorumlu faktörler, insanların diyetle nitrat alımına değişik sebzelerin katkısı ve nitratın insan sağlığı üzerindeki etkileri üzerine bilgiler içermektedir.

2. Nitrat Sinyalizasyonu ve Taşınma Mekanizması

Azot, bitkilerin NO_3^- ve NH_4^+ iyonu formunda aldıkları temel bir makro besin elementidir (Gojon, 2017). Nitrat azotu, havalanması iyi olan topraklarda en baskın ve aynı zamanda bol miktarda bulunan bir formdur (Mukherjee ve Sarkar, 2020). Bu nedenle, NO_3^- alım mekanizmasını anlamak, nitrojen kullanım etkinliğini arttırmanın anahtarıdır (Chen ve ark., 2020). Nitrat algılama, harici bir çözeltilen bitkiye NO_3^- iyonlarının alımını başlatan nitrat asimilasyon yolundaki birincil ve temel bir adımdır (Ali, 2007). Bir hipoteze göre, bakterilerdeki nitrat redüktaz enziminin bir nitrat sensörü olduğu rapor edilmiştir (Khodashenas, 2015). Ayrıca nitrat redüktaz (NR) sensörü, NO_3^- iyonlarına maruz kaldığında harici ortamdaki nitrik oksiti algılar. Yanıt olarak, plazma zarına dayalı enzim sistemi aktive edilir ve nitrattan nitrik oksit üretir, bu da plazma zarına bağlı NO_3^- alım sistemini tetikler. Bununla birlikte, bakterilerin aksine, bitkiler membranları üzerinde spesifik nitrat sensörlerine sahip değildir (Siliakus ve ark., 2017). Bu bağlamda, bazı integral proteinlerin aynı anda sensörler ve taşıyıcılar olarak hareket ettiği yaygın olarak kabul edilmektedir (Conde ve ark., 2010). Bugüne kadar, nitrat taşıyıcıları 1 ve 2 (NRT 1 ve NRT 2), yavaş aktive olan anyon kanalları (SLAC) ve klorür kanalları (Hsu ve Tsay, 2013) olmak üzere, bu türden yalnızca dört nitrat taşıyıcı aile tanımlanmıştır. Çalışmalar, dış ortamın konsantrasyonuna ve nitrat indüklenebilirliğine bağlı olarak üç sistemin varlığını göstermiştir (Liu ve ark., 2014). Yüksek yapılı bitkiler kinetik olarak farklı iki nitrat alım sistemine (yüksek afiniteli taşıma sistemi (HATS) ve düşük afiniteli taşıma sistemi (LATS) sahiptir (Li ve ark., 2022). Düşük NO_3^- konsantrasyonlarında, yapısal ve indüklenebilir olmak üzere iki tip olan HATS aracılığıyla taşımının kolaylaştırıldığı bildirilirken; dış çözeltildeki yüksek NO_3^- konsantrasyonlarında ise LATS'ın NO_3^- iyonlarının alımını artırdığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, üç taşıma sistemiyle ilişkili moleküler bileşenlerin tanımlanmasıyla kapsam daha da genişletilmiştir (Krapp ve ark., 2014; Saber manesh ve ark., 2017). NRT 1 ve peptid taşıyıcılarının üyeleri LATS olarak kabul edilirken, NRT 2/nitrat-nitrit taşıyıcılarının üyeleri HATS olarak kabul edilir (Okamoto ve ark., 2003). NRT 1.1 ve 2.1'in sırasıyla düşük ve yüksek afiniteli taşıma sistemlerindeki proteinleri kodlayarak köklerde ATP'ye bağlı NO_3^- alımında rol oynadığı bildirilmiştir (Laugier ve ark., 2012). Bunlar arasında, dış ortamdaki düşük NO_3^-

konsantrasyonunda NRT 2.1'in NRT 1.1'e kıyasla nitrata bitki köklerinden verimli bir şekilde aldığı kanıtlanmıştır (Glass, 2009).

3. Nitrat Sinyali ve İletimi

Nitrat sinyali ve iletimi en karmaşık süreçlerden biridir (Zalutskaya ve ark., 2018). Kök hücrenin plazma zarındaki nitrata duyarlı genler NO_3^- sinyalizasyon sürecini başlatır (Sagar ve ark., 2021). Protein kinazlar ve kalsiyum, NO_3^- sinyallemede önemli bir rol oynar (Sagar ve ark., 2021). Kalsinörin B benzeri protein (CBL 1/9) ve CBL etkileşimli protein kinaz 23 (CIPK 23) kompleksi, harici çözeltideki düşük NO_3^- konsantrasyonunda NRT 1.1'i fosforile ederek NRT 1.1'e yüksek afiniteli bir NO_3^- taşınımı kazandırır (Gao ve ark., 2018; Wang ve ark., 2018). Ayrıca, NRT 1.1'in fosforilasyonu, fosfolipaz C'yi aktive eder ve bu da hem sitoplazmada hem de çekirdekte bulunan ve esas olarak yanıl kökü başlatmaktan ve büyütmeekten sorumlu olan birkaç transkripsiyonel faktörü aktive eder (Singh ve ark., 2009). Benzer şekilde, ortamdaki yüksek NO_3^- konsantrasyonu ve sitozoldeki eksikliği koşullarında, nitrat için başka bir sinyal yolu olan fosforile olmayan NRT 1.1 sinyali, treonin 101 fosforilasyonunun varlığında aktive olur ve hücre çekirdeğindeki CPK10 ve NLP 7 kompleksinin aktivasyonunda önemli bir rol oynayan ikincil haberci kalsiyumun indüksiyonu ile sonuçlanır. Böylece yan kök başlatma ve büyümesine atfedilen asimilatör nitrat redüktaz (ANR) üretiminden sorumludur (Curran ve ark., 2011; Wan ve ark., 2019). Buna karşın, bir oksin yanıt yolu olan AFB 3, PLC ve kalsiyumun ikincil haberci olarak yer almaması nedeniyle daha duranıdır (Scherer, 2011). Çalışmalar, AFB 3 ve NAC 4 transkripsiyon faktörünün yanıtının, esas olarak NRT 1.1'in nitrat taşınmasındaki işlevine bağlı olduğunu göstermiştir (Sagar ve ark., 2021). Oksinin bu aktivasyonu, birincil kök büyümesinden ve yanıl kök büyümesinden sorumludur ve NO_3^- alımını artırır (Overvoorde ve ark., 2010). Bununla birlikte, düşük NO_3^- konsantrasyonunun varlığında, NRT 1.1'in oksin tepkisi aşağı doğru düzenlenir, bu da sonuçta yanıl kök üretimini bozar ve dış ortamdaki NO_3^- alımını önemli ölçüde etkiler (Tahir ve ark., 2021).

4. Nitrat Asimilasyonu

Değişik NO_3^- alım mekanizmaları ile plazma zarından bitki sistemine geçmeyi başaran NO_3^- miktarı, spesifik nitrat taşıyıcıları tarafından bitkinin farklı kısımlarına taşınır (Fan ve ark., 2017). Nitrat, translokasyondan hemen sonra çok yararlı biyomoleküllere (örneğin; amino asit, protein) asimile olur (Sagar ve ark., 2021). Buna karşılık, kök üzerindeki sürgünde çok yüksek oranda NO_3^- asimilasyonu meydana gelir ve bu da sürgünlerde fotosentez tarafından üretilen enerjinin daha fazla kullanılabilirliğine bağlanabilir (Khan ve ark., 2019). Nitrat asimilasyonunun hem sitozolde hem de kloroplastlarda hızlı bir şekilde gerçekleştiği bildirilmiştir. Bunun nedeni, genellikle plazma membranında ve bir dereceye kadar sitozolde de bulunan nitrat redüktaz enziminin varlığı olabilir (Ali, 2020). Nitrat, NR enzimi ile temas ettiğinde nitrite indirgenir. Azotun nitrit formu, bir amino aside daha fazla indirgeme için enzimlerin gereksinimlerini karşılamak üzere kloroplasta kolayca taşınır. Ayrıca,

bir önceki adımda oluşan amino asitin, bir enzim olan glutamin sentaz varlığında indirgenmesi glutamik asit oluşumuyla sonuçlanır (Bowsher ve ark., 2007).

Bitkilerde NO_3^- asimilasyonundan esas olarak GS1 ve GS2 olmak üzere iki gen sorumludur (Masclaux-Daubresse ve ark., 2010). Bu genlerin rolleri esas olarak N konsantrasyonu tarafından belirlenir. Yüksek NO_3^- konsantrasyonu altında GS1, nitratın amino asitlere asimilasyonunda önemli bir rol üstlenmenin yanı sıra, floemin kaynaktan N asimilatları ile yüklenmesine yardımcı olarak bitki metabolizmasında asimilatların verimli bir şekilde kullanımını kolaylaştırır (Foyer ve ark., 2011). Öte yandan, GS2 hem doğrudan NO_3^- asimilasyonunda hem de fotorespirasyon sırasında NO_3^- asimilasyonunda yer alır. Ancak asimilasyon, gelişme ortamından alınan NO_3^- konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir (Jauregui ve ark., 2015). Ortamdaki NO_3^- konsantrasyonunun yüksek olması durumunda, NO_3^- sürgüne transloke olur ve nitratın asimilasyonu sürgünde gerçekleşir. Diğer yandan, NO_3^- konsantrasyonunun düşük olması durumunda ise nitratın translokasyonu kısıtlanarak kökte asimilasyon gerçekleşir. Bu yüzden, bitkide N kullanım etkinliğini arttırmaya yönelik uygun bir yaklaşım geliştirmek için NO_3^- asimilasyon mekanizmalarını anlamak önemlidir (Hirel ve ark., 2011).

5. Nitrat Taşınımı

Hücre özsuyunun NO_3^- konsantrasyonuna bağlı olarak kök hücrelerine alınan nitratın yer değiştirmesi ksilem yoluyla gerçekleşir (Liu ve ark., 2014). Nitratın sürgüne taşınması sürecine düşük afiniteli taşıyıcıların aracılık ettiği kanıtlandığından, hücre özsuyunun nitrata göre konsantrasyonu bu süreci önemli ölçüde belirler (Dodd ve ark., 2003). Genel olarak, NO_3^- taşınımına normal koşullar altında esas olarak NPF 7.3 aracılık ederken; tuz stresi şartlarında NPF 2.3'ün taşınımına aracılık ettiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, NO_3^- alımı çoğunlukla kökte gerçekleşir, ancak yaprağın katkısını da göz ardı etmemek gerekir (Anjana ve Iqbal, 2007). Yapraktan alınan NO_3^- başlangıçta vakuollerde depolanır ve daha sonra yaprakların NO_3^- ihtiyacına bağlı olarak yaşlı yapraklardan genç yapraklara doğru taşınır (Le Deunff ve ark., 2019). Normal koşullar altında, yer değiştirmeyi kolaylaştırmak için floem yüklemesinden sorumlu nitrat taşıyıcıları NPF 1.1 ve NPF 1.2'dir. Noksanlık koşulları altında ise, NPF 2.4 ve NPF 2.5 gibi yüksek afiniteli taşıyıcılar yeterli miktarda nitratın etkin bir şekilde yer değiştirmesinde kilit rol oynar (Fan ve ark., 2009).

6. Nitratın Depolanması ve Yeniden Mobilizasyonu

Nitrat, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gereklidir. Ancak hücre özsuyundaki çok yüksek NO_3^- konsantrasyonu bitkiler için zararlı olabilir (Yosoff ve ark., 2015). Nitratın sitozolde asimilasyonu, hücredeki NO_3^- konsantrasyonunu düzenlemeye yardımcı olur, ancak nitrat taşıyıcılarının aşırı ekspresyonu durumunda, NO_3^- asimilasyonunun hızına yetişemez. Bu da dengesizliğe ve daha yüksek NO_3^- konsantrasyonuna yol açar (Glass ve ark., 2002). Bu durum bitkilerde ara sıra meydana gelir. Dolayısıyla NO_3^- toksisitesine karşı koymak için bitkilerin hücre depolama mekanizması gibi alternatif bir mekanizması vardır. Hücre vakuölü NO_3^- depolanmasını kolaylaştıran başlıca hücre organelidir (Isayenkov ve ark., 2014).

Hücre özsuyunda N konsantrasyonu düştüğünde, depolanan NO_3^- yeniden mobilize edilerek asimilasyona tabi tutulur (Inkham ve ark., 2011). Ancak, depolamaya dahil olan nitrat taşıyıcıları henüz tanımlanmamıştır (Sagar ve ark., 2021). Bununla birlikte, sitozoldeki NO_3^- konsantrasyonunun hücre içindeki NO_3^- konsantrasyonundan birçok kez daha yüksek olduğu ve böylece kuraklığa tolerans için anahtar bir mekanizma olan hücrenin ozmotik ayarlanmasına önemli ölçüde katkıda bulunduğu açıktır (Meloni ve ark., 2004).

Depolanan yerden NO_3^- salınımının mahsulün ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz olduğu şiddetli azot eksikliği koşullarında proteinler, amino asitler gibi biyomoleküller şeklinde bulunan azot bazı asimilatlar bozulmaya uğrar ve azot remobilizasyonu meydana gelmeye başlar (Zhao ve ark., 2005).

7. Nitrat Birikiminden Sorumlu Faktörler

Bitkide NO_3^- birikim düzeyi, genellikle net absorpsiyon ve asimilasyon oranları arasındaki dengesizliğin bir sonucu olarak görülür (Cardenas-Navarro ve ark., 1999). Bunda, endojen ve eksojen faktörlerin etkisi açık bir şekilde görülür. Bir yandan hem alım hem de asimilasyon sistemleri genetik olarak belirlenir (Ferrario-Mery ve ark., 1997; Ourry ve ark., 1997). Bitkilerin NO_3^- içeriğindeki değişkenlik bitki tür ve çeşitlerindeki genetik faktörlere göre değişmektedir. Öte yandan, bitkilerde NO_3^- absorpsiyonunun besin mevcudiyetine bağlı olduğu ve NO_3^- asimilasyonunun birçok bitkide kısmen fotosentetik bir süreç olduğu için iklimden bağımsız bir şekilde gerçekleştiği bildirilmiştir (Ferrario-Mery ve ark., 1997). Alternatif olarak, bitkide NO_3^- içeriği ya ozmotik potansiyel düzenlemesi yoluyla sabitlenebilir (McIntyre, 1997) ya da taşıma sistemleri üzerindeki negatif geri besleme yoluyla kendiliğinden düzenlenebilir (Cardenas-Navarro ve ark., 1999).

7.1. Beslenme Faktörleri

Nazaryuk ve ark. (2002) bitkilerde NO_3^- birikiminin düzenlenmesinde tarımsal kimyasalların rolünü incelemiş ve NO_3^- birikimi sürecinin: i) kimyasal gübrelerin uygulanması, ii) fizyolojik olarak aktif maddeler ve sorbentlerle muamele, iii) toprak ortamındaki doğal ve antropojenik değişiklikler olmak üzere üç ana faktör grubuna bağlı olduğunu bildirmiştir. Nitrat birikimi üzerine etkilerine göre bu faktörler; gübreler > fizyolojik olarak aktif maddeler > toprak şeklinde sıralanabilir. Bitki dokularında NO_3^- birikimini kontrol etme potansiyelini araştırmak için, dışsal bir N kaynağının topraktaki etkisini göz önünde bulundurmakla birlikte, bitkilerin gübre azotu kullanım etkinliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir (Nazaryuk ve ark., 2002).

Bitkinin gerçek gereksinimi ve toprakta bulunan N miktarı dikkate alınmadan yapılan azotlu gübre uygulanması sonucu bitkide aşırı N alımına bağlı olarak NO_3^- birikimi söz konusu olabilmektedir (Özenç ve Şenlikoğlu, 2017). Bitkinin öncelikli ihtiyacından daha fazla alındığında, vakuolde serbest NO_3^- olarak depolanır ve daha sonra bitkinin N talebini karşılamak için yetersiz olduğunda yeniden mobilize edilebilir (van der Leij ve ark., 1998). Sebzelerde NO_3^- birikimi genellikle toprakta bulunan besin maddelerinin miktarına ve türüne bağlı olmakla birlikte uygulama zamanı, uygulanan gübrelerin miktarı ve bileşimiyle de yakından ilişkilidir (Zhou ve ark., 2000). İdeal bir gübreleme programı, bitki

NO_3^- seviyelerinin çok yükselme riski olmaksızın yeterli bitki büyümesini sağlayabilir (Vieira ve ark., 1998). Azotlu gübre dozu arttıkça bitkiler daha fazla NO_3^- biriktirir (Santamaria ve ark., 1998a, b; Chen ve ark., 2004; Nazaryuk ve ark., 2002). Azot mevcudiyetinin sınırlandırılması ise NO_3^- içeriğini önemli ölçüde azaltır (McCall ve Willumsen, 1999). Yetiştirme sürecinin başlangıcında azotun bir kez uygulanması NO_3^- birikimini etkili bir şekilde kontrol eder, çünkü bitkiler pazarlanabilir boyuta ulaştıkça bitki ve toprağın NO_3^- konsantrasyonları azalır (Vieira ve ark., 1998). Amonyak veya nitrat-amonyum karışımına dayalı gübrelerin kullanımı, bitkilerdeki NO_3^- içeriğini azaltabilir (İnal ve Tarakçıoğlu, 2001; Santamaria ve ark., 2001).

Toprak reaksiyon (pH) değerini düşürme aktivitesine sahip olan amonyum bu özelliğinden ötürü, bitki besin çözeltilisine asit ekleme ihtiyacını en aza indirir. Bu da amonyumu, topraksız yetiştirme sistemlerinde daha fazla dikkate alınmaya değer bir iyon haline getirir (Santamaria ve Elia, 1997). Bitkinin hangi kısmı tarafından tüketileceğine bağlı olarak uygun bir gübre seçilebilir (Zhou ve ark., 2000). Örneğin; karnabahar bitkisi yapraklarında NO_3^- birikimi üzerine değişik azotlu gübrelerin etkisi, üre > amonyum karbonat > amonyum nitrat > amonyum sülfat şeklinde sıralanırken; aynı bitkinin yaprak sapında bu sıralama, üre > amonyum nitrat > amonyum sülfat > amonyum karbonat şeklinde gerçekleşmiştir (Anjana ve Iqbal, 2007).

Organik gübrelerle yetiştirilen sebzeler, kimyasal gübrelemeyle (Raupp, 1996) veya geleneksel olarak yetiştirilen sebzelerle karşılaştırıldığında düşük NO_3^- içerdikleri ve bu etkinin ise saha koşullarından bağımsız bir şekilde cereyan ettiği bildirilmiştir (Anjana ve Iqbal, 2007). Ürünlerde NO_3^- birikimi, bir yandan gübreleme ve toprak organik maddesinin mineralizasyonu yoluyla NO_3^- arzının artmasının, diğer yandan da asimilatların kullanılabilirliğinin azalmasının bir fonksiyonudur. Bu nedenle, bitkide N varlığı ne kadar yüksekse (kimyasal gübre > likit formda hayvan gübresi = sulu atık çamuru > katı formda hayvan gübresi > kompost) ve asimilasyon intensitesi ne kadar düşükse, NO_3^- zenginleşmesi o kadar yüksek olacaktır. Ayrıca, organik maddenin aktif mineralizasyonundan kaynaklanan zayıf kontrollü toprak azotu akışı, bitkilerde aşırı NO_3^- birikimine yol açabilir (Nazaryuk ve ark., 2002).

Düşük NO_3^- içeriği ile kaliteli bir verim elde etmek, bitkilerin N beslenmesini manipüle etmekle mümkündür (Izmailov, 2004). Yeterli ve dengeli beslenme, bitkilerin ürün miktarını ve kalitesini arttırmada önemli bir rol oynar. Azotlu, fosfatlı ve potasyumlu gübrelerin yanı sıra yeşil ve çiftlik gübrelerinin uygun bir şekilde uygulanması sebzelerde NO_3^- birikimini önemli ölçüde azaltabilir (Zhou ve ark., 2000).

Seginer (2003), bitki büyümesini ve nitrat içeriğini tahmin etmek için dinamik bir marul modeli olan NICOLET'i geliştirmiştir. Bu model, azalan N ve su içeriklerine göre bitki bileşenlerinin zamanla değişmez olduğu bitki büyümesinin ilk aşaması için geçerli bir modeldi. Model daha sonraları modifiye edilerek (Seginer ve ark., 2004), azaltılmış nitrojen ve su içeriklerindeki ontogenetik değişiklikleri karşılamak için geçerliliğini geç vejetatif büyüme aşamasına kadar genişletmiştir. Geliştirilmiş model, su içeriğinin, marulun önemli NO_3^- havuzu için öngörülen N alımını belirlediğini belirtir. Bu modeller,

N alımı tahminlerini iyileştirme potansiyeline sahip olup, böylece gübre ihtiyaçlarının daha doğru bir şekilde hesaplanmasına katkıda bulunurlar.

Bitkilerdeki NO_3^- konsantrasyonu, ürün hasadından birkaç gün önce N beslemesinin durdurulmasıyla da manipüle edilebilir (Santamaria ve ark., 2001). Bu şekilde NO_3^- vakuollerden uzaklaştırılacak ve bitkiler azalan ozmotik değeri telafi etmek için gereken organik vakuolleri koruyacaktır. Nitrat konsantrasyonu, ürün hasadından birkaç gün önce nitrat azotunun (NO_3^- -N); klorür, sülfat, amonyum veya amino asitlerle değiştirilmesiyle de azaltılabilir (Santamaria ve ark., 1998b; İnal ve Tarakçıoğlu, 2001).

Klorür (Cl^-) ve NO_3^- iyonları, ozmoregülasyonda birbirlerinin yerine geçebilen bir rol üstlenebilir; Klorür anyonu, nitratla değişimi suretiyle bitkinin aşırı NO_3^- birikimini önleyebilir ve bitki organlarındaki N içeriği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir (Dorais ve ark., 2001). Klorür alımının NO_3^- ve diğer besin maddelerinin alımı ile etkileşimi Xu ve ark. (1999) tarafından araştırılmıştır. Chapagain ve ark. (2003) tarafından yapılan bir araştırma sonucunda, besin çözeltisindeki Cl^- konsantrasyonunun artmasıyla meyvede NO_3^- içeriği azalmaktadır. Bu bulgular, özellikle yaprak dokularında Cl^- ve NO_3^- alımı arasında antagonistik etkinin olduğunu ortaya koymuş ve önceden yapılan çalışmalarla da desteklenmektedir. Bitkilerin toplam N içeriği, Cl^- uygulamasına yanıt olarak azalmadığından, Liu ve Shelp (1996), Cl^- emiliminin NO_3^- emilimi ile doğrudan rekabet etmediğini öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar ayrıca, brokoli bitkilerinin yetiştirme ortamına makul düzeyde Cl^- ilavesinin, NO_3^- indirgemesini hızlandırarak bitkinin NO_3^- içeriklerini azalttığını tespit etmişlerdir. Cl^- uygulamasının, özellikle NO_3^- akümülatörleri olarak sınıflandırılan ıspanak, marul ve lahana gibi sebzelerde NO_3^- içeriğini azaltmak için bir strateji olarak kullanılabileceğini öne sürmüştür (Maynard ve ark., 1976). Bununla birlikte, Cl^- tarafından NO_3^- alımının inhibisyonu, bitki türüne ve ortamdaki NO_3^- ve Cl^- konsantrasyonlarına bağlıdır (Cerezo ve ark., 1997). Urrestarazu ve ark. (1998), hasattan önceki son hafta boyunca besin çözeltisindeki nitratın klorür ile değiştirilmesinin yapraklı sebzelerdeki NO_3^- içeriğini azalttığını öne sürmüşlerdir.

Potasyum uygulama oranındaki artış, nitratın alımını ve bitkinin toprak üstü kısımlarına taşınmasını kolaylaştırmanın yanı sıra, nitratın metabolizmasını ve kullanımını da teşvik eder ve sonuç olarak bazı sebze bitkilerinde NO_3^- birikimini azaltır (Ahmed ve ark., 2000; Ruiz ve Romero, 2002). Bununla birlikte, bazı çalışmalar topraktaki potasyum kaynaklarının NO_3^- birikimini etkilemediğini göstermiştir (Drlik ve Rogl, 1992).

Ahmed ve ark. (2000), artan fosforlu gübrelemeye bağlı olarak NO_3^- içeriğinde azalma olduğunu bildirmişlerdir. Bitki içindeki inorganik fosfor, nitratın metabolizması ve depolanması için gereklidir, ancak yüksek konsantrasyonlar enzim reaksiyonlarını engeller, hücrede anormal basınç oluşturur ve yaşlanmayı hızlandırır. Bitkilerin yaşlanması ise, azalan NO_3^- alımı ve birikimi ile ilişkilidir (Ahmed ve ark., 2000). Sınırlayıcı fosfatla ilişkili büyüme geriliği; sürgünlerin kök-gövde oranında, kuru madde içeriğinde, şeker ve organik asit konsantrasyonlarında artışa ve NO_3^- konsantrasyonunda azalmaya neden olur (Buwalda ve Warmenhoven, 1999).

Nitrat birikimi diğerk bazı kimyasallarla ilişkili olarak da incelenmiştir. Salisilik asidin (Ahmed ve ark., 2000), molibden içeren gübrelerin (Zhou ve ark., 2000), nitrifikasyon inhibitörlerinin (Zhou ve ark., 2000; Xu ve ark., 2005) ve kalsiyumun (Tzung ve ark., 1995) yaprakdan uygulanması bitkilerin NO_3^- içeriğini önemli ölçüde azaltabilir. Marul yapraklarında, şeker seviyeleri ve serbest amino asit konsantrasyonları, yüksek bir kalsiyum kaynağı altında artar ve marul hücresinin vakuolündeki nitratın yerini alır (Ahmed, 1996). Marul bitkisinde NO_3^- içeriği ile sülfat (SO_4^{2-}) içeriği arasında negatif bir ilişki vardır (Blom-Zandstra ve Lampe, 1983) ve bu nedenle kükürt (S) eksikliği, NO_3^- içeriğinde artışa neden olabilir (Maynard ve ark., 1976). Öte yandan, farklı ürünlerde (lahana, havuç, pancar, domates, soğan ve patates) NO_3^- içeriğinin, hümik asit ve zeolit in etkisi altında önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir (Nazaryuk ve ark., 2002). Bitkinin normal metabolizması için eksik ya da sadece yeterli konsantrasyonlarda bor (B) tedariki NO_3^- içeriğini etkilememiş, ancak toksik B oranı bitkilerin NO_3^- içeriğini önemli ölçüde artırmıştır (İnal ve Tarakçıoğlu, 2001). Yüksek oranda N içeren arıtma çamuru uygulanmış topraklarda yetiştirilen bitkilerin yenilebilir kısımlarında NO_3^- birikmesi görülmektedir (Nazaryuk ve ark., 2002).

Toprakta tuz birikimi, sebze mahsullerinde NO_3^- birikimini azaltabilir (Chung ve ark., 2005). Ancak, bitki kök bölgesinde tuz birikimi ozmotik strese yol açar. Ozmotik stresin etkisiyle, K^+ , Ca^{+2} ve NO_3^- gibi temel iyonların bitki tarafından alınımı engellenirken, Na^+ ve Cl^- iyonları bitki tarafından aşırı miktarda alınır. Bu durum, bitki hücrelerinde iyon homeostazının bozulmasına neden olur (Paranychianakis ve Chartzoulakis, 2005).

7.2. Çevresel Faktörler

Bitkilerde NO_3^- birikimi çevresel faktörlerden büyük ölçüde etkilenir (Bian ve ark., 2020). Santamaria ve ark. (2001) roka bitkisinde NO_3^- birikimi üzerinde ışık yoğunluğu, N mevcudiyeti ve sıcaklık arasında bir etkileşim gözlemlemiştir. Düşük ışık mevcudiyeti koşulları altında, sıcaklıktaki artış NO_3^- birikimini artırır. Öte yandan, yüksek ışık yoğunluğu altında, sıcaklıktaki bir artış esas olarak N arzı yüksek olduğunda NO_3^- içeriğini artırır (Anjana ve Iqbal, 2007). Chadja ve ark. (2001)'nin seralarda yapay aydınlatmanın maruldaki NO_3^- birikimi üzerine etkisini incelediği bir araştırmada, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların, nitrat redüktaz (NR) aktivitesini arttırmada ve NO_3^- birikimini azaltmada metal halojenür lambalardan daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Grzebelus ve Baranski (2001) tarafından yapılan bir araştırmada iklimin NO_3^- birikimi üzerindeki etkisi incelenerek NO_3^- içeriğinin yüksek yağış alan yılda daha az olduğu tespit edilmiştir. Sıcak ve yağışlı yıllarda, nitrojenin organik veya mineral kaynaklardan gelmesinden bağımsız olarak artan NO_3^- birikimi mümkündür (Custic ve ark., 2003). Bununla birlikte, NO_3^- birikimi mevsime göre de değişir (Vieira ve ark., 1998). Sonbahar-kış aylarında NO_3^- birikim seviyesi ilkbahara göre daha yüksektir (Santamaria ve ark., 1999). Kışın bitkilerin daha az ışık ve sıcaklık koşulları nedeniyle toprakta bulunan azotun tamamını kullanamadığı düşünülmektedir (Anjana ve Iqbal, 2007).

7.3. Genotipik Değişkenlik

Nitrat içeriği bitki türlerine, aynı türün çeşitlerine ve hatta farklı ploidiye sahip genotiplere göre belirgin bir şekilde değişir (Grzebelus ve Baranski, 2001; Harada ve ark., 2003; Anjana ve ark., 2006). Sürgün NO_3^- içeriği genetik olarak belirlenir ve kuvvetle muhtemel birkaç gen (QTL) tarafından kontrol edilir (Harrison ve ark., 2004). Bitkilere göre NO_3^- kapsamındaki değişkenliğin nedensel faktörleri arasında azot metabolik yolunun enzimlerindeki (nitrat redüktaz/nitrit redüktaz) genotipler arasındaki genetik farklılıklar, NO_3^- alım oranı, enzim aktivitesi için gerekli diğer elementlerin alım oranı veya NO_3^- birikiminde gözlemlenen değişkenliklere yol açabilecek asimilasyon yolunda gerekli elektron donörlerinin üretimindeki farklılıklar yer alabilir. Buna karşın, Blom-Zandstra ve Eenink (1986) NO_3^- içeriği bakımından önemli ölçüde farklılık gösteren marul genotiplerinde NO_3^- birikiminin düşük NO_3^- asimilasyon oranından kaynaklandığına dair bir kanıt bulamamıştır. Nitrat birikiminin farklı kapasiteleri, nitrat redüktaz aktivitesinin farklı konumlarıyla (Andrews, 1986) ve fotosentetik kapasitedeki farklılıklarla (Behr ve Wiebe, 1992), solunum substratı ve indirgeyici eşdeğerleri üretme ve aktarma kabiliyetiyle veya absorbe edilen nitrata indirgeme bölgelerine aktarma kapasitesindeki farklılıklarla da ilişkilendirilebilir (Anjana ve Iqbal, 2007). Vakuollerde artan karbonhidrat konsantrasyonu ile birlikte NO_3^- birikimi azalır (Anjana ve Iqbal, 2007). Nitrat birikimi, şeker konsantrasyonları (Blom-Zandstra ve Lampe, 1983) ve kuru madde içeriği (Reinink ve ark., 1987) ile negatif korelasyon gösterirken, son iki parametre farklı genotiplerde birbiriyle pozitif korelasyon göstermiştir (Anjana ve Iqbal, 2007). Bu nedenle, yüksek kuru madde içeriğine sahip genotipler, vakuollerinde yüksek karbonhidrat içeriğine sahip olabilir ve ozmotik değerlerini korumak için az miktarda nitrata ihtiyaç duyabilirler (Reinink ve ark., 1987).

Mutant ve transgenik bitkilerle yapılan çalışmalar, bir bitkideki NO_3^- konsantrasyonunu etkileyebilecek bir dizi geni (glutamin sentetazı (GS1) kodlayan genler, ferrodoksin bağımlı glutamat sentaz kodlayan genler) ortaya çıkarmıştır (Hausler ve ark., 1994; Scheible ve ark., 1997; Geelen ve ark., 2000; Harada ve ark., 2004). Ancak, başka genler de söz konusu olmalıdır (Anjana ve Iqbal, 2007). Loudet ve ark. (2003), *Arabidopsis* Bay-O ve Shahdara rekombinant kendilenmiş hatlarını (RILs) kullanarak, kuru madde bazında NO_3^- içeriği için sekiz kantitatif özellik lokusu (QTLs) tanımlamıştır. Hirel ve ark. (2001) mısırdaki kuru maddedeki NO_3^- içeriği için, glutamin sentetazı kodlayan bir gen de dâhil olmak üzere beş kantitatif özellik lokusu tanımlamıştır. Vakuollerde NO_3^- depolanması, nispi NO_3^- alım oranları, NO_3^- indirgeme ve asimilasyon, vakuole NO_3^- transferi ve oradan dışarı atılması dâhil olmak üzere birçok süreçten etkilenir (Anjana ve Iqbal, 2007). Bu nedenle, çok sayıda gen ürünü potansiyel olarak tüm doku düzeyinde serbest NO_3^- içeriğinde doğal olarak meydana gelen varyasyonları etkileyebilir (Harada ve ark., 2004).

Harrison ve ark. (2004) *Lotus japonicus* bitkisinin sürgünlerindeki NO_3^- içeriğindeki genotipik değişkenliğini incelemiş ve bunun, biyokütle üretiminden bağımsız olarak iyon alımındaki artıştan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Sürgün NO_3^- içeriği ile yüksek afiniteli nitrat taşıyıcılarını kodlayan mRNA'nın kararlı durum seviyesi arasındaki pozitif korelasyon, daha yüksek NO_3^- akışının taşıyıcıların

artan ekspresyonundan kaynaklandığını düşündürür (Anjana ve Iqbal, 2007). Nitrat alımının ve bitkideki birikiminin kontrolünün, bitkinin talebinden bağımsız olarak genetik değişkenliğe tabi olabileceğini göz önünde bulundurmak gerekir. Bu nedenle, daha az NO₃⁻ biriktiren bitki genotiplerinin seçilmesi, insanların tarımsal ürünler yoluyla NO₃⁻ tüketimini ve tüketimleri sonucu NO₃⁻ zehirlenmesi riskini kayda değer bir şekilde azaltmaya yardımcı olabilir. Nitrat birikimiyle ilişkili sorunları aşmanın bir başka yöntemi de yoğun N gübrelemesi altında bile NO₃⁻ biriktirmeyen çeşitler yetiştirmek olabilir (Anjana ve Iqbal, 2007).

8. Bazı Tarımsal Ürünlerin Nitrat Biriktirme Potansiyeli

Bitki türleri ve hatta aynı türün çeşitleri arasında bile NO₃⁻ birikimi yönünden büyük farklılıklar olacağı bildirilmiştir (Quinche ve Dvorak, 1980; Reinink ve Eenink, 1988; Roupael ve ark., 2017) ve bu varyasyonun büyüklüğü genellikle çevresel koşullar tarafından modüle edilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Bazı tarım ürünlerinde nitrat içerikleri (Colla ve ark., 2018)

Mahsul	Yetiştirme sistemi	Yetiştirme sezonu	Nitrat (mg NO ₃ ⁻ / kg yaş ağırlık)		Kaynak
			Ortalama	Minimum-Maksimum	
Brokoli	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	70	30-85	Lyons ve ark., 1994
Brokoli	Organik	Eylül-Kasım	204	3-683	Nuñez de Gonzáles ve ark., 2015
Brüksel lahanası	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	10	10-15	Lyons ve ark., 1994
Lahana	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	240	70-370	Lyons ve ark., 1994
Karnabahar	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	50	40-75	Lyons ve ark., 1994
Karnabahar	Konvansiyonel	Kış	57	54-59	Ysart ve ark., 1999
Çin lahanası	Konvansiyonel	Yaz	1300	429-1610	Zhou ve ark., 2000
Çin lahanası	Konvansiyonel	Kış	1291	131-3249	Chung ve ark., 2003
Kırmızı lahana	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	281	35-704	EFSA, 2008
Pazı	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	570	450-725	Lyons ve ark., 1994
Roka	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	4677	1528-7340	EFSA, 2008
Roka	Su kültürü	Haziran-Şubat	8243	6461-9703	Guadagnin ve ark., 2005
Roka	Organik	Haziran-Şubat	4073	2160-5670	Guadagnin ve ark., 2005
Pancar	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	1852	84-3685	EFSA, 2008
Rezene	Konvansiyonel	Ocak-Eylül	363	107-769	Santamaria ve ark., 1999
Yeşil soğan	Konvansiyonel	Ocak-Temmuz	410	69-1046	Santamaria ve ark., 1999
Marul	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	425	33-2304	Greenwood ve ark., 1986
Marul	Konvansiyonel	Kış	887	482-1435	Ysart ve ark., 1999
Marul	Konvansiyonel	Yaz	1568	610-3857	Ysart ve ark., 1999
Marul	Su kültürü	Haziran-Şubat	2983	1842-4022	Guadagnin ve ark., 2005
Marul	Organik	Haziran-Şubat	818	115-1852	Guadagnin ve ark., 2005
Ispanak	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	284	8-1513	Greenwood ve ark., 1986
Ispanak	Konvansiyonel	Kış	1272	839-1721	Ysart ve ark., 1999
Ispanak	Konvansiyonel	Yaz	1639	1009-2194	Ysart ve ark., 1999
Ispanak	Organik	Kış	1800	890-2600	Muramoto, 1999
Ispanak	Organik	Yaz	1820	600-3000	Muramoto, 1999
Maydanoz	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	220	10-330	Lyons ve ark., 1994
Maydanoz	Konvansiyonel	Mart-Eylül	1150	366-1851	Santamaria ve ark., 1999
Salatalık	Konvansiyonel	Yaz	65	12-143	Zhou ve ark., 2000
Salatalık	Konvansiyonel	Kasım-Mart	267	83-580	Chung ve ark., 2003
Salatalık	Konvansiyonel	Nisan-Ekim	180	1-649	Chung ve ark., 2003
Patlıcan	Konvansiyonel	Yaz	308	250-424	Zhou ve ark., 2000
Patlıcan	Organik	Belirtilmemiş	90	24-135	González ve ark., 2010
Sakız kabağı	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	884	-	Herencia ve ark., 2007

Balkabağı	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	392	145-790	Lyons ve ark., 1994
Kavun	Konvansiyonel	Mayıs-Ağustos	48	41-56	Colla ve ark., 2010
Karpuz	Konvansiyonel	Mayıs-Ağustos	10	-	Proietti ve ark., 2008
Biber	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	20	20-45	Lyons ve ark., 1994
Biber	Organik	Belirtilmemiş	18	-	Herencia ve ark., 2007
Biber	Su kültürü	Aralık	15	-	Lyons ve ark., 1994
Çilek	Konvansiyonel	Mayıs-Ekim	94	9-360	Susin ve ark., 2006
Domates	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	17	4-42	Ysart ve ark., 1999
Domates	Konvansiyonel	Yaz	27	1-131	Zhou ve ark., 2000
Domates	Organik	Belirtilmemiş	5	-	Herencia ve ark., 2007
Fasulye	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	60	30-140	Lyons ve ark., 1994
Fasulye	Organik	Belirtilmemiş	151	-	Herencia ve ark., 2007
Bezelye	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	26	-	Maynard ve ark., 1976
Bezelye	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	30	1-100	EFSA, 2008
Kuşkonmaz	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	25	-	Maynard ve ark., 1976
Kereviz	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	250	43-692	Fytianos ve Zarogiannis, 1999
Kereviz	Konvansiyonel	Yaz	908	119-1589	Zhou ve ark., 2000
Pırasa	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	158	23-1012	Greenwood ve ark., 1986
Pırasa	Konvansiyonel	Yaz	53	-	Zhou ve ark., 2000
Ravent	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	201	55-376	Tamme ve ark., 2006
Sarımsak	Konvansiyonel	Yaz	180	-	Zhou ve ark., 2000
Sarımsak	Konvansiyonel	Kasım-Mart	116	3-211	Chung ve ark., 2003
Sarımsak	Konvansiyonel	Nisan-Ekim	129	1-462	Chung ve ark., 2003
Soğan	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	127	20-240	Fytianos ve Zarogiannis, 1999
Soğan	Konvansiyonel	Ocak-Ağustos	32	5-115	Santamaria ve ark., 1999
Soğan	Konvansiyonel	Kış	29	28-30	Ysart ve ark., 1999
Havuç	Konvansiyonel	Şubat-Haziran	195	28-394	Santamaria ve ark., 1999
Havuç	Konvansiyonel	Güz	224	14-566	Ysart ve ark., 1999
Havuç	Konvansiyonel	Yaz	34	13-48	Ysart ve ark., 1999
Zencefil	Konvansiyonel	Yaz	2659	2234-3083	Zhou ve ark., 2000
Patates	Konvansiyonel	Kış	203	47-418	Ysart ve ark., 1999
Patates	Konvansiyonel	Yaz	104	3-331	Ysart ve ark., 1999
Turp	Konvansiyonel	Ağustos-Haziran	392	145-790	Lyons ve ark., 1994
Turp	Konvansiyonel	Nisan-Ekim	2108	766-4570	Chung ve ark., 2003
Siyah turp	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	1271	233-2302	EFSA, 2008
Beyaz turp	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	1416	135-3488	EFSA, 2008
Şalgam turpu	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	95	10-655	Greenwood ve ark., 1986
Elma	Konvansiyonel	Mayıs-Ekim	3.3	0,2-15	Susin ve ark., 2006
Muz	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	45	-	Hord ve ark., 2009
Üzüm	Konvansiyonel	Mayıs-Ekim	5.6	0,5-19	Susin ve ark., 2006
Nektarin	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	12	-	Temme ve ark., 2011
Şeftali	Konvansiyonel	Mayıs-Ekim	4	-	Susin ve ark., 2006
Armut	Konvansiyonel	Mayıs-Ekim	2,8	1,4-4,5	Susin ve ark., 2006
Portakal	Konvansiyonel	Belirtilmemiş	8	-	Hord ve ark., 2009

Bitki türleri arasında NO_3^- içeriği bakımından görülen farklılıklar, her bir üründeki yenilebilir bitki kısımlarıyla da ilişkilidir (Santamaria ve ark., 1999; Anjana ve ark., 2006). Nitrat, transpirasyon akışı ile ksilemden taşındığı için (Pate, 1980), büyük lamina içeren yapraklı sebzeler, meyve üreten diğer sebze türlerine kıyasla, özellikle mezofil hücrelerinin vakuollerinde daha yüksek NO_3^- biriktirme eğilimindedir (Colla ve ark., 2018).

Maynard ve ark. (1976), bitkinin çiçekli kısımlarında NO_3^- konsantrasyonunun en düşük seviyelerde olduğunu; buna karşın, meyve veya dane, yapraklar, kökler, yaprak sapları veya gövdelerde nitratın artan konsantrasyonlarda bulunduğunu bildirmişlerdir. Elia ve ark. (2000) tarafından yapılan bir

araştırmada rokanın yaprak sapındaki NO_3^- konsantrasyonunun laminasındaki iki katından daha fazla olduğu rapor edilirken; bu bitkinin ıspanak olması durumunda farkın 6,6 kata kadar çıkabileceği rapor edilmiştir (Anjana ve ark., 2006). Yaprak sapı + gövdesindeki NO_3^- konsantrasyonu da yapraklardan daha yüksek iken, en düşük NO_3^- seviyeleri kolza, lahana ve ıspanak köklerinde tespit edilmiştir (Chen ve ark., 2004). Ayrıca, kuşkonmaz gövdesindeki NO_3^- içeriğinin yapraklardakinden daha düşük bulunduğu bildirilmiştir (Santamaria ve ark., 1999). Ispanakta yaprak laminaları yaprak saplarından daha az NO_3^- biriktirir (Santamaria ve ark., 1999) ve bitkinin hasatında yaprak saplarının kesilmesi suretiyle lamina/yaprak sapı oranını artırma (Santamaria ve ark., 1999) ürünün genel NO_3^- içeriğini azaltmaktadır. Marulda, sadece yaprak saplarında laminalara kıyasla daha yüksek NO_3^- konsantrasyonu değil, aynı zamanda laminaların distal kısmına kıyasla proksimal kısmında da daha yüksek NO_3^- konsantrasyonu belirlenmiştir (Konstantopoulo ve ark., 2010). Depolama organları (kökler, rizomlar ve yumrular) oluşturan bitkilerin yaprak saplarındaki NO_3^- içeriği, ürün hasat olgunluğuna yaklaştıkça azalma eğilimindedir (Renseigné ve ark., 2007). Yaprak sapındaki NO_3^- konsantrasyonlarındaki bu düşüş, asimile edilen azotun gelişen depolama organına taşınması ve mevcut toprak azotunun kademeli olarak azalması ile ilişkilidir (Maynard ve ark., 1976). Bununla birlikte, kökler, rizomlar ve yumrular gibi hipogeal depolama organları nispeten düşük NO_3^- konsantrasyonları biriktirir. Benzer şekilde, meyve ve tohum geliştiren bitkiler bu organlarda daha az NO_3^- biriktirme eğilimindedir, çünkü üreme organları floem yoluyla amino asitlerle beslenir (Blom-Zandstra, 1989; EFSA, 2008). Santamaria ve ark. (1999), bitki organlarındaki NO_3^- birikiminin yaprak sapı > yaprak > gövde > kök > çiçeklenme > yumru > soğan > meyve > tohum şeklinde sıralandığını bildirmişlerdir. Yenilebilir ürünlerin NO_3^- içeriğine göre sebze, meyve ve taze otların sınıflandırılması Tablo 2’de sunulmuştur.

İnsan beslenmesinde nitrat alımının büyük bir kısmı (toplam NO_3^- alımının %60-80’i) yeşil yapraklı sebzelerden sağlanır (Weitzberg ve Lundberg, 2013). Ne yazık ki, farklı tarımsal-ekolojik koşullar altında yetiştirilen yapraklı sebzeler nitratı potansiyel olarak zararlı konsantrasyonlarda biriktirir. Genel olarak NO_3^- biriktiren sebzeler, *Brassicaceae* (roka, turp ve hardal), *Chenopodiaceae* (pancar, pazı ve ıspanak), *Amaranthaceae* (Amaranthus), *Asteraceae* (marul) ve *Apiaceae* (kereviz ve maydanoz) familyalarına aittir (Santamaria, 2006).

Tablo 2. Yenilebilir ürünlerin NO₃⁻ içeriğine göre sınıflandırılması (Colla ve ark., 2018)

Kategori	Çok düşük (<200)	Düşük (200-500)	Orta (500-1000)	Yüksek (1000-2500)	Oldukça yüksek (2500-5000)	Aşırı yüksek (>5000)
(mg NO ₃ / kg yaş ağırlık)						
Taze ot				Hodan otu Kişniş Maydanoz	Reyhan Frenk soğanı Dere otu Kekik	
Brassica sebzeleri	Brüksel lahanası Karnabahar Milano lahanası	Brokoli Kırmızı lahana	Brokoli raab Lahana Kıvırcık lahana	Pak-Choi Çin lahanası Yer lahanası Yeşil hardal otu Pazı		
Yaprakları yenen sebzeler		İtalyan hindiba Rezene (yaprak) Yeşil soğan	Karahindiba Hindiba (escarole) Marul, Aysberg	Amaranth Pancar Beyaz hindiba Hindiba Marul, Butterhead Marul, Romain Ispanak	Deniz pancarı Su teresi	Roka
Gövdeleri/sürgünleri yenen sebzeler	Kuşkonmaz	Pırasa	Yeşil sarımsak Ravent	Kereviz Rezene (gövde)		
Kökleri, rizomları ve yumruları yenen bitkiler	Enginar Kara salsifiye (sakız otu) Lotus kökü Yaban havucu Patates Tatlı patates	Kırmızı pancar Havuç Rutabaga	Pancar Kereviz kökü	Zencefil Kırmızı turp Kara turp Beyaz turp Şalgam		
Baklagiller	Yeşil fasulye Bezelye Soya filizi	Fasulye Çalı fasulyesi	Fransız fasulyesi Börülce			
Meyvesi yenen sebzeler	Turşuluk salatalık Kavun Şili biber	Hıyar Patlıcan Taze yeşil sünger kabak	Balkabağı			
Soğanları yenen sebzeler	Yeşil biber Acorn kış kabağı Çilek Domates Karpuz	Balmumu kabağı Sakız kabağı Balkabağı				
Meyve	Sarımsak Soğan Arap sümbülü					
	Elma Muz Üzüm Kivi Nektarin Şeftali Armut Portakal					

Azotlu gübreler, sebze üretiminde yaygın olarak kullanılmakta ve alım hızları amonyuma indirgenme hızını aştığında bitkilerde NO₃⁻ birikmesine neden olmaktadır (Luo ve ark., 1993). McCall ve Willumsen (1998), yüksek NO₃⁻ uygulamalarının verimi arttırmaksızın bitkilerin NO₃⁻ içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir.

Ysart ve ark. (1999) yetişkin bir insanın gıda tüketimiyle almış olduğu toplam NO₃⁻ miktarını 93 mg·gün⁻¹ olarak tahmin etmiştir. Bu miktar genel olarak patates (%33), yeşil sebzeler (%21), diğer sebzeler (%15), içecekler (%8,5), et ürünleri (%4,2), taze meyve (%3,5), süt ürünleri (%3,1), süt (%2,9), çeşitli tahıllar (%2,1), ekmek (%1,6) ve diğer gıdalardan (%5,1) karşılanmaktadır. Avrupa Komisyonu Gıda Bilimsel Komitesi (SCF), 1995 yılında NO₃⁻ iyonunun kabul edilebilir günlük alımını (ADI) 3,65 mg·kg⁻¹ vücut ağırlığı (60 kiloluk bir birey için 219 mg gün⁻¹ eşdeğer) olarak belirlemiştir (SCF, 1995). Bununla birlikte, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Ortak Uzman Komitesi kabul edilebilir günlük NO₃⁻ alımını 0–3,7 mg·kg⁻¹ vücut ağırlığı olarak belirlemişlerdir (Speijers, 1996). Bu nedenle, 60 kg vücut ağırlığı varsayıldığında, taze ağırlık olarak 2500 mg·kg⁻¹ nitrat içeren yaş sebze tüketimi (100 g), nitrat için kabul edilebilir günlük alım miktarını yaklaşık %13 oranında aşmaktadır. Ancak, gerçek bir değerlendirme için diğer tüm kaynaklardaki NO₃⁻ içeriği ve bunların ortalama günlük tüketim miktarları da dikkate alınmalıdır (Anjana ve Iqbal, 2007). Öte yandan, ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) nitrat için Referans Dozu (RfD) günde 1,6 mg NO₃⁻-N kg⁻¹ vücut ağırlığıdır (günde yaklaşık 7,0 mg NO₃⁻ kg⁻¹ vücut ağırlığına eşdeğerdir) (Mensinga ve ark., 2003). Avrupa Komisyonu 8 Kasım 2005 tarihinde marul, ıspanak, bebek mamaları ve işlenmiş tahıl bazlı gıdalarda nitrat için uyumlaştırılmış maksimum seviyeleri içeren tüzüğü (1822/2005 sayılı) belirlemiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Bazı gıdalarda NO₃⁻ için kabul edilebilir en yüksek değerler

Gıda	Yetiştirme sistemi	Mahsul hasat zamanı	Nitrat (mg · kg ⁻¹)
Taze ıspanak ⁽¹⁾ (<i>Spinacia oleracea</i>)		1 Ekim – 31 Mart arası	3000
		1 Nisan – 30 Eylül arası	2500
Konserve edilmiş, derin dondurulmuş veya dondurulmuş ıspanak			2000
	Örtü altında yetiştiricilik	1 Ekim – 31 Mart arası	4500
Taze marul (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Açıkta yetiştiricilik	1 Ekim – 31 Mart arası	4000
	Örtü altında yetiştiricilik	1 Nisan – 30 Eylül arası	3500
	Açıkta yetiştiricilik	1 Nisan – 30 Eylül arası	2500
Aysberg tipi marul	Örtü altında yetiştiricilik		2500
Aysberg tipi marul	Açıkta yetiştiricilik		2000
Bebek ve küçük çocuk ek gıdaları ⁽²⁾			200

(1) Taze ıspanak için maksimum miktar, işlenmiş ve işlenmek üzere tarladan direkt olarak fabrikaya nakledilen taze ıspanak için uygulanmaz.
(2) Maksimum limit üretici tarafından verilen kullanım talimatına göre hazırlanan veya doğrudan kullanıma hazır olarak satışa sunulan ürünler için geçerlidir.

9. Besinlerle Nitrat Alımının İnsan Sağlığına Etkisi

Nitrat ve nitrit ile ilgili yapılan araştırmalar, bu iyonların insan sağlığı üzerine hem olumlu hem olumsuz etkileri olabileceğini ortaya koymuştur. Vücutta nitrat ve nitritin iki ana kaynağı diyetle alım ve endojen olarak NO yolağında üretimdir (Karwowska, 2020). Diyetle alınan nitratin endojen nitrik oksit yolağı ile etkileşmesi özellikle kardiyovasküler ve metabolik yolaklar üzerinde olumlu etkiler yaratırken, yüksek nitrat tüketiminin küçük çocuklarda methemoglobinemiye neden olduğu, ayrıca karsinogenik bileşikler oluşmasına yol aarak insan sağlığına zarar verebileceği bilinmektedir (Zhong, 2022).

9.1. Yan Etkiler

Her ne kadar nitritten oluşan nitrik oksit insan fizyolojisinde kan basıncı kontrolü, immun yanıt gibi önemli roller oynasa da asidik ortamda ya da oksidatif stress altında nitritten oluşan bu reaktif türevler bazı hastalıkların patofizyolojisi ile de ilişkilendirilmiştir (Karwowska, 2020). Nitrat toksisitesinin, nitrite indirgenmesinden ve kanserojen etkisi bilinen aminler ve amidlerle reaksiyona girerek nitrozaminlere ve nitrozamidlere dönüşmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir (Walker, 1990). Nitrit toksisitesinin ana mekanizması, hemoglobindeki ferröz demirin (Fe^{2+}) ferrik (Fe^{3+}) değerlik durumuna oksidasyonu ve methemoglobin (MetHb) üretmesidir (Anjana ve Iqbal, 2007). ‘‘Methemoglobinemi’’, kanda yüksek methemoglobin seviyeleri ile karakterize bir bozukluk olup, doğuştan ve edinsel formlarda ortaya çıkabilir (Tasci ve ark., 2012). Methemoglobin, oksijene afinitesi artmış ve dokulara oksijen verme kabiliyeti azalmış oksitlenmiş bir hemoglobin formudur (Tasci ve ark., 2012). Methemoglobin oluşumunun bir sonucu olarak insan dokularına oksijen iletimi bozulur (Knobeloch ve ark., 2000; Mensinga ve ark., 2003). MetHb esas olarak MetHb redüktaz olarak da adlandırılan sitokrom-b5 redüktaz (Cb5R) tarafından indirgenir. Cb5R’nin, nitrat alımının etkilerine karşı koymada hayati bir rol oynadığı rapor bildirilmiştir (Anjana ve Iqbal, 2007).

Oksitlenmiş formdaki toplam methemoglobin yüzdesi; siyanoz, kardiyak aritmiler, dolaşım yetmezliği ve ilerleyici merkezi sinir sistemi (MSS) etkileri dâhil olmak üzere oksijen yoksunluğunun klinik tablosunu belirler. MSS etkileri hafif baş dönmesi ve uyuşukluktan koma ve konvülsiyonlara kadar değişebilir (ATSDR, 2001). Klinik bulgular methemoglobin konsantrasyonlarına göre değişir (Tablo 4).

Tablo 4. Methemoglobineminin belirtileri (Dabney ve ark., 1990)

Methemoglobin konsantrasyonu (%)	Klinik bulgular
10-20	Uzuvların/gövdenin merkezi siyanozu; genellikle asemptomatik
20-45	Santral sinir sistemi depresyonu (baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, uyuşukluk, senkop), nefes darlığı
45-55	Koma, aritmiler, şok, konvülsiyonlar
>70	Ölüm riski yüksek

Daha önce sadece bebeklerde göröldüğüne inanılan methemoglobineminin, yüksek nitrat alımına bağlı olarak farklı yaşlardaki insanlarda ortaya çıkabildiği ve ayrıca bebekler ile 45 yaş üstü bireylerin NO_3^- toksisitesine en duyarlı kişiler oldukları rapor edilmiştir (Gupta ve ark., 2000a). Diyetten absorbe edilen

veya endojen olarak üretilen toplam nitratın %25'i tükürük bezleri tarafından alınır ve ağıza salgılanır (McColl, 2005). Dil sırtında kümelenen bakteriler tükürükteki bu nitratın yaklaşık %20 kadarını nitrite dönüştürür (Karwowska, 2020). Tükürük yutulduktan sonra asidik mide suyu ile karşılaştığında, nitrozlaştırıcı türlere (N_2O_3 ve NO_2) ve mide suyundaki askorbik asit ile reaksiyona girerek potansiyel olarak mutajenik ve kanserojen olan nitrik okside (NO) dönüşür (Moriya ve ark., 2002; Iijima ve ark., 2003; McColl, 2005). Nitrik oksidin aşırı lokal üretimini gastroözofageal reflü hastalıklarıyla ilişkili fonksiyonel anormalliklere yol açtığı bildirilmiştir (McColl, 2005). Ayrıca, yüksek nitrit oksit düzeylerinin sedef hastalığı, dermatit hatta cilt kanserleri gibi çeşitli cilt problemleri ile ilişkili olduğu öne sürülmüştür (Karwowska, 2020).

Yenidoğan bir bebekte ilk haftalarda, gastrik asit bariyeri oluşmadan önce, bebeğin bağırsağı uzunluğu boyunca bakteriler tarafından kolonize edilir ve bu nedenle, besindeki NO_3^- , bakteriyel nitrat redüktazın etkisiyle mide ve ince bağırsakta kolayca nitrite indirgenir. Nitrit daha sonra emilir ve methemoglobin oluşturmak için hemoglobinle reaksiyona girer ve kanın oksijen bağlama kapasitesini büyük ölçüde azaltır. Nihayetinde, bebeğin dokularının oksijensiz kalmasının bir sonucu olarak siyanoz oluşur (Hill, 1999). Gebe kadınlarda methemoglobin seviyesi, gebeliğin 30. haftasında normalden (toplam hemoglobinin %0,5 ile %2,5'i) maksimum %10,5'e yükselir ve ardından doğumdan sonra tekrardan normale döner. Bu yüzden, gebe kadınlar, gebeliğin yaklaşık 30. haftasında nitritler veya nitratlar tarafından klinik methemoglobineminin indüklenmesine karşı daha duyarlı olabilir (ATSDR, 2001).

Bir başka endişe de kolonize hipoklorhidrik midede N-nitroso bileşiklerinin bakteriyel faaliyetlerle üretilmelerinin bir sonucu olarak insanlarda ortaya çıkan kanser hastalıklarıdır (Anjana ve Iqbal, 2007). N-nitroso bileşiklerinin memeliler, kuşlar, sürüngenler ve balıklar dâhil olmak üzere test edilen 40'tan fazla hayvan türünde (Hill, 1999) ve insanlarda (Michaud ve ark., 2004) kanserojen olduğu rapor edilmiştir. Endojen olarak oluşan nitrojen ve oksijen serbest radikallerinin insan kanseri etiolojisinde yer aldığına inanılmaktadır (Szaleczky ve ark., 2000). Yüksek NO_3^- alımına bağlı olarak idrar kesesi (Michaud ve ark., 2004), yemek borusu, nazofarinks ve prostat kanseri risklerinin arttığı bildirilmiştir (Eicholzer ve Gutzwiller, 1990). Nitrat toksisitesi ile ilişkili diğer sağlık sorunları arasında ağız kanseri (Badawi ve ark., 1998), kolon, rektum veya diğer gastrointestinal bölge kanseri (Knekt ve ark., 1999; Türkdoğan ve ark., 2003), Alzheimer hastalığı, vasküler Biswanger tipi veya çoklu küçük enfarktüs tipi demans (Tohgi ve ark., 1998), multipl skleroz (Giovannoni ve ark., 1997), spontan düşük veya konjenital kusurlar (Fewtrell, 2004), anensefali (Croen ve ark., 2001), non-Hodgkin lenfoma (Michal, 1998) ve kardiyovasküler bozukluklar (Morton, 1971) yer alır.

Yüksek düzeyde NO_3^- içeren besinleri tüketen çocuklarda, tekrarlamaya öyküsü olan yüksek oranda akut solunum yolu enfeksiyonu bildirilmiştir (Gupta ve ark., 2000b). 8 yaşına kadar olan çocuklarda tekrarlayan ishal (Gupta ve ark., 2001) ve tekrarlayan stomatit (Gupta ve ark., 1999) de yüksek NO_3^- alımı ile ilişkili olduğu rapor edilmiştir. Aynı zamanda, NO_3^- içeriği fazla olan besinlerin insanlarda bağışıklık sistemini de etkilediği ifade edilmiştir (Ustyugova ve ark., 2002). Bildirilen diğer etkileri

arasında bebek ölümleri, erken hipertansiyon başlangıcı, hipotiroidizm ve diyabetin yanı sıra kalp kasları, akciğer alveolleri ve adrenal bezler üzerindeki olumsuz etkileri yer alır (Gupta, 2006).

9.2. Yararlı Etkiler

Çeşitli çalışmalar nitratın zararsız bir anyon olduğunu göstermektedir. Dahası, nitratın faydalı bir besin maddesi olduğu öne sürülmüştür (Dykhuisen ve ark., 1996). Bjorne ve ark. (2004) diyetle alınan nitratın önemli gastroprotektif işlevleri olabileceğini öne sürmüştür. Yiyeceklerden gelen NO_3^- , dil yüzeyindeki nitrat azaltan bakterilerle simbiyotik bir ilişki yoluyla nitrite dönüştürülür. Bu simbiyotik ilişki, konağın ağız ve alt bağırsaktaki mikrobiyal patojenlere karşı savunulmasına hizmet eder (Duncan ve ark., 1995). Konakçı, birçok aerobik bakteri için önemli bir besin olan nitratı sağlar. Karşılığında bakteriler, midede nitrik oksit oluşumu için gerekli olan substratı (nitrit) üreterek konakçıya yardım eder (Bjorne ve ark., 2004). Tükürükte bulunan yüksek nitrit konsantrasyonu, asitleşmenin ardından midede nitrojen oksitleri oluşturabilir (Duncan ve ark., 1995). Nitrit türevi nitrik oksit ve ilgili bileşikler, yutulan patojenlerin aside bağlı olarak öldürülmesini artırarak gastrik konak savunmasında önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir (Dykhuisen ve ark., 1996; Xu ve ark., 2001). Enfektif gastroenteriti olan hastalarda yüksek plazma NO_3^- seviyeleri, tükürük nitrit oluşumunu artırarak fekal-oral yolla yeniden enfeksiyona karşı koruma sağlayabilir (Dykhuisen ve ark., 1996). McKnight ve ark. (1999)'na göre, diyetdeki nitrat gastrointestinal patojenlere karşı etkili bir konak savunmasıdır. Nitratı ayrıca trombosit aktivitesinin, gastrointestinal hareketliliğin ve mikrosirkülasyonun bir modülatörü olarak hareket ettiği bildirilmiştir (Anjana ve Iqbal, 2007).

Tükürüğün asidik mide suyuyla karşılaştığında ortaya çıkan reaktif nitrozlama kimyasının biyolojik faydaları olabileceği de öne sürülmüştür (McColl, 2005). Bu kimya antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğundan (Duncan ve ark., 1997), öncelikle üst gastrointestinal sistem yoluyla vücuda giren patojenik mikropları öldürme işlevinde gibi görünmektedir (McColl, 2005). Ayrıca, koruyucu mukus bariyerin kalınlığını ve gastrik kan akımını artırarak mide bağırsak bütünlüğünün korunmasına hizmet eder (Bondonno, 2016). Nitratın yararlı etkileri arasında hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıkların azaltılması da yer alabilir (McKnight ve ark., 1999). Mevcut çalışmalar nitrat alımının kan basıncını düşürdüğünü, damar endotel fonksiyonunu iyileştirdiğini, iskemi reperfüzyon hasarına karşı koruma sağladığını ve trombosit agregasyonunda azalmaya yol açtığını göstermiştir (Bondonno, 2016; Kotopoulou, 2021).

10. Sonuç

Sebze bitkilerinin üretiminde dengeli bir gübreleme programının uygulanması, optimum ürün alınması için gerekli olmasının yanı sıra N kayıplarını önlemek veya en aza indirmek için de gereklidir. Besin maddelerinin arzı ve salımı bitkinin ihtiyacı ile uyumlu olmalıdır. Bu nedenle, bitkilerin NO_3^- alımı ve indirgeme kapasitesine göre dengeli bir gübre uygulamasının tam olarak ayarlanabilmesi agronomistlerin araştırma önceliği konuları arasında yer almalıdır. Bu amaçla, simülasyon modelleri ile

stratejiler geliştirilmelidir. Ayrıca, çiftçiler tarafından gübre yönetimi için kıstaslar sağlamak üzere çiftlik düzeyinde agronomik göstergelerin uygulanması gerekmektedir.

Topraksız tarım sistemleri kullanılarak yetiştirilen bitkilerin hasatına yakın bir döneminde, besin solüsyonlarına nitrat içeren gübreler yerine amonyum, üre, amino asit, klorür veya sülfat içeren gübrelerin eklenmesiyle bitkilerdeki NO_3^- seviyeleri düşürülebilir. Bununla birlikte, inorganik gübreler yerine organik gübrenin rasyonel uygulaması, fizyolojik olarak aktif maddelerin kullanımı, nitrifikasyon inhibitörlerinin ve molibden (Mo) içeren gübrelerin uygun bir şekilde püskürtülmesi ve kontrollü çevre koşulları altında yapılan yetiştirme teknikleri bitkilerde nitrat birikimini önemli ölçüde azaltabilir. Diğer mikro besin elementlerinin ve kültürel koşulların etkilerinin de araştırılması gerekmektedir. Uygun genotipler/çeşitler arasından seçim yapılması ve aşırı gübreleme koşulları altında bile NO_3^- biriktirmeyen yeni çeşitlerin ıslah edilmesi, insanların bu besinleri tüketmesiyle birlikte almış oldukları NO_3^- iyonunu da sınırlayabilir.

Bitkilerde NO_3^- birikimini azaltmaya yönelik stratejiler konusunda yayınlanmış çok sayıda araştırma olmasına rağmen, çiftçiler için bilgi eksikliği nedeniyle bu araştırmalar uygulamaya dönüştürülememektedir. Nitratın insan sağlığı üzerindeki etkilerini ve besin yönetiminin önemini ve bitki dokularındaki NO_3^- içeriğini en aza indirmeye yönelik diğer stratejileri anlamalarını sağlamak için çiftçilerin eğitim ve öğretimini kapsayan ilgili tarım politikaları formüle edilmelidir.

Yeşil yapraklı sebzeler, insanların beslenmesinde NO_3^- alımının temel kaynağıdır. Nitratın insan sağlığı üzerine etkilerine ilişkin literatürdeki bulgular çelişkilidir. Nitratın insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkisi olsa da bazı yararlı etkileri de söz konusudur. Ancak nitrat birikiminin insan sağlığı üzerindeki pek çok olumsuz etkisi göz önüne alındığında, nitrat birikimi olan bitkilerin canlılar tarafından tüketimini azaltmak için önleyici tedbirlerin alınması yerinde bir yaklaşım olarak görülmektedir. Yapraklı sebzelerde hasat işleminin öğle vakitlerinde yapılması (bitkide nitrat redüktaz aktivitesinin bu vakitler artış göstermesi nedeniyle), NO_3^- bakımından zengin bitki organlarının çıkarılması, sebzelerin NO_3^- içeriği daha düşük suda pişirilmeleri ve taze sebze kullanılması gibi NO_3^- tüketimini en aza indirmeye yardımcı olacak uygulamaların benimsenmesi gerekmektedir.

Nitrat ve türevlerinin sağlık açısından spesifik rolüne ilişkin bildiklerimiz çok yeterli olmayıp, bunun için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Ahmed AHH. Physiological studies on tipburn and nitrate accumulation in lettuce plants. Mansoura University Journal of Agricultural Sciences 1996; 21: 3971-3994.
- Ahmed AHH., Khalil MK., Farrag AM. Nitrate accumulation, growth, yield and chemical composition of Rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) plant as affected by NPK fertilization, kinetin and salicylic acid. In: Proceedings of ICEHM 2000, page no: 495-508, Cairo University, Egypt.
- Ali A. Nitrate assimilation pathway in higher plants: critical role in nitrogen signalling and utilization. Plant Science Today 2020; 7(2): 182-192.
- Ali A., Sivakami S., Raghuram N. Effect of nitrate, nitrite, ammonium, glutamate, glutamine and 2-oxoglutarate on the RNA levels and enzyme activities of nitrate reductase and nitrite reductase in rice. Physiology and Molecular Biology of Plants 2007; 13(1): 17-25.
- Andrews M. The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants: mini review. Plant Cell and Environment 1986; 9: 511-519.
- Anjana SU., Iqbal M. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. Agronomy for Sustainable Development 2007; 27: 45-57.
- Anjana Umar S., Iqbal M., Abrol YP. Are nitrate concentrations in leafy vegetables within safe limits? Proceedings of the workshop on nitrogen in environment, industry and agriculture, 2006, page no: 81-84, New Delhi, India.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Diseases Registry). Case studies in environmental medicine: Nitrate/nitrite toxicity. US Department of Health and Human Services, Atlanta; 2001.
- Badawi AF., Gehen H., Mohamed EH., Mostafa HM. Salivary nitrate, nitrite and nitrate reductase activity in relation to risk of oral cancer in Egypt. Disease Markers 1998; 14: 91-97.
- Battye W., Aneja PV., Schlesinger WH. Is nitrogen the next carbon? Earth's Future 2017; 5: 894-904.
- Behr U., Wiebe HJ. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. Scientia Horticulturae 1992; 49: 175-179.
- Bian Z., Wang Y., Zhang X., Li T., Grundy S., Yang Q., Cheng R. A review of environment effects on nitrate accumulation in leafy vegetables grown in controlled environments. Foods 2020; 9(6): 732.
- Bjorne H., Petersson J., Phillipson M., Weitzberg E., Holm L., Lundberg JO. Nitrate in saliva increases gastric mucosal blood flow and mucus thickness. The Journal of Clinical Investigation 2004; 113: 106-114.
- Blom-Zandstra M. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. Annals of Applied Biology 1989; 115: 553-561.
- Blom-Zandstra M., Eenink AH. Nitrate concentration and reduction in different genotypes of lettuce. Journal of the American Society for Horticultural Science 1986; 111: 908-911.
- Blom-Zandstra M., Lampe JEM. The effect of chloride and sulphate salts on the nitrate content in lettuce plants. Journal of Plant Nutrition 1983; 6: 611-628.

- Bondonno CP., Croft KD., Hodgson JM. Dietary nitrate, nitric oxide, and cardiovascular health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2016; 56(12): 2036-2052.
- Bowsher CG., Lacey AE., Hanke GT., Clarkson DT. Saker LR., Stulen I., Emes MJ. The effect of Glc6P uptake and its subsequent oxidation within pea root plastids on nitrite reduction and glutamate synthesis. *Journal of Experimental Botany* 2007; 58(5): 1109-1118.
- Buwalda F., Warmenhoven M. Growth-limiting phosphate nutrition suppresses nitrate accumulation in greenhouse lettuce. *Journal of Experimental Botany* 1999; 50: 813-821.
- Cantliffe DJ. Nitrate accumulation in table beets and spinach as affected by nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition and light intensity. *Agronomy Journal* 1973; 65: 563-565.
- Cardenas-Navarro R., Adamowicz S., Robin P. Nitrate accumulation in plants: a role for water. *Journal of Experimental Botany* 1999; 50: 613-624.
- Cerezo M., Garcia-Agustin P., Serna MD., Primo-Millo E. Kinetics of nitrate uptake by citrus seedlings and inhibitory effects of salinity. *Plant Science* 1997; 126: 105-112.
- Chadjaa H., Vezina LP., Dorais M., Gosselin A. Effects of lighting on the growth, quality and primary nitrogen assimilation of greenhouse lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Acta Horticulturae* 2001; 559: 325-331.
- Chapagain BP., Wiesman Z., Zaccari M., Imas P., Magen H. Potassium chloride enhances fruit appearance and improves quality of fertigated greenhouse tomato as compared to potassium nitrate. *Journal of Plant Nutrition* 2003; 26: 643-658.
- Chen BM., Wang ZH., Li SX., Wang GX., Song HX., Wang XN. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Science* 2004; 167: 635-643.
- Chen KE., Chen HY., Tseng CS., Tsay YF. Improving nitrogen use efficiency by manipulating nitrate remobilization in plants. *Nature Plants* 2020; 6(9): 1126-1135.
- Chung JB., Jin SJ., Cho HJ. Low water potential in saline soils enhances nitrate accumulation of lettuce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2005; 36: 1773-1785.
- Chung SY., Kim JS., Kim M., Hong MK., Lee JO., Kim CM., Song IS. Survey of nitrate and nitrite contents of vegetables grown in Korea. *Food Additives & Contaminants* 2003; 20: 621-628.
- Colla G., Cardona Suárez CM., Cardarelli M., Roupael Y. Improving nitrogen use efficiency in melon by grafting. *HortScience* 2010; 45: 559-565.
- Colla G., Kim HJ., Kyriacou MC., Roupael Y. Nitrate in fruits and vegetables. *Science Horticulturae (Amsterdam)* 2018; 237: 221-238.
- Conde A., Diallinas G., Chaumont F., Chaves M., Gerós H. Transporters, channels, or simple diffusion? Dogmas, atypical roles and complexity in transport systems. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* 2010; 42(6): 857-868.
- Croen LA., Todoroff K., Shaw GM. Maternal exposure to nitrate from drinking water and diet and risk for neural tube defects. *American Journal of Epidemiology* 2001; 153: 325-331.

- Cui J., Yu C., Qiao N., Xu X., Tian Y., Ouyang H. Plant preference for NH_4^+ versus NO_3^- at different growth stages in an alpine agroecosystem. *Field Crops Research* 2017; 201: 192-199,
- Curran A., Chang IF., Chang CL., Garg S., Miguel RM., Barron YD., Li Y., Romanowsky S., Cushman JC., Gribskov M., Harmon AC., Harper JF. Calcium-dependent protein kinases from *Arabidopsis* show substrate specificity differences in an analysis of 103 substrates. *Frontiers in Plant Science* 2011; 2, 36.
- Custic M., Poljak M., Coga L., Cosic T., Toth N., Pecina M. The influence of organic and mineral fertilization on nutrient status, nitrate accumulation, and yield of head chicory. *Plant Soil and Environment* 2003; 49: 218-222.
- Dodd IC., Tan LP., He J. Do increases in xylem sap pH and/or ABA concentration mediate stomatal closure following nitrate deprivation?. *Journal of Experimental Botany* 2003; 54(385): 1281-1288.
- Dorais M., Papadoulos AP., Gosselin A. Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Reviews* 2001; 26: 262-319.
- Drlik J., Rogl J. The effect of graduated rates of nitrogen fertilization on yield and nitrate accumulation in carrots. *Zahradnictvi* 1992; 19: 39-46.
- Duncan C., Dougall H., Johnston P., Green S., Brogan R., Leifert C., Smith L., Golden M., Benjamin N. Chemical generation of nitric oxide in the mouth from the enterosalivary circulation of dietary nitrate. *Nature Medicine* 1995; 1: 546-551.
- Duncan C., Li H., Dykhuizen R., Frazer R., Johnston P., MacKnight G., Smith L., Lamza K., McKenzie H., Batt L., Kelly D., Golden M., Benjamin N., Leifert C. Protection against oral and gastrointestinal diseases: importance of dietary nitrate intake, oral nitrate reduction and enterosalivary nitrate circulation. *Comparative Biochemistry and Physiology* 1997; 118: 939-948.
- Dykhuizen R., Frazer R., Duncan C., Smith CC., Golden M., Benjamin N., Leifert C. Antimicrobial effect of acidified nitrite on gut pathogens: importance of dietary nitrate in host defence. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 1996; 40: 1422-1425.
- EFSA. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables. *EFSA J* 2008; 689: 1-79.
- Eicholzer M., Gutzwiller F. Dietary nitrates, nitrites and N-nitroso compounds and cancer risk: A review of the epidemiologic evidence. *Nutrition Reviews* 1990; 56: 95-105.
- Elia A., Conversa G., Gonnella M. Dosi di azoto, produzione e accumulo di nitrati di lattuga allevata in idrocoltura, *Atti V Giornate Scientifiche SOI, Sirmione* 2000; 229-230.
- Fan SC., Lin CS., Hsu PK., Lin SH., Tsay YF. The *Arabidopsis* nitrate transporter NRT1. 7, expressed in phloem, is responsible for source-to-sink remobilization of nitrate. *The Plant Cell* 2009; 21(9): 2750-2761.

- Ferrario-Mery S., Murchie E., Hirel B., Galtier N., Quick WP., Foyer CH. Manipulation of the pathways of sucrose biosynthesis and nitrogen assimilation in transformed plants to improve photosynthesis and productivity. In: Foyer CH., Quick WP. (Eds.), A molecular approach to primary metabolism in higher plants. London: Taylor and Francis, page no: 125-153; 1997.
- Fewtrell L. Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: a discussion. *Environmental Health Perspectives* 2004; 112: 1371-1374.
- Foyer CH., Noctor G., Hodges M. Respiration and nitrogen assimilation: targeting mitochondria-associated metabolism as a means to enhance nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 2011; 62(4): 1467-1482.
- Fytianos K., Zarogiannis P. Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetables from Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 1999; 62: 187-192.
- Gao W., Xu FC., Guo DD., Zhao JR., Liu J., Guo YW., Singh PK., Ma XN., Long L., Botella JR., Song CP. Calcium-dependent protein kinases in cotton: insights into early plant responses to salt stress. *BMC Plant Biology* 2018; 18(1): 1-15.
- Geelen D., Lurin C., Bouchez D., Frachisse JM., Lelievre F., Courtil B., Barbier-Brygoo H., Maurel C. Disruption of putative anion channel gene *AtCLC-a* in *Arabidopsis* suggests a role in the regulation of nitrate content. *The Plant Journal* 2000; 21: 259-267.
- Giovannoni G., Heales SJR., Silver NC., O'Riorden J., Miller RF., Land JM., Clark JB., Thompson EJ. Raised serum nitrate and nitrite levels in patients with multiple sclerosis. *Journal of Neurological Sciences* 1997; 145: 77-81.
- Glass AD., Britto DT., Kaiser BN., Kinghorn JR., Kronzucker HJ., Kumar A., Okamoto M., Rawat S., Siddiqi MY., Unkles SE., Vidmar JJ. The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany* 2002; 53(370): 855-864.
- Glass Anthony DM. Nitrate uptake by plant roots. *Botany* 2009; 87(7): 659-667.
- Gojon A. Nitrogen nutrition in plants: rapid progress and new challenges. *Journal of Experimental Botany* 2017; 68(10): 2457-2462.
- González MCM., Martínez-Tomé MJ., Isasa MET. Nitrate and nitrite content in organically cultivated vegetables. *Food Additives & Contaminants* 2010; 3: 19-29.
- Greenwood DJ., Neeteson JJ., Draycott A. Quantitative relationships for the dependence of growth rate of arable crops on their nitrogen content, dry weight and aerial environment. *Plant and Soil* 1986; 91: 281-301.
- Grzebelus D., Baranski R. Identification of accessions showing low nitrate accumulation in a germplasm collection of garden beet. *Acta Horticulturae* 2001; 563: 253-255.
- Guadagnin SG., Rath S., Reyes FGR. Evaluation of the nitrate content in leaf vegetables produced through different agricultural systems. *Food Additives & Contaminants* 2005; 22(12): 1203-1208.
- Gupta SK. Nitrate toxicity and human health. *Proceedings of the workshop on nitrogen in environment, industry and agriculture, 2006*, page no: 8-10, New Delhi, India,

- Gupta SK., Gupta RC., Gupta AB., Seth AK., Bassin JK. Gupta A. Recurrent acute respiratory tract infection in areas having high nitrate concentration in drinking water. *Environmental Health Perspectives* 2000b; 108: 363-366.
- Gupta SK., Gupta RC., Gupta AB., Seth AK., Bassin JK., Gupta A. Recurrent diarrhea in areas with high nitrate in drinking water. *Archives of Environmental Health* 2001; 56: 369-374.
- Gupta SK., Gupta RC., Seth AK., Gupta AB., Bassin JK. Gupta A. Methemoglobinemia – A problem of all age groups in areas with high nitrate in drinking water. *The National Medical Journal of India* 2000a; 13: 58-61.
- Gupta SK., Gupta RC., Seth AK., Gupta AB., Bassin JK., Gupta DK., Sharma S. Epidemiological evaluation of recurrent stomatitis, nitrates in drinking water and cytochrome b5 reductase activity. *American Journal of Gastroenterology* 1999; 94: 1808-1812.
- Harada H., Kuromori T., Horayama T., Shinozaki K., Leigh RA. Quantitative trait loci analysis of nitrate storage in *Arabidopsis* leading to an investigation of the contribution of the anion channel gene, *AtCLC-c*, to variation in nitrate levels. *Journal of Experimental Botany* 2004; 55: 2005-2014.
- Harada H., Yoshimura Y., Sunaga Y., Hatanaka T., Sugita S. Breeding of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) for a low nitrate concentration by seedling test. *Euphytica* 2003; 129: 201-209.
- Hausler RE., Blackwell RD., Lea PJ., Leegood RC. Control of photosynthesis in barley leaves with reduced activities of glutamine synthase. *Planta* 1994; 194: 406-417.
- He H., Li Y., Zhang L., Ding Z., Shi G. Understanding and application of *Bacillus* nitrogen regulation: A synthetic biology perspective. *Journal of Advanced Research* 2023; 49: 1-14.
- Herencia JF., Ruiz-Porras JC., Melero S., Garcia-Galavis PA., Morillo E., Maqueda C. Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agronomy Journal* 2007; 99(4): 973-983.
- Hill MJ. Nitrate toxicity: myth or reality. *British Journal of Nutrition* 1999; 81, 343-344.
- Hirel B., Bertin P., Quillere I. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiology* 2001; 125: 1258-1270.
- Hirel B., Tetu T., Lea PJ., Dubois F. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. *Sustainability* 2011; 3(9): 1452-1485.
- Hord NG., Tang Y., Bryan NS. Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2009; 90: 1-10.
- Hsu PK., Tsay YF. Two phloem nitrate transporters, NRT1. 11 and NRT1. 12, are important for redistributing xylem-borne nitrate to enhance plant growth. *Plant Physiology* 2013; 163(2): 844-856.
- Iijima K., Fyfe V., McColl KEL. Studies of nitric oxide generation from salivary nitrite in human gastric juice. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 2003; 38: 246-252.

- Inal A., Tarakcioglu C. Effects of nitrogen forms on growth, nitrate accumulation, membrane permeability, and nitrogen use efficiency of hydroponically grown bunch onion under boron deficiency and toxicity. *Journal of Plant Nutrition* 2001; 24: 1521-1534.
- Inkham C., Sueyoshi K., Ohtake N., Ohyama T., Ruamrungsri S. Effects of temperature and nitrogen sources on growth and nitrogen assimilation of *Curcuma alismatifolia* Gagnep. *Thai Journal of Agricultural Science* 2011; 44(3): 145-153.
- Isayenkov SV. Plant vacuoles: physiological roles and mechanisms of vacuolar sorting and vesicular trafficking. *Cytology and Genetics* 2014; 48(2): 127-137.
- Izmailov SF. Saturation and utilization of nitrate pools in pea and sugar beet leaves. *Russian Journal of Plant Physiology* 2004; 51: 189-193.
- Jauregui I., Aroca R., Garnica M., Zamarreño AM., García-Mina JM., Serret MD., Parry M., Irigoyen JJ., Aranjuelo I. Nitrogen assimilation and transpiration: key processes conditioning responsiveness of wheat to elevated [CO₂] and temperature. *Physiologia Plantarum* 2015; 155(3): 338-354.
- Karwowska M., Kononiuk A. Nitrates/nitrites in food-risk for nitrosative stress and benefits. *Antioxidants (Basel)* 2020; 9(3): 241.
- Khan S., Yu H., Li Q., Gao Y., Sallam BN., Wang H., Liu P., Jiang W. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy* 2019; 9(5): 266.
- Khodashenas B. Nitrate reductase enzyme in *Escherichia coli* and its relationship with the synthesis of silver nanoparticles. *UCT Journal of Research in Science, Engineering and Technology* 2015; 3(1): 26-32.
- Knekt P., Jarvinen R., Dich J., Hakulinen T. Risk of colorectal and other gastro-intestinal cancers after exposure to nitrate, nitrite and N-nitroso compounds: A follow-up study. *International Journal of Cancer* 1999; 80: 852-856.
- Knobeloch L., Salna B., Hogan A., Postle J., Anderson H. Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environmental Health Perspectives* 2000; 108: 675-678.
- Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. The importance of nutrient management for potato production part I: Plant nutrition and yield. *Potato Research* 2020; 63: 97-119.
- Konstantopoulou E., Kapotis E., Salachas G., Petropoulos SA., Karapanos IC., Passam HC. Nutritional quality of greenhouse lettuce at harvest and after storage in relation to N application and cultivation season. *Scientia Horticulturae* 2010; 125(93): e1-e5.
- Kotopoulou S., Zampelas A., Magriplis E. Dietary nitrate and nitrite and human health: a narrative review by intake source. *Nutrition Reviews* 2022; 80(4): 762-773.
- Krapp A., David LC., Chardin C., Girin T., Marmagne A., Leprince AS., Chaillou S., Ferrario-Méry S., Meyer C., Daniel-Vedele F. Nitrate transport and signalling in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany* 2014; 65(3): 789-798.

- Krysenko S. Impact of nitrogen-containing compounds on secondary metabolism in *Streptomyces* spp.- A source of metabolic engineering strategies. *SynBio* 2023; 1: 204-225.
- Kumar S., Kumar S., Mohapatra T. Interaction between macro- and micro-nutrients in plants. *Frontiers in Plant Science* 2021; 12, 665583.
- Lamattina L., Garcia-Mata C., Graziano M., Pagnussat G. Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule. *Annual Review of Plant Biology* 2003; 554: 109-136.
- Laugier E., Bouguyon E., Mauriès A., Tillard P., Gojon A., Lejay L. Regulation of high-affinity nitrate uptake in roots of *Arabidopsis* depends predominantly on posttranscriptional control of the NRT2.1/NAR2.1 transport system. *Plant Physiology* 2012; 158(2): 1067-1078.
- Le Deunff E., Malagoli P., Decau ML. Modelling nitrogen uptake in plants and phytoplankton: advantages of integrating flexibility into the spatial and temporal dynamics of nitrate absorption. *Agronomy* 2019; 9(3), 116.
- Li JZ., Li B., Guan Q., Gao JM. Signal molecules controlling nitrate uptake by roots. *Journal of Plant Interactions* 2022; 17(1): 301-308.
- Liu L., Shelp BJ. Impact of chloride on nitrate absorption and accumulation by broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Canadian Journal of Plant Sciences* 1996; 76: 367-377.
- Liu XY., Koba K., Makabe A., Liu CQ. Nitrate dynamics in natural plants: insights based on the concentration and natural isotope abundances of tissue nitrate. *Frontiers in Plant Science* 2014; 5, 355.
- Loudet O., Chaillou S., Krapp A., Daniel-Vedele F. Quantitative trait loci analysis of water and anion contents in interaction with nitrogen availability in *Arabidopsis thaliana*. *Genetics* 2003; 163: 711-722.
- Luo J., Lion Z., Yan X. Urea transformation and the adaptability of three leafy vegetables to urea as a source of nitrogen in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition* 1993; 16: 797-812.
- Lyons DJ., Rayment GE., Nobbs PE., McCallum LE. Nitrate and nitrite in fresh vegetables from queensland. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1994; 64: 279-281.
- Masclaux-Daubresse C., Daniel-Vedele F., Dechorgnat J., Chardon F., Gaufichon L., Suzuki A. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany* 2010; 105(7): 1141-1157.
- Maynard DN., Barker AV., Minotti PL., Peck NH. Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy* 1976; 28: 71-118.
- McCall D., Willumsen J. Effects of nitrate, ammonium and chloride application on the yield and nitrate content of soil-grown lettuce. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 1998; 73: 698-703.
- McCall D., Willumsen J. Effects of nitrogen availability and supplementary light on the nitrate content of soil grown lettuce. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 1999; 74: 458-463.

- McColl KEL. When saliva meets acid: chemical warfare at the oesophagogastric junction. *Gut* 2005; 54: 1-3.
- McIntyre GI. The role of nitrate in the osmotic and nutritional control of plant development. *Australian Journal of Plant Physiology* 1997; 24: 103-118.
- McKnight GM., Duncan CW., Leifert C., Golden MH. Dietary nitrate in man: friend and foe?. *British Journal of Nutrition* 1999; 81: 349-358.
- Meloni DA., Gulotta MR., Martinez CA., Oliva MA. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 2004; 16: 39-46. .
- Mensinga TT., Speijers GJA., Meulenbelt J. Health implications of exposure to environmental nitrogenous compounds. *Critical Reviews in Toxicology* 2003; 22: 41-51.
- Michal FD. A population based case control study on the association between nitrate in drinking water and non-Hodgkin's lymphoma, The Johns Hopkins University Press, USA, p. 285; 1998.
- Michaud DS., Mysliwiec PA., Aldoori W., Willett WC., Giovannucci E. Peptic ulcer disease and the risk of bladder cancer in a prospective study of male health professionals. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* 2004; 13: 250-254.
- Miller AJ., Cramer MD. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil* 2004; 274: 1-36.
- Moriya A., Grant J., Mowat C., Williams C., Carswell A., Preston T., Anderson S., Iijima K., McColl KEL. In vitro studies indicate that acid catalysed generation of N-nitrosocompounds from dietary nitrate will be maximal at the gastro-oesophageal junction and cardia. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 2002; 37: 253-261.
- Morton WE. Hypertension and drinking constituents in Colorado. *American Journal of Public Health* 1971; 61(7): 1371-1378.
- Mukherjee S., Sarkar D. Availability of nitrogen in soils under conservation agriculture. *Agriculture and Food e-Newslett* 2020; 2(4): 542-544.
- Nazaryuk VM., Klenova MI., Kalimullina FR. Ecoagrochemical approaches to the problem of nitrate pollution in agroecosystems. *Russian Journal of Ecology* 2002; 33: 392-397.
- Nosengo N. Fertilized to death. *Nature* 2003; 425: 894-895.
- Nuñez de González MT., Osburn WN., Hardin MD., Longnecker M., Garg HK., Bryan NS., Keeton JT. A survey of nitrate and nitrite concentrations in conventional and organic-labeled raw vegetables at retail. *Journal of Food Science* 2015; 80(5): C942-C949.
- O'Brien JA., Vega A., Bouguyon E., Krouk G., Gojon A., Coruzzi G., Gutiérrez RA. Nitrate transport, sensing, and responses in plants. *Molecular Plant* 2016; 9: 837-856.
- Okamoto M., Vidmar JJ. Glass AD. Regulation of NRT1 and NRT2 gene families of *Arabidopsis thaliana*: responses to nitrate provision. *Plant and Cell Physiology* 2003; 44(3): 304-317.

- Ourry A., Gordon AJ., Macduff JH. Nitrogen uptake and assimilation in roots and root nodules, in: Foyer CH., Quick WP. (Eds.), A molecular approach to primary metabolism in higher plants. London: Taylor and Francis, page no: 237-253; 1997.
- Overvoorde P., Fukaki H., Beeckman T. Auxin control of root development. Cold Spring Harbor Perspectives in Biology 2010; 2(6): a001537.
- Özenç DB., Şenlikoğlu G. Organik ve kimyasal azot kaynağının ıspanak bitkisinin bazı besin içeriği ve nitrat birikimi üzerine etkileri. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi 2017; 32: 398-406.
- Paranychianakis NV., Chartzoulakis KS. Irrigation of Mediterranean crops with saline water: From physiology to management practices. Agriculture, Ecosystems & Environment 2005; 106: 171-187.
- Pate JS. Transport and partitioning of nitrogenous solutes. Annual Review of Plant Biology 1980: 31: 313-340.
- Proietti S., Roupheal Y., Colla G., Cardarelli M., De Agazio M., Zacchini M., Rea E., Moscatello S., Battistelli A. Fruit quality of mini-watermelon as affected by grafting and irrigation regimes. Journal of the Science of Food and Agriculture 2008; 88: 1107-1114.
- Quinche JP., Dvorak V. Le dosage des nitrates dans les légumes, les plantes condimentaires et les terres par ionométrie et par chromatographie gaz-liquide. Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture 1980; 12: 7-20.
- Raupp J. Fertilization effects on product quality and examination of parameters and methods for quality assessment, in: Raupp J. (Ed.), Quality of plant products grown with manure fertilization, Darmstadt, pp. 44-48, 1996.
- Reddy KS., Menary RC. Nitrate reductase and nitrate accumulation in relation to nitrate toxicity in *Boronia megastigma*. Physiologia Plantarum 1990: 78: 430-434.
- Reinink K., Eenink AH. Genotypical differences in nitrate accumulation in shoots and roots of lettuce. Scientia Horticulturae 1988; 37: 13-24.
- Reinink K., Groenwold R., Bootsma A. Genotypical differences in nitrate content in *Lactuca sativa* L. and related species and correlation with dry matter content. Euphytica 1987; 36: 11-18.
- Renseigné N., Umar S., Iqbal M. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. Agronomy for Sustainable Development 2007; 27: 45-57.
- Roupheal Y., Kyriacou MC., Vitaglione P., Giordano M., Pannico A., Colantuono A., De Pascale S. Genotypic variation in nutritional and antioxidant profile among iceberg lettuce cultivars. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 2017; 16: 37-45.
- Ruiz JM., Romero L. Relationship between potassium fertilisation and nitrate assimilation in leaves and fruits of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. Annals of Applied Biology 2002; 140: 241-245.
- Sabermanesh K., Holtham LR., George J., Roessner U., Boughton BA., Heuer S., Tester M., Plett DC., Garnett TP. Transition from a maternal to external nitrogen source in maize seedlings. Journal of Integrative Plant Biology 2017; 59(4): 261-274.

- Sagar L., Singh S., Gaikwad DJ., Maitra S., Nikzad K., Attri M., Sairam M. Physiological and molecular mechanism of nitrate uptake and assimilation in plants-A review. *International Journal of Botany Studies* 2021; 6(5): 43-47.
- Salehzadeh H., Maleki A., Rezaee R., Shahmoradi B., Ponnet K. The nitrate content of fresh and cooked vegetables and their healthrelated risks. *PLoS ONE* 2020; 15(1): e0227551.
- Santamaria P. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food Agriculture* 2006; 86: 10-17.
- Santamaria P., Elia A. Producing nitrate-free endive heads: Effect of nitrogen form on growth, yield and ion composition of endive. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 1997; 122: 140-145.
- Santamaria P., Elia A., Gonnella M., Parente A., Serio F. Ways of reducing rocket salad nitrate content. *Acta Horticulturae* 2001; 548: 529-537.
- Santamaria P., Elia A., Parente A., Serio F. Fertilization strategies for lowering nitrate content in leafy vegetables: Chicory and rocket. *Journal of Plant Nutrition* 1998b; 21: 1791-1803.
- Santamaria P., Elia A., Parente A., Serio F. Nitrate and ammonium nutrition in chicory and rocket salad plants. *Journal of Plant Nutrition* 1998a; 21: 1779-1789.
- Santamaria P., Elia A., Serio F., Todaro E. A survey of nitrate and oxalate content in retail fresh vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1999; 79: 1882-1888.
- SCF (Scientific Committee on Food). Opinion on nitrate and nitrite, expressed on 22 September 1995 (Annex 4 to Document III/ 5611/95), European Commission (Eds.), 1995, page no:34; Brussels.
- Scheible WR., Lauerer M., Schulze ED., Caboche M., Stitt M. Accumulation of nitrate in the shoot acts as a signal to regulate shoot-root allocation in tobacco. *The Plant Journal* 1997; 11: 671-691.
- Scherer GF. Auxin-Binding-Protein1, the second auxin receptor: what is the significance of a two-receptor concept in plant signal transduction?. *Journal of Experimental Botany* 2011; 62(10): 3339-3357.
- Seginer I. A dynamic model for nitrogen-stressed lettuce. *Annals of Botany* 2003; 91, 623-635.
- Seginer I., Bleyaert P., Breugelmans M. Modelling ontogenetic changes of nitrogen and water content in lettuce. *Annals of Botany* 2004; 94: 393-404.
- Siliakus MF., van der Oost J., Kengen SW. Adaptations of archaeal and bacterial membranes to variations in temperature, pH and pressure. *Extremophiles* 2017; 21(4): 651-670.
- Singh RK., Dai Y., Staudinger JL., Muma NA. Activation of the JAK-STAT pathway is necessary for desensitization of 5-HT_{2A} receptor-stimulated phospholipase C signalling by olanzapine, clozapine and MDL 100907. *International Journal of Neuropsychopharmacology* 2009; 12(5): 651-665.
- Speijers GJA. (*ed.*) Nitrate, in: Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants in food. World Health Organization (Eds.). Food Additive Series 1996; 35: 325-360.

- Susin J., Kmecl V., Gregorcic A. A survey of nitrate and nitrite content of fruit and vegetables grown in Slovenia during 1996-2002. *Food Additives & Contaminants* 2006; 23: 385-390.
- Szaleczky E., Pronai L., Nakazawa H., Tulassay Z. Evidence of in vivo peroxynitrite formation in patients with colorectal carcinoma, higher plasma nitrate/nitrite levels, and lower protection against oxygen free radicals. *Journal of Clinical Gastroenterology* 2000; 30: 47-51.
- Tahir MM., Wang H., Ahmad B., Liu Y., Fan S., Li K., Lei C., Shah K., Li S., Zhang D. Identification and characterization of NRT gene family reveals their critical response to nitrate regulation during adventitious root formation and development in apple rootstock. *Scientia Horticulturae* 2021; 275, 109642.
- Tamme T., Reinik M., Roasto M., Juhkam K., Tenno T., Kiis A. Nitrates and nitrites in vegetables and vegetable-based products and their intakes by the Estonian population. *Food Additives & Contaminants* 2006; 23: 355-361.
- Tasci C., Nevruz O., Candir N., Bilgic HA. Methemoglobinemia case who was previously diagnosed and treated as asthma. *Respiratory Medicine Case Reports* 2012; 6: 11-12.
- Tohgi H., Abe T., Yamazaki K., Murata T., Isobe C., Ishizaki E. The cerebrospinal fluid oxidized NO metabolites, nitrite and nitrate, in Alzheimer's disease and vascular dementia of Binswanger type and multiple small infarct type. *Journal of Neural Transmission* 1998; 105: 1283-1291.
- Turkdogan MK., Testereci H., Akman N., Kahraman T., Kara K., Tuncer I., Uygan I. Dietary nitrate and nitrite levels in an endemic upper gastrointestinal (esophageal and gastric) cancer region of Turkey. *Turkish Journal of Gastroenterology* 2003; 14: 50-53.
- Tzung WJ., Po WY., Wu JT., Wang YP. Effects of some environmental factors on nitrate content of Chinese cabbage (*Brassica chinensis* L.). *The Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society* 1995; 33: 125-133.
- Urrestarazu M., Postigo A., Salas M., Sanchez A., Carrasco G. Nitrate accumulation reduction using chloride in the nutrient solution on lettuce growing by NFT in semiarid climate conditions. *Journal of Plant Nutrition* 1998; 21: 1705-1714.
- Ustyugova IV., Zeman C., Dhanwada K., Beltz LA. Nitrates/nitrite alter human lymphocyte proliferation and cytokine production. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2002; 43: 270-276.
- van der Leij M., Smith SJ., Miller AJ. Remobilization of vacuolar stored nitrate in barley root cells. *Planta* 1998; 205: 64-72.
- Vieira IS., Vasconcelos EP., Monteiro AA. Nitrate accumulation, yield and leaf quality of turnip greens in response to nitrogen fertilisation. *Nutrition Cycling in Agroecosystems* 1998; 51: 249-258.
- Walker R. Nitrates and N-nitroso compounds: A review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. *Food Additives & Contaminants* 1990; 7: 717-768.
- Wan J, Kalpage HA., Vaishnav A., Liu J., Lee I., Mahapatra G., Turner AA., Zurek MP., Ji Q., Moraes CT., Recanati M.A., Grossman LI., Salomon AR., Edwards BFP., Hüttemann M. Regulation of

- respiration and apoptosis by cytochrome c threonine 58 phosphorylation. *Scientific Reports* 2019; 9(1): 1-16.
- Wang C., Zhang W., Li Z., Li Z., Bi Y., Crawford NM., Wang Y. FIP1 plays an important role in nitrate signaling and regulates CIPK8 and CIPK23 expression in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science* 2018; 9, 593.
- Weitzberg E., Lundberg JO. Novel aspects of dietary nitrate and human health. *Annual Review of Nutrition* 2013; 33: 129-159.
- Xu G., Magen H., Tarchitzky J., Kafkafi U. Advances in chloride nutrition of plants. *Advances in Agronomy* 1999; 68: 97-150.
- Xu J., Xu X., Verstraete W. (2001). The bactericidal effect and chemical reactions of acidified nitrite under conditions simulating the stomach. *Journal of Applied Microbiology* 2001; 90: 523-529.
- Yosoff SF., Mohamed MTM., Parvez A., Ahmad SH., Ghazali FM., Hassan H. Production system and harvesting stage influence on nitrate content and quality of butterhead lettuce. *Bragantia* 2015; 74: 322-330.
- Ysart G., Clifford R., Harrison N. Monitoring for nitrate in UK-grown lettuce and spinach. *Food Additives & Contaminants* 1999; 16: 301-306.
- Ysart G., Miller P., Barrett G., Farrington D., Lawrance P., Harrison N. Dietary exposures to nitrate in the UK. *Food Additives & Contaminants* 1999; 16: 521-532.
- Zalutskaya Z., Kochemasova L., Ermilova E. Dual positive and negative control of Chlamydomonas PII signal transduction protein expression by nitrate/nitrite and NO via the components of nitric oxide cycle. *BMC Plant Biology* 2018; 18(1): 1-10.
- Zendeabad M., Mostaghelchi M., Mojganfar M., Cepuder P., Loiskandl W. Nitrate in groundwater and agricultural products: intake and risk assessment in northeastern Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 2022; 29: 78603-78619.
- Zhao D., Reddy KR., Kakani VG., Reddy VR. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy* 2005; 22(4): 391-403.
- Zhong L., Blekkenhorst LC., Bondonno NP., Sim M., Woodman RJ., Croft KD., Lewis JR., Hodgson JM., Bondonno CP. A food composition database for assessing nitrate intake from plant-based foods. *Food Chemistry* 2022; 15(394): 133411.
- Zhou ZY., Wang MJ., Wang JS. Nitrate and nitrite contamination in vegetables in China. *Food Reviews International* 2000; 16: 61-76.



Bitkisel Proteinler ve Et Alternatifi Olarak Kullanımı

Başak ESMER^{1*}, Fatma HEPSAĞ², İbrahim HAYOĞLU³

¹Doktora öğrencisi, Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 63040 Şanlıurfa

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Programı, 80760 Osmaniye

³Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 63040 Şanlıurfa

¹<https://orcid.org/0000-0002-2376-7488>

²<https://orcid.org/0000-0002-3688-4106>

³<https://orcid.org/0000-0002-6358-8302>

* Sorumlu yazar esmerbasak@icloud.com

Derleme Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 01.12.2023

Kabul tarihi: 17.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Et alternatifleri

Bitkisel protein

Soya proteini

ÖZ

Dünya nüfusunun giderek artması ve kaynakların hızla tüketimi göz önüne alındığında, biyolojik değeri yüksek olan proteinlerin ulaşılabilirliği ile ilgili giderek artmakta olan ilgi daha çok görülür olmuştur. İnsan sağlığı ve hayvan refahıyla ilgili hususlar ile çevre kirliliğine çözüm arayışları, küresel ısınma ve sürdürülebilirlik; bitkisel proteinli et alternatiflerinin üzerinde çalışmasını sağlamıştır. Artan tüketici talebini karşılamak için bitki bazlı et alternatifleri üzerine yapılan çalışmalar hızla genişlemektedir. Jelleşme özelliği ve lifli yapı oluşturma potansiyelinin yüksek olmasından dolayı soya proteinleri, et alternatiflerinin hazırlanmasında tercih edilmiş ve hayvansal proteine alternatif için uygun bir seçenek haline gelmiştir. Bu çalışmada bitki bazlı et alternatiflerinin üretimi, lezzet geliştirme yaklaşımları ve sağlık üzerine etkileri irdelenmiştir.

Plant Proteins and Their Use as a Meat Alternative

Reviews Article

Article History:

Received: 01.12.2023

Accepted: 17.03.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Meat alternatives

Plant proteins

Soy proteins

ABSTRACT

Considering the increasing world population and the rapid consumption of resources, the increasing interest in the availability of proteins with high biological value has become more visible. Issues related to human health and animal welfare, the search for solutions to environmental pollution, global warming and sustainability; It has led to the study of meat alternatives with vegetable protein. Studies on plant-based meat alternatives are rapidly expanding to meet increasing consumer demand. Due to its gelling feature and high potential to form a fibrous structure, soy proteins have been preferred in the preparation of meat alternatives and have become a suitable alternative to animal protein. In this study, the production of plant-based meat alternatives, flavor development approaches and their effects on health were examined.

To Cite: Esmer B., Hepsağ F., Hayoğlu İ. Bitkisel Proteinler ve Et Alternatifi Olarak Kullanımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1913-1932.

1. Giriş

Hayvansal proteinler; dengeli amino asit profillerine sahip birincil kaynaklar olmasına rağmen, bitki bazlı proteinlere olan ilgi ve talep çeşitli nedenlere bağlı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Artan dünya nüfusu ve gelir düzeyi ile değişen yaşam tarzının bir sonucu olarak, hayvansal kaynaklı ürünlere olan talebin 2050 yılına kadar %70 oranında artacağı öngörülmektedir (Yitbarek, 2019). Hayvansal

proteinlere kıyasla bitkisel kaynaklı proteinlerin daha ekonomik olmaları ile birlikte daha düşük çevresel etkiye sahip oldukları belirtilmektedir. Yaşanan COVID-19 pandemisi, tüketicilerde beslenme ve sağlık arasındaki ilişki konusunda farkındalık oluşturmuş ve bitkisel protein pazarının artmasına katkıda bulunmuştur (Boukid, 2021).

Et ve hayvansal bazlı ürünlerin aşırı tüketimine ilişkin sağlık endişeleri; vegan veya vejetaryen olarak et tüketimini azaltmayı veya diyetlerinden çıkarmayı seçen bazı sağlık bilincine sahip tüketiciler için de endişe vericidir (Boukid, 2021). Et üretiminin çevre üzerinde; küresel ısınmaya, deniz seviyesinin yükselmesine, aşırı hava olaylarına, kuraklığa ve diğer yıkıcı etkilere neden olan önemli sera gazı emisyonlarındaki artışa sebebiyet vermesi (tarımdan kaynaklanan toplam emisyonların %54'ünü oluşturmaktadır) gibi çeşitli etkileri vardır. Bunlar fosil yakıt kullanımından kaynaklanan kirlilik, tatlı suların azalması ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi örneklendirilebilir (Henning, 2011; OECD-FAO Tarımsal Görünüm, 2021–2030). Tüm bu sebepler bitki bazlı et alternatifi ürünler üretmek ve tüketmek için bir öncü olmuştur. Bu çalışmada mevcut bilimsel literatürlerin ışığı altında hayvansal kaynaklı et ve et ürünleri ile bitki bazlı et alternatifi ürünlerin duyuşsal kabul edilirliliği ve sağlık üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Modern Et Alternatifi Ürünler

Küresel et tüketimini azaltmak için etin alternatif protein ürünleriyle değiştirilmesi teşvik edilmektedir. Et alternatifi ürünleri üç ana türe ayırmak mümkündür. Bunlar; bitki bazlı et ve ürünleri, doku mühendisliği teknolojisi kullanılarak laboratuvarlarda kültürlenmiş et ürünleri olan *in vitro* et ve ürünleri, yenilebilir böcekler ile üretilen et ve ürünleridir (Lee ve ark., 2020). Bitki bazlı et alternatifleri şu anda sanayileşmiş ülkelerde en popüler et alternatifi ürünlerdir (Gómez-Luciano ve ark.,2019; Lundén ve ark., 2020). Bitki bazlı et alternatifleri, bitkisel proteinlerden yapılan tekstürel gıda ürünleridir (Lee ve ark., 2020). Küresel bitki bazlı protein pazarının yıllık %7,2 bileşik büyüme oranıyla büyüerek 2026 yılında 15,6 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Maningat, 2022). Bu büyüme muhtemelen alternatif protein şirketlerine yapılan artan girişim yatırımlarının artması, teknolojik yenilikler, bitki bazlı beslenmenin potansiyel sağlık yararları, bitkisel proteinlerin üretimi ve tüketimiyle ilişkili çevresel sürdürülebilirlik ve esnek beslenmeye yönelimin artmasından kaynaklanmaktadır. Bitki bazlı bir diyete geçişin, iklim değişikliğinin azaltılmasına yardımcı olacağı düşünölmektedir. Çünkü böyle bir beslenmede, hayvansal kaynaklı bir diyete göre daha az enerji, su ve toprak kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır (Pimentel ve Pimentel, 2003).

Kök hücrelerin keşfi, *in vitro* hücrelerin üretilmesini mümkün kılmış ve bu durum kültürlenmiş et için teorik bir temel oluşturmuştur. Teorik olarak büyüme faktörleri; oksijen, besinler ve sıcaklık gibi uygun kültür koşulları altında, kök hücreler *in vitro* çoğalarak çok çekirdekli miyotüpler, ardından daha fazla çoğalma ve farklılaşma yoluyla kas lifleri oluşturabilmektedir. Kas lifi sonunda olgunlaşarak sosis, biftek ve hamburger köftesi gibi çeşitli ürünlere işlenebilen kasa dönüşebilmektedir. Kültürlü et üretim sistemi için nanoteknoloji dâhil olmak üzere farklı teknikler vardır. İskelet; uydu hücreleri veya hayvan

embriyolarının kas dokusunu oluşturan hücreleri için bir taşıyıcı olarak kullanılabilir. Bu teknoloji, jambonlu burger ve sosis yapımında kullanılacak yumuşak veya kemiksiz et üretebilmektedir (Jairath ve ark., 2021). Diğer yandan kendi kendini yenileme tekniği, tıpkı etin doğal formu gibi, çok gerçekçi üç boyutlu bir et yapısı üretebilmektedir. Nanoteknoloji uzmanları, benzer atomları veya molekülleri seçici olarak bütün bir yapı halinde birleştirebilen nanorobotlar veya birleştiriciler geliştirmektedir. Geliştirilen bu yapılar teorik olarak herhangi bir şekle sahip maddeleri orijinal hallerinde üretebileceklerdir (Gaydhane ve ark., 2018).

Yeni çevre dostu protein kaynakları arasında yenilebilir böcekler değerli adaylar olarak görünmektedir (FAO, 2009; Gahukar, 2011; Belluco ve ark., 2013). Böcekler; yıl boyunca üreyen ve yüksek doğurganlık oranlarına sahip canlılardır. Esas olarak düşük sera gazı emisyonlarına neden olmaları, küçük üreme alanı gereksinimleri ve bazı türlerde çiftlik hayvanlarını veya insanları beslemek için organik, endüstriyel ve tarımsal yan ürünleri geri dönüştürme yeteneğine sahip olmalarından dolayı değerli bir alternatif olarak görülmektedir (Bednárová ve ark., 2013; Rumpold ve Schlüter, 2013a; Rumpold ve Schlüter, 2013b). Bu çevresel faydalarının yanı sıra böcekler oldukça besleyicidir ve özellikle yüksek kaliteli protein açısından zengindirler (Yen, 2009; Van Huis ve ark., 2013; Yi ve ark., 2013). Un kurdu larvaları ve cırcır böcekleri kuru ağırlıkta sırasıyla %50 ve %75'e kadar protein içerir ve bu protein fenilalanin, tirozin ve triptofan gibi esansiyel aminoasitlerden oluşur (Rumpold ve Schlüter, 2013a; Siemianowska ve ark., 2013; Bednárová ve ark., 2014; Caparros Megido ve ark., 2015). Böceklerin gıda olarak pek çok faydasına rağmen; Batı ülkelerinde böcek gıdası tüketme eğilimindeki isteksizlik açıkça yerleşmiştir. Bu durum hayvanların kökenleri ve habitatları hakkındaki bilgi veya sindirim sonrası olumsuz etkilerle karşılaşılma ihtimali ile açıklanabilmektedir (Rozin ve ark., 1999; Schösler ve ark., 2012; Caparros Megido ve ark., 2014; Verbeke, 2015). Literatürde Batı kültüründe tüketicilerin algılarına ve böcekleri et ikamesi olarak benimsemeye hazır olup olmadıklarına odaklanan çok az çalışma bulunmaktadır (Verbeke, 2015; Tan ve ark., 2016).

3. Bitki Bazlı Et Alternatifi Ürünler

Son zamanlarda yapılan çalışmalar et alternatifi ürünlerin doku, lezzet, renk vb. gibi karakteristik özelliklerinin, kullanılan içeriklere bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bileşenlerin et alternatifi ürünlerin duyuşal özellikleri üzerindeki etkisini anlamak için öncelikle bu bileşenlerin kullanım amaçlarının ve işlevlerini araştırılması gerekmektedir. Genel olarak et alternatifi bir ürün; su (ağırlıkça %50 ile %80), dokulu bitkisel proteinler (ağırlıkça %10 ile %25) dokusuz proteinler (ağırlıkça %4 ile %20), aroma maddeleri (ağırlıkça %3 ile %10), yağ (ağırlıkça %0 ile %15), dolgu maddeleri (ağırlıkça %1 ile %5) ve renklendirici maddeler (ağırlıkça %0 ile %0,5) içermektedir (Egbert ve Borders, 2006). Bileşenlerin formülasyonu, duyuşal özellikler açısından kabul edilen et alternatifi ürünlerin içeriklerini belirtmektedir. Yüksek miktarda su içermesi sadece ürünün maliyetini düşürmekle kalmamakta, aynı zamanda gerçek et tüketimindeki istenilen sululuk ile üretimdeki elastik özelliği sağlamakta ve emülsiyon oluşma sürecine yardımcı olmaktadır. Beslenme amaçlı protein ikamesi istenen dokuyu,

ağızda bıraktığı hissi ve görünümü tamamen iyileştirmemektedir. Tekstüre edilmiş proteinler kullanılarak et değişimi iki yolla gerçekleştirilebilir. Birinci yol, tekstüre edilmiş proteinlerin etle harmanlanmasına (yani ete elastik özellik kazandırılması) dayanırken, diğer yol, tamamen vegan veya vejetaryen ürünler oluşturmak için etin tekstüre proteinlerle tamamen değiştirilmesine dayanmaktadır (Riaz, 2004). Et alternatifi ürün tek başına görünüm, doku veya ağızda bıraktığı his açısından ete benzemez, ancak eklenen katkı maddeleri ile gıda ürününün genel fonksiyonel özellikleri geliştirilmektedir. Öte yandan et alternatifi ürünlerin, herhangi bir et içeren bileşen olmadan hidratlandığında ve pişirildiğinde etin görünümünü, dokusunu, lezzetini ve rengini bir bütün olarak benzetmesi amaçlanmaktadır (Riaz, 2004; Singh ve ark., 2008). Bu nedenle, dokusal ve tekstürel özellikleri iyileştirmek için bazı kimyasallar ya da bileşenler kullanılabilir. Soya proteini izolatları ve konsantreleri, buğday gluteni, yumurta akı, hidrokolloidler ve diğer bağlayıcı maddeler (nişasta gibi), ürünün su alma kapasitesini, emülsiyon kapasitesini arttırmak, emülsiyon stabilitesi sağlamak ve aynı zamanda ürünün performansını ayarlamak için eklenmektedir. Ürünün dokusu, tadı ve görünümü tüketicinin kabulünde belirleyici bir faktör olup (Hoek ve ark., 2011), bu amaçla aroma ve renklendiriciler kullanılmaktadır. Ürüne dahil edilen yağ miktarı da nihai gıda ürününün aromasında, renginde ve dokusunda rol oynayabilmektedir (Hoek ve ark., 2011).

Bitki bazlı et alternatifi ürünler üzerine yapılan çalışmaların daha çok yeni protein kaynakları ve bunların protein fraksiyonlarının işlevselliği üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Çalışmalarda, gıda proteinlerinin süreç-yapı-işlev ilişkisinin anlaşılması ve bunların protein açısından zengin gıda ürünlerinin kalitesini ve işlevselliğini nasıl önemli ölçüde geliştirebilecekleri konularına odaklanılmıştır (Haque ve ark., 2016; Singhal ve ark., 2016). Bitkisel proteinlerin elde edildiği kaynaklar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bitkisel Proteinlerin Ana Kaynakları (Fraser ve ark., 2018)

Bitkisel Proteinler	Ana Kaynakları
Yağlı tohum proteinleri	Soya fasulyesi, kolza tohumu/kanola, pamuk tohumu, yarfıstığı, ayçiçeği çekirdeği, susam, aspir, keten tohumu
Tahıl proteini	Buğday, mısır, pirinç, arpa, yulaf, sorgum, amarant
Baklagil ve bakliyat proteini	Fasulye, nohut, guar, mercimek, acı bakla, bezelye
Yaprak proteinleri	Yonca, tütün, dut çalısı, çimen, şeker kamışı, şeker pancarı

Şu anda et alternatifi ürünlerin çoğu, spesifik özellikleri ve düşük fiyatları nedeniyle soya proteinine dayanmaktadır. Soya proteini ve diğer yağlı tohum bitkilerinden elde edilen proteinlerin yanı sıra çeşitli substratlara ve mikroorganizmalara dayalı fermentasyonla üretilen proteinler de et ve et alternatifi ürünlerin üretimine dâhil edilmiştir (Kim ve ark., 2011). Buğday, mısır, pirinç, yağı alınmış yağlı tohumlar, fasulye unları, tahıl unları ve türevleri (örn. yağı alınmış soya unu, soya protein konsantresi,

buğday unu) gibi protein açısından zengin öncü malzemelerden et ve et alternatifi ürünlerin endüstriyel üretimi araştırılmaktadır (Kumar ve ark., 2017).

3.1. Soya Proteini

Soya; et alternatifi ürünlerde soya unu, soya proteini konsantresi ve soya proteini izolatu formunda kullanılmaktadır. Soya bileşenleri; su tutma, jelleşme, yağ emme ve emülsifiye etme kapasiteleri gibi karakteristik fonksiyonel özelliklerinden dolayı et alternatifi ürünlerde en yaygın olarak kullanılan bileşenlerdir. Yağı alınmış soya gevreğinin öğütülmesiyle üretilen yağı alınmış soya unu, yaklaşık %50 (kuru) protein içeriğine sahiptir. Protein açısından daha zengin olan soya fasulyesi protein konsantresi ve izolatu, bu yağı alınmış soyanın parçalanmasıyla elde edilmektedir. Konsantre; yaklaşık %70 protein içeriğine sahip bir ürünle sonuçlanan sulu alkol ekstraksiyonuyla üretilirken, izolat; alkali ekstraksiyon ve ardından %90 protein içeriğiyle sonuçlanan asidik pH'da çöktürme yoluyla üretilir. Soya proteini izolatu, yüksek protein saflığının yanı sıra avantajı, diğer soya içerikleriyle karşılaştırıldığında açık rengi ve yumuşak tadıdır (Liu ve Hsieh, 2007; Grabowska ve ark., 2016).

3.2. Buğday Glütenu

Buğday glütenu, et alternatifi ürün üretimi için yaygın olarak kullanılan diğer bir proteindir. Doğal bir şekilde kolaylıkla uzayabilen, lifli proteinli materyallere dönüştürülebilen ince protein filmler oluşturma kapasitesine sahiptir. Bu karakteristik özellikler, moleküler özelliklerin ve bunun sonucunda ortaya çıkan tabakalaşma davranışının bir sonucudur (Don ve ark., 2003). Disülfür protein bağlanması, üç boyutlu bir ağın geliştirilmesi için buğday gluteninin önemli bir özelliğidir (Ooms ve ark., 2018). Bu özelliği glütenu lifli yapı oluşumları için anahtar bir bileşen yapmaktadır (Krintiras ve ark., 2015; Nawrocka ve ark., 2017; Pietsch ve ark., 2017).

3.3. Baklagil Proteinleri

Bezelye, acı bakla, nohut, mercimek ve diğer fasulye türlerinden elde edilen baklagil proteinleri de emülsifikasyon, jel oluşumu ve köpük stabilizasyonu gibi fonksiyonel özellikleri açısından incelenmiştir (Aluko ve ark., 2009; Berghout ve ark., 2015a). Bunlar arasında et alternatifi ürün uygulamaları için en umut verici olanı, yüksek nemli ekstrüzyonla yapılandırılmış bezelye proteindir (Osen ve ark., 2014; Osen ve Schweiggert Weisz, 2016). Ancak bezelye bazlı yapılar soya bazlı ürünlere göre daha yumuşaktır (Karaca ve ark., 2011a,b; Toews ve Wang, 2013; Ladjal-Ettoumi ve ark., 2016). Bu nedenle, protein hidrojen bağının modifikasyonu, sıcaklık uygulaması, protein parçacık boyutu modifikasyonu vb. gibi işleme koşullarının optimize edilmesi yoluyla jel kuvvetinin nasıl artırılacağı araştırılmaktadır (Osen ve ark., 2014). Nohut, mercimek ve acı bakla üzerinde yapılan çalışmalar, bunların iyi emülsiyon ve köpük stabilizasyon kapasitelerine sahip olduğunu göstermiştir (Chapleau ve De Lamballerie-Anton, 2003; Boye ve ark., 2010; Bader ve ark., 2011; Karaca ve ark., 2011a; Aydemir ve Yemenicioğlu, 2013).

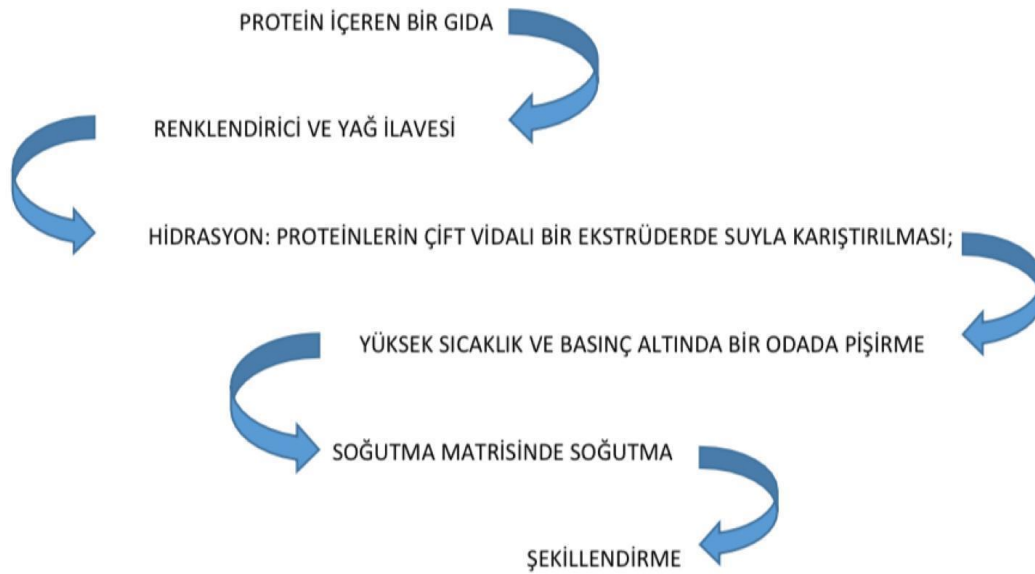
Bu proteinler, nohut hariç soyaya göre daha zayıf jelleşme kapasitesine sahiptir (Boye ve ark., 2010; Aydemir ve Yemenicioğlu, 2013; Berghout ve ark., 2015a).

3.4. Diğer Yağlı Tohum Proteinleri

Diğer protein kaynakları arasında kolza tohumu ve kanola ön sıralarda yer almaktadır. Turpgiller ailesine ait olan kolza tohumu içerdiği napin sayesinde iyi emülsifikasyon ve köpük oluşturma özellikleri sunmaktadır (Larré ve ark. , 2006; Yoshie-Stark ve ark., 2008). Kolza tohumu proteinleri; yüksek basınçta veya sıcaklıkta kullanıldığında et benzeri dokuları etkileyerek jel oluşumunu başlatabilmektedir (He ve ark., 2014). Üstelik napin, hidrofobik, iyonik ve tuz köprüsü etkileşimleri tarafından tetiklenen çözeltide beta kazein ile agregatlar oluşturduğundan, kazein içeren ürünlerde önerilmektedir (Schwartz ve ark., 2015). Esas olarak albüminler ve globülinlerden oluşan kanola protein fraksiyonları, daha düşük tuz konsantrasyonları altında yapışkan jeller oluşturabilir (Tan ve ark., 2014; Yang ve ark., 2014). K-karragenan ile karıştırıldığında, kanola proteininin bir yapılandırıcı ajan olarak görev yapabileceğini gösteren çok güçlü ve elastik ağlar gözlemlenmiştir (Uruakpa ve Arntfield, 2004).

4. Et Alternatifi Ürünlerin Üretim Teknolojileri

Et alternatifi ürünlerin üretimindeki birçok teknolojik ilerlemeye rağmen, en yaygın kullanılan tekstüre yöntemi ekstrüzyondur (Dekkers ve ark., 2018 ; Hadi ve Brightwell 2021; Lee ve ark., 2020) Yöntemin çalışma prensibi; protein içeren bir gıda karışımını hidrasyona ve yüksek sıcaklık ve basınç ile mekanik etkileşimlere tabi tutmaktır (Dekkers ve ark., 2018 ; Kazır ve Livney 2021). Ekstrüzyon akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ekstrüzyon akış şeması (Kołodziejczak ve ark., 2022)

Bitkisel proteini dokulandırma teknikleri ıslak eğirme ve elektrospinlemeyi tekniklerini de içermektedir. Bu teknikler, protein çözeltilerinden lifler oluşturmayı hedeflemektedir. Islak eğirme yönteminde, protein çözeltisi püskürtücü ile bastırılır ve solvent olmayan bir proteine batırılmaktadır. Ekstrüzyona tabi tutulan protein fazı çökeltiyerek katılaştırılmaktadır. Islak eğirme, yaklaşık 20 µm kalınlığında liflerle sonuçlanmaktadır (Dekkers ve ark., 2018 ; Zhang ve ark., 2021). Birçok kimyasal reaktifin kullanılması nedeniyle, bu teknik büyük miktarlarda atık üretir ve bu da kullanımını sınırlar (Zhang, ve ark., 2021).

Gıda üretiminin sürdürülebilirliği dikkate alındığında elektrospinning daha makul bir tekniktir. Bu yöntem; bir protein çözeltisinin topraklama elektroduna göre bir elektrik potansiyeline sahip içi boş bir iğne veya püskürtücü yardımıyla pompalanmasını içermektedir. Damlacık yüzeylerinde elektrik yükü birikmesiyle yüzeylerde dengesizlik oluşmaktadır. Bu durum, protein çözeltisinin çok ince liflere dönüşmesi ile sonuçlanmaktadır. Elektrospinning tekniği nanoliflerin üretiminde kullanılmış olsa da daha büyük ölçüde et alternatifi ürünlerin üretiminde umut verici bir araç olduğunu düşünülmektedir (Dekkers ve ark., 2018 ; Zhang ve ark., 2021).

Erimiş biriktirme modelleme diğer ismiyle üç boyutlu baskı, et alternatifi ürünlerin üretilmesi için yenilikçi bir tekniktir (Ramachandriah 2021). Bu; potansiyel uygulamaları arasında tüm kastan et benzeri yapılar oluşturmayı içeren, katmanlı üretim adı verilen bir yöntemdir. Ekstrüzyon, mürekkep püskürtmeli baskı, bağlayıcı püskürtme ve biyobaskı olmak üzere 3D baskı teknikleri vardır (Dekkers ve ark., 2018 ; Zhang ve ark., 2021) .

Et alternatifi ürünlerin üretim ve dokulandırma teknikleri arasında kesme hücresi tekniği de önemli bir tekniktir. Bitkisel proteinin yoğun şekilde kesilmesinin gerçekleştiği akış kaynaklı yapılanma konseptine dayanmaktadır. Tekstüre işlemi, koni içinde koni veya Couette hücre cihazlarında gerçekleşmektedir. Couette hücresinin kullanımının üretim ve verim hacminin artacağı konusunda umut verici olduğu düşünülmektedir (Güneş ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021).

5. Protein Zenginleştirilen Maddelerin ve Et Alternatiflerinin Lezzetini Geliştirme Yaklaşımları

Bitkisel protein içeriklerinin ve bunlara karşılık gelen et alternatifi ürünlerinin duyu kabul edilebilirliğini arttırmak için fasulyemsi kötü tatların oluşumunu önlemek, azaltmak veya maskeleyen zorunludur. Kötü kokular (uçucular) ve acı, buruk ve metalik tat (uçucu olmayanlar), ideal olarak kötü tattan sorumlu bileşiklerin ortadan kaldırılmasını gerektirmektedir. Bugüne kadar bitkisel proteinlerdeki kötü tatların giderilmesine ilişkin bilgiler hâlâ yetersizdir. Bitkisel proteinlerin duyu özellikleri daha baskın olduğundan, en temel yaklaşımlarından biri bitki bazlı etlerde kötü tat gelişimini engelleyen enzimlerin kullanılması olduğu öngörülebilmektedir (Roland ve ark., 2017). Kötü tat veren bileşiklerin uzaklaştırılması veya azaltılmasını amaçlayan çeşitli işlemler halen tartışılmaktadır. Hiçbir tekniğin mükemmel olmadığı ve her yöntemin kendine özgü yararları ve eksiklikleri olduğu görülmektedir. Tatlar çeşitlidir ve bitki proteinlerine farklı bağlanma varyasyonları göstermesi nedeniyle mevcut

teknikleri kullanarak tüm kötü tatları ve bunların öncülerini tamamen ortadan kaldırmak zordur (Fraser ve ark., 2018).

Aroma maddeleri, bitki bazlı et alternatiflerinde kötü tat algısını maskeleyerek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitki içeriklerinden gelen aromalar ete benzer bir tat yaratır, böylece nihai ürünlerin duyu kalitesini ve tüketici kabulünü geliştirir (Li ve Li, 2020). Bitki bazlı et ürünlerinde çok çeşitli aroma maddeleri kullanılmaktadır. Et alternatifi ürünlere sarımsak, soğan, biber, rezene, fesleğen ve kekik gibi doğal baharatlar ve otlar eklenerek spesifik tatlar kazandırılabilir (Bohrer, 2019; Li ve Li, 2020). Bu baharatlar aynı zamanda bitkisel proteinlerden kaynaklanan istenmeyen tatları da maskeleyebilmekte ve antioksidan bileşenleri nedeniyle lipid oksidasyonunu önleyebilmektedir (Yashin ve ark., 2017).

İndirgeyici şekerler (ksiloz, riboz ve glukoz), amino asitler (metionin, sistein, serin, treonin, glisin ve alanin), tat nükleotidleri (5'-guanozin monofosfat ve 5'-inosin monofosfat) gibi Maillard reaksiyonu öncüleri ve tiamin, bitki bazlı alternatiflerde etli veya kavrulmuş izlenim oluşturmak amacıyla kullanılan bileşenlerdendir (Li ve Li, 2020).

Hidroklorik asit veya protein açısından zengin bileşenlerin (soya, mısır ve buğday glütenu) enzimatik hidrolizi yoluyla üretilen hidrolize bitkisel proteinler, ete benzer bir tat vermek için kullanılmaktadır (Wu ve ark., 2003). Hidrolize bitkisel proteinler, amino asitler (glutamik asit), kısa peptitler ve çeşitli uçucu aroma bileşikleridir (Aaslyng ve ark., 1998).

Maya ekstraktı, gıdada kullanılabilir mayadan üretilen doğal bir tatlandırıcı maddedir. Tiyofen ve pirazinin varlığından dolayı kavrulmuş, etli ve tatlı bir aromaya sahiptir (Lin ve ark., 2014). Glutamik asit, 5'-nükleotidler ve diğer bileşenler nedeniyle ete özgü tatları da verebilir (Liu ve ark., 2015). Ayrıca maya ekstraktı, amino asitler, peptidler ve tiamin gibi uçucu olmayan lezzet öncülerini sağlayan bu maddeler, lezzet artırıcı olarak kabul edilirler (Alim ve ark., 2018).

Hindistan cevizi yağı, kanola, kolza tohumu yağı ve ayçiçek yağı gibi bitkisel yağlar; lezzet oluşumunda hayvansal yağların rolünü üstlenmek ve etin yumuşaklığına, sululuğuna ve ağız hissine katkıda bulunmak için sıklıkla ticari et alternatifi ürünlerde kullanılmaktadırlar (Bohrer, 2019).

Soya, et proteinlerinin "kanlı" görünümünü taklit etme kapasitesine sahiptir. Kırmızı pancar, kırmızı lahana, kırmızı meyveler, kırmızı biber ve havuçtan elde edilen pigment ekstraktları, kırmızımsı bir görünüm sağlamak için daha yüksek düzeyde işlenmiş alternatif köfte ve sosislere eklenebilmektedirler. Bununla birlikte, işlendiğinde bu bitki pigmentleri renk değişikliği yaşayabilir veya tam tersi şekilde arzu edilen "pişmiş" et rengine geçişe karşı direnç gösterebilir. Elma ekstraktı, ekstrakttaki polifenoller ve askorbik asit, havanın oksijenine maruz kaldığında veya pişirildiğinde oksitlenip kahverengiye dönüşmesi nedeniyle, pişirildiğinde kahverengi bir görünüm oluşturmak için kullanılmıştır (Yoruk ve Marshall, 2003). Yine bitki bazlı tavuklarda renklendirici olarak kullanılan titanyum dioksit (TiO₂) öncelikle beyazımsı rengi geliştirmekte, parlaklaştırmakta ve antimikrobiyal aktivite göstererek ürünün raf ömrünü arttırmaktadır (Li ve ark., 2020).

Tuzlu maya özütü, nükleotidler, şeker ve diğer tat veren bileşenler, bitki bazlı alternatiflerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve kullanım düzeyi, lezzet eksikliğini telafi etmek için genellikle normal et ürünlerindeki kadar değil, daha yüksektir. Pişmiş sosis, köfte ve diğer birçok işlenmiş et ürününün yoğun ve karmaşık aroması, karabiber, kekik, adaçayı, biberiye ve karanfil gibi kombine baharatlar ve otlar kullanılarak taklit edilmektedir. Bu tatlandırıcılar yalnızca karmaşık bir işlenmiş et aroması profili oluşturmakla kalmamakta, aynı zamanda bazı baklagil proteinlerinin kötü tadını da maskeleymektedir. Besin eksikliklerini tamamlamak için seçilmiş mineraller ve vitaminler eklenerek besin profili normal ete yakın hale getirilebilmektedir (Gaudette ve Pietrasik, 2017).

Etanol ve izopropanol gibi organik çözücüler, bitki protein konsantrelerinden veya izolatlarından polar lipitleri (fosfolipidler) ve uçucu bileşikleri çıkarmak için uzun süredir kullanılmaktadır (Damodaran ve Arora, 2013). İstenmeyen tat bileşiklerini uzaklaştırmak için solvent ekstraksiyonunun kullanılması, düşük maliyet, kolay kullanım ve iyi kontrol edilebilirlik gibi avantajlara sahiptir. Üstelik peptidler, fenolikler ve saponinler gibi acı tada sahip uçucu olmayan bileşenler, solvent fazında birikme eğilimindedir ve daha sonra ekstrakte edilebilir (Saha ve Hayashi, 2001). Birlikte ele alındığında, bu solvent işlemlerinin, istenmeyen tat moleküllerini azaltmada ve aynı zamanda tat özelliklerini iyileştirmede yararlı olduğu kanıtlanmış olsa da, protein denatürasyonu ve protein işlevselliğinin kaybı, üzerinde çalışılmayı zorunlu kılan zararlı ikincil sonuçlar arasındadır (Lokuruka, 2011; Wang ve ark., 2020a).

Baklagil tohumlarının ıslatılması, genellikle çimlendirme, pişirme veya ısıtma gibi diğer işlemlerden önce kullanılan bir işlemdir. Tohumlar, suyun emilmesine ve istenmeyen bileşiklerin (anti-besleyici maddeler ve kötü tat veren bileşikler) ıslatma suyuna sızmasına izin vermek için birkaç saat suda ıslatılır. Örneğin, acı bakla tohumlarının ıslatılmasının, alkaloidlerden kaynaklanan acıyı azalttığı belirtilmiştir (Yadesa ve Biadge, 2017).

Bitkisel proteinlerin enzimatik hidrolizi, fonksiyonel özellikleri geliştirmek (jelleşme, emülsifikasyon, köpük oluşturma ve su tutma kapasitesi) ve alerjeniteyi azaltmak ve ayrıca et alternatiflerinin ete benzer tadını arttırmak için et aroması öncülleri üretmek için de kullanılmıştır. Bununla birlikte, bitki proteinlerinin ve bunları içeren ürünlerin istenmeyen tatlarını azaltmak veya ortadan kaldırmak için bu tekniğin kullanımı ile ilgili sınırlı sayıda araştırma vardır (Sun, 2011).

Fermentasyon; aroma profilini iyileştirmek ve bitkisel protein içeriklerinde kötü tat oluşumunu azaltmak için en yaygın yaklaşım olmuştur. Çalışmalar, izole edilmiş soya, bezelye, acı bakla proteinleri kullanılarak üretilen ürünlerdeki acı ve fasulye aromalarının maskelenmesi veya azaltılması üzerine odaklanmıştır. Fermente baklagil proteinlerinin lezzet özellikleri, kullanılan starter kültürlere, starter kültürlerin metabolik aktivitelerine (aroma veya öncül bileşiklerin) ve hedeflenen kötü aroma bileşiklerini parçalayan spesifik enzimlerin (proteazlar) salınmasına veya aktivasyonuna bağlıdır (Meinlschmidt ve ark., 2016a,b; Tangyu ve ark., 2019).

6. Bitkisel Proteinlerin Beslenme ve Sağlık Açısından Önemi

Diyette etin temel beslenme amacı yüksek kalitede protein sağlamaktır (Heinz ve Hautzinger, 2007). Etin tamamen et benzeri ürünlerle değiştirilmesi durumunda bu ürünlerin besin değeri açısından benzer yararları sağlaması gerekir. %30'a kadar protein içeriğine ve düşük lipit seviyesine sahip bir et alternatifi ürününün, besin değeri değerlendirildiğinde ete iyi bir alternatif ürün olabileceği belirtilmektedir. Aynı zamanda, dengeli bir diyet programı değerlendirilirken yalnızca protein içeriği değil, et ve et alternatifi ürünlerinin tüm besin değerleri ve bunların oranları da dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle et alternatifi ürünler benzer protein miktarına sahip olmalıdır (Alexander ve ark., 2017a).

Et alternatifi ürünlerin bir diyetle tamamen etin yerini alması gerekiyorsa, sığır eti olarak benzer aminoasit içeriğine sahip olması nedeniyle soyanın cazip bir seçenek olduğu ifade edilmektedir (Alexander ve ark., 2017a). Soya olmadan, tahıl ve baklagil proteinlerinin kombinasyonları gibi tamamlayıcı amino asit bileşimine sahip protein içerikli tarifler kullanılarak yüksek aminoasit içeriği elde edilebilmektedir. Ayrıca, B12 vitamini (kobalamin) gibi vitaminler ve demir gibi eser elementler, etin tamamen kesildiği diyetler için temel ilaveler olarak kabul edilir. Bununla birlikte, diyeti et ağırlıklı olan tüketicilerin çoğu aşırı protein tüketimine sahiptir (Alexander ve ark., 2017b). Diyetle etin et alternatifi ürünlerle kısmen değiştirilmesi durumunda da gereksinimler karşılanabilmektedir. Ayrıca, etin daha yüksek diyet lifi içeriği olan bir ürünle değiştirilmesi, daha dengeli bir diyetle katkıda bulunabilir. Başka bir deyişle, et alımının azaltılmasının ek faydaları olabilir. Et alternatifi ürünler doymuş yağ asitleri, kolesterol veya ürik aside dönüşen azotlu bileşik olan pürin içeriğine sahip olmadığı için, kırmızı et tüketiminin fazla olduğu durumlarda yaşanabilecek bazı olumsuz sağlık sorunlarından kaçınılabılır (Wild, 2016). Ek olarak et ve süt ürünleri tüketiminin az olduğu diyetler genellikle yüksek miktarda diyet lifi ve sağlığı yararlı olan fotokimyasallar içerir (Craig, 2010). Bitkisel proteinlere dayalı diyetlerin, obezitenin neden olduğu metabolik fonksiyon bozukluğunun önlenmesine (Wanezaki ve ark., 2015) Tip 2 diyabette klinik indekslerin ve kardiyovasküler hastalık riskinin azaltılmasına yardımcı olduğu (Craig, 2010), antikanser, antiinflamatuvar aktiviteye ve bağışıklık aktivitesi gibi birçok sağlık faydasına sahip olduğu belirtilmektedir (Clifton, 2011; Zhang ve ark., 2016; Nakata ve ark., 2017). Ayrıca et alternatifi ürünlerin tokluk hissini artırıcı etkisi ile kilo kaybına etki edebilir veya kilonun korunmasını iyileştirebilir (Westertep-Plantenga ve ark., 2012; Kristensen ve ark., 2016). Bununla birlikte hem hayvansal protein kaynakları hem de bitki kökenli gıdalar, diyet pürinleri açısından zengindir ve en yüksek içeriği karaciğer, böbrek vb. organ etleri sergiler. Adenin, hipoksantin gibi pürinler oldukça ürikojenik olarak kabul edilmekte ve hiperürisemik kişiler tarafından tüketilmemesi gerekmektedir (Grygiel-Górniak ve Puszczewicz, 2014). Buğday, soya fasulyesi, bezelye veya mantar gibi geleneksel olmayan kaynaklardan elde edilen saflaştırılmış protein izolatları veya konsantreleri düşük pürin içeriğine sahiptir ve bu nedenle yeni ürünlerin geliştirilmesi için cazip bir seçenek olabilir (Havlik ve ark., 2010). Pürin içeriğinin yanı sıra, diğer bir endişe konusu da işleme sırasında meydana gelebilen veya et ürünlerinde olduğu gibi et alternatifi ürünlerinde yağın varlığıyla tetiklenebilen protein oksidasyonudur. Soya bazlı proteinlerin oksidasyona uğraması sonucunda proteinlerin sindirilebilirliği

düŖebilmekte ve bu durum vücuda alınması gereken aminoasitlerin miktarını azaltabilmektedir (Chen ve ark., 2013; Lu ve ark., 2017). Soya bazlı ürünlere eşlik eden çeŖitli zorluklara rağmen soya, galaktoz, arabinoz, galakturonik asit, ksiloz, fruktoz rafinoz ve stakioz gibi oligosakkaritler, triptofan ve ramnozdan oluŖan suda çözüner diyet lifi açısından zengin olması nedeniyle yararlı iŖlevler sunmaktadır (Nakata ve ark., 2017).

Ayrıca bitkisel proteinlerde bulunan baŖlıca anti-besin maddeleri ve etkileri;

Tanenler Tanik asit, kardiyovasküler hastalığın ilerlemesinden kaynaklanan komplikasyonları önleme potansiyeline sahiptir. Farelere yapılan bir çalıŖmada tanik asidin miyokardiyal fibrozisi önleyebildiği bulunmuŖtur (Ma ve ark., 2020) Ŗeklinde sıralanabilmektedir.

Fitik asit: Vücuttaki mikro besinlerin kullanımını azaltma yeteneği, onu diyetle anti-beslenme faktörü haline getirmektedir. Gıdanın mikro besin kalitesinin arttırılması büyük bir zorluktur çünkü birçok faktör etkili mikro besin dağıtımının önüne geçmektedir (Coulibaly ve ark., 2011; Ertop ve ark., 2018). NiŖasta içeriğinin iyileŖtirilmesi ise birçok gıda mahsulünün iyileŖtirilmesinin nedeni olmuŖtur. Fitik asidin demirin alımını ve biyoyararlanımını etkilediğine dair kanıtlar vardır (Zijp ve ark., 2000). Demirin emilimi duodenumun proksimal kısmında gerçekleŖir. Zayıf Ŗelatörler demiri daha çözüner hale getirdikleri için faydalı olsa da, güçlü Ŗelatörler inhibitör görevi görür. EDTA zayıf bir Ŗelatör örneğidir, fitik asit ise güçlü bir Ŗelatör örneğidir (Hatcher ve ark., 2009).

Saponinler: Saponinler mikrobiyal büyüme ve mantar büyümesini engelleyebildiğinden, bitkiler tarafından geliŖtirilen bir savunma mekanizması oldukları düşünölmektedir. Soya fasulyesi, fasulye, bezelye vb. gibi birçok önemli baklagilde dođrulanmıŖtır. Birçok farklı türdeki saponinlerin tümör baskılayıcı özellikleri iyi belgelenmiŖtir. Saponinlerin tümör baskılama tedavileriyle birlikte uygulanması da tavsiye edilir. Saponinler tümör hücrelerinde apoptoza ve hücre döngüsü durmasına neden olabilir (Bachran ve ark., 2008). Saponinler, optimal koŖullarda sağlık yararları sağlayabilen gıda bileŖenleridir (Rajputve ark., 2007).

Lektinler ve hemaglutininler: Lektinler karbonhidratları hedef alabilir ve emilimini azaltabilir, kiŖinin sağlığı ve beslenmesi açısından çok zararlı olabilmektedir. . ÇeŖitli kanser türlerini azaltabilen lektinlerin birkaç örneği vardır. PiŖirmek bunların azaltılmasına yardımcı olabilir, ancak vücuda girdiklerinde bunların parçalanması çok zordur ve vücut onları etkili bir Ŗekilde ortadan kaldıramaz. Çiğ barbunya fasulyesi gibi yüksek konsantrasyonlarda lektinlerin Ŗiddetli karın ağrısı, kusma ve ishale neden olduğu bildirilmektedir. Ancak bunları piŖirmek anti-besin sorununu çözer. Çiğ soya fasulyesi yüksek miktarda hemaglutinin ünitesi içerir ancak bunlar basınçlı piŖirme sırasında elimine edilir. Ancak bir miktar anti-besin maddesi içerseler bile sağlıklı olabilecek kadar besleyicidirler (Ryva ve ark., 2019).

Enzim inhibitörleri: Enzim inhibitörleri vücutta mevcutsa sindirim enziminin iŖlevselliđini azaltabilmektedir. Üç ana sindirim enzimi türü bu enzimlerden etkilenebilir. Bu inhibitörlerden etkilenebilen enzimler proteazlar, amilazlar ve lipazlardır (Cabrera-Orozcove ark., 2013). Bu enzim inhibitörleri hedef enzimlerine özeldir ve hedefledikleri enzimin türüne göre karakterize edilebilir. Bu

nedenle proteaz inhibitörleri, amilaz inhibitörleri ve lipaz inhibitörleri olarak adlandırılan üç gruba ayrılırlar (Huma ve Khalid, 2007).

6. Sonuç

Son dönemde tüketiciler sağlıklı, sürdürülebilir ve gereksinimlere uygun beslenmek ve yeni gıda ürünlerini denemek istedikleri için et alternatiflerine yönelmeye başlamışlardır. Beslenmede hayvansal kaynaklı etlerin yerini alacak güvenli, lezzetli bitki bazlı etler yaratmak, hayvancılık endüstrisinin çevresel etkilerini azaltmak ve nihayetinde ortadan kaldırmak için kritik öneme sahiptir.

Et alternatifleri üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde, bitki bazlı proteinlerin ve ekstrüzyon, kesme, karıştırma gibi teknolojilerin kullanımı ile et benzeri doku üretmenin mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Fakat etin renk, aroma ve ağızda bıraktığı his gibi diğer duyuşal özelliklerinin kabul edilebilirliğini sağlamak için protein olmayan ilave bileşenler kullanılabilir. Bunun yanı sıra, yeni kaynaklardan elde edilen proteinlerin, et alternatifi ürünler için uygunluğu araştırılabilir. Et alternatiflerine yönelik araştırma noktaları, "sağlık", "uygunluk", "sürdürülebilirlik", "tüketilebilirlik" ve "lezzet" gibi hususlara odaklanmalıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Aaslyng MD., Martens M., Poll L., Nielsen PM., Flyge H., Larsen LM. Chemical and sensory characterization of hydrolyzed vegetable protein, a savory flavoring. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1998; 46(2): 481–489
- Alexander P., Brown C., Arneith A., Dias C., Finnigan J., Moran D., Rounsevell MD. Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use?. *Global Food Security* 2017; 15, 22-32.
- Alexander P., Brown C., Arneith A., Finnigan J., Moran D., Rounsevell MD. Losses, inefficiencies and waste in the global food system. *Agricultural Systems* 2017b; 153, 190-200.
- Alim A., Song H., Liu Y., Zou T., Zhang Y., Zhang S. Flavour-active compounds in thermally treated yeast extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2018; 98(10): 3774–3783.
- Aluko RE., Mofolasayo OA., Watts BM. Emulsifying and foaming properties of commercial yellow pea (*Pisum sativum* L.) seed flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2009; 57(20): 9793-9800.

- Aydemir LY., Yemenicioğlu A. Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives. *LWT-Food Science and Technology* 2013; 50(2): 686-694.
- Bachran C., Bachran S., Sutherland M., Bachran D., Fuchs H. Saponins in tumor therapy. *Mini reviews in Medicinal Chemistry* 2008, 8(6): 575-584.
- Bader S., Bez J., Eisner P. Can protein functionalities be enhanced by high-pressure homogenization?—A study on functional properties of lupin proteins. *Procedia Food Science* 2011; 1, 1359-1366.
- Bednářová M., Borkovcová M., Komprda T. Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2014; 94(1): 71–76.
- Bednářová M., Borkovcová M., Mlcek J., Rop O., Zeman L. Edible insects – Species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 2013; 61, 587–593.
- Belluco S., Losasso C., Maggioletti M., Alonzi CC., Paoletti MG., Ricci A. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2013; 12(3): 296–313.
- Berghout JAM., Boom RM., van der Goot AJ. Understanding the differences in gelling properties between lupin protein isolate and soyprotein isolate. *Food Hydrocolloids* 2015a; 43, 465-472.
- Berghout JAM., Venema P., Boom RM., Van der Goot AJ. Comparing functional properties of concentrated protein isolates with freeze-dried protein isolates from lupin seeds. *Food Hydrocolloids* 2015b; 51, 346-354.
- Bohrer BM. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness* 2019; 8(4): 320–329
- Boukid F. Plant-based meat analogues: From niche to mainstream. *European Food Research and Technology* 2021; 247(2): 297-308.
- Boye JI., Aksay S., Roufik, S., Ribéreau S., Mondor M., Farnworth E., Rajamohamed SH., Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International* 2010; 43(2): 537-546.
- Cabrera-Orozco A., Jiménez-Martínez C., Dávila-Ortiz G. Soybean: Non-nutritional factors and their biological functionality. *Soybean-Bio-Active Compounds* 2013, 387-410.
- Caparros Megido R., Alabi T., Nieuw C., Blecker C., Danthine S., Bogaert J., et al. Optimization of a cheap and residential small-scale production of edible crickets with local by-products as an alternative protein-rich human food source in Ratanakiri Province (Cambodia). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2015; 96(2): 627–632.
- Caparros Megido R., Sablon L., Geuens M., Brostaux Y., Alabi T., Blecker C., et al. Edible insects acceptance by Belgian consumers: Promising attitude for entomophagy development. *Journal of Sensory Studies* 2014; 29(1): 14–20.

- Chapleau N., De Lamballerie-Anton M. Improvement of emulsifying properties of lupin proteins by high pressure induced aggregation. *Food Hydrocolloids* 2003; 17(3): 27-280.
- Chen N., Zhao M., Sun W., 2013. Effect of protein oxidation on the in vitro digestibility of soy protein isolate. *Food Chemistry* 2013; 141(3): 3224-3229.
- Clifton PM. Protein and coronary heart disease: the role of different protein sources. *Current Atherosclerosis Reports* 2011; 13(6): 493-498.
- Coulibaly A., Kouakou B., Chen J. Phytic acid in cereal grains: structure, healthy or harmful ways to reduce phytic acid in cereal grains and their effects on nutritional quality. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology*, 2011, 1(1): 1-22.
- Craig WJ. Nutrition concerns and health effects of vegetarian diets. *Nutrition in Clinical Practice* 2010; 25(6): 613-620.
- Damodaran S., Arora A. Off-flavor precursors in soy protein isolate and novel strategies for their removal. *Annual Review of Food Science and Technology* 2013; 4, 327-346
- Dekkers BL., Bom RM., van der Goot AJ. Et analoglarına yönelik süreçlerin yapılandırılması. *Trendler Gıda Bilimi. Teknoloji*. 2018, 81, 25-36.
- Don C., Lichtendonk W., Plijter JJ., Hamer RJ. Glutenin macropolymer: a gel formed by glutenin particles. *Journal of Cereal Science* 2003; 37(1): 1-7.
- Egbert R., Borders C. Achieving success with meat analogs. *Food Technology* 2006; 60(1): 28-34.
- Ertop MH., Bektaş M. Enhancement of bioavailable micronutrients and reduction of antinutrients in foods with some processes. *Food and Health*, 2018, 4(3): 159-165.
- FAO 2009. The State of Food and Agriculture. Rome, Italy. <http://www.fao.org/catalog/inter-e.htm>, Erişim tarihi 18.03.2020.
- Fraser RZ., Shitut M., Agrawal P., Mendes O., Klapholz S. Safety evaluation of soy leghemoglobin protein preparation derived from *Pichia pastoris*, intended for use as a flavor catalyst in plant-based meat. *International Journal of Toxicology*. 2018; 37(3): 241-262.
- Gahukar RT. Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science* 2011; 31(3): 129-144.
- Gaudette NJ., Pietrasik Z. Azaltılmış sodyumlu işlenmiş etlerde tuz ikame maddelerinin ve lezzet artırıcıların duyu sal etkisi matrikse bağlıdır. *J. Sens. Stud.* 2017; 32, 12247
- Gaydhane MK., Mahanta U., Sharma CS., Khandelwal M., et al.,. Cultured meat: State of the art and future. *Bio manufacturing Reviews* 2018; 3(1): 1-10.
- Gómez Luciano LB., Tsai IJ., Chuma I., Tosa Y., Chen YH., Li, JY., Li WH. Blast fungal genomes show frequent chromosomal changes, gene gains and losses, and effector gene turnover. *Molecular biology and evolution* 2019; 36(6): 1148-1161.
- Grabowska KJ., Zhu S., Dekkers BL., De Ruijter NCA., Gieteling J., Van Der Goot AJ. Shear-induced structuring as a tool to make anisotropic materials using soy protein concentrate. *Journal of Food Engineering* 2016; 188, 77-86.

- Grygiel-Górniak B., Puszczewicz MJ. Diet in hyperuricemia and gout - Myths and facts. *Reumatologia* 2014; 52(4): 269-275.
- Güneş C., Ge JOJ., Gan R., Fang Y. Et benzeri ürünlerin işlenmesi, kalitesi, güvenliği ve kabulü. *Mühendislik* 2021; 7, 674–678.
- Hadi J., Brightwell G. Alternatif proteinlerin güvenliği: kültürlenmiş et, bitki bazlı et, böcek proteini ve tek hücreli proteinin teknolojik, çevresel ve düzenleyici yönleri. *Yiyecekler* 2021; 10, 1226.
- Haque A., Timilsena YP., Adhikari B. Food proteins, structure, and function. *Reference Module in Food Science* 2016; 1-8.
- Hatcher HC, Singh RN., Torti FM., Torti SV Synthetic and natural iron chelators: therapeutic potential and clinical use. *Future Medicinal Chemistry*,2009; 1(9): 1643-1670.
- Havlik J., Plachy V., Fernandez J., Rada V. Dietary purines in vegetarian meat analogues. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2010; 90(14): 2352-2357.
- He R., He HY., Chao D., Ju X., Aluko R. Effects of high pressure and heat treatments on physicochemical and gelation properties of rapeseed protein isolate. *Food and Bioprocess Technology* 2014; 7, 1344-1353.
- Heinz G., Hautzinger P. Meat processing technology for small-to medium scale producers. *FAO Regional Office for Asia and the Pacific* 2007.
- Henning B. Standing in livestock’s “long shadow”: the ethics of eating meat on a small planet. *Ethics & the Environment* 2011; 16(2): 63–93.
- Hoek AC., Luning PA., Weijzen P., Engels W., Kok FJ., de Graaf C. Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person- and product-related factors in consumer acceptance. *Appetite* 2011; 56(3): 662-673.
- Huma H., Khalid MF. Plant protease inhibitors: a defense strategy in plants. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 2007, 2(3): 68-85.
- Jairath G., Mal G., Gopinath D., Singh B. A holistic approach to assess the viability of cultured meat: A review. *Trends in Food Science & Technology* 2021; 110, 700-710.
- Karaca AC., Low N., Nickerson M. Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International* 2011a; 44(9): 2742-2750.
- Karaca AC., Nickerson MT., Low NH. Lentil and chickpea protein-stabilized emulsions: optimization of emulsion formulation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2011b; 59(24): 13203-13211.
- Kazır M., Livney YD. Bitki bazlı deniz ürünleri analogları. *Moleküller* 2021; 26, 1559.
- Kim K., Choi B., Lee I., Lee H., Kwon S., Oh K., Kim AY. Bioproduction of mushroom mycelium of *Agaricus bisporus* by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2011; 91(9): 1561-1568.

- Kołodziejczak K., Onopiuk A., Szpicer A., Poltorak A. Meat Analogues in the perspective of recent scientific research: A review. *Foods* 2022; 11(1): 105.
- Krintiras GA., Göbel J., Van Der Goot AJ., Stefanidis GD. Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a Couette cell. *Journal of Food Engineering* 2015; 160, 34-41.
- Kristensen MD., Bendsen NT., Christensen SM., Astrup A., Raben A. Meals based on vegetable protein sources (beans and peas) are more satiating than meals based on animal protein sources (veal and pork) - a randomized cross-over meal test study. *Food and Nutrition Research* 2016, 60(1): 1-9.
- Kumar P., Chatli MK., Mehta N., Singh P., Malav OP., Verma AK. Meat analogues: health promising sustainable meat substitutes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2017; 57(5): 923-932.
- Ladjal-Ettoumi Y., Boudries H., Chibane M., Romero A. Pea, chickpea and lentil protein isolates: physicochemical characterization and emulsifying properties. *Food Biophysics* 2016; 11, 43-51.
- Larré C., Mulder W., Sánchez-Vioque R., Lazko J., Bérot S., Guéguen J., Popineau Y. Characterisation and foaming properties of hydrolysates derived from rapeseed isolate. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 2006; 49(1): 40-48.
- Lee HJ., Yong HI., Kim M., Choi YS., Jo C. Status of meat alternatives and their potential role in the future meat market: a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2020; 33(10): 1533–1543
- Lee HJ; Yong HI., Kim M. Choi YS., Jo C. Et alternatiflerinin durumu ve gelecekteki et pazarındaki potansiyel rolleri - Bir inceleme. *Asya Avustralya'sı. J. Anim. Bilim.* 2020; 33, 1533.
- Li B., Zhao L., Chen H., Sun D., Deng B., Li J., Liu Y., Wang F. Inactivation of lipase and lipoxygenase of wheat germ with temperature-controlled short wave infrared radiation and its effect on storage stability and quality of wheat germ oil. *Plos One* 2016; 11(12): 167330.
- Li X., Li J. The flavor of plant-based meat analogues. *Cereals Foods World* 2020; 65(4): 259–265.
- Lin M., Liu X., Xu Q., Song H., Li P., Yao J. Aroma-active components of yeast extract pastes with a basic and characteristic meaty flavour. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2014; 94(5): 882.
- Liu KS., Hsieh FH. Protein-protein interactions in high moisture-extruded meat analogs and heat-induced soy protein gels. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2007; 84, 741-748.
- Liu L., Shen C., van den Hengel A. The treasure beneath convolutional layers: Cross-convolutional-layer pooling for image classification. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2015; 4749-4757.
- Lokuruka MN. Effects of processing on soybean nutrients and potential impact on consumer health: an overview. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 2011; 11(4): 5000–5017

- Lu F., Kuhnle GK., Cheng Q. Heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial ready-to-eat meat products on UK market. *Food Control* 2017; 73, 306-315.
- Lundén S., Hopia A., Forsman L., Sandell M. Sensory and conceptual aspects of ingredients of sustainable sources—Finnish consumers' opinion. *Foods* 2020; 9(11): 1669.
- Ma D., Zheng B., Du H., Han X., Zhang X., Zhang J., Chu L. The mechanism underlying the protective effects of tannic acid against isoproterenol-induced myocardial fibrosis in mice. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, 11, 716.
- Maningat CC., Jeradechachai T., Buttshaw MR. Textured wheat and pea proteins for meat alternative applications. *Cereal Chemistry* 2022; 99(1): 37-66.
- Meinschmidt P., Schweiggert-Weisz U., Eisner P. Soyprotein hydrolysates fermentation: effect of debittering and degradation of major soy allergens. *LWT-Food Science and Technology*, 2016a; 71, 202–212.
- Meinschmidt P., Ueberham, E., Lehmann, J., Schweiggert-Weisz, U., Eisner P. Immunoreactivity, sensory and physicochemical properties of fermented soy protein isolate. *Food Chemistry* 2016b; 205, 229–238.
- Nakata T., Kyoui D., Takahashi H., Kimura B., Kuda T. Inhibitory effects of soybean oligosaccharides and water-soluble soybean fibre on formation of putrefactive compounds from soy protein by gut microbiota. *International Journal of Biological Macromolecules* 2017; 97, 173-180.
- Nawrocka A., Szymanska-Chargot M., Mis A., Wilczewska AZ., Markiewicz KH. Aggregation of gluten proteins in model dough after fibre polysaccharide addition. *Food Chemistry* 2017; 231, 51-60.
- OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. Organisation for Economic Co-operation Development (OECD) and the Food and Agricultural Organization (FAO) of the United Nations, OECD Publishing, Paris 2021.
- Ooms N., Jansens KJA., Pareyt B., Reyniers S., Brijs K., Delcour JA. The impact of disulfide bond dynamics in wheat gluten protein on the development of fermented pastry crumb. *Food Chemistry* 2018; 242, 68-74.
- Osen R., Schweiggert-Weisz U. High-moisture extrusion: Meat Analogues, Reference Module in Food Science. Elsevier, 2016.
- Osen R., Toelstede S., Wild F., Eisner P., Schweiggert-Weisz U. High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. *Journal of Food Engineering* 2014; 127, 67-74.
- Pietsch VL., Emin MA., Schuchmann HP. Process conditions influencing wheat gluten polymerization during high moisture extrusion of meat analog products. *Journal of Food Engineering* 2017; 198, 28-35
- Pimentel D., Pimentel M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *American Journal of Clinical Nutrition* 2003; 78(3): 660–663.

- Rajput ZI., Hu SH., Xiao CW., Arijo AG. Adjuvant effects of saponins on animal immune responses. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2007; 8, 153-161.
- Ramachandraiah K. Sürdürülebilir 3D baskılı et analoglarının potansiyel gelişimi: Bir inceleme. *Sürdürülebilirlik* 2021; 13, 938.
- Riaz MN. Texturized soy protein as an ingredient. In: *Proteins in Food Processing*, 2004; 517-558.
- Roland WS., Pouvreau L., Curran J., van de Velde F., de Kok PM. Flavor aspects of pulse ingredients. *Cereal Chemistry* 2017; 94(1): 58-65.
- Rozin P., Haidt J., McCauley C., Dunlop L., Ashmore M. Individual differences in disgust sensitivity: Comparisons and evaluations of paper-and-pencil versus behavioral measures. *Journal of Research in Personality* 1999; 33, 330–351.
- Rumpold BA., Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research* 2013a; 57(5): 802–823.
- Rumpold BA., Schlüter OK. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2013b; 17, 1–11.
- Ryva B., Zhang K., Asthana A., Wong D., Vicioso Y., Parameswaran R. Wheat germ agglutinin as a potential therapeutic agent for leukemia. *Frontiers in Oncology*, 2019, 9, 100.
- Saha BC., Hayashi K. Debittering of protein hydrolyzates. *Biotechnology Advances*, 2001; 19(5): 355-370.
- Schösler H., Boer JD., Boersema JJ. Can we cut out the meat of the dish? Constructing consumer-oriented pathways towards meat substitution. *Appetite* 2012; 58(1): 39–47.
- Schwartz JM., Solé V., Guéguen J., Ropers MH., Riaublanc A., Anton M., Partial replacement of β -casein by napin, a rapeseed protein, as ingredient for processed foods: thermoreversible aggregation. *LWT-Food Science and Technology* 2015; 63(1): 562-568.
- Siemianowska E., Kosewska A., Aljewicz M., Skibniewska KA., Polak-Juszczak L., Jarocki A. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences* 2013; 04, 287–291.
- Singh P., Kumar R., Sabapathy SN., Bawa AS. Functional and edible uses of soy protein products. In: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2008; 7(1): 14-28.
- Singhal A., Karaca AC., Tyler R., Nickerson M. Ashish singhal, asli can karaca, robert tyler and mickael nickerson. In: *Pulse Proteins: From Processing to Structure-function Relationships*. Grain Legum 2016; 2(2): 55-78.
- Sun XD. Enzymatic hydrolysis of soy proteins and thehydrolysates utilisation. *International Journal of Food Science &Technology* 2011; 46(12): 2447–2459.
- Tan HSG., Fischer ARH., van Trijp HCM., Stieger M. Tasty but nasty? Exploring the role of sensory-liking and food appropriateness in the willingness to eat unusual novel foods like insects. *Food Quality and Preference* 2016; 48, 293–302.

- Tan SH., Mailer RJ., Blanchard CL., Agboola SO., Day L. Gelling properties of protein fractions and protein isolate extracted from Australian canola meal. *Food Research International* 2014; 62, 819-828.
- Tangyu M., Muller J., Bolten CJ., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2019; 103(23-24): 9263–9275.
- Toews R., Wang N. Physicochemical and functional properties of protein concentrates from pulses. *Food Research International* 2013; 52(2): 445-451.
- Uruakpa FO., Arntfield SD. Rheological characteristics of commercial canola protein isolate-k-carrageenan systems. *Food Hydrocolloids* 2004; 18(3): 419-427.
- Van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology* 2013; 58, 563–583.
- van Huis A., van Itterbeeck J., Klunder HC., Mertens E., Halloran A., Muir G. Edible insects: future prospects for food and feed security. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* 2013; 171, 1–154.
- Verbeke W. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference* 2015; 39, 147–155.
- Wanezaki S., Tachibana N., Nagata M., Saito S., Nagao K., Yanagita T., Kohno M. Soy β -conglycinin improves obesity-induced metabolic abnormalities in a rat model of nonalcoholic fatty liver disease. *Obesity Research & Clinical Practice* 2015; 9(2): 168-174.
- Wang Y., Guldiken B., Tulbek M., House JD., Nickerson M. Impact of alcohol washing on the flavour profiles, functionality and protein quality of air classified pea protein enriched flour. *Food Research International* 2020a; 132, 109085
- Westerterp-Plantenga MS., Lemmens SG., Westerterp KR. Dietary protein - its role in satiety, energetics, weight loss and health. *British Journal of Nutrition* 2012, 108(2): 105-112.
- Wild F. *Manufacture of meat analogues through high moisture extrusion. Reference Module in Food Science.* Elsevier 2016.
- Wu Y., Zhang Y., Yan J., Ouyang J. Preparation of meat flavor by enzymatic hydrolysis of vegetable protein (in Chinese). *Science Technology and Food Industrial* 2003; 24(53): 53–55.
- Yadesa A., Biadge K. Effect of some traditional processing methods on nutritional composition and alkaloid content of lupin bean. *International Journal of Bioorganic Chemistry* 2017; 2(4): 174–179.
- Yang C., Wang Y., Vasanthan T., Chen L. Impacts of pH and heating temperature on formation mechanisms and properties of thermally induced canola protein gels. *Food Hydrocolloids* 2014; 40, 225-236.
- Yashin A., Yashin Y., Xia X., Nemzer B. Antioxidant activity of spices and their impact on human health: A review. *Antioxidants (Basel)* 2017; 6(3): 70.

- Yen AL. Edible insects: Traditional knowledge or western phobia? *Entomological Research* 2009; 39(5): 289-298.
- Yi L., Lakemond CMM., Sagis LMC., Eisner-Schadler V., Huis AV., Boekel MAJSV. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry* 2013; 141(4): 3341–3348.
- Yitbarek M. Livestock and Livestock products by 2050. *Inter-national Journal of Animal Research* 2019; 4, 30
- Yoruk R., Marshall MR. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review 1. *Journal of Food Biochemistry* 2003; 27(5): 361-422.
- Yoshie-Stark Y., Wada Y., Wäsche A. Chemical composition, functional properties, and bioactivities of rapeseed protein isolates. *Food Chemistry* 2008; 107(1): 32-39.
- Zhang L. Hu Y. Badar, İH., Xia X., Kong B., Chen Q. Yapay etin beklentileri: Tüketici kabulüne ilişkin fırsatlar ve zorluklar. *Trendler Gıda Bilimi. Teknoloji.* 2021; 116, 434–444.
- Zhang T., Dou W., Zhang X., Zhao Y., Zhang Y., Jiang L., Sui X. Soya proteini bazlı et alternatiflerinin gelişim tarihi ve son güncellemeleri. *Trendler Gıda Bilimi Teknoloji* 2021; 109, 702–710.
- Zhang XM., Zhang YB., Chi MH. Soy protein supplementation reduces clinical indices in type 2 diabetes and metabolic syndrome. *Yonsei Medical Journal* 2016; 57(3): 681-689.
- Zijp IM., Korver O., Tijburg LB. Effect of tea and other dietary factors on iron absorption. *Critical Reviews in Food Science And Nutrition*, 2000, 40(5): 371-398.

Türkiye’de 2010-2022 Yılları Arasında Sanal Zorbalık Alanında Yayınlanan Lisansüstü Tez Çalışmalarının Bibliyografik Analizi

Çisem YAŞAR^{1*}, Gülçin YAŞAR²

¹İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul Gelişim Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 34310, İstanbul

²Kırklareli Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Çocuk Gelişimi Programı Öğrencisi, 39000, Kırklareli

¹<https://orcid.org/0000-0002-0765-861X>

²<https://orcid.org/0009-0004-8794-1993>

*Sorumlu yazar: cysar@gelisim.edu.tr

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 20.09.2023

Kabul tarihi: 13.04.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

Anahtar Kelimeler:

Sanal zorbalık

Sanal zorba

Bibliyografik analiz

Lisansüstü tez

ÖZ

Son zamanlarda adından sıklıkla söz edilmeye başlanan sanal zorbalık kavramı, farklı disiplinlerin araştırmalarında konu odağı haline gelmesiyle dikkat çeken bir kavram olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda araştırmada sanal zorbalık ile ilgili 2010-2022 yılları arasında yapılan lisansüstü tez çalışmalarının bibliyografik açıdan incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi veri tabanında yer alan yüksek lisans, doktora ve uzmanlık tezleri taranmıştır. Tezlerin bibliyografik analizi yapılırken “tezin türü, yayın yılı, yazım dili, yayımlandığı üniversite, enstitü, anabilim dalı, konu dağılımı, araştırma yöntemi, araştırma deseni, örneklem büyüklüğü ve katılımcı grupları” açısından inceleme sağlanmıştır. Araştırma sonucunda, yüksek lisans tez çalışmalarının daha fazla olduğu, 2018-2019 yıllarında en fazla tez çalışma sayısına ulaşıldığı, tezlerin en çok eğitim bilimleri enstitüsünde yayımlandığı, en çok nicel araştırma yöntemi kullanıldığı ve katılımcı gruplarında ise lise ve ortaokul öğrencileriyle daha sık çalışıldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışma, araştırmacılara sanal zorbalık konusunda bir rehber olma niteliği taşımaktadır. Dolayısıyla bu konu hakkında araştırma yapan araştırmacıların bu alandaki eksikliklerin giderilmesine veya iyileştirilmesi gereken konular hakkında bilgi sahibi olmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bibliographic Analysis of Postgraduate Thesis Studies Published in the Field of Virtualbullying Between 2010-2022 in Türkiye

Review

Article History:

Received: 20.09.2023

Accepted: 13.04.2024

Published online: 16.09.2024

Keywords:

Virtual bullying

Virtual bully

Bibliographic analysis

Graduate thesis

ABSTRACT

The concept of cyberbullying, which has been frequently mentioned recently, stands out as a concept that attracts attention as it has become the focus of research in different disciplines. In this context, in this study, it was aimed to examine the postgraduate thesis studies on cyberbullying between 2010 and 2022 from a bibliographic point of view. In this context, master's, doctoral and specialization theses in the National Thesis Center database of the Council of Higher Education (YÖK) were scanned. During the bibliographic analysis of the theses, "type of thesis, year of publication, language of writing, university, institute, department, subject distribution, research method, research design, sample size and participant groups" were examined. As a result of the research, it was determined that there were more master's thesis studies, the highest number of thesis studies was reached in 2018-2019, the theses were mostly published in the institute of educational sciences, the most quantitative research method was used, and high school and middle school students were more frequently studied in participant groups. As a result, this

study is a guide for researchers on cyberbullying. Therefore, it is thought that it will contribute to the researchers who conduct research on this subject to eliminate the deficiencies in this field or to have information about the issues that need to be improved.

To Cite: Yaşar Ç., Yaşar G. Türkiye’de 2010-2022 Yılları Arasında Sanal Zorbalık Alanında Yayımlanan Lisansüstü Tez Çalışmalarının Bibliyografik Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(4): 1933-1947.

1. Giriş

Günümüzde bilgi ve iletişim teknolojileri hızla gelişim göstermektedir. Oluşan bu gelişim beraberinde akıllı telefonlar, bilgisayarlar ve tabletler gibi teknolojik araçların kullanımını yüksek ölçüde arttırmakta ve aynı zamanda bu araçlara erişimin kolay olması sebebiyle de insan hayatında önemli bir yer tutmaktadır (Zengin ve Kesgin, 2023). Teknolojik araçların kullanımının artmasının sebepleri arasında insan hayatını kolaylaştıran olumlu ve olumsuz etkilerinden söz etmek mümkündür. Olumlu etkileri; aranılan bilgiye hızlı ulaşabilme, bankacılık işlemleri, resmi başvurular, her türlü alışveriş ve görüşme gibi zaman alacak birçok işlemleri anında gerçekleşmesini sağlamaktadır (Ertop ve Demircioğlu, 2023). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2023 verilerine göre, evden internete erişim sağlayan hanelerin oranı 2022 senesinde %94,1 iken 2023 senesinde artış göstererek %95,5 olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda internet kullanım oranı 16-74 yaş aralığında 2022 senesinde %85,0 iken 2023 senesinde bu oran %87,1’e çıkmıştır. Cinsiyet faktörüne göre bakıldığında ise erkeklerde %90,9 kadınlarda ise %83,3 olarak görülmüştür. Verilen bu oranlar her geçen gün internet kullanıcısı sayısının ve kullanımının arttığını söylemeyi mümkün hale getirmektedir (URL-1, 2023). Olumlu etkilerinin yanında olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Olumsuz etkileri; çevrimiçi ortamlarda bulunan uygunsuz fotoğraf, video ve metin içerikleri, sanal dolandırıcılık, tehdit içeren uygunsuz ifadeler ile birlikte kişilerin hayatlarına dâhil olduğu görülmektedir. Bu tarz kötü niyetli yaklaşımlar sanal zorbalık olarak adlandırılan yeni bir kavramın ortaya çıkmasına neden olmuştur (Peker ve ark., 2012; Foody, Samara ve Carlbring, 2015). Özellikle gençlerin çevrimiçi ortamda sohbet etme, oyun oynama ya da film izleyerek sosyalleşmeleri sanal zorbalığa açık hale gelmelerini sağlamaktadır (Agatston ve ark., 2007). Literatür incelendiğinde sanal zorbalık kavramı birçok araştırmacı tarafından elektronik zorbalık, dijital zorbalık, çevrimiçi zorbalık ya da zarar verme gibi kavramlarla da adlandırıldığı da görülmektedir (Kowalski ve Limber, 2007; Aktepe, 2013).

Geçmiş dönemlere bakıldığında şiddet hep var olmuştur ve günümüze kadar da kendini dönüştüren biçimlerde var olmaya devam etmektedir. Bu durum, zorbalık ve şiddeti birbirleriyle bağlantılı iki kavram şeklinde incelemeye olanak sağlamaktadır (Ağaya, 2022). Birçok araştırmacı zorbalığı, güçlü bireyin güçsüz bireye karşı uyguladığı incitme, alay etme, küçük düşürme gibi tekrarlayıcı saldırgan hareketler olarak tanımlamaktadır. Aynı zamanda zorbalığa fiziksel ya da fiziksel olmayan, doğrudan veya dolaylı şekilde maruz kalılabilmektedir (Rigby, 2000). Zorbalık, fiziki olarak yapılan zorbalık ve sanal ortamda yapılan zorbalık olarak iki boyutta ele alınmaktadır. Sanal zorbalık, bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak kişi ya da kişilere kasıtlı olarak zarar verme, tehdit içerikli unsurlar gönderme, dalga geçme davranışları sergileme, istenmeyen durumların tekrarlanması, çevrimiçi ortamlarda küçük

düşürücü aşağılayıcı syentilerin yayılması olarak tanımlanmaktadır (Arıcak ve ark., 2012; Hinduja ve Patchin, 2014; İğdeli, 2018). Bu durumlar hızla gelişme göstermekte ve hayatımızın hemen hemen her alanına yayılmaktadır. Bununla birlikte zamanının çoğunu çevrimiçi ortamlarda geçiren gençlerin sanal zorbalığa açık hedef haline gelme olasılığının arttığı görölmektedir (Korkmaz, 2016; Akgöl, 2020). Literatür incelendiğinde sanal zorbalığın yaygın bir sorun haline geldiği görölmektedir. Arslan ve Yeşilyurt (2019), lise öğrenimine devam etmekte olan 326 kız öğrenci ve 393 erkek öğrenci ile yaptıkları çalışmada, ergenlerin sanal zorbalık düzeylerinin sınıf, cinsiyet, ebeveyn tutumu ve aile gelir düzeyi değişkenlerine göre farklılaşma durumlarını incelenmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak kız öğrencilerin sanal zorbalık düzeylerinde anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Aydın (2016), ortaokul öğrencilerine sanal zorbalık konusu hakkında verilen bilgilendirici eğitimin sanal zorbalık farkındalık düzeyine etkisini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada deney ve kontrol grubu oluşturulmuş, her iki grubun da farkındalık düzeyleri deneyden önce ve sonra ölçölmüştür. Sonuç olarak, sanal zorbalık konusunda bilgilendirici eğitim alan öğrencilerin farkındalık düzeylerinde anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Kavuk ve Keser (2015), ortaokul öğrencilerinin sanal zorbalık düzeylerinin cinsiyet ve internet kullanım süresi değişkeni arasında anlamlılık düzeylerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, erkek öğrencilerin sanal zorbalık düzeylerinin kız öğrencilerine oranla daha yüksek olduğu ve internet kullanım süresi arttıka sanal zorba olma durumunun arttığı tespit etmişlerdir. Literatürde yer alan çalışmalar ve elde edilen bulgular incelendiğinde sanal zorbalığın gün geçtikçe öneminin arttığı görölmektedir. Bu bağlamda Türkiye’de yapılan tezleri derlemek, bir durum tespiti yapmak ve mevcut durum ile gelecek durum arasındaki ilişkiyi değerlendirmek araştırmanın önemini vurgulamaktadır. Bu araştırmanın amacı, 2010-2022 yılları arasında sanal zorbalık konusunda yapılan lisansüstü tez çalışmalarının bibliyografik açıdan analizinin yapılmasıdır.

2. Yöntem

Araştırmada nitel araştırma yöntemi kullanılmış ve verilerin analizinde ise bibliyometri tekniğinden yararlanılmıştır. Nitel araştırma; görüşme, gözlem ve doküman analizi gibi nitel veri toplama tekniklerinin kullanıldığı, algıların, olayların gerçekçi ve bütüncöl bir biçimde ortaya konulmasına yönelik sürecin izlendiği araştırma olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım ve şimşek, 2011). Bibliyometri tekniği; herhangi bir alanda yayınlanmış olan çalışmaların içerik ve istatistiksel olarak değerlendirilmesini ve incelenen konuya genel bakış açısı kazandıran bir yöntemdir (Kozak, 2001; iek ve Kozak, 2012; Bonilla ve ark., 2015).

Araştırmanın problem cümlesi, “Türkiye’de 2010-2022 yılları arasında sanal zorbalık alanında yayınlanan lisansüstü tez çalışmalarının bibliyografik analizi nasıldır?” olarak belirlenmiştir. Araştırmanın bir bütün halinde incelenmesi, benzerlik ve farklılıklarının ortaya konulması hedeflenmektedir. Belirtilen hedefe yönelik aşağıda verilen alt problemlere cevap aranmaktadır:

1. Tezlerin türlerine göre dağılımını nasıldır?
2. Tezlerin yayın yılına göre dağılımını nasıldır?

3. Tezlerin yazım diline göre dağılımı nasıldır?
4. Tezlerin hazırlandıkları üniversitelere göre dağılımı nasıldır?
5. Tezlerin hazırlandıkları enstitüye göre dağılımı nasıldır?
6. Tezlerin hazırlandıkları anabilim dallarına göre dağılımı nasıldır?
7. Tezlerin hazırlandıkları konularına göre dağılımı nasıldır?
8. Tezlerde kullanılan araştırma yöntemlerine (nitel/nicel/karma) göre dağılımı nasıldır?
9. Tezlerde kullanılan araştırma desenlerine göre dağılımı nasıldır?
10. Tezlerin örneklem büyüklüğüne göre dağılımı nasıldır?
11. Tezlerde kullanılan katılımcı gruplarına göre dağılımı nasıldır?

Bu araştırma kapsamında alt problemlerin yanıtlarına yönelik veri toplamak için araştırmacılar tarafından araştırmaya özgü “Sanal Zorbalık Lisansüstü Tez İnceleme Formu” hazırlanmıştır. Hazırlanan formda; tezin türü, yayın yılı, yazım dili, yayımlandığı üniversite, enstitü, anabilim dalı, konu dağılımı, kullanılan araştırma yöntemi, kullanılan araştırma deseni, örneklem büyüklüğü ve katılımcı grupları başlıkları yer almıştır. İncelenen tez çalışmalarına ait bilgiler alt başlıkların altına yazılarak veri toplama formu tamamlanmıştır.

Sanal zorbalık alanında yapılan lisansüstü tez çalışmalarına ulaşabilmek için YÖK Ulusal Tez Merkezinde yer alan Türkçe ve yabancı dildeki yüksek lisans, doktora ve uzmanlık tezleri taranmıştır. Taramada “sanal zorbalık, sanal zorba, virtual bullying” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Tarama sonucunda 37 teze ulaşılmıştır. Elde edilen veriler frekans ve yüzde (%) değerleri ile sayısallaştırılarak tablolar halinde sunulmuştur.

Sanal zorbalık ile ilgili yayımlanan lisansüstü tezlerin 2010 yılında başladığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla araştırma kapsamındaki sınırlılıklar, 2010 - 2022 yılları arasında YÖK Ulusal Tez Merkezinde yer alan Türkçe ve yabancı dildeki yüksek lisans, doktora ve uzmanlık tezleri ile sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda lisansüstü tez çalışmalarının türü, yayın yılı, yazım dili, yayımlandığı üniversite, enstitü, anabilim dalı, konu dağılımı, araştırma yöntemi, araştırma deseni, örneklem büyüklüğü ve katılımcı gruplarının oluşturulması ile araştırmanın çerçevesini oluşturulmuştur.

3. Bulgular

Lisansüstü tez çalışmaların türlerine göre incelenmesi sonucu elde edilen veriler Tablo 1’de belirtilmiştir.

	Frekans	%
Yüksek Lisans	32	86,49
Doktora	5	13,51
Toplam	37	100

Tablo 1 incelendiğinde, tezlerin 5'inin (%13,51) doktora tezi, 32'sinin (%86,49) yüksek lisans tezinden oluştuğu görülmüştür. Belirtilen yüzde değerleri sonucunda lisansüstü tezlerin büyük bir kısmını yüksek lisans tezlerinin oluşturulduğu tespit edilmiştir. Tezlerin yazıldıkları yayın yıllarına göre elde edilen veriler Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Tez çalışmalarının yıllara göre dağılımı

	Frekans	%
2019	9	24,32
2018	6	16,22
2012	4	10,81
2016	4	10,81
2021	3	8,11
2010	2	5,41
2011	2	5,41
2020	2	5,41
2022	2	5,41
2014	1	2,70
2015	1	2,70
2017	1	2,70

Tablo 2 incelendiğinde, en çok çalışmanın 2019 yılında 9 (%24,32), en az çalışmaların ise 2014, 2015 ve 2017 yıllarında 1 (%2,70) adet tezin yayımlandığı görülmüştür. Sanal zorbalık konusundaki tez çalışmalarının 2018 ve 2019 yıllarında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Tezlerin yazım dillerine göre elde edilen veriler Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Tez çalışmalarının yazım dillerine göre dağılımı

	Frekans	%
Türkçe	34	91,89
İngilizce	3	8,11

Tablo 3 incelendiğinde, tezlerin 34'ünün (%91,89) Türkçe, 3'ünün (%8,11) İngilizce yazım diline sahip olduğu görülmüştür. Tezlerin hazırlandıkları üniversitelere göre elde edilen veriler Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 4. Tez çalışmalarının hazırlandıkları üniversitelere göre dağılımı

	Frekans	%
Sakarya Üniversitesi	8	21,62
Hacettepe Üniversitesi	7	18,92
Dokuz Eylül Üniversitesi	3	8,11
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi	3	8,11
Haliç Üniversitesi	2	5,41
İstanbul Arel Üniversitesi	2	5,41
Aksaray Üniversitesi	1	2,70
Anadolu Üniversitesi	1	2,70
Ankara Üniversitesi	1	2,70
Balıkesir Üniversitesi	1	2,70
Çukurova Üniversitesi	1	2,70
Erzincan Üniversitesi	1	2,70
Fırat Üniversitesi	1	2,70
Gazi Üniversitesi	1	2,70
Gaziosmanpaşa Üniversitesi	1	2,70
İnönü Üniversitesi	1	2,70
Okan Üniversitesi	1	2,70
Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi	1	2,70

Tablo 4 incelendiğinde, tezlerin yayımlandığı üniversiteye göre dağılımlarında; Sakarya Üniversitesi'nde 8 (%21,62), Hacettepe Üniversitesi'nde 7 (%18,92), Dokuz Eylül Üniversitesi ve İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi'nin her birinde 3 (%8,11), Haliç Üniversitesi ve İstanbul Arel Üniversitesi'nin her birinde 2 (%5,41) ve geriye kalan diğer tüm üniversitelerin her birinde 1 (%2,70) adet tezin yayımlandığı görülmüştür. Tablo 4'e göre sanal zorbalık konulu lisansüstü tez çalışmalarının sıklıkla devlet üniversitelerinde yayımlandığı tespit edilmiştir. Tezlerin hazırlandıkları enstitüye göre elde edilen veriler Tablo 5'de belirtilmiştir.

Tablo 5. Tez çalışmalarının hazırlandıkları enstitüye göre dağılımı

	Frekans	%
Eğitim Bilimleri	15	40,54
Sosyal Bilimler	13	35,14
Sağlık Bilimleri	4	10,81
Fen Bilimleri	3	8,11
Lisansüstü Eğitim	2	5,41

Tablo 5 incelendiğinde, tezlerin hazırlandığı enstitüye göre dağılımlarında; Eğitim Bilimleri Enstitüsü 15 (%40,54), Sosyal Bilimler Enstitüsü 13 (%35,14), Sağlık Bilimleri Enstitüsü 4 (%10,81), Fen Bilimleri Enstitüsü 3 (%8,11) ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 2 (%5,41) adet tezin yer aldığı görülmüştür. Tablo 5'e göre sanal zorbalık konusu daha çok eğitim bilimleri alanında çalışılan bir konu olmuştur. Fakat diğer enstitülerde de sanal zorbalık alanında lisansüstü tez çalışmalarının bulunması konuya dair multidisipliner araştırmalarının varlığının bir göstergesi olabilir. Tezlerin hazırlandıkları anabilim dalına göre elde edilen veriler Tablo 6'da belirtilmiştir.

Tablo 6. Tez çalışmalarının hazırlandıkları anabilim dallarına göre dağılımı

	Frekans	%
Eğitim Bilimleri	14	37,84
Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi	6	16,22
Psikoloji	6	16,22
Beden Eğitimi ve Spor	1	2,70
Bilgisayar Bilimleri	1	2,70
Bilgisayar Mühendisliği	1	2,70
Çocuk Gelişimi ve Eğitimi	1	2,70
Eğitimde Psikolojik Hizmetler	1	2,70
Elektrik-Elektronik Mühendisliği	1	2,70
Hemşirelik	1	2,70
Rehberlik ve Psikolojik Danışmanlık	1	2,70
Sınıf Eğitimi	1	2,70
Tıp Eğitimi ve Bilişim	1	2,70
Yönetim Bilişim Sistemleri	1	2,70

Tablo 6 incelendiğinde, tezlerin hazırlandığı anabilim dallarına göre dağılımlarında; Eğitim Bilimleri 14 (%37,84), Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi ve Psikoloji anabilim dallarının her birinde 6 (%16,22) ve geriye kalan diğer tüm anabilim dallarının her birinde 1 (%2,70) adet tezin yer aldığı görülmüştür. Tablo 6'ya göre sanal zorbalık konusundaki tez çalışmalarının büyük bir kısmının Eğitim Bilimleri anabilim dalında olduğu tespit edilmiştir. Bu alandaki çalışmaların fazla olmasının sebebi, öğrencilerin kitle iletişim araçlarını sık kullanımından dolayı bu ortamlarda zorbalığa maruz kalma olasılığının artmakta olduğu düşünülmektedir. Bu durum, eğitim ortamlarının sağlıklı ve güvenli oluşumu için gerekli bilgi ve stratejinin önemini vurgulamaktadır. Tezlerin konularına göre elde edilen veriler Tablo 7'de belirtilmiştir.

Tablo 7. Tez çalışmalarının konularına göre dağılımı

	Frekans	%
Eğitim ve Öğretim - Psikoloji	11	29,73
Eğitim ve Öğretim	9	24,32
Psikoloji	7	18,92
Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri - Bilgisayar ve Kontrol	3	8,11
Bilim ve Teknoloji - Eğitim ve Öğretim	1	2,70
Bilim ve Teknoloji – İşletme	1	2,70
Eğitim ve Öğretim – Sosyoloji	1	2,70
Eğitim ve Öğretim - İletişim Bilimleri	1	2,70
Hemşirelik	1	2,70
Sağlık Eğitimi	1	2,70%
Spor	1	2,70

Tablo 7 incelendiğinde, tezlerin hazırlandığı konulara göre dağılımlarında; sanal zorbalık konusunda 11 farklı konu alanında çalışıldığı tespit edilmiştir. Bu durum bazı tezlerin birden fazla temel konu alanını kapsadığını belirtmektedir. Elde edilen bulgulara göre, sanal zorbalık konusunda yapılmış tez çalışmalarının büyük bir kısmının Eğitim ve Öğretim - Psikoloji alanında 11 (%29,73), Eğitim ve Öğretim alanında 9 (%24,32) ve Psikoloji alanında 7 (%18,92), Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri - Bilgisayar ve Kontrol alanında 3 (%8,11), Hemşirelik, Sağlık Eğitimi ve Spor alanlarının her birinde 1 (%2,70) olarak görülmüştür. Aynı zamanda birden fazla konu alanına ait çalışmalar Tablo 7'de ayrı ayrı belirtilmiştir. Eğitim ve Öğretim - Psikoloji alanında çalışmalarının fazla olmasının sebebi ise sanal zorbalığın çoğunlukla okul çağındaki çocuklar arasında yaygın olduğu ve sanal zorbalığa uğramış kurban üzerinde psikolojik sorunlar oluşabileceği düşünülmektedir. Bu gibi etmenlerden dolayı sanal

zorbalık konulu çalışmaların Eğitim ve öğretim ile Psikoloji alanında yoğunlaştığı söylenebilir. Tezlerde kullanılan araştırma yöntemlerine göre elde edilen veriler Tablo 8’da belirtilmiştir.

Tablo 8. Tez çalışmalarında kullanılan araştırma yöntemlerine göre dağılımı

	Frekans	%
Nicel	29	78,38
Belirsiz	7	18,92
Tasarım ve Geliştirme ve Nicel	1	2,70

Tablo 8 incelendiğinde, tezlerde kullanılan araştırma yöntemlerine göre dağılımlarında, 29 çalışmanın (%78,38) nicel, 7 çalışmada (%18,92) araştırma yöntemi belirtilmediği, 1 çalışmanın (%2,70) ise iki aşamadan oluştuğu ilk aşamada tasarım ve geliştirme yapıldığı ikinci aşamada ise nicel araştırma yöntemi kullanıldığı görülmüştür. Tezlerde kullanılan araştırma desenlerine göre elde edilen veriler Tablo 9’da belirtilmiştir.

Tablo 9. Tez çalışmalarında kullanılan araştırma desenlerine göre dağılımı

	Frekans	%
İlişkisel tarama	14	37,84
Belirsiz	7	18,92
Tarama	3	8,11
Deneysel	2	5,41
Kesitsel	2	5,41
Yarı deneysel	2	5,41
Betimsel tarama	2	5,41
Açıklayıcı	1	2,70
İlişkisel tarama ve nedensel karşılaştırma	1	2,70
Korelasyonel	1	2,70
Tanımlayıcı	1	2,70
Tarama ve İlişkisel	1	2,70

Tablo 9 incelendiğinde, tezlerde kullanılan araştırma desenlerine göre dağılımlarında; 14 çalışmanın (%37,84) her birinde ilişkisel tarama deseni, 7 çalışmanın (%18,92) her birinde araştırma deseninin belirsiz olduğu, 3 çalışmanın (%8,11) her birinde tarama deseni, 2 çalışmanın (%5,41) her birinde deneysel desen, 2 çalışmanın (%5,41) her birinde kesitsel desen, 2 çalışmanın (%5,41) her birinde yarı deneysel desen, 2 çalışmanın (5,41%) her birinde betimsel tarama ve geriye kalan diğer tüm çalışmaların

her birinde kullanılan araştırma deseni Tablo 9’da gösterilmiştir. Tablo 9’a göre sanal zorbalık konusundaki tez çalışmalarında en çok nicel araştırma yöntemlerinden ilişkisel tarama deseni kullanıldığı tespit edilmiştir. Tezlerin kullanılan örneklem büyüklüğüne göre elde edilen veriler Tablo 10’da belirtilmiştir.

Tablo 10. Tezlerde kullanılan örneklem büyüklüğüne göre dağılımı

	Frekans	%
401-500	5	13,51
900 ve üzeri	5	13,51
501-600	5	13,51
301-400	4	10,81
601-700	4	10,81
801-900	4	10,81
101-200	3	8,11
701-800	3	8,11
Belirsiz	3	8,11
201-300	1	2,70

Tablo 10 incelendiğinde, tezlerde kullanılan örneklem büyüklüğüne göre dağılımlarında; 900 ve üzeri kişi, 401-500 kişi ve 501-600 kişi örneklem büyüklüğüne sahip çalışmaların yoğunlukta olduğu ve 201-300 kişi örneklem büyüklüğüne sahip çalışmanın az olduğu tespit edilmiştir. Araştırmalarda kullanılan örneklem büyüklüğü, yapılan çalışmanın geçerliliğini ve güvenilirliğini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Dolayısıyla çalışmada katılımcı sayısının fazla olması çalışmanın kapsamını arttırdığını ve elde edilen bulguların daha güvenilir hale getirdiği yönünde olumlu yorum yapılabilir. Tezlerin kullanılan katılımcı gruplarına göre elde edilen veriler Tablo 11’de belirtilmiştir.

Tablo 11 incelendiğinde, tezlerde kullanılan katılımcı gruplarına göre dağılımlarında; 20 farklı katılımcı grupları üzerinde çalışıldığını göstermektedir. Bu durum bazı tezlerin birden fazla katılımcı gruplarıyla yapıldığını da göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, sanal zorbalık konusunda yapılmış tezlerde katılımcı gruplarının 10 çalışmada (%27,03) lise öğrencisi, 7 çalışmada (%18,92) ortaokul öğrencisi, 4 çalışmada (%10,81) üniversite öğrencisi, 4 çalışmada (%10,81) ergenler, 3 çalışmada (%8,11) katılımcı grubu belirsiz ve 2 çalışmada (%5,41) öğretmenlerden oluştuğu görülmüştür. Aynı zamanda birden fazla katılımcı gruplarına ait çalışmalar Tablo 11’de ayrı olarak belirtilmiştir. Bu yaş gruplarında, akıllı telefonlar, sosyal medya uygulamaları ve çevrimiçi platformların sık kullanımı sonucu kimlik bulma bunalımı, arkadaşlık ilişkileri, okul ve sosyal çevre ilişkilerinde ortaya çıkan sorunlar daha aktif hale gelmektedir. Dolayısıyla bu yaş grubunda sanal zorbalık oranı yüksek olması bu alanda çalışmaların daha fazla olmasına sebep olduğu düşünülebilir.

Tablo 11. Tezlerde kullanılan katılımcı gruplarına göre dağılımı

	Frekans	%
Lise Öğrencisi	10	27,03
Ortaokul Öğrencisi	7	18,92
Ergen	4	10,81
Üniversite Öğrencisi	4	10,81
Belirsiz	3	8,11
Öğretmen	2	5,41
Lise ve Üniversite Öğrencisi	1	2,70
Ortaokul Öğrencisi ve Uzman	1	2,70
Ortaokul ve Lise Öğrencisi	1	2,70
Ortaokul Öğrencisi ve Öğretmen	1	2,70
Ortaokul Öğrencisi, Öğretmen ve Veli	1	2,70
Öğretmen ve Lise Öğrencisi	1	2,70
Sağlık Çalışanı	1	2,70

4. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada 2010-2022 yılları arasında Türkiye’de sanal zorbalık konusunda yapılan lisansüstü tez çalışmalarının bibliyometrik analizi yapılmıştır. Sanal zorbalık alanında yapılan çalışmalara ulaşabilmek için YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanında “sanal zorbalık, sanal zorba, virtual bullying” anahtar kelimeleri ile Türkçe ve yabancı dildeki yüksek lisans, doktora ve uzmanlık tezleri taranmıştır. Tarama sonucunda 37 teze ulaşılmıştır. İncelenen tezlerde; tezin türü, yayın yılı, yazım dili, yayımlandığı üniversite, enstitü, anabilim dalı, konu dağılımı, kullanılan araştırma yöntemi, kullanılan araştırma deseni, örneklem büyüklüğü ve katılımcı grupları açısından incelenmiştir.

Elde edilen bulgulara göre tezlerin bibliyografik analizi yapıldığında tezlerin türlerine göre 5’inin (%13,51) doktora tezi, 32’sinin (%86,49) yüksek lisans tezi toplamda ise 37 tezin olduğu tespit edilmiştir. Tezlerin yayın yıllarına bakıldığında sanal zorbalık ile ilgili lisansüstü tezlerinin 2018 ve 2019 yıllarında en fazla çalışma sayısına ulaştığı görülmüştür. Horzum ve Ayas (2017), sanal zorbalık konulu çalışmaların sayısının gün geçtikçe arttığını ifade etmişlerdir.

Sanal zorbalık ile ilgili tezlerin yayımlandığı üniversitelere bakıldığında, Sakarya Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi ve İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesinde sanal zorbalık alanında çalışmaların daha çok olduğu görülmüştür. Tez çalışmaların en yoğun olduğu enstitülere sırasıyla bakıldığında, eğitim bilimleri enstitüsü, sosyal bilimler enstitüsü, sağlık bilimleri enstitüsü, fen bilimleri enstitüsü ve lisansüstü eğitim bilimlerinde çalışmaların olduğu tespit edilmiştir. Güngören ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada da sanal zorbalığın eğitime yönelik yapılan

çalışmalarla daha çok ilişki olduğu ifade edilmiş ve bu ifade de elde edilen bulgu ile paralellik göstermektedir. Tez çalışmaların en sık olduğu anabilim dallarına sırasıyla bakıldığında, eğitim bilimleri, bilgisayar ve öğretim teknolojileri eğitimi ve psikoloji anabilim dallarında yoğunlaştığı görülmüştür. Eğitim bilimleri alanında çalışmaların yoğun olmasının sebebi, öğrencilerin kitle iletişim araçlarını sık kullanımından dolayı bu ortamlarda zorbalığa maruz kalma olasılığının artmakta olduğu düşünülmektedir. Bu durum, eğitim ortamlarının sağlıklı ve güvenli oluşumu için gerekli bilgi ve stratejinin önemini vurgulamaktadır. Tez çalışmalarının konularına göre bakıldığında, 11 farklı konu alanında çalışıldığını fakat bazı tezlerin birden fazla temel konu alanını kapsadığı görülmüştür. Elde edilen bulgulara göre sanal zorbalık tez çalışmalarında sırasıyla, eğitim ve öğretim, psikoloji, hemşirelik, sağlık eğitimi ve spor konu alanlarında çalışmalar olduğu tespit edilmiştir. Eğitim ve Öğretim - Psikoloji alanında çalışmaların yoğun olmasının sebebi ise sanal zorbalığın çoğunlukla okul çağındaki çocuklar arasında yaygın olduğu ve sanal zorbalığa uğramış kurban üzerinde psikolojik sorunlar oluşabileceği düşünülmektedir. Bu gibi etmenlerden dolayı sanal zorbalık konulu çalışmalar Eğitim ve öğretim ile Psikoloji alanında yoğunlaştığı söylenebilir. Sanal zorbalık ile ilgili tezlerde kullanılan araştırma yöntemlerine bakıldığında, daha çok nicel araştırma yöntemi kullanıldığı, bazı çalışmalarda araştırma yönteminin belirtilmediği ve bazı çalışmalarında tasarım ve geliştirme yapıldığı tespit edilmiştir. Araştırma desenleri açısından bakıldığında ise en çok kullanılan ilişkisel tarama deseni olduğu görülmüştür. Horzum ve Ayas (2017) tarafından yapılan çalışmada sanal zorbalık ile ilgili yapılan çalışmalarda en çok nicel yöntemin tercih edildiğini ifade etmişlerdir ve bu ifade de elde edilen bulgu ile paralellik göstermektedir. Aynı zamanda Erdem (2011) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’de eğitim alanında yapılan bilimsel çalışmalarda daha çok nicel araştırma yönteminin kullanıldığını ifade etmiştir ve bu ifade de elde edilen bulguyu destekler niteliktedir.

Sanal zorbalık ile ilgili tezlerde kullanılan örneklem büyüklüğüne bakıldığında, daha çok 401-500 kişi arasında, 501- 600 kişi arasında, 900 kişi ve üzerinde gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda 201-300 kişi örneklem büyüklüğüne sahip çalışmanın az olduğu görülmüştür. Araştırmalarda kullanılan örneklem büyüklüğü, yapılan çalışmanın geçerliliğini ve güvenilirliğini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Dolayısıyla çalışmada katılımcı sayısının fazla olması çalışmanın kapsamının arttırdığı ve elde edilen bulguların daha güvenilir hale getirdiği yönünde olumlu yorum yapılabilir. Katılımcı gruplarına bakıldığında 20 farklı katılımcı grubu üzerinde çalışıldığı ve bazı tezlerde birden fazla katılımcı grubu ile yapıldığı görülmüştür. Katılımcı grupları sırasıyla, lise öğrencileri, ortaokul öğrencileri, üniversite öğrencileri ve ergenlerin takip ettiği görülmüştür. Bu yaş gruplarında, akıllı telefonlar, sosyal medya uygulamaları ve çevrimiçi platformların sık kullanımı sonucu kimlik bulma bunalımı, arkadaşlık ilişkileri, okul ve sosyal çevre ilişkilerinde ortaya çıkan sorunlar daha aktif hale gelmektedir. Dolayısıyla bu yaş gruplarında sanal zorbalık oranı yüksek olması bu alanda çalışmaların daha fazla olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Elde edilen bulgu Horzum ve Ayas (2017) tarafından yapılan çalışmada sanal zorbalık konusunda yapılan çalışmalarda katılımcı grubu olarak daha çok lise ve ortaokul öğrencileriyle gerçekleştirildiği ifadesiyle paralellik göstermektedir.

Sonuç olarak yapılan çalışma, araştırmacılara sanal zorbalık konusunda bir rehber olma niteliği taşımaktadır. Böylece sanal zorbalık ile ilgili araştırma yapan araştırmacıların bu alandaki eksikliklerin giderilmesine veya iyileştirilmesi gereken konular hakkında bilgi sahibi olmasına katkı sağlayacağı dşnlmektedir. Bu alışma, sanal zorbalık ile ilgili 2010 - 2022 yılları arasında YK Ulusal Tez Merkezinde yer alan Türkçe ve yabancı dildeki yüksek lisans, doktora ve uzmanlık tezleri ile sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda lisansüstü tez çalışmalarının türü, yayın yılı, yazım dili, yayımlandığı niversite, enstitü, anabilim dalı, konu dağılımı, araştırma yöntemi, araştırma deseni, örneklem büyüklüğü ve katılımcı gruplarının oluşturulması ile araştırmanın erevesi oluşturulmuştur. Farklı ülkelerin makaleleri incelenerek çalışma kapsamının genişletilmesi önerilmektedir. Çalışma kapsamının genişletilmesine ek olarak, Scopus, Google Scholar, Microsoft Academic, Web of Science ve diğer indekslerin eklenmesiyle gelecekte bu konu üzerine yapılacak çalışmalara öneri olarak sunulabilir. Aynı zamanda sanal zorbalık konusunda öğrencilere, öğretmenlere ve ebeveynlere yönelik bilgilendirici eğitimlerin verilmesinin gerekliliği dşnlmektedir, bu sayede sanal zorbalık farkındalık düzeyleri artırılması sağlanabilir.

ıkar atışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan zeti

Yazarlar makaleye eşit oranında katkı sağlamış olduğunu beyan ederler.

Kaynakça

- Agatston PW., Kowalski R., Limber S. Students perspectives on cyber bullying. *Journal of Adolescent Health* 2007; 41(6): 59-60.
- Ağaya A. Ergenlerde duygu düzenleme becerisi, algılanan ebeveyn kontrolü ve siber (SANAL) zorbalık statülerinin okula bağlanma düzeylerini yordayıcılığı. *Anadolu Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir, Türkiye, 2022.
- Akgl M. Lise ğrencilerinde algılanan anne baba tutumları, benlik değeri ve sanal zorbalık/mağduriyet arasındaki ilişkinin incelenmesi. *İstanbul Arel Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, Türkiye, 2020.
- Aktepe E. Ergenlerde siber zorbalık ve siber mağduriyet. *New/Yeni Symposium Journal* 2013; 51(1): 31-36.
- Arıcak OT., Tanrıkulu T., Kınay H. Siber zorbalık: gençlerimizi bekleyen yeni tehlike. *Akdeniz Eğitim Araştırmaları Dergisi* 2012; 11: 1-6.
- Arslan S., Yeşilyurt F. Ergenlerin sanal zorbalık düzeylerinin bazı değişkenler açısından incelenmesi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi* 2019; 11(18): 27- 42.

- Aydın F. Sanal zorbalık eğitiminin 6. Sınıf öğrencilerinin sanal zorbalık farkındalığına etkisi. Sakarya Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adapazarı, Türkiye, 2016.
- Bonilla CA., Merigó JM., Torres-Abad C. Economics in Latin America: A bibliometric analysis. *Scientometrics* 2015; 105(2): 1239-1252.
- Çiçek D., Kozak N. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*'nde yayımlanan hakem denetimli makalelerin bibliyometrik profili. *Türk Kütüphaneciliği* 2012; 26(4): 734- 756.
- Erdem D. Türkiye'de 2005–2006 yılları arasında yayımlanan eğitim bilimleri dergilerindeki makalelerin bazı özellikler açısından incelenmesi: Betimsel bir analiz. *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi* 2011; 2(1): 140-147.
- Ertop M., Demircioğlu H. Maruz kalma ve bırakma açısından ergenlerin sanal zorbalık yaşantıları üzerinde aile bütünlük duygusunun yordayıcı rolü. *Gençlik Araştırmaları Dergisi* 2023; 11(30): 23-38.
- Foody M., Samara M., Carlbring P. A review of cyberbullying and suggestions for online psychological therapy. *Internet Interventions* 2015; 235-242.
- Güngören ÖC., Erdoğan DG., Ayas T. Sanal zorbalık ile ilgili yapılmış lisansüstü tezlerin yapısal incelenmesi. *Online Journal of Technology Addiction and Cyberbullying* 2018; 5(2): 1-20.
- Hinduja S., Patchin J. Cyberbullying: identification, prevention and response. *Cyberbullying Research Center* 2014; 1-9.
- Horzum MB., Ayas T. Türkiye'de yayımlanan dergilerdeki sanal zorbalıkla ilgili makalelerin yöntemsel eğilimlerinin incelenmesi. *Online Journal of Technology Addiction & Cyberbullying* 2017; 4(2): 1-12.
- İğdeli F. Üniversite öğrencilerinin siber zorbalık, siber mağduriyet ve siber zorbalık duyarlılıklarının çeşitli değişkenler bağlamında incelenmesi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2018.
- Kavuk M., Keser H. İlköğretim okullarında siber zorbalık. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 2015; 31(3): 520-535.
- Korkmaz A. Siber zorbalık davranışları sergileme ve siber zorbalığa maruz kalma durumlarının karşılaştırılması. *TRT Akademi* 2016; 1(2): 620-639.
- Kozak N. Türkiye'de Turizm pazarlaması literatürünün gelişim süreci: 1972-1998 yılları arasında hazırlanmış lisansüstü tez çalışmalarının üzerine bibliyografik bir inceleme. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi* 2001; 12(1): 26-33.
- Kowalski RM., Limber SP. Electronic bullying among middle school students. *Journal of Adolescent Health* 2007; 41, 22–30.
- Peker A., Eroğlu Y., Ada Ş. Ergenlerde siber zorbalığın ve mağduriyetin yordayıcılarının incelenmesi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 2012; 12(2): 185-206.
- Rigby K. Effects of peer victimization in schools and perceived social support on adolescent well-being. *Journal of Adolescence* 2000; 23: 57-68.

Yıldırım A., Şimşek H. Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. Seçkin Yayıncılık 2011; Ankara, 446.

Zengin S., Kesgin MT. Lise öğrencilerinin sanal zorbalık farkındalıklarının yordayıcısı olarak algılanan sosyal yetkinlik, cinsiyet, günlük internet kullanım süresi ve ebeveyn kontrolü. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi 2023; 8(1): 45-52.

URL-1. Türkiye İstatistik Kurumu. [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-\(BT\)-Kullanim-Arastirmasi-2023-49407](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-(BT)-Kullanim-Arastirmasi-2023-49407) . Erişim Tarihi: 16 Eylül 2023.