

# ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA GÜNCEL METODOLOJİK YAKLAŞIMLAR

---

EDİTÖRLER  
PROF. DR. ALİ MUSA BOZDOĞAN  
PROF. DR. ATILLA ATİK

# **Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Güncel Metodolojik Yaklaşımlar**

**Editörler**

**Prof. Dr. Ali Musa Bozdoğan**

**Prof. Dr. Atilla Atik**

**İmtiyaz Sahibi**  
Platanus Publishing®

**Editör**  
Prof. Dr. Ali Musa Bozdoğan & Prof. Dr. Atilla Atik

**Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya**  
Platanus Yayın Grubu

**Birinci Basım**  
Mart, 2026

**Yayımcı Sertifika No**  
45813

**ISBN**  
978-625-6971-94-9

**©copyright**  
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

**Adres:** Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,  
Ankara, Türkiye.

**Telefon:** +90 312 390 1 118  
**web:** [www.platanuspublishing.com](http://www.platanuspublishing.com)  
**e-mail:** [platanuskita@gmail.com](mailto:platanuskita@gmail.com)



Platanus Publishing®

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>BÖLÜM 1.....</b>                                                                                                                                               | <b>5</b>   |
| <b>Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti’nin Farklı Bölgelerinde Taksonomik Çeşitliliğin Karşılaştırılması</b>                                                            |            |
| Nazlı Öğüt & Şükran Oğuzoğlu & Kürşad Özka                                                                                                                        |            |
| <b>BÖLÜM 2.....</b>                                                                                                                                               | <b>23</b>  |
| <b>Doğal Antioksidan Kaynağı Olarak Yabani Meyvelerin Biyoaktif Gücü ve Sağlık Üzerindeki Etkileri</b>                                                            |            |
| Said Efe Dos                                                                                                                                                      |            |
| <b>BÖLÜM 3.....</b>                                                                                                                                               | <b>45</b>  |
| <b>Tarla Tarımında Yeşil Gübrelemenin Önemi</b>                                                                                                                   |            |
| Derya Güloğlu                                                                                                                                                     |            |
| <b>BÖLÜM 4.....</b>                                                                                                                                               | <b>55</b>  |
| <b>Su Ürünleri Sektöründe Sürdürülebilir Malzeme Teknolojileri</b>                                                                                                |            |
| F. Ozan Düzbastılar                                                                                                                                               |            |
| <b>BÖLÜM 5.....</b>                                                                                                                                               | <b>89</b>  |
| <b>Su Hasadı Tekniklerinin Tarımsal Üretimde Uygulanabilirliği ve Sürdürülebilir Tarıma Katkısı</b>                                                               |            |
| Birol Taş                                                                                                                                                         |            |
| <b>BÖLÜM 6.....</b>                                                                                                                                               | <b>101</b> |
| <b>Orman Genel Müdürlüğü’nde Rotasyon, Atama ve Görevde Yükselme Uygulamaları ile Örgütsel Adalet Etkilerinin İncelenmesi: Bursa Orman Bölge Müdürlüğü Örneği</b> |            |
| Murat Köse & Duygu Öcal                                                                                                                                           |            |
| <b>BÖLÜM 7.....</b>                                                                                                                                               | <b>137</b> |
| <b>Ağır Metallerin Çevresel Risk Karakterizasyonunda Kirlilik İndeksleri</b>                                                                                      |            |
| Fatma Nur Kılıç & Osman Sönmez                                                                                                                                    |            |
| <b>BÖLÜM 8.....</b>                                                                                                                                               | <b>151</b> |
| <b>Hassas Hayvancılıkta Sığırlarda Yapay Zekâ Uygulamaları</b>                                                                                                    |            |
| İrfan İnan & Mehmet Salih Kaçmaz & Savaş Demir                                                                                                                    |            |

**BÖLÜM 9 ..... 173**

**Kehf Sûresinde Betimlenen Tarımsal Ormancılık Modeli**

Salih Parlak Celalettin Divlekci & Berrak Kadriye Birgili

**BÖLÜM 10 ..... 217**

**Kuzey Ege Denizi'nden Avlanan Sardalya Balığı'nın (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) Boy-Ağırlık İlişkisi**

Özgür Cengiz

**BÖLÜM 11 ..... 229**

**Organik Sebze Yetiştiriciliğinde Hassas Tarım Uygulamaları**

Yılmaz Sesli



# **BÖLÜM 1**

# Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Farklı Bölgelerinde Taksonomik Çeşitliliğin Karşılaştırılması

*Nazlı Öğüt<sup>1</sup> & Şükran Oğuzoğlu<sup>2</sup> & Kürşad Özkan<sup>3</sup>*

## 1. GİRİŞ

Biy çeşitlilik, ekosistemlerin dengeli, sağlıklı, dinamik ve sürdürülebilir olması açısından temel bir unsurdur. Bu nedenle koruma biyolojisi, çevre ekolojisi ve biyocoğrafya gibi bilim dallarında önemli bir yere sahiptir (Pärtel vd., 2011; Özkan ve Berger, 2014). Biy çeşitlilik, genetik çeşitlilik, tür çeşitliliği ve ekosistem çeşitliliğini kapsayan geniş bir kavramdır (Hunter, 1996; Kaya, 2003). Biyolojik çeşitlilik hesaplamaları çoğunlukla tür çeşitliliği ile ilişkilendirilerek çalışmalara dahil edilmiştir (Özkan, 2016). Tür çeşitliliği hesaplamalarında ise genel olarak alfa, beta ve gama çeşitlilik hesaplama düzeylerin ele alınmıştır (Özkan, 2016).

Biyolojik çeşitliliğin alfa tür çeşitliliği düzeyinde hesaplanması amacıyla çeşitli indisler kullanılmaktadır. Bu indisler arasında tür zenginliği (Peet, 1974), Simpson indisi (Simpson, 1949) ve Shannon Entropisi (Shannon, 1948) en çok tercih edilen indislerdir. Bu üç indis, geleneksel çeşitlilik indisleri kapsamında değerlendirilmekte olup, hesaplamalarda genellikle türlerin var-yok verisi, bolluğu veya frekanslarına dair verileri esas almaktadır (Özkan, 2016). Geleneksel indislerin yanı sıra, son yıllarda türlerin karakter verilerine dayalı çeşitlilik hesaplama yaklaşımları da ön plana çıkmıştır. Türlerin karakter verilerine dayalı olarak geliştirilmiş çeşitlilik indisleri yalnızca türlerin sayısal verilerine değil, aynı zamanda onların taksonomik, genetik, fonksiyonel veya yapısal özelliklerine de odaklanmaktadır. (Özkan, 2018). Bunlar içerisinde taksonomik çeşitlilik indisleri Linnaeus (1758), taksonomik sınıflandırmasına dayalı verileri kullanmaktadır. Bu sınıflandırma sistemi bitki türlerinin esas olarak morfolojik ve anatomik özelliklerine göre gruplandırılmasına dayanır (Lawrence, 1951; Stace, 1989; Judd vd., 2002). Bu açıdan taksonomik çeşitlilik indisleri, biyolojik çeşitliliği daha derinlemesine analiz etme imkânı sunmaktadır.

---

<sup>1</sup> Arş. Gör., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye. ORCID: 0009-0003-8375-3808

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye. ORCID: 0000-0002-1816-8691

<sup>3</sup> Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye. 0000-0002-8526-7243

Taksonomik çeşitlilik hesaplamaları türler arasındaki akrabalık ilişkileri ve evrimsel benzerlikleri dikkate alması ile, sadece tür sayısına dayanan ölçüm yaklaşımlarının sınırlı kaldığı durumlarda daha tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle, bir taksonomik grup içindeki biyolojik çeşitliliğin yalnızca tür sayısı ve bolluk gibi nicel verilerle değil, aynı zamanda bu türlerin birbirine olan yakınlık düzeyleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiği görüşü giderek daha fazla kabul görmektedir (Harper ve Hawksworth, 1994).

Taksonomik çeşitliliğin ölçümüne yönelik yaklaşımlar zaman içinde önemli bir gelişim göstermiştir. Taksonomik çeşitliliğin hesabı için ilk matematiksel eşitlik Pielou (1975) tarafından önerilmiştir. Pielou'nun önerdiği bu formül, Shannon Entropisi'nin değiştirilmiş bir versiyonuna dayanmakta ve taksonomik hiyerarşiyi dikkate almaktadır. Daha sonra, Vane-Wright vd. (1991) tarafından önerilen başka bir yöntem, kladistik sınıflandırmanın topolojisine dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu yöntem, özellikle dal uzunluklarının bilinmediği durumlarda kullanılabilirken, bu uzunluklar bilindiğinde Faith (1992) tarafından geliştirilen yöntem daha uygun hale gelmektedir. Öte yandan, taksonomik çeşitliliğin ölçümünde farklı bir yaklaşım olan kuadratik entropi ise, Rao (1982) tarafından ortaya konmuştur. Bu yöntem, tür çiftleri arasındaki mesafelere dayanır ve bu mesafeler türlerin morfolojik, işlevsel ya da taksonomik benzerliklerine göre belirlenebilir. Ricotta ve Avena (2003) ise hem tür bolluklarını hem de taksonomik ayrımları dikkate alan yeni bir ölçüm önererek bu alana katkı sağlamıştır. Ancak, bu ölçüm bilgi teorisine dayandığı için Rao'nun yöntemi gibi doğrudan tür çiftleri arasındaki mesafelere dayanmamaktadır. Alandaki en bilinen ve yaygın kullanılan taksonomik çeşitlilik ve taksonomik mesafe indisleri ise Warwick ve Clark (1995) tarafından geliştirilmiştir. Bu indislerde, türler arasındaki taksonomik farklılıklar ağırlıklandırılarak hesaplamaya dahil edilir (Özkan, 2018). Böylece, biyoçeşitlilik değerlendirmelerinde uzun süre yalnızca tür zenginliği veya tür bolluğu gibi nicel verilere dayanan geleneksel indisler kullanılırken, zamanla türler arasındaki yakınlığı esas alan taksonomik çeşitlilik indisleri ön plana çıkmıştır.

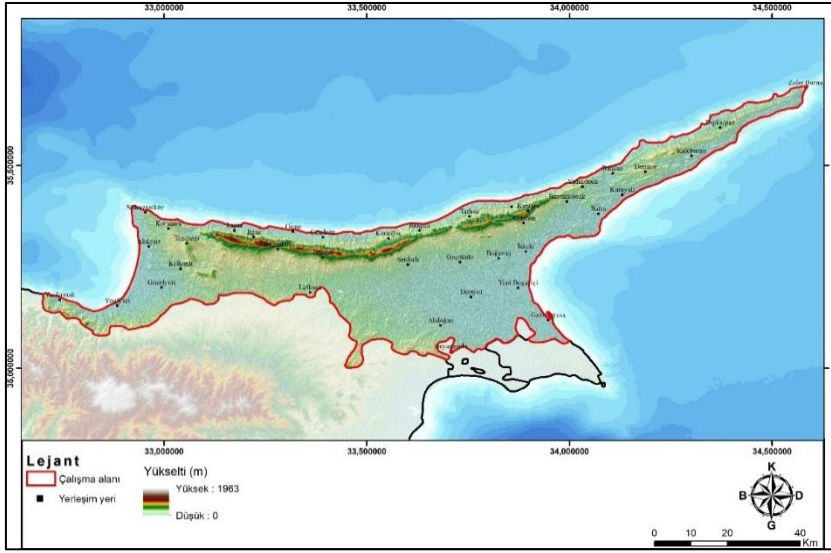
İfade edilen tüm bu bilgilerden hareketle bu çalışmada Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde farklı dört bölgede rastgele nokta yöntemi ile tespit edilen 36 adet bitki türünün var-yok verilerine dayalı olarak bölgelerin taksonomik çeşitliliğinin belirlenmesi ve karşılaştırması amaçlanmıştır. Böylece doğrudan tür zenginliği veya yaygın olarak kullanılan diğer geleneksel çeşitlilik indislerinin dışında, bu alanlara ait taksonomik çeşitlilikle ilgili bilgilerinde belirlenmesi hedeflenmiştir.



## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. MATERYAL

Çalışma, Akdeniz'in üçüncü büyük adası olan Kıbrıs Adasının kuzeyinde bulunan Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti doğal ekosistemlerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Ada, 34°33'–35°42' Kuzey enlemleri ile 32°16'–34°36' Doğu boylamları arasında yer almaktadır (KKTC Enformasyon Dairesi, 2025). 1991–2020 yılları arasındaki verilere göre, Kuzey Kıbrıs'ta yıllık ortalama sıcaklık yaklaşık 19.5 °C, yıllık ortalama yağış miktarı ise 387.1 mm'dir (KKTC Meteoroloji Dairesi, 2025).



Şekil 1. Çalışma alanı

Kıbrıs Adası, 9251 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümü, özgün jeolojik ve jeomorfolojik yapısı, iklim özellikleri ile habitat çeşitliliğinin bir araya gelmesi sonucunda, yüksek düzeyde biyolojik çeşitliliğe sahip önemli bir Akdeniz adasıdır (Medail ve Diadema, 2009; Tsintides vd., 2007). Kıbrıs Adası, Akdeniz havzası içerisinde bitki çeşitliliği ve endemizm açısından en önemli sıcak noktalar arasında yer almaktadır (Medail ve Quézel, 1999).

Bölgenin jeolojik yapısı dört ana yapıdan oluşmaktadır. Bunlar, Trodos Ofiyoliti, Trodos çevresindeki sedimanter istif, Beşparmak Dağları ve çevresindeki kaya toplulukları ile Mesarya Havzası örtü istifidir (Hakyemez, 2014). Kuzey Kıbrıs'ta sekiz farklı toprak tipi yaygın olarak görülmektedir. Bunlar kambisoller, litosoller, regosoller, rendzinalar (kireç bakımından zengin), solonçaklar (tuzlu), kserosoller, solonetzler (kil açısından zengin) ve vertisollerdir (Soteriades ve Grivas, 1970; Kutoğlu, 2010). Eşsiz evrimsel

geçmişleri sayesinde ada ekosistemleri, dünya kara yüzeyinin yalnızca yaklaşık %5'ini kaplamalarına rağmen, tüm damarlı bitki türlerinin dörtte birini barındıran zengin bir biyolojik çeşitliliğe ev sahipliği yapmaktadır (Caujapé-Castells vd., 2010; Kreft vd., 2008). Akdeniz havzasında yer alan Kıbrıs Adası florasında, 1649 bitki taksonu yer almaktadır (Hand vd., 2011). Bu taksonlardan yaklaşık 128'i endemik türlerdir (Meikle, 1977, 1985; Tsintides, 1998). Bu endemik türlerin 47'si yalnızca Kıbrıs Adası'na özgü iken bunlardan 19'u ise sadece Kuzey Kıbrıs'a özgü endemiklerdir (Yıldız ve Gücel, 2008).

2007 yılında yayımlanan “Kıbrıs Florası Kırmızı Veri Kitabı” (Tsintides vd., 2007), adadaki yerel bitki türlerinin %14,5'ini oluşturan 238 tehdit altındaki taksonu (kritik tehlike, tehlikede ve hassas) tanımlamıştır (Christodoulou vd., 2018). Endemik ve ada türleri, habitat tahribatı, istilacı türlerin yayılması, iklim değişikliği, çevresel kirlilik ve aşırı avlanma gibi insan kaynaklı baskılara karşı büyük ölçüde savunmasızdır (Brooks vd., 2002; Caujapé-Castells vd., 2010; Harvey ve Enright, 2022; Malcolm vd., 2006). Bu durum adadaki endemik bitki türlerinin ve bunlar içerisinde ise koruma önceliği gerektiren türlerin önemini daha fazla artırmaktadır

## 2.2. YÖNTEM

Bu çalışmada biyolojik çeşitlilik hesaplamaları için geleneksel çeşitlilik indisleri (GEÇ) yerine yöntem olarak taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) ve taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) hesaplamaları kullanılmıştır. GEÇ, yalnızca topluluktaki türlerin sayısal bolluklarına dayanarak hesaplanır ve bu türler arasındaki taksonomik farklılıkları göz önünde bulundurmaz. Fakat birçok türün aynı cinse ait olduğu bir topluluk, benzer sayıda tür barındırır da türlerin farklı cinsler arasında daha dengeli dağıldığı bir topluluğa kıyasla, sezgisel olarak daha düşük düzeyde çeşitliliğe sahiptir (Ricotta ve Avena, 2003). Diğer yandan, taksonomik çeşitlilik, yalnızca türlerin çeşitliliğini yansıtmakla kalmaz aynı zamanda ekosistemlerdeki yapısal çeşitlilik ve fonksiyonel çeşitlilik hakkında da önemli ipuçları sunar. Böylece taksonomik çeşitlilik, ekosistem çeşitliliği hesabında büyük önem arz etmektedir (Özkan, 2010). Buna rağmen, ekoloji çalışmalarında günümüze kadar ağırlıklı olarak GEÇ indislerinin tercih edildiği görülmektedir. Taksonomik çeşitlilik (TAÇ) indislerinin daha az kullanılıyor olmasının başlıca nedenleri arasında, bu indislerin daha sonra geliştirilmiş olması, hesaplamaların GEÇ indislerine göre daha karmaşık ve zaman alıcı olmasıyla birlikte kullanıcılar arasında yeterince tanınmaması yer almaktadır. Ayrıca TAÇ indislerinin hesaplanmasına yönelik yazılım ve araçların sınırlı olması da bu durumun önemli bir başka nedenidir (Özkan, 2012).

Çalışmada Kuzey Kıbrıs'tan seçilen 4 bölgeden elde edilen veriler kullanılmıştır: (1) Karpaz Yarımadası, (2) Kantara-Tatlısu, (3) Alevkayası ve (4) Akdeniz Köyü. Rastgele nokta yöntemi ile 4 bölgede odunsu bitki türleri tespit

edilmiştir. Her bölge için bu bitki türlerine ait var-yok (1-0) verisi ve her bölgede bulunan bitkiler için bolluk değerleri kaydedilmiştir.

Taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) ve taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) formülleri sırasıyla denklem 1 ve denklem 2' de verilmiştir (Clarke ve Warwick, 1998, 2001). Hesaplamalar PAST 5.0.2 uygulamasında yapılmıştır (Hammer ve Harper, 2001).

$$\Delta = \left[ \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} X_i X_j}{[n(n-1)/2]} \right] \quad (1)$$

$$\Delta^* = \left[ \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} X_i X_j}{\sum \sum_{i < j} X_i X_j} \right] \quad (2)$$

Burada  $X_i$ ,  $i$ . türe ait bolluk değerini,  $n$  ve  $\omega_{ij}$  sırasıyla çalışmada yer alan tüm türlere ait değerlerin toplamını ve taksonomik hiyerarşi içinde tür  $i$  ile tür  $j$  arasında bulunan bağlantılı yolun uzunluğunu veren mesafenin ağırlığını temsil etmektedir. Taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) türlere ait bolluk değerlerini ve türler arasındaki taksonomik uzaklıkları hesaba dahil ederken taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) indisi ise türlerin tür bolluklarını göz ardı ederek yalnızca taksonomik mesafeye odaklanmaktadır (Clarke ve Warwick, 2001).

Bu nedenle, çalışmada TAÇ indislerinin hesaplanmasına geçilmeden önce, bölgelerde tespit edilen türlerin sistematik sınıflandırması yapılmıştır. Bu kapsamda her bir türün ait olduğu cins, familya, takım, sınıf, şube ve alem düzeyleri belirlenmiştir. Ayrıca tüm bu türlere ait bolluk değerleri kaydedilmiştir.

### 3. BULGULAR

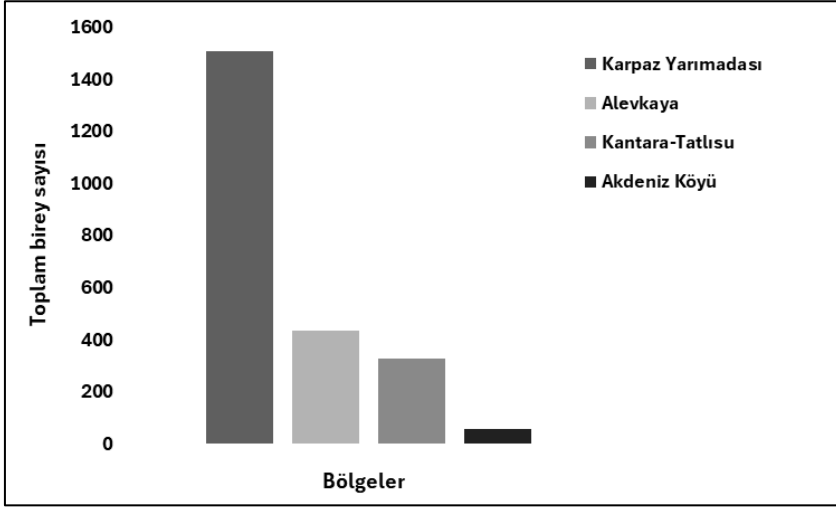
Çalışma kapsamında seçilen dört bölgede toplam 36 odunsu bitki türü tespit edilmiştir. Tespit edilen her bir türe ait taksonomik sınıflandırma Linnaeus (1758), sistemine göre belirlenmiş olup, her bölgeye göre türlerin bolluk değerleri kaydedilmiştir (Tablo 1). Bolluk değerlerine göre en yaygın olarak gözlenen tür 468 birey ile *Pinus brutia* olurken, yalnızca 1 birey ile temsil edilen *Celtis australis*, *Cordia myxa*, *Ficus sycomorus*, *Genista sphacelata*, *Hypericum triquetrifolium*, *Platanus orientalis*, *Rosmarinus officinalis*, *Tamarix sp.*, *Vaccinium myrtillus*, *Viburnum tinus*, *Ziziphus lotus* ve *Zygophyllum album* en az gözlenen türler olmuştur.

Toplam 36 tür arasında, yalnızca bir bölgede gözlenen tür sayısı 13 (*Celtis australis*, *Cordia myxa*, *Erica sicula*, *Ficus sycomorus*, *Genista sphacelata*, *Hypericum triquetrifolium*, *Laurus nobilis*, *Platanus orientalis*, *Tamarix sp.*, *Vaccinium myrtillus*, *Viburnum tinus*, *Ziziphus lotus* ve *Zygophyllum album*)'tür.

**Tablo 1.** Dört bölgeye ait türlerin Linnaeus sistemine göre taksonomik sınıflandırması ve bolluk değerleri (B1: Karpaz Yarımadası, B2: Kantara Tatlısu, B3: Alevkaya, B4: Akdeniz Köyü)

| Tür                                                                    | B1  | B2  | B3  | B4 |
|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|----|
| <i>Arbutus andrachne</i> L.                                            | 119 | 26  | 38  | 0  |
| <i>Asparagus acutifolius</i> L.                                        | 0   | 3   | 1   | 1  |
| <i>Asparagus horridus</i> L.                                           | 0   | 0   | 1   | 1  |
| <i>Calicotome villosa</i> (Poir.) Link                                 | 21  | 12  | 11  | 0  |
| <i>Capparis spinosa</i> L.                                             | 0   | 3   | 1   | 0  |
| <i>Celtis australis</i> L.                                             | 0   | 0   | 1   | 0  |
| <i>Ceratonia siliqua</i> L.                                            | 173 | 9   | 6   | 1  |
| <i>Cistus</i> sp.                                                      | 144 | 48  | 90  | 14 |
| <i>Cordia myxa</i> L.                                                  | 0   | 1   | 0   | 0  |
| <i>Crataegus azarolus</i> L.                                           | 0   | 3   | 4   | 0  |
| <i>Cupressus sempervirens</i> L. var. <i>pyramidalis</i>               | 9   | 21  | 18  | 0  |
| <i>Erica sicula</i>                                                    | 0   | 0   | 2   | 0  |
| <i>Ficus sycomorus</i> L.                                              | 1   | 0   | 0   | 0  |
| <i>Genista fasselata</i> Decne                                         | 0   | 0   | 1   | 0  |
| <i>Hypericum triquetrifolium</i> Turra.                                | 0   | 0   | 1   | 0  |
| <i>Juniperus phoenicea</i> L.                                          | 394 | 4   | 19  | 15 |
| <i>Laurus nobilis</i> L.                                               | 0   | 2   | 0   | 0  |
| <i>Olea europaea</i> L. var. <i>europaea</i>                           | 183 | 24  | 14  | 2  |
| <i>Pinus brutia</i> Ten.                                               | 160 | 118 | 172 | 18 |
| <i>Pistacia lentiscus</i> L.                                           | 267 | 27  | 30  | 2  |
| <i>Pistacia terebinthus</i> L.                                         | 1   | 8   | 1   | 0  |
| <i>Platanus orientalis</i> L.                                          | 0   | 0   | 1   | 0  |
| <i>Pyrus syriaca</i> Boiss.                                            | 1   | 1   | 0   | 0  |
| <i>Quercus coccifera</i> L.                                            | 0   | 4   | 5   | 0  |
| <i>Quercus infectoria</i> Oliv.                                        | 0   | 4   | 6   | 0  |
| <i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>oleoides</i> (L.) Jahandiez & Maire | 9   | 0   | 2   | 0  |
| <i>Rosmarinus officinalis</i> L.                                       | 1   | 0   | 0   | 0  |
| <i>Ruscus aculeatus</i> L.                                             | 0   | 0   | 1   | 2  |
| <i>Sarcopoterium spinosum</i> (L.) Spach                               | 14  | 3   | 4   | 2  |
| <i>Styrax officinalis</i> L.                                           | 11  | 0   | 1   | 0  |
| <i>Tamarix</i> sp.                                                     | 0   | 1   | 0   | 0  |
| <i>Thymra capitata</i> (L.) Cav.                                       | 0   | 5   | 2   | 0  |
| <i>Vaccinium myrtillus</i> L.                                          | 0   | 1   | 0   | 0  |
| <i>Viburnum tinus</i> L.                                               | 0   | 0   | 1   | 0  |
| <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.                                        | 0   | 0   | 1   | 0  |
| <i>Zygophyllum album</i> L.f.                                          | 0   | 0   | 1   | 0  |

Dört farklı bölgede gerçekleştirilen arazi çalışmaları sonucunda toplam 2330 birey tespit edilmiştir. Gözlemlenen birey sayısı bakımından ilk sırada 1508 bireyle Karpaz Yarımadası yer almakta, bunu 436 birey ile Alevkaya ve 328 birey ile Kantara-Tatlısu bölgesi izlemektedir. En düşük birey sayısı ise 58 bireyle Akdeniz Köyü'nde kaydedilmiştir (Şekil 2).



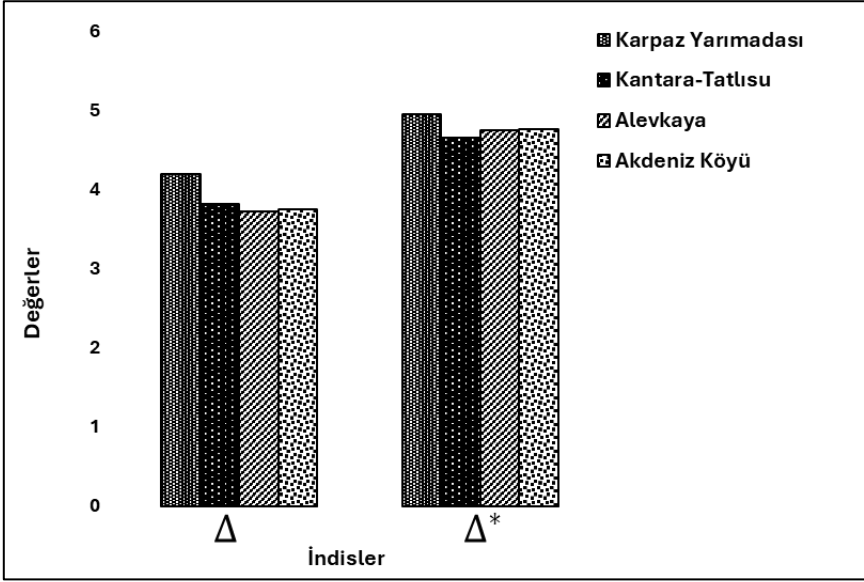
Şekil 2. Bölgelere göre gözlenen toplam birey sayısı

Tablo 2. Bölgelere göre bitkilerin taksonomik seviyelerine göre sayısal dağılımı

|           | Tür | Cins | Aile | Takım | Sınıf | Şube |
|-----------|-----|------|------|-------|-------|------|
| <b>B1</b> | 16  | 16   | 12   | 7     | 2     | 2    |
| <b>B2</b> | 22  | 21   | 15   | 12    | 3     | 3    |
| <b>B3</b> | 29  | 25   | 17   | 13    | 3     | 3    |
| <b>B4</b> | 10  | 9    | 8    | 7     | 3     | 2    |

Tablo 2. Bölgelere göre bitkilerin taksonomik seviyelerine göre sayısal dağılımı

Tablo 2' ye göre, tür zenginliği açısından en yüksek değere Alevkaya (B3) sahipken, en düşük tür zenginliğine Akdeniz Köyü (B4) sahiptir. Cins düzeyinde en fazla farklı cins B3'te tespit edilmiş iken en düşük fark ise B4'te belirlenmiştir. Aile düzeyinde en fazla çeşitlilik B3'te iken en düşük B4'tür.



Şekil 3. Taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) ve taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) değerlerinin bölgelere göre dağılımı

Şekil 3’ de gösterildiği üzere taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) ve taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) değerleri bölgelere göre farklılık göstermektedir. İki indis için en yüksek değerler Karpaz Yarımadası bölgesinde tespit edilmiştir. Bu bölgede ( $\Delta$ ) 4,194 ve ( $\Delta^*$ ) 4,957 olarak hesaplanmıştır. En düşük taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) ve taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) ise Akdeniz Köyünde tahmin edilmiş olup  $\Delta$  3,75 ve  $\Delta^*$  4,77’tür. Kantara-Tatlısu bölgesi için taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) 3,82, taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) ise 4,65 olarak hesaplanırken Alevkaya bölgesi için taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) 3,73, taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) 4,75 olarak hesaplanmıştır.

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Orman ekosistemlerindeki biyolojik çeşitliliğin korunması uzun süredir gündemde olan bir gereklilik olsa da 20. yüzyılın sonlarına doğru sürdürülebilirlik kavramı daha fazla dikkat çekmeye başlamıştır. Bu doğrultuda gelişen farkındalık, 1992 yılında imzalanan Rio Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ile uluslararası düzeyde resmîyet kazanmış, 1998 yılında düzenlenen Lizbon Konferansı ile de bu yaklaşım yeniden ele alınarak güçlendirilmiştir (Neumann ve Starlinger, 2001). Bu gelişmelerin etkisiyle koruma biyolojisi, çevresel ekoloji ve biyocoğrafya gibi disiplinler, biyoçeşitliliği çalışmalarının merkezine almış ve konuya ilişkin araştırmaların sayısı giderek artmıştır (Pärtel vd., 2011; Özkan ve Berger, 2014).

Biyolojik çeşitlilik, tarihsel olarak çeşitli ölçütler aracılığıyla tanımlanmış ve değerlendirilmiştir (Peet, 1974). Biyoçeşitlilik ölçüm ve göstergeleri yönetim planlarında önemli birer araç haline gelmiştir (Gaines vd., 1999). Bu ölçümler her ne kadar tek başlarına çeşitliliğin yönetiminde yeterli olmasa da alanların tanımlanması, izlenmesi ve karşılaştırılmasına olanak sağlayan etkili yöntemler arasında yer almaktadır (Uzun vd., 2012).

Bu kapsamda, biyolojik çeşitliliğin hesaplanmasına yönelik birçok algoritma geliştirilmiş olup, söz konusu yöntemler araştırmacılara veri analizinde farklı yaklaşımlarla uygulama olanağı sunmaktadır (Özkan vd., 2020). Bunlar arasında tür zenginliği (Peet, 1974), Simpson indisi (Simpson, 1949) ve Shannon Entropisi (Shannon, 1948) en çok tercih edilenlerdir. Bu çeşitlilik hesaplarında türlerin var-yok verileri ve bolluklarına yer verilmektedir. Bu çalışmada ise türlerin sadece var-yok verisi değil aynı zamanda türlerin taksonomik mesafelerini de dikkate alan Clarke ve Warwick (1998) tarafından tanımlanan taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ), taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) indisleri kullanılmıştır.

Taksonomik çeşitlilik, çevresel etki değerlendirmelerinde tamamlayıcı bir araç olarak yüksek potansiyele sahiptir (Warwick ve Clarke, 1998). Bu yaklaşım birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, antropojenik etkilerin analizinde, balık, sucul canlılar, çöp karıncaları, odonatlar ve bitki toplulukları üzerinde, çevresel faktörlerin etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır (Rogers vd., 1999; Bhat ve Magurran, 2006; Abellán vd., 2006; Heino vd., 2007; Marchant, 2007; Leonard vd., 2006; Anu ve Sabu, 2007; Campbell ve Novelo-Gutierrez, 2007). Bu çalışma ise Kuzey Kıbrıs'ın orman ekosistemlerinde dört farklı bölgenin taksonomik çeşitliliğini karşılaştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Seçilen bölgelerden veriler, rastgele nokta örnekleme yöntemi (random point sampling) ile elde edilmiştir. Bölgelerde yapılan arazi çalışmaları ile toplam 36 tür tespit edilmiştir. Bölgelere göre tür sayıları ve bolluk değerleri belirlenmiştir. En yüksek tür zenginliği 31 tür ile Alevkaya bölgesinde, en düşük tür zenginliği ise 10 tür ile Akdeniz Köyü Bölgesinde tespit edilmiştir. Tür bolluklarına göre ise en yaygın olarak gözlenen tür *Pinus brutia* olmuştur.

Bu çalışmada kullanılan indekslere göre ( $\Delta$  ve  $\Delta^*$ ) bölgeler arasındaki farklılık Şekil 3'te ortaya konulmuştur. Her iki indise göre en yüksek değerler Karpaz Yarımadası bölgesinde tespit edilmiştir. Bu bölgede  $\Delta$  4,194 ve  $\Delta^*$  4,957 olarak hesaplanmıştır. En düşük taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) ve taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) ise Alevkaya bölgesinde tahmin edilmiş olup  $\Delta$  3,73 ve  $\Delta^*$  4,75'tir. Diğer bölgeler ise Kantara-Tatlısu 3,82,  $\Delta^*$  4,65 ve Akdeniz Köyü  $\Delta$  3,75,  $\Delta^*$  4,77 olarak hesaplanmıştır.

Çeşitlilik indisleri örnekleme verilerine dayalı olarak farklı sonuçlar verebilmektedir. Taksonomik çeşitlilik ( $\Delta$ ) indisi, bir toplulukta yer alan türlerin

yalnızca bolluklarını değil, aynı zamanda bu türler arasındaki taksonomik uzaklıkları da dikkate alarak biyolojik çeşitliliği değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Dolayısıyla türler arasındaki soy ağacı temelli ilişkilere dayalı daha kapsamlı bir çeşitlilik ölçüsüdür. Öte yandan, taksonomik farklılık ( $\Delta^*$ ) indisi, tür bolluklarını göz ardı ederek yalnızca taksonomik mesafeye odaklanır ve seçilen türler arasındaki taksonomik mesafelerin ortalamasını verir. Böylelikle tür bolluğuna bağımlılığını ortadan kaldırarak örnekleme eksikliğinden daha az etkilenir. Örneğin, yetersiz örnekleme yapılan alanlarda taksonomik çeşitlilik daha düşük tahmin düzeyine sahiptir. Karpaz Yarımadası en düşük değere sahip olması örneklemeyle ilgili olarak hesaplanmış olabilmektedir. Ayrıca bir bölgede tür çeşitliliğinin yüksek olması o bölgede taksonomik çeşitliliğin yüksek olacağı anlamına gelmemektedir. Çünkü taksonomik çeşitlilik, sadece tür sayısına değil, bu türlerin taksonomik olarak birbirlerinden ne kadar farklı olduklarına da bağlıdır (Clarke ve Warwick, 2001). Kantara-Tatlısu ile Alevkaya indisler kapsamında karşılaştırıldığında taksonomik çeşitlilik değeri Kantara-Tatlısu bölgesinde daha fazla iken taksonomik farklılık Alevkaya bölgesinde daha yüksektir. Bu farklılık, taksonomik çeşitliliğin ( $\Delta$ ) türlerin bolluk değerini ve taksonomik mesafelerini dikkate alırken taksonomik farklılığın ( $\Delta^*$ ) sadece türler arasındaki taksonomik mesafeyi dikkate alıp, türlerin bolluk değerlerini hesaba katmamasından kaynaklanmaktadır.

Literatürde birçok farklı çeşitlilik ölçütü tanımlanmış olmakla birlikte, en sık kullanılan çeşitlilik göstergesinin tür zenginliği olduğu belirtilmektedir. Bu bağlamda özellikle Margalef tür zenginliği indisi öne çıkmakta, bunu Shannon-Wiener çeşitlilik indisi ile topluluk içindeki bireylerin dağılımını yansıtan düzgünlük (evenness) indisleri takip etmektedir (Costello vd., 2004). Ancak tür zenginliği, taksonomik farklılığın aksine, doğal çevresel faktörlerine daha duyarlıdır (Warwick ve Clarke, 1998; Leonard vd., 2006). Taksonomik farklılık, yalnızca basit tür zenginliğini yansıtmakla kalmayıp, aynı zamanda fonksiyonel çeşitlilikle daha güçlü bir ilişki gösterir. Bu ölçüt, örnekleme farklılıklarına karşı dayanıklıdır ve gözlemlenen değerlerin beklenen dağılımdan sapmalarını değerlendirmek için istatistiksel bir çerçeve sunar. Ayrıca, büyük ölçekli yetişme ortamı farklılıklarına karşı nispeten duyarsız olmasına rağmen, çevresel bozulmalara karşı genellikle monoton bir azalma eğilimi sergiler (Clarke ve Warwick, 1999). Çevresel faktörlerin çeşitlilik üzerindeki etkisi birçok çalışmada vurgulanmıştır. Özellikle yükselti, bakı ve topografik çeşitlilik gibi yetişme ortamı değişkenlerinin tür dağılımını ve çeşitliliğini etkilediği görülmüştür. Fakat, taksonomik çeşitlilik yetişme ortamı değişkenleri ile ilişkisi sınırlı kalmaktadır. Bunun nedeni, taksonomik çeşitliliğin türler arasındaki taksonomik mesafelere dayanmasıdır. Dolayısıyla taksonomik çeşitlilik, çevresel koşullardan çok evrimsel yakınlık düzeylerine duyarlıdır (Özkan, 2010; Oğuzoğlu vd., 2013; Güner vd., 2022).



Bazı araştırmacılar da fonksiyonel çeşitliliğin ekosistem işleyişi üzerinde taksonomik tür zenginliği ya da çeşitliliğinden daha belirleyici bir etkisi olduğunu savunmaktadır. Bu görüşe göre, fonksiyonel çeşitlilik ile ekolojik süreçler arasında doğrudan, yani mekanik bir ilişki bulunmaktadır (Díaz ve Cabido, 2001; Cadotte vd., 2011). Fonksiyonel çeşitlilik, ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bunun temel nedeni, belirli bir gruba ait türlerden birinin yok olması durumunda, bu kaybın doğrudan bazı ekosistem işlevlerinin de kaybına yol açabilme olasılığıdır. Ancak, biyoçeşitliliğe bir ekosistem hizmeti olarak yaklaşan koruma biyolojisi perspektifinden bakıldığında, bir türün ortadan kalkması ekolojik olarak ciddi bir durum olsa da ekosistem işleyişinde her zaman gözle görülür değişikliklere neden olmayabilir (Mace vd., 2012). Bunun nedeni, benzer çevresel koşullar altında, farklı türlerin ekosistem fonksiyonları üzerinde çoğunlukla benzer etkilere sahip olabilmesidir (Walker, 1995; Walker vd., 1999; Díaz ve Cabido, 2001). Bu durum “fonksiyonel fazlalık” (functional redundancy) olarak adlandırılır ve ekosistemlerin çevresel bozulma ya da stres koşulları altında bile işlevlerini sürdürebilmesinde hayati bir rol oynar (Naeem, 1998). Çünkü belirli bir ekosistem hizmetini sağlayan bir tür ortadan kalktığında, benzer işlevleri yerine getirebilen diğer türler bu boşluğu doldurarak sistemin işleyişini devam ettirebilir (Mori vd., 2013).

Sonuç olarak, Karpaz Yarımadası'nın en yüksek taksonomik çeşitlilik ve farklılık değerlerine sahip olması, yalnızca tür sayısından değil, aynı zamanda bu türlerin taksonomik olarak birbirinden daha uzak gruplara dağılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşın, Alevkaya bölgesi en yüksek tür zenginliğine sahip olmasına rağmen, türlerin büyük kısmının benzer taksonomik gruplara ait olması, bu bölgede taksonomik çeşitliliğin daha sınırlı kalmasına neden olmuştur. Alevkaya bölgesi, diğer üç bölgeye kıyasla daha yüksek bir yükseltiye sahiptir. Bu yükselti farkı, nem ve sıcaklık gibi çevresel koşullarda değişimlere yol açarak tür zenginliği üzerinde belirleyici bir etki yaratmıştır. Ayrıca, bölgelerde gözlenen antropojenik baskılar, orman yangınları, otlatma faaliyetleri ve yaban hayvanlarından kaynaklanan zararlar tür zenginliğini olumsuz yönde etkilemiştir. Önceki bölümlerde de vurgulandığı üzere, tür zenginliği, taksonomik çeşitliliğe kıyasla çevresel faktörlerden daha fazla etkilenmektedir. Bu durum, tür zenginliği ile taksonomik çeşitliliğin her zaman paralel ilerlemediğini ve bu iki göstergenin ekosistem yapısı hakkında farklı boyutlarda bilgi sunduğunu göstermektedir. Clarke ve Warwick (2001) da benzer şekilde, taksonomik çeşitliliğin yalnızca tür sayısından değil, türler arası filogenetik uzaklıktan etkilendiğini ve bu nedenle tür zenginliği yüksek olsa dahi taksonomik çeşitliliğin düşük olabileceğini belirtmiştir. Dolayısıyla, sadece tür sayısına dayalı değerlendirmelerin yetersiz kalabileceği, bunun yerine taksonomik yapıların bütüncül biçimde ele alınmasının ekolojik analizlerin doğruluğunu artıracığı söylenebilir. Böylelikle Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde gerçekleştirilen bu çalışma karar vericilere

ekosistem yönetimi ve koruma planlarının geliştirilmesinde yardımcı olacağı düşünülmektedir.

## **5. TEŞEKKÜR**

Arazi çalışmalarına destekleri için Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Orman Dairesi Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKÇA

- Abellán, P., Bilton, D. T., Millán, A., Sánchez-Fernández, D., & Ramsay, P. M. (2006). Can taxonomic distinctness assess anthropogenic impacts in inland waters? A case study from a Mediterranean river basin. *Freshwater Biology*, 51(9), 1744–1756.
- Anu, A., & Sabu, T. K. (2007). Biodiversity analysis of forest litter ant assemblages in the Wayanad region of Western Ghats using taxonomic and conventional diversity measures. *Journal of Insect Science*, 7, 6–13.
- Bhat, A., & Magurran, A. E. (2006). Taxonomic distinctness in a linear system: A test using a tropical freshwater fish assemblage. *Ecography*, 29, 104–110.
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., Rylands, A. B., Konstant, W. R., ... Hilton-Taylor, C. (2002). Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology*, 16(4), 909–923.
- Cadotte, M. W., Carscadden, K., & Mirotchnick, N. (2011). Beyond species: Functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology*, 48, 1079–1087.
- Campbell, W. B., & Novelo-Gutierrez, R. (2007). Reduction in odonate phylogenetic diversity associated with dam impoundment is revealed using taxonomic distinctness. *Fundamental and Applied Limnology*, 168, 83–92.
- Caujapé-Castells, J., Tye, A., Crawford, D. J., Santos-Guerra, A., Sakai, A., Beaver, K., ... Florens, F. B. V. (2010). Conservation of oceanic island floras: Present and future global challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 12(2), 107–129.
- Christodoulou, C. S., Griffiths, G. H., & Vogiatzakis, I. N. (2018). Using threatened plant species to identify conservation gaps and opportunities on the island of Cyprus. *Biodiversity and Conservation*, 27, 2837–2858.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1998). A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35, 523–531.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1999). The taxonomic distinctness measure of biodiversity: Weighting of step lengths between hierarchical levels. *Marine Ecology Progress Series*, 184, 21–29.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). A further biodiversity index applicable to species lists: Variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 265–278.

- Costello, M. J., Pohle, G., & Martin, A. (2004). *Evaluating biodiversity in marine environmental assessments*. Ottawa: Canadian Environmental Assessment Agency.
- Díaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in ecology & evolution*, 16(11), 646-655.
- Faith, D. P. (1992). Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation*, 61(1), 1-10.
- Gaines, W. L., Harrod, R. J., & Lehmkuhl, J. F. (1999). *Monitoring biodiversity: Quantification and interpretation* (Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-443). Portland, OR: USDA Forest Service.
- Güner, Ş. T., Arslan, M., Özkan, K., Çömez, A., Karataş, R., & Çelik, N. (2022). İç Anadolu Bölgesindeki karaçam ağaçlandırmalarının odunsu tür ve taksonomik çeşitliliği. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(1), 1-11.
- Hakyemez, H. Y. (2014). Kuzey Kıbrıs' ın temel jeolojik özellikleri. *TPJD Bülteni*, 26(2), 7-46.
- Hammer, Ø., & Harper, D. A. T. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1.
- Hand, R., Hadjikyriakou, G. N., & Christodoulou, C. S. (2011). Flora of Cyprus – A dynamic checklist. <http://www.flora-of-cyprus.eu/> (Son erişim tarihi: 5 Ocak 2025).
- Harper, J. L., & Hawksworth, D. L. (1994). Biodiversity: measurement and estimation. Preface. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 345(1311), 5-12.
- Harvey, B. J., & Enright, N. J. (2022). Climate change and altered fire regimes: impacts on plant populations, species, and ecosystems in both hemispheres. *Plant Ecology*, 223(7), 699-709.
- Heino, J., Mykrä, H., Hämäläinen, H., Aroviita, J., & Muotka, T. (2007). Responses of taxonomic distinctness and species diversity indices to anthropogenic impacts and natural environmental gradients in stream macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 52(9), 1846-1861.
- Hunter, M., Jr. 1996. Benchmarks for managing ecosystems: are human activities natural? *Conservation Biology*, 10(3), 695-697.
- Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (1999). Plant systematics: a phylogenetic approach. *Ecología mediterránea*, 25(2), 215

- Kaya, Z., 2003. Koruma Biyolojisi ve Biyoçeşitlilik. Orman ve Av, Sayı 2003-4, Genç Ofset Matbaacılık Ltd. Şti, Ankara, 24-34s.
- KKTC Enformasyon Dairesi, (2025). <https://pio.mfa.gov.ct.tr/cografi-bilgiler/>. Erişim: 19/04/2025.
- KKTC Meteoroloji Dairesi, (2025). <http://kkctmeteor.org/meteorolojikbilgi/kibris-iklimi>, Erişim: 22/04/2025.
- Kreft, H., Jetz, W., Mutke, J., Kier, G., & Barthlott, W. (2008). Global diversity of island floras from a macroecological perspective. *Ecology letters*, 11(2), 116-127.
- Kutoğlu, S. (2010). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Jeomorfolojik ve Uygulamalı Jeomorfolojik Etüdü, basılmamış doktora tezi.
- Lawrence, G. H. M. (2017). Taxonomy of vascular plants (pp. 823-pp).
- Leonard, D. R. P., Clarke, K. R., Somerfield, P. J., & Warwick, R. M. (2006). The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessments. *Journal of Environmental Management*, 78(1), 52-62.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae per Regna Tria Naturae* (10th ed.). Holmiae: Laurentius Salvius.
- Mace, G. M., Norris, K., & Fitter, A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in ecology & evolution*, 27(1), 19-26.
- Malcolm, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L., & Hannah, L. E. E. (2006). Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation Biology*, 20(2), 538-548.
- Marchant, R. (2007). The use of taxonomic distinctness to assess environmental disturbance of insect communities from running water. *Freshwater Biology*, 52(8), 1634-1645.
- Médail, F., & Diadema, K. (2009). Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of biogeography*, 36(7), 1333-1345.
- Medail, F., & Quezel, P. (1999). Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 13(6), 1510-1513.
- Meikle R. D., (1977). "Flora of Cyprus Volume 1", Bentham-Moxon Trust, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Meikle R. D., (1985). "Flora of Cyprus Volume 2", Bentham-Moxon Trust, Royal Botanic Gardens, Kew.

- Mori, A. S., Furukawa, T., & Sasaki, T. (2013). Response diversity determines the resilience of ecosystems to environmental change. *Biological reviews*, 88(2), 349-364.
- Naeem, S. (1998). Species redundancy and ecosystem reliability. *Conservation Biology*, 12(1), 39-45.
- Neumann, M., & Starlinger, F. (2001). The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest ecology and Management*, 145(1-2), 91-106.
- Oğuzoğlu, Ş., Sinpari, G., Özkan, K. (2013). The relationships between taxonomic diversity and some environmental factors (A case study from Yazılı Canyon Nature Park). 3rd International Geography Symposium- 9 GEOMED 2013, June 10-13, Kemer, Antalya, s. 509-518.
- Özkan, K. (2010). Orman Ekosistem Çeşitliliği Haritalama Çalışmaları İçin Ekolojik Alan Çeşitliliğinin Belirlenmesi Üzerine Bir Öneri. *Turkish Journal of Forestry*, 11(2), 136-148.
- Özkan, K. (2012). Taksonomik çeşitlilik indislerinin geleneksel çeşitlilik indisleri ile karşılaştırılması. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 107-112.
- Özkan, K. (2016) Biyolojik çeşitlilik bileşenleri ( $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ ) nasıl ölçülür. Suleyman Demirel University, Faculty of Forestry, Press No:98,142p.
- Özkan, K. (2018). Taksonomik çeşitliliğin belirlenmesi için yeni önerilen bir eşitlik. *Turkish Journal of Forestry*, 19(4), 336-346.
- Özkan, K., & Berger, U. (2014). Predicting the potential distribution of plant diversity in the Yukarıgökdere forest district of the Mediterranean region. *Polish journal of ecology*, 62(3), 441-454.
- Özkan, K., Küçüksille, E., Mert, A., Gülsoy, S., Suel, H., & Başar, M. (2020). Biyolojik çeşitlilik bileşenleri (BİÇEB) hesaplama yazılımı. *Turkish Journal of Forestry*, 21(3), 344-348.
- Pärtel, M., Szava-Kovats, R., & Zobel, M. (2011). Dark diversity: shedding light on absent species. *Trends in ecology & evolution*, 26(3), 124-128.
- Peet, R.K., 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.5, n.1, p. 285-307.
- Pielou, E.C., 1975. *Ecological Diversity*. Wiley, Newyork
- Rao, C. R. (1982). Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. *Theoretical population biology*, 21(1), 24-43.
- Ricotta, C., & Avena, G. C. (2003). An information-theoretical measure of taxonomic diversity. *Acta Biotheoretica*, 51(1), 35-41.

- Rogers, S. I., Clarke, K. R., & Reynolds, J. D. (1999). The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the North-east Atlantic. *Journal of Animal Ecology*, 68(4), 769-782.
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal, v.27, n.3, p. 379-423.
- Simpson, E.H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, v.163, n.4148, p. 688-688.
- Soteriades, C. G. ve Grivas G.C., (1970), General Soil map of Cyprus, Dept of Agriculture, Ministry of Agriculture and Natural Resources, D. Couvas and sons ltd, Limassol, Cyprus.
- Stace, C. A. (1989). Plant taxonomy and biosystematics. Cambridge University Press.
- Tsintides T, Christodoulou CS, Delipetrou P, Georgiou K (eds) (2007) The red data book of the flora of Cyprus. Cyprus Forestry Association, Lefkosia
- Tsintides, T., 1998. The Endemic Plants of Cyprus, Bank of Cyprus Group, Nicosia
- Uzun, A., Terzioğlu, S., & Palabaş Uzun, S. (2012). Orman Ekosistemlerinde Biyoçeşitliliğin Korunması ve İzlenmesi. KSÜ Doğa Bil. Der., Özel Sayı, 126-135.
- Vane-Wright, R. I., Humphries, C. J., & Williams, P. H. (1991). What to protect? Systematics and the agony of choice. *Biological Conservation*, 55(3), 235-254.
- Walker, B. (1995). Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Conservation biology*, 9(4), 747-752.
- Walker, B, Kinzig, A.P, Langridge, L., 1999. Plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. *Ecosystems*, 2:95-103.
- Warwick, R. M., & Clarke, K. R. (1995). New biodiversity measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine ecology progress series*, 129, 301-305.
- Warwick, R. M., & Clarke, K. R. (1998). Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied ecology*, 35(4), 532-543.
- Yıldız, K., Gücel, S. (2008). Morphological Investigation of Some North Cyprus Endemics. *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 2(3),85-91.



## **BÖLÜM 2**



# Doğal Antioksidan Kaynağı Olarak Yabani Meyvelerin Biyoaktif Gücü ve Sağlık Üzerindeki Etkileri

*Said Efe Dost<sup>1</sup>*

## Giriş

Canlı organizmalarda hücresel metabolik faaliyetlerin doğal bir sonucu olarak sürekli biçimde oksidasyon reaksiyonları gerçekleşmekte ve bu süreçler sırasında serbest radikaller olarak tanımlanan reaktif oksijen türleri (ROS) ortaya çıkmaktadır (Halliwell & Gutteridge, 2015). Normal fizyolojik koşullarda, bu reaktif moleküller hücresel sinyal iletiminde rol oynasa da, aşırı üretimleri durumunda oksidatif stres oluşmakta ve hücre zarları, proteinler, lipitler ve DNA üzerinde geri dönüşü olmayan hasarlara yol açabilmektedir (Lobo et al., 2010). Günümüz modern yaşam koşullarında artan çevresel kirlilik, iyonize radyasyon, stres ve dengesiz beslenme alışkanlıkları, oksidatif stres yükünü artırarak kanser, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve nörodejeneratif hastalıklar (örneğin Alzheimer) gibi birçok kronik hastalığın gelişimini tetiklemektedir (Valko et al., 2007).

Serbest radikallerin hücresel metabolizma sırasında aşırı üretimi, lipit peroksidasyonu, protein denatürasyonu ve nükleik asit hasarı gibi geri dönüşü olmayan biyomoleküler bozulmalara yol açarak oksidatif stresin temelini oluşturmaktadır. Bu süreçte, doğal antioksidan bileşikler reaktif oksijen türlerini (ROS) ve reaktif azot türlerini (RNS) etkisiz hâle getirerek hücresel redoks dengesinin korunmasında merkezi bir rol üstlenmektedir. Gıda ve ilaç endüstrisinde uzun süre yaygın olarak kullanılan sentetik antioksidanların (BHA, BHT gibi) potansiyel toksik ve karsinojenik etkilerine ilişkin artan bilimsel kanıtlar, doğal kaynaklı antioksidanlara yönelik ilgiyi belirgin biçimde artırmıştır (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Bu yönelim, özellikle fenolik bileşikler bakımından zengin olan tıbbi ve aromatik bitkiler ile yabani meyvelerin, güvenilir ve biyolojik olarak etkin antioksidan kaynakları olarak değerlendirilmesini ön plana çıkarmıştır.

Fenolik bileşikler, bitkilerde sekonder metabolitler olarak sentezlenen ve antioksidan aktivitenin temelini oluşturan geniş bir fitokimyasal grubu temsil etmektedir. Bu bileşikler başlıca flavonoidler, antosiyaninler ve proantosiyanidinler olmak üzere üç ana sınıfta incelenmektedir. Flavonoidler,

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üni. Teknik Bilimler M.Y.O  
ORCID: 0000-0003-4279-7292

serbest radikal süpürücü özellikleri ve metal şelatlama kapasiteleri sayesinde oksidatif zincir reaksiyonlarını inhibe etmekte; antiinflamatuvar, kardiyoprotektif ve antikanser etkiler göstermektedir. Antosiyaninler, özellikle meyvelere karakteristik kırmızı–mor renklerini veren suda çözünebilen pigmentler olup, güçlü antioksidan aktivitelerinin yanı sıra hücresel sinyal yollarını modüle ederek apoptoz ve hücre proliferasyonu üzerinde düzenleyici etkiler sergilemektedir. Proantosiyanidinler ise oligomerik ve polimerik yapılarıyla dikkat çeken, lipid peroksidasyonunu baskılayan ve damar endotel fonksiyonlarını iyileştirici etkileriyle bilinen önemli fenolik fraksiyonlar arasında yer almaktadır.

Sahip olduğu yüksek ekolojik çeşitlilik ve floristik zenginlik sayesinde Anadolu, bu fenolik bileşik sınıflarını yüksek konsantrasyonlarda içeren yabani meyve türleri açısından önemli bir genetik kaynak konumundadır. Alıç (*Crataegus* spp.), kızılcık (*Cornus mas* L.) ve aronya (*Aronia melanocarpa*), yüksek toplam fenolik içerikleri, zengin flavonoid ve antosiyanin profilleri ile güçlü antioksidan kapasiteleri nedeniyle “süper meyveler” olarak tanımlanmakta ve fonksiyonel gıda geliştirme, nutrasötik formülasyonlar ve koruyucu sağlık stratejileri kapsamında artan bir bilimsel ilgi odağı hâline gelmektedir (Kähkönen et al., 2001; Wu et al., 2004).

Alıç, Rosaceae familyasına ait olup özellikle kardiyovasküler sistem üzerindeki olumlu etkileriyle yüzyıllardır geleneksel tıpta kullanılmaktadır. İçeriğinde bulunan flavonoidler (epikateşin, rutin), fenolik asitler (klorojenik asit) ve oligomerik proantosiyanidinler sayesinde antihipertansif, antiaritmik ve kardiyoprotektif etkilere sahip olduğu bildirilmektedir (Chang et al., 2002; Pittler et al., 2008). Bu bileşiklerin damar elastikiyetini artırarak ateroskleroz riskini azalttığı ve kalp kası fonksiyonlarını desteklediği ifade edilmektedir.

Kızılcık (*Cornus mas* L.), yüksek askorbik asit, antosiyanin ve iridoit glikozit içeriği ile dikkat çeken önemli bir fonksiyonel meyvedir. Geleneksel halk hekimliğinde ateş düşürücü, antimikrobiyal ve sindirim sistemi düzenleyici olarak kullanılan kızılcığın, son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda antiinflamatuvar, antikanser ve metabolik sendromu iyileştirici potansiyel etkileri ortaya konmuştur (Tural & Koca, 2008; Jayaprakasam et al., 2006).

Aronya (*Aronia melanocarpa*), Kuzey Amerika kökenli olmakla birlikte, günümüzde birçok ülkede kültüre alınmış ve yüksek antioksidan kapasitesiyle dikkat çeken bir meyve türüdür. Yaban mersini ve kızılcık gibi meyvelerle karşılaştırıldığında, daha yüksek antosiyanin ve toplam fenolik madde içeriğine sahip olduğu bildirilmektedir (Kulling & Rawel, 2008). Aronya özütlerinin hücresel antioksidan savunma mekanizmalarını güçlendirdiği, DNA hasarını azalttığı ve hücre proliferasyonunu düzenleyici etkilere sahip olduğu gösterilmiştir (Sidor et al., 2019).

Bu yabancı meyvelerin biyoaktif potansiyelinden en yüksek düzeyde yararlanılabilmesi, uygun ekstraksiyon ve işleme tekniklerinin uygulanmasına bağlıdır. Ekstraksiyon sürecinde kullanılan solvent türü, sıcaklık, süre ve basınç gibi parametreler, elde edilen fenolik bileşik miktarı ve antioksidan kapasite üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Chemat et al., 2017). Elde edilen özütlerin nektar, reçel, marmelat ve fonksiyonel gıda ürünlerine dönüştürülmesi, bu değerli meyvelerin yıl boyunca tüketilmesini sağlamakta ve aynı zamanda kırsal kalkınma ile ülke ekonomisine önemli katkılar sunmaktadır.

Bu çalışmada, alıç, kızılıç ve aronyanın pomolojik ve kimyasal özellikleri, içerdiği biyoaktif bileşenlerin antioksidan ve sitotoksik etkileri ile bu bileşenlerin insan sağlığı üzerindeki koruyucu rolleri ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır. Doğal kaynaklı bu fonksiyonel bileşenlerin moleküler düzeydeki etkilerinin anlaşılması, gelecekte geliştirilecek terapötik yaklaşımlar ve fonksiyonel gıda uygulamaları için önemli bir bilimsel altyapı oluşturacaktır.

## **1. OKSİDATİF STRES VE ANTİOKSİDAN MEKANİZMALAR**

Canlı organizmalarda hücrel metabolizmanın doğal bir sonucu olarak sürekli biçimde oksidatif reaksiyonlar gerçekleşmekte ve bu süreçler sırasında serbest radikaller olarak tanımlanan reaktif moleküller oluşmaktadır. Oksijen, aerobik yaşam için vazgeçilmez olmakla birlikte, metabolik süreçler sırasında oluşan bazı reaktif oksijen türleri (Reactive Oxygen Species, ROS) ve reaktif azot türleri (Reactive Nitrogen Species, RNS) yüksek reaktiviteye sahip olmaları nedeniyle hücrel bileşenler üzerinde ciddi hasarlara yol açabilmektedir (Halliwell & Gutteridge, 2015). Organizmadaki serbest radikal üretimi ile bu molekülleri etkisiz hâle getiren antioksidan savunma sistemleri arasındaki dengenin bozulması durumunda oksidatif stres olarak tanımlanan patofizyolojik süreç ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde artan endüstriyel faaliyetler, çevre kirliliği, iyonize radyasyon, sigara dumanı, stres ve sağlıklı beslenme alışkanlıkları gibi çevresel faktörler vücuttaki serbest radikal yükünü önemli ölçüde artırmaktadır. Buna ek olarak, yaşlanma süreciyle birlikte endojen antioksidan savunma sistemlerinin etkinliğinin azalması, oksidatif stresin şiddetini daha da artırmaktadır (Valko et al., 2007). Oksidatif stresin uzun süreli etkileri; kanser, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, nörodejeneratif hastalıklar (özellikle Alzheimer ve Parkinson) ve erken yaşlanma gibi birçok kronik ve dejeneratif hastalığın gelişimiyle doğrudan ilişkilendirilmektedir (Lobo et al., 2010).

### **1.1 Serbest Radikaller ve Hücrel Hasar**

Serbest radikaller, dış yörüngelerinde bir veya daha fazla ortaklanmamış elektron bulunduran, bu nedenle kimyasal olarak son derece kararsız ve yüksek

reaktiviteye sahip atom veya moleküllerdir. Kararlı bir elektron düzenine ulaşabilmek için çevrelerindeki moleküllerden elektron çalma eğiliminde olan bu yapılar, zincirleme reaksiyonlar başlatarak hücrel yapılar zarar vermektedir (Halliwell, 2006). Biyolojik sistemlerde en yaygın bulunan serbest radikaller arasında süperoksit anyonu ( $O_2^{\bullet-}$ ), hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ), hidroksil radikali ( $OH^{\bullet}$ ) ve nitrik oksit ( $NO^{\bullet}$ ) gibi reaktif oksijen ve azot türleri yer almaktadır. Bu moleküller hücrel hasarı üç temel mekanizma üzerinden gerçekleştirmektedir:

### **Lipid Peroksidasyonu:**

Serbest radikallerin öncelikli hedefi, hücre zarlarında bulunan çoklu doymamış yağ asitleridir. Lipid peroksidasyonu sonucunda hücre zarının akışkanlığı ve bütünlüğü bozulmakta, membran geçirgenliği artmakta ve hücrel fonksiyonlar sekteye uğramaktadır. Bu sürecin biyokimyasal bir göstergesi olarak malondialdehit (MDA) düzeylerinde artış gözlenmektedir (Ayala et al., 2014).

### **Protein Hasarı:**

Serbest radikaller, proteinlerin amino asit yan zincirlerini okside ederek enzim aktivitesinin azalmasına, proteinlerin denatürasyonuna ve hücrel metabolik yolların bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum, hücre içi sinyal iletiminde aksamalara ve fonksiyonel protein kayıplarına yol açmaktadır.

### **DNA Hasarı:**

DNA'ya yönelik oksidatif saldırılar; baz modifikasyonları, tek veya çift zincir kırıkları ve kromozomal anormalliklerle sonuçlanabilmektedir. Oluşan genetik mutasyonlar, hücre döngüsünün kontrolsüz ilerlemesine ve karsinogenez riskinin artmasına neden olmaktadır (Valko et al., 2006).

## **1.2. Antioksidan Savunma Sistemleri**

Antioksidanlar, serbest radikalleri bağlayarak veya etkisiz hâle getirerek oksidatif hasarı önleyen ya da geciktiren savunma mekanizmalarıdır. Organizmanın antioksidan savunma sistemi, enzimatik ve enzimatik olmayan olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir.

### **Enzimatik Antioksidan Savunma Sistemleri:**

Bu sistemler vücut tarafından endojen olarak sentezlenmekte olup, serbest radikalleri daha az zararlı bileşiklere dönüştürmektedir. Süperoksit dismutaz (SOD), süperoksit radikalini hidrojen perokside dönüştürürken; katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPx) hidrojen peroksidi su ve oksijene parçalayarak hücreleri oksidatif hasardan korumaktadır (Birben et al., 2012).

## **Enzimatik Olmayan Antioksidan Savunma Sistemleri:**

Bu grup, büyük ölçüde beslenme yoluyla dışarıdan alınan antioksidan bileşenlerden oluşmaktadır. Vitamin C (askorbik asit) ve vitamin E ( $\alpha$ -tokoferol), serbest radikal zincir reaksiyonlarını durduran en önemli antioksidan vitaminlerdir. Bitkisel kaynaklı polifenoller ise (flavonoidler, antosiyaninler, fenolik asitler ve proantosiyandinler) güçlü serbest radikal süpürücü aktiviteleriyle dikkat çekmektedir. Örneğin; alıçta bulunan epikateşin, aronyadaki antosiyaninler ve kıvılcıkta klorojenik asit, yüksek antioksidan kapasite sergileyerek hücrel korumaya katkı sağlamaktadır (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Bunun yanı sıra melatonin, resveratrol, karotenoidler ( $\beta$ -karoten, likopen) ve bazı eser elementler (selenyum, çinko) antioksidan savunma sisteminin tamamlayıcı unsurları arasında yer almaktadır.

Antioksidanların etki mekanizması; serbest radikalleri doğrudan bağlayarak kararlı hâle getirme, zincirleme reaksiyonları baskılama, hasar görmüş biyomoleküllerin onarımını destekleme ve antioksidan enzimlerin ekspresyonunu artırma şeklinde gerçekleşmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, alıç, kıvılcık ve aronya gibi fenolik bileşikler bakımından zengin meyvelerin birlikte tüketilmesinin, tekil antioksidanlara veya sentetik bileşiklere kıyasla daha güvenli ve daha güçlü bir biyolojik etki sağladığını ortaya koymaktadır (Kähkönen et al., 2001; Wu et al., 2004).

Hücreler, sürekli çalışan ve düzenli bakıma ihtiyaç duyan karmaşık biyolojik sistemler olarak değerlendirilebilir. Bu sistemler içerisinde serbest radikaller, metabolik faaliyetler sırasında kaçınılmaz olarak oluşan ve hücrel bileşenleri aşındıran “mikroskobik hasar etmenleri” olarak düşünülebilir. Antioksidan savunma sistemleri ise bu hasarları onaran, hücrel dengeyi koruyan ve sistemin sürdürülebilirliğini sağlayan biyokimyasal bakım mekanizmalarıdır. Antioksidan desteğin yetersiz kalması durumunda oksidatif stres artmakta ve hücrel fonksiyonlar geri dönüşü olmayan şekilde bozulabilmektedir.

## **2. YABANI MEYVELERİN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ**

Anadolu'nun zengin florasında doğal olarak yetişen alıç (*Crataegus* spp.), kıvılcık (*Cornus mas* L.) ve aronya (*Aronia melanocarpa*), sahip oldukları yüksek düzeyde biyoaktif bileşen içerikleri sayesinde günümüzde fonksiyonel gıdalar ve doğal nutrasötik kaynaklar kapsamında değerlendirilmektedir (Bayram & Öztürkcan, 2022). Bu yabancı meyveler, yalnızca temel makro ve mikro besin öğeleri açısından değil; aynı zamanda hücrel düzeyde oksidatif hasarı sınırlandıran, metabolik dengeyi destekleyen ve savunma mekanizmalarını güçlendiren fitokimyasal bileşenler açısından da dikkat çekici bir potansiyele sahiptir.

Canlı hücreler, metabolik faaliyetlerini sürdüren dinamik biyolojik sistemler olarak düşünüldüğünde, bu süreçler sırasında kaçınılmaz biçimde reaktif oksijen ve azot türlerinin oluştuğu bilinmektedir. Yabani meyvelerde bulunan biyoaktif bileşenler, bu reaktif moleküllerin hücresel yapılara zarar vermesini engelleyen bir biyokimyasal bakım ve onarım ağı gibi işlev görmektedir. Bu bağlamda söz konusu meyveler, organizmaya yalnızca enerji sağlayan besinler değil; aynı zamanda hücresel düzeyde koruyucu ve düzenleyici işlevler üstlenen kompleks biyolojik sistemler olarak değerlendirilmektedir.

Bu meyvelerin kimyasal bileşimi; genetik yapı, yetiştiği ekolojik koşullar, toprak özellikleri, iklim faktörleri ve hasat olgunluğu gibi birçok değişkene bağlı olarak farklılık gösterebilmekle birlikte, genel olarak yüksek toplam fenolik madde içeriği ve güçlü antioksidan kapasite ile karakterize edilmektedir (Katar ve ark., 2017; Güzel, 2021). Fenolik bileşikler başta olmak üzere vitaminler, mineraller ve özgün fitokimyasallar, hücreleri oksidatif stres kaynaklı yıpranmaya karşı koruyan çok katmanlı bir savunma sistemi oluşturmaktadır.

## **2.1. Fenolik Bileşikler ve Antosiyaninler**

Fenolik bileşikler, bitkilerde ikincil metabolitler olarak sentezlenen ve bitkinin UV ışınımı, patojenler ve çevresel stres faktörlerine karşı korunmasında görev alan önemli fitokimyasallardır. İnsan sağlığı açısından ise bu bileşikler, serbest radikalleri doğrudan nötralize eden, zincirleme oksidatif reaksiyonları baskılayan ve hücresel sinyal yollarını düzenleyen biyolojik aktif ajanlar olarak öne çıkmaktadır (Karaaslan, 2012; Çelik & Ayrar, 2020). Fenolik bileşiklerin bu çok yönlü etkisi, hücreleri sürekli maruz kaldıkları oksidatif baskıya karşı koruyan bir moleküler savunma hattı oluşturmaktadır.

Alıç (*Crataegus* spp.), flavan-3-ol grubu bileşiklerden epikateşin ve kateşin açısından zengin olup, özellikle epikateşinin baskın olduğu bildirilmektedir (Nabavi ve ark., 2015; Çoklar & Akbulut, 2016). Bunun yanında rutin, kersetin, hiperosid ve vitexin gibi flavonoidler, alıcın antioksidan ve kardiyoprotektif etkilerinin temelini oluşturmaktadır (Yurt & Toprak, 2024). Kırmızı meyveli alıç türlerinde bulunan antosiyaninler ise, yalnızca meyve rengini belirlemekle kalmayıp, hücresel lipid peroksidasyonunu sınırlandıran önemli bileşenler olarak görev yapmaktadır (Froehlicher ve ark., 2009).

Kızılcık (*Cornus mas* L.), antosiyaninler ve fenolik asitler (gallik, kafeik ve klorojenik asit) bakımından zengin bir meyve olup, özellikle siyanidin-3-glikozit ve pelargonidin-3-glikozit içeriğiyle dikkat çekmektedir (Seeram ve ark., 2002; Tural & Koca, 2008). Bu bileşikler, hücre zarlarını oksidatif yıkıma karşı koruyarak, inflamatuvar süreçlerin baskılanmasına katkı sağlamaktadır. Kızılcığın bu etkisi, hücreyi sürekli olarak onaran ve biyokimyasal dengeyi koruyan bir doğal düzenleyici sistem gibi işlev görmesini sağlamaktadır.

Aronya (*Aronia melanocarpa*), diğer meyvelerle karşılaştırıldığında en yüksek toplam polifenol ve antosiyanin konsantrasyonuna sahip türlerden biri olarak kabul edilmektedir (Kapanoğlu, 2013; Shi ve ark., 2024). Toplam fenolik içeriğin yaklaşık %25–41’inin antosiyaninlerden oluşması ve baskın bileşen olarak siyanidin-3-galaktosidin bulunması, aronyanın üstün antioksidan kapasitesinin temel nedenlerindendir (Oszmianński & Wojdyło, 2005). Ayrıca yüksek proantosiyanidin içeriği, hücreleri oksidatif ve genotoksik hasara karşı çok katmanlı bir koruma mekanizmasıyla donatmaktadır (Sidor & Gramza-Michałowska, 2019).

## 2.2. Vitaminler ve Diğer Fitokimyasallar

Fenolik bileşiklerin yanı sıra alıç, kızılcık ve aronya; hücresel metabolizmanın sürekliliği ve savunma sistemlerinin etkinliği açısından kritik öneme sahip vitaminler, mineraller ve özgün fitokimyasal bileşenler içermektedir. Bu bileşenler, fenolik bileşiklerin oluşturduğu savunma ağını destekleyen ve hücresel fonksiyonların devamlılığını sağlayan tamamlayıcı biyolojik unsurlar olarak değerlendirilmektedir.

Kızılcığın narenciye türlerine kıyasla yaklaşık iki kat daha fazla C vitamini içermesi, onu güçlü bir antioksidan ve bağışıklık destekleyici gıda haline getirmektedir (Baykal, 2013; Menzek, 2023). Aronya ve kızılcıkta bulunan A, E, K ve B grubu vitaminler, hücresel enerji metabolizması ve redoks dengesinin korunmasında rol oynamaktadır (Pavlović ve ark., 2015). Aronyanın melatonin içeriği ise, antioksidan savunma sistemleri ile sirkadiyen ritim arasındaki etkileşim açısından önem taşımaktadır.

Mineral içerik açısından alıç; potasyum, kalsiyum, magnezyum ve demir bakımından zengin olup, bu mineraller hücresel sinyal iletimi ve enzim aktivitesi için temel kofaktörlerdir (Özcan ve ark., 2005). Kızılcık suyunun yüksek kalsiyum içeriği, kemik sağlığı ve metabolik denge açısından dikkat çekici bir özelliktir (Demir ve ark., 2003).

Organik asitler (malik ve sitrik asit) meyvelerin hem tat profili hem de biyoyararlanım özellikleri üzerinde etkili olurken; aronyada baskın olarak bulunan sorbitol, düşük kalorili bir karbonhidrat kaynağı olarak metabolik dengeyi desteklemektedir (Jurendić & Ščetar, 2021). Ayrıca kızılcıkta yüksek düzeyde bulunan iridoitler (loganik asit, morronisid) ve alıç ile kızılcıkta tespit edilen triterpenoidler (ursolik ve oleanolik asit), hücresel inflamasyonun baskılanmasında ve metabolik homeostazın korunmasında önemli roller üstlenmektedir (Kucharska ve ark., 2015; Alirezalu ve ark., 2020).

### 3. Alıç (*Crataegus* spp.)

#### 3.1. Pomolojik Özellikler

Alıç meyveleri, *Crataegus* cinsinin yüksek taksonomik çeşitliliği nedeniyle pomolojik özellikler bakımından belirgin bir varyabilite göstermektedir. Bu varyasyon, türler arası genetik farklılıkların yanı sıra ekolojik koşullar ve yetiştirme ortamı faktörleriyle de yakından ilişkilidir (Mustafa ve ark., 2024). Farklı genotipler üzerinde yürütülen çalışmalarda, meyve ağırlığının 0,96 g ile 8,0 g arasında değiştiği; meyve eninin 11,13–20,2 mm, meyve boyunun ise 10,48–25,2 mm aralığında olduğu bildirilmiştir (Okatan ve ark., 2017; Güzel, 2021).

Meyve kabuk rengi; sarımsı-yeşil, turuncu, kırmızı ve koyu mor/siyah tonlarında çeşitlenmekte olup, bu renklenmenin temelinde antosiyanin sentez düzeyleri ve flavonoid profili yer almaktadır (Nazhand ve ark., 2020). Çekirdek sayısının genellikle 1–5 adet arasında değişmesi ve çekirdek ağırlığının toplam meyve ağırlığı içerisindeki yüksek payı, alıç meyvesinin işlenebilirliğini ve tüketim şeklini doğrudan etkilemektedir (Akbulut, 2024).

Pomolojik özellikler; yalnızca genetik yapı ile değil, aynı zamanda rakım, sıcaklık rejimi, toprak tekstürü ve nem durumu gibi çevresel faktörlerle de şekillenmektedir. Bu durum, alıcın hem doğal popülasyonların korunması hem de seleksiyon ve ıslah çalışmaları açısından önemli bir genetik kaynak olmasını sağlamaktadır (Güzel, 2021).

#### 3.2. Kimyasal Bileşim

Alıç meyveleri, insan sağlığı açısından önemli makro ve mikro besin elementleri ile biyolojik olarak aktif çok sayıda bileşik içeren kompleks bir kimyasal yapıya sahiptir (Mustafa ve ark., 2024). Makro mineraller içerisinde potasyum (K) baskın olup, hücresel elektrolit dengesi ve kardiyovasküler fonksiyonlar açısından kritik öneme sahiptir. Mikro minerallerden demir (Fe) ise hemoglobin sentezi ve oksijen taşınımında rol oynamaktadır (Akbulut, 2024).

Organik asit profili incelendiğinde malik asit temel asit olarak öne çıkmakta; bunu sitrik, askorbik ve süksinik asitler izlemektedir (Yurt & Toprak, 2024). Bu asitler, meyvenin tat profilinin yanı sıra antioksidan kapasite ve mikrobiyal stabilite üzerinde de etkilidir. Şeker kompozisyonunda fruktozun (%80–86) baskın olması, alıcın tatlımsı karakterinin temel belirleyicisidir (Akbulut, 2024).

Ayrıca alıç; yüksek düzeyde C vitamini, pektin ve triterpen asitleri (ursolik ve oleanolik asit) içermekte olup, bu bileşenler meyvenin hem fonksiyonel gıda hem de farmakolojik potansiyelini artırmaktadır (Nazhand ve ark., 2020).



### **3.3. Antioksidan ve Kardiyoprotektif Etkiler**

Alıç, tarihsel olarak kardiyovasküler rahatsızlıkların tedavisinde kullanılan en eski bitkisel kaynaklardan biridir. Modern farmakolojik ve biyokimyasal çalışmalar, bu geleneksel kullanımın bilimsel temelini büyük ölçüde doğrulamaktadır (Mustafa ve ark., 2024). İçerdiği kuersetin, rutin, vitexin ve oligomerik proantosiyanidinler, damar endotelinde nitrik oksit (NO) sentezini uyarak vazodilatasyonu desteklemekte ve periferik damar direncini azaltmaktadır (Yurt & Toprak, 2024).

Bu mekanizma, kan basıncının düzenlenmesi, miyokardiyal oksijenlenmenin artırılması ve kalp kası fonksiyonlarının desteklenmesi açısından önem taşımaktadır. Alıcın yüksek antioksidan kapasitesi, lipid peroksidasyonunu baskılayarak aterosklerotik plak oluşumunu sınırlandırmakta ve kardiyovasküler dokularda oksidatif hasarı minimize etmektedir (Çoklar & Akbulut, 2016). Bu yönüyle alıç, kalp-damar sisteminin sürekliliğini sağlayan bir biyolojik düzenleyici olarak değerlendirilmektedir.

## **4. Kızılcık (Cornus mas L.)**

### **4.1. Pomolojik ve Fizikokimyasal Özellikler**

Kızılcık meyveleri genellikle 1,31–8,10 g ağırlığında, oval veya silindirik formda olup, koyu kırmızıdan bordo renge kadar değişen kabuk rengiyle karakterizedir (Selçuk & Özrenk, 2011; Yıldırım ve ark., 2017). Meyvenin düşük pH değeri (2,13–4,14) ve yüksek titre edilebilir asitliği (%0,26–4,59), kızılcığın belirgin ekşi tat profiline sahip olmasına neden olmaktadır (Tural & Koca, 2008).

Suda çözünür kuru madde (SÇKM) içeriğinin %9,0–25,26 arasında değişmesi, kızılcığın işlenmiş ürünlerde (reçel, marmelat, nektar) kullanım potansiyelini artırmaktadır (Bayoğlu, 2021). Kızılcığın narenciye türlerine kıyasla yaklaşık iki kat daha fazla C vitamini içermesi, onu güçlü bir antioksidan ve bağışıklık sistemi destekleyici gıda haline getirmektedir (Menzek, 2023).

### **4.2. Antimikrobiyal ve Antikanser Potansiyel**

Kızılcık özütlerinin *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* gibi patojen mikroorganizmalara karşı belirgin antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmektedir (Yiğit, 2018). Bu özellik, kızılcığın geleneksel tıpta enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde kullanılmasının bilimsel temelini oluşturmaktadır.

Hücre düzeyinde yapılan çalışmalar, kızılcık ekstraktlarının A-549, AGS ve MCF-7 kanser hücre hatlarında sitotoksik etki gösterdiğini ve apoptozu indüklediğini ortaya koymuştur (Uğur, 2020). Hücre canlılığının doza bağlı olarak %50'nin altına düşürülebilmesi, kızılcığın antikanser potansiyelini desteklemektedir (Beyaz ve ark., 2020). Ayrıca fenolik bileşenlerin sindirim

sürecinde yüksek biyoerişilebilirliğini koruması, bu etkilerin in vivo koşullarda da sürdürülebilir olabileceğini göstermektedir (Horasan Sağbasan, 2015).

## **5. Aronya (*Aronia melanocarpa*)**

### **5.1. Fenolik Profil ve Antioksidan Kapasite**

Aronya, fenolik bileşikler ve özellikle antosiyaninler açısından son derece zengin olması nedeniyle literatürde sıklıkla “süper meyve” olarak tanımlanmaktadır (Shi ve ark., 2024). Toplam fenolik içeriğinin %25–41’ini antosiyaninlerin oluşturması, aronyanın güçlü antioksidan kapasitesinin temel nedenidir (Çankaya, 2024).

Baskın antosiyanin olan siyanidin-3-galaktosid, aronyanın karakteristik koyu renkli görünümünün yanı sıra yüksek serbest radikal süpürme kapasitesinden sorumludur (Tokatlı & Küpcü, 2024). DPPH ve ABTS analizleri, aronyanın antioksidan etkinliğinin birçok kültür meyvesinden anlamlı derecede yüksek olduğunu göstermektedir (Özbucak & Gümüş, 2024).

### **5.2. Hücresel ve Moleküler Etkiler**

Aronya özütlerinin hücresel etkileri, seçici biyolojik aktivite göstermesi açısından dikkat çekicidir. Sağlıklı hücrelerde (L929, HaCaT) hücre canlılığını desteklerken; kolon kanseri hücrelerinde (HCT-116, HT-29) proliferasyonu baskılamaktadır (Çankaya, 2024). Ayrıca aronya uygulamasının sağlıklı hücrelerde telomer uzunluğunu artırması, hücresel yaşlanmayı geciktirici potansiyeline işaret etmektedir.

Bununla birlikte aronya, GLUT4 ekspresyonunu düzenleyerek hücre içine glukoz alımını artırmakta ve bu mekanizma üzerinden anti-diyabetik etki sergilemektedir (Ren ve ark., 2022). Bu yönüyle aronya, genetik stabilite ve metabolik dengeyi koruyan yüksek düzeyde entegre bir biyolojik savunma sistemi olarak değerlendirilmektedir.

## **6. EKSTRAKSİYON VE İŞLEME TEKNİKLERİ**

Bitkisel materyallerden biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu; fonksiyonel gıdalar, besinsel destek ürünleri, nutrasötikler, farmasötikler ve kozmetik formülasyonların geliştirilmesinde kritik bir basamak olarak kabul edilmektedir. Ekstraksiyon işlemi, hedeflenen fenolikler, flavonoidler, antosiyaninler ve diğer sekonder metabolitlerin bitki matrisi içerisinde ayrıştırılarak çözücü fazına aktarılmasını amaçlar. Bu sürecin etkinliği; kullanılan çözücünün polaritesi, materyalin partikül boyutu, ekstraksiyon süresi, sıcaklık, basınç ve ortam atmosferi gibi çok sayıda parametre tarafından belirlenmektedir (Chemat et al., 2017; Azmir et al., 2013).

Geleneksel yöntemlerde yüksek çözücü tüketimi ve uzun işlem süreleri yaygınken, son yıllarda geliştirilen yenilikçi ve “yeşil” ekstraksiyon teknolojileri; daha düşük çevresel etki, daha kısa işlem süresi ve biyoaktif bileşenlerin daha iyi korunması gibi avantajlar sunmaktadır.

### **6.1. Konvansiyonel Ekstraksiyon Yöntemleri**

Konvansiyonel ekstraksiyon teknikleri; maserasyon (bekletme), geri soğutma altında kaynatma (reflü ekstraksiyon) ve Soxhlet ekstraksiyonu gibi yöntemleri kapsamaktadır. Bu yöntemlerde genellikle su, metanol, etanol, aseton ve etil asetat gibi çözücüler ya da bunların belirli oranlardaki ikili veya üçlü karışımları kullanılmaktadır. Çözücü seçimi, hedef bileşiklerin kimyasal yapısına ve polaritesine bağlı olarak ekstraksiyon verimini doğrudan etkilemektedir (Dai & Mumper, 2010).

#### **Çözücü Seçimi ve Optimizasyonu**

Çözücü optimizasyonu, fenolik bileşiklerin maksimum geri kazanımı açısından kritik öneme sahiptir. Alıç (*Crataegus orientalis*) üzerine yapılan çalışmalar, yalnızca su veya saf organik çözücülerin tek başına kullanımının sınırlı verim sağladığını; buna karşılık metanol:su (1:1, v/v) karışımının toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite bakımından en yüksek sonuçları verdiğini ortaya koymuştur (Güzel, 2021). Bu durum, suyun hücre duvarını şişirici etkisi ile metanolün fenolik bileşenleri çözme kapasitesinin sinerjik etkileşimiyle açıklanmaktadır.

Benzer şekilde, kızılcık (*Cornus mas L.*) ekstraksiyonunda çözücüye %0,1 (v/v) Hidrojen Klorür (HCl) ilavesinin, özellikle antosiyaninler gibi pH-duyarlı fenolik bileşiklerin stabilitesini artırarak çözünürlüklerini ve ekstraksiyon verimini anlamlı derecede yükselttiği bildirilmiştir (Uğur, 2020). Asidik ortam, antosiyaninlerin flavylum katyon formunda kalmasını sağlayarak degradasyonu sınırlandırmaktadır.

#### **Isıl İşlem ve Proses Etkileri**

Geleneksel gıda işleme uygulamalarından biri olan açık kazanda pişirme, marmelat ve reçel üretiminde yaygın olarak kullanılmakta olup mikrobiyolojik güvenliği sağlasa da biyoaktif bileşikler üzerinde ciddi kayıplara yol açabilmektedir. Yapılan araştırmalar, bu yüksek sıcaklık uygulamalarının antosiyanin içeriğinde %79,75 ile %96,60 arasında değişen oranlarda degradasyona neden olduğunu göstermektedir (Patras et al., 2010).

Ayrıca, uzun süreli ve yüksek sıcaklıkta uygulanan ısıl işlemler, Maillard reaksiyonları ve şekerlerin parçalanması sonucunda Hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumunu teşvik etmektedir. HMF, hem kalite düşürücü bir gösterge

hem de potansiyel sağlık riski taşıyan bir bileşik olarak değerlendirilmektedir (Capuano & Fogliano, 2011)

## **6.2. Yenilikçi ve Yeşil Ekstraksiyon Teknolojileri**

Artan çevresel kaygılar ve sürdürülebilir üretim hedefleri doğrultusunda, gıda ve biyoteknoloji endüstrisi daha az çözücü kullanan, enerji verimliliği yüksek ve biyoaktif bileşenleri koruyan yenilikçi ekstraksiyon tekniklerine yönelmiştir.

### **Ultrases Destekli Ekstraksiyon (UAE) ve Termosonikasyon**

Ultrases destekli ekstraksiyon (UAE), sıvı ortamda kavitasyon etkisi oluşturarak bitki hücre duvarlarının mekanik olarak parçalanmasını ve çözücünün hücre içi bileşenlere daha etkin şekilde ulaşmasını sağlamaktadır. Termosonikasyon, ultrasesin kontrollü ısı ile birlikte uygulanması esasına dayanır.

Güzel (2021), alıç meyvelerinde termosonikasyon uygulamasının yalnızca 35 dakika gibi kısa bir sürede yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite sağladığını rapor etmiştir. Kızılılık posasında gerçekleştirilen ultrases uygulamalarının ise antioksidan kapasitede %188'e varan artışlar oluşturduğu bildirilmektedir (Uğur, 2020).

### **Basınçlı Sıvı Ekstraksiyonu (PLE / ASE)**

Basınçlı Sıvı Ekstraksiyonu (PLE), Hızlandırılmış Solvent Ekstraksiyonu (ASE) olarak da bilinmekte olup çözücülerin kaynama noktalarının üzerindeki sıcaklıklarda, yüksek basınç altında sıvı fazda tutulması prensibine dayanmaktadır. Bu sayede viskozite azalmakta ve difüzyon hızlanmaktadır.

Uğur (2020), 27 farklı kızılılık genotipi üzerinde yürüttüğü çalışmada PLE için optimum koşulları 1500 psi basınç, 25°C sıcaklık ve 60 dakika olarak belirlemiştir. Yöntemin inert azot (N<sub>2</sub>) atmosferinde uygulanması, fenolik bileşiklerin oksidatif bozunmasını minimuma indirmektedir.

### **Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon (MAE)**

Mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE), bitkisel dokuları içeriden ısıtarak hücre içi basıncın artmasına ve hücre duvarlarının hızlı bir şekilde parçalanmasına olanak tanır. Maserasyon ile karşılaştırıldığında MAE, kızılılık antosiyaninlerinin geri kazanımında hem daha yüksek verim hem de daha kısa işlem süresi sunmaktadır (Dahmoune et al., 2015).

### **Sinerjik Uygulamalar (UV-SÖD)**

Ultraviyole (UV) ışınları ve ses ötesi dalga (SÖD) uygulamalarının eş zamanlı veya ardışık kullanımı, bitkilerde stres yanıtını tetikleyerek fenolik bileşik sentezini artırmaktadır. Kızılılıkta gerçekleştirilen eş zamanlı UV-SÖD

uygulamasının, antioksidan aktivitede %388 gibi olağanüstü bir artış sağladığı bildirilmektedir (Uğur, 2020).

### **Bitki Rejenerasyonu (In Vitro Çoğaltım)**

Ticari değeri yüksek meyve türlerinin sürdürülebilir üretimi için in vitro mikroçoğaltım teknikleri önemli bir alternatif sunmaktadır. Viking aronya çeşidi üzerinde yapılan çalışmalarda, farklı sitokinin türevlerinin (meta-Topolin, Benziladenin) kullanımıyla genetik olarak stabil ve hızlı çoğaltım sağlayan protokoller geliştirilmiştir. Nas ve ark. (2025), bu yöntemlerin aronyada hem verim hem de kalite sürekliliği açısından etkili olduğunu rapor etmiştir.

## **7. FONKSİYONEL GIDA VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR**

Yabani meyveler; yüksek fenolik bileşik, flavonoid, antosiyanin ve askorbik asit içerikleri sayesinde yalnızca temel beslenme gereksinimlerini karşılayan gıdalar olmaktan çıkmış, hastalık riskini azaltıcı ve fizyolojik fonksiyonları destekleyici özellikleriyle fonksiyonel gıdaların temel hammaddeleri arasında yer almıştır. Fonksiyonel gıdalar, yalnızca besin değeri sunmakla kalmayıp, bilimsel olarak kanıtlanmış sağlık yararları sağlayan ürünler olarak tanımlanmaktadır (Granato et al., 2020).

Son yıllarda sentetik antioksidanların (bütillenmiş hidroksitoluen—BHT ve bütillenmiş hidroksianisol—BHA gibi) potansiyel toksik ve karsinojenik etkilerine ilişkin artan bilimsel bulgular, gıda endüstrisini doğal antioksidan kaynaklarına yöneltmiştir (Shahidi & Zhong, 2015). Bu bağlamda alıç, kızcık ve aronya gibi polifenol bakımından zengin “süper meyveler”, hem fonksiyonel gıda formülasyonlarında hem de endüstriyel uygulamalarda yüksek katma değerli bileşenler olarak öne çıkmaktadır.

### **7.1. Fonksiyonel İçecek Teknolojisi ve Nektarlar**

Fonksiyonel içecek sektörü, biyoaktif bileşenlerin tüketiciye en hızlı ve etkin biçimde ulaştırılabildiği alanlardan biridir. Meyve suları, nektarlar ve fermente içecekler, bu meyvelerin endüstriyel kullanımında öncelikli ürün gruplarını oluşturmaktadır.

Aronya, yoğun burukluk ve yüksek tanen içeriği nedeniyle taze tüketimden ziyade nektar, şarap, şurup ve fonksiyonel meyve suyu üretiminde değerlendirilmektedir. Yüksek antosiyanin konsantrasyonu sayesinde bu ürünlere doğal ve stabil bir renk kazandırmakta; aynı zamanda güçlü antioksidan kapasite sunmaktadır (Kulling & Rawel, 2008). Aronya bazlı içeceklerin düzenli tüketiminin oksidatif stres belirteçlerini azalttığı ve vasküler fonksiyonları iyileştirdiği bildirilmiştir (Denev et al., 2012).

Kızılılık, geleneksel olarak komposto ve şerbet üretiminde kullanılsa da modern gıda teknolojilerinde elma suyu konsantresi veya ıhlamur, adaçayı gibi bitkisel infüzyonlarla harmanlanarak biyoerişilebilirliği artırılmış fonksiyonel nektarlara dönüştürülmektedir. Bu tür formülasyonlar, hem duyuşal kabulü iyileştirmekte hem de fenolik bileşiklerin sindirim sistemindeki stabilitesini artırmaktadır (Pawlowska et al., 2019).

Alıç, özellikle çay ve sirke formunda değerdendirilmekte; alıç sirketi, Anadolu'da geleneksel bilgi birikimiyle üretilen ve yüksek fenolik içeriğı nedeniyle fonksiyonel bir içecek olarak kabul edilen ürünler arasında yer almaktadır. Alıç bazlı içeceklerin kardiyovasküler sistem üzerinde olumlu etkiler gösterdiği bildirilmektedir (Chang et al., 2006).

## **7.2. Unlu Mamuller ve Şekerleme Endüstrisi**

Yabancı meyvelerin unlu mamul ve şekerleme ürünlerine entegrasyonu, bu ürünlerin yalnızca besinsel değeri değıl, aynı zamanda fonksiyonel ve duyuşal özelliklerini de iyileştirmektedir.

Kızılılık, ekstrakt veya püre formunda muffin ve kek formülasyonlarına eklendiğinde toplam fenolik madde miktarını ve antioksidan kapasiteyi anlamlı düzeyde artırmaktadır. Ayrıca lokum üretiminde doğal bir renklendirici olarak kullanılarak sentetik boyaların yerini almakta ve "temiz etiketli" ürün geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Karaaslan et al., 2014).

Aronya, meyveli ekmekler, kekler, çörekler ve puding gibi tatlı ürünlerde fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılmakta; lif, polifenol ve mineral içeriğı sayesinde ürünlerin besinsel profilini güçlendirmektedir. Aronya ilavesinin, ürünlerin glisemik indeksini düşürücü etki gösterebildiğı rapor edilmiştir (Sidor & Gramza-Michałowska, 2019).

Alıç, marmelat ve reçel üretiminde geleneksel olarak kullanılan, ancak endüstriyel ölçekte de stabilitesini koruyan bir hammadde olarak öne çıkmaktadır. Bu ürünler, alıcın biyoaktif bileşenlerinden yıl boyunca yararlanılmasını sağlayan en yaygın muhafaza yöntemleri arasında yer almaktadır.

## **7.3. Süt ve Et Ürünlerinde Koruyucu ve Zenginleştirici Kullanım**

Meyve ekstraktlarının süt ve et ürünlerinde kullanımı, fonksiyonel zenginleştirmenin yanı sıra doğal koruyucu etki sağlamaktadır. Fenolik bileşikler, antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri sayesinde raf ömrünü uzatabilmektedir.

Kızılılık ve karadut gibi meyveler, yoğırt ve fermente süt ürünlerine ilave edilerek antioksidan kapasitesi artırılmış meyveli yoğırt üretiminde başarıyla

uygulanmaktadır. Bu uygulamalar, probiyotik mikroorganizmaların canlılığını destekleyerek ürünün fonksiyonel değerini daha da artırmaktadır (Mousavi et al., 2011).

Et endüstrisinde ise alıç ve kızılıç ekstrelerinin sucuk, salam ve benzeri fermente ürünlere eklenmesi, lipid oksidasyonunu baskılayarak renk stabilitesini korumakta ve ürünün raf ömrünü sentetik katkı maddelerine ihtiyaç duymadan uzatmaktadır (Lorenzo et al., 2018).

#### **7.4. Nutrasötik ve Farmasötik Uygulamalar**

Yabani meyvelerin yüksek polifenol içeriği, bu türleri nutrasötik ve farmasötik ürünler için ideal hammaddeler haline getirmiştir. Fonksiyonel gıdalar ile ilaçlar arasındaki ara gruba temsil eden nutrasötikler, belirli fizyolojik fonksiyonları desteklemek amacıyla geliştirilmektedir.

Alıç, özellikle kardiyovasküler sağlığı destekleyici flavonoidler ve proantosiyanidinler açısından zengin olup, tablet ve kapsül formunda gıda takviyesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Klinik çalışmalar, alıç ekstraktlarının kan basıncını düzenleyici ve kalp fonksiyonlarını destekleyici etkiler gösterebildiğini ortaya koymuştur (Pittler et al., 2008).

Aronya, antiobezite, antidiyabetik ve antiinflamatuvar etkileri nedeniyle metabolik sendromla ilişkili komplikasyonların azaltılmasında potansiyel bir nutrasötik olarak değerlendirilmektedir. Özellikle Japonya ve Güney Kore’de, aronya bazlı takviye ürünlerinin önemli bir pazar payına ulaştığı bildirilmektedir (Kokotkiewicz et al., 2010).

### **8. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLER**

Bu derleme çalışması, alıç, kızılıç ve aronya gibi yabani meyvelerin; sentetik antioksidanlara alternatif olabilecek doğal, güvenilir ve sürdürülebilir biyoaktif kaynaklar olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, bu meyvelerin yalnızca temel besin öğeleri açısından değil, aynı zamanda kronik hastalıkların önlenmesi ve fizyolojik homeostazın sürdürülmesinde kritik rol oynayan fenolik asitler, flavonoidler, antosiyaninler, iridoitler ve proantosiyanidinler gibi sekonder metabolitler bakımından da olağanüstü bir kimyasal çeşitliliğe sahip olduğunu göstermektedir (Bayram & Öztürkcan, 2022; Tüysüz ve ark., 2021; Shahidi et al., 2024).

Alıç türleri, özellikle kardiyovasküler sistem üzerindeki koruyucu etkileriyle öne çıkmakta; epikateşin, klorojenik asit ve oligomerik proantosiyanidinler aracılığıyla endotel fonksiyonlarını iyileştirme, vazodilatasyonu artırma ve antihipertansif etki gösterme potansiyeline sahiptir. Bu biyokimyasal etkiler, alıcın geleneksel halk hekimliğindeki kullanımını modern farmakoloji ve klinik

beslenme bilimiyle destekler niteliktedir (Mustafa ve ark., 2024; Yurt & Toprak, 2024; Pittler & Ernst, 2008).

Kızılcık, narenciye türlerine kıyasla daha yüksek askorbik asit içeriği ve özgün iridoit glikozitleri sayesinde yalnızca güçlü bir antioksidan değil, aynı zamanda antimikrobiyal ve antikanser potansiyele sahip fonksiyonel bir gıda hammaddesi olarak değerlendirilmektedir. Son çalışmalar, kıızılcık ekstraktlarının çoklu antibiyotik direnç mekanizmalarını baskılayabildiğini ve belirli kanser hücre hatlarında sitotoksik etki gösterebildiğini ortaya koymaktadır (Menzek, 2023; Uğur, 2020; Pawlowska et al., 2022).

Aronya ise, bilinen meyveler arasında en yüksek antosiyanin konsantrasyonuna ve toplam antioksidan kapasiteye sahip türlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle siyanidin türevleri aracılığıyla oksidatif stresin baskılanması, inflamasyonun azaltılması, glukoz ve lipid metabolizmasının düzenlenmesi gibi çoklu biyolojik etkilere sahiptir. Güncel moleküler çalışmalar, aronya ekstraktlarının hücresel yaşlanma süreçlerini yavaşlatabildiğini, mitokondriyal fonksiyonları desteklediğini ve metabolik sendrom bileşenleri üzerinde düzenleyici etki gösterebildiğini bildirmektedir (Çankaya, 2024; Shi et al., 2024; Denev et al., 2023).

Ekstraksiyon ve işleme teknolojilerindeki ilerlemeler, bu meyvelerin biyolojik potansiyelinin korunması ve artırılmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Basınçlı sıvı ekstraksiyonu (PLE), ultrason ve mikrodalga destekli sistemler; daha kısa sürede, daha az çözücü kullanımıyla ve oksidatif kayıpları minimize ederek yüksek verimli ekstraktlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Uğur, 2020; Güzel, 2021; Chemat et al., 2017). Bunun yanı sıra, UV ışını ve ses ötesi dalga gibi abiyotik elisitörlerin kullanımı, bitkisel dokularda fenilpropanoid yollarını aktive ederek antioksidan üretimini %300'ün üzerinde artırabilmekte ve fonksiyonel gıda üretiminde yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır (Baykal, 2013; Rouphael et al., 2023).

### **Gelecek Perspektifleri**

Bu alandaki bilimsel ve endüstriyel ilerlemenin sürdürülebilir biçimde devam edebilmesi için aşağıdaki başlıklar öncelikli araştırma alanları olarak öne çıkmaktadır:

### **Moleküler ve Hücresel Mekanizmalar:**

Aronya ve kıızılcık ekstraktlarının telomer uzunluğu, epigenetik düzenleme, apoptotik ve otofajik sinyal yolları üzerindeki etkilerinin, çok merkezli ve geniş örneklemli çalışmalarla detaylandırılması gerekmektedir (Çankaya, 2024; Shi et al., 2024).



### **Sürdürülebilir ve Standartlaştırılmış Üretim:**

Ticari değeri yüksek aronya ve alıç çeşitlerinde, in vitro mikroçoğaltım ve biyoteknolojik rejenerasyon protokollerinin yaygınlaştırılması; hammadde sürekliliği, genetik stabilite ve kalite standardizasyonu açısından kritik öneme sahiptir (Nas ve ark., 2025; Georgiev et al., 2022).

### **Klinik Çalışmalar ve Regülasyon:**

İn vitro ve in vivo düzeyde elde edilen antioksidan, antienflamatuvar ve sitotoksik bulguların; insanlarda güvenli ve etkin doz aralıklarını belirleyen randomize klinik çalışmalarla desteklenmesi ve bu verilerin gıda takviyesi ve fonksiyonel gıda mevzuatlarına entegre edilmesi gerekmektedir (Mustafa ve ark., 2024; EFSA, 2023).

### **Katma Değerli Ürün Geliştirme:**

Bu meyvelerin biyoerişilebilirliği artırılmış fonksiyonel içecekler, kapsül ve tablet formunda nutrasötikler, doğal koruyucu ve renklendirici ajanlar olarak gıda ve ilaç sanayisine entegrasyonu teşvik edilmelidir (Durgut ve ark., 2022; Tokatlı & Küpcü, 2024; Granato et al., 2020).

## KAYNAKLAR

- Akbulut, M. (2024). Alıç meyvelerinin pomolojik ve kimyasal özellikleri. Akademik Yayıncılık.
- Alirezalu, A., Ahmadi, N., Salehi, P., Sonboli, A., Alizadeh, M., & Khodaparast, M. H. H. (2020). Chemical composition and bioactive compounds of *Crataegus* species. *Food Chemistry*, 317, 126397. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126397>
- Ayala, A., Muñoz, M. F., & Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: Production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014, 360438. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Baykal, A. (2013). Bitkilerde abiyotik stres ve fenolik bileşikler. Nobel Yayıncılık.
- Bayram, M., & Öztürkcan, S. A. (2022). Yabani meyvelerin fonksiyonel gıda potansiyeli. *Meyve Bilimi Dergisi*, 9(2), 85–98.
- Bayoğlu, E. (2021). Kızılcık meyvesinin fizikokimyasal özellikleri. *Gıda*, 46(3), 567–576.
- Beyaz, A., Yiğit, D., & Uğur, A. (2020). Cytotoxic effects of *Cornus mas* extracts on cancer cell lines. *Journal of Food Biochemistry*, 44(10), e13411. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13411>
- Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, 5(1), 9–19. <https://doi.org/10.1097/WOX.0b013e3182439613>
- Capuano, E., & Fogliano, V. (2011). Acrylamide and HMF: A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT – Food Science and Technology*, 44(4), 793–810. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.002>
- Chang, Q., Zuo, Z., Harrison, F., & Chow, M. S. S. (2002). Hawthorn. *Journal of Clinical Pharmacology*, 42(6), 605–612. <https://doi.org/10.1177/009127002401102954>
- Chang, Q., Zuo, Z., Harrison, F., & Chow, M. S. S. (2006). Pharmacokinetics of hawthorn flavonoids. *Journal of Clinical Pharmacology*, 46(8), 972–980.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural

- products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Çankaya, S. (2024). Aronya ekstraktlarının hücresel ve moleküler etkileri. Doktora Tezi, Türkiye.
- Çelik, A., & Ayran, İ. (2020). Fenolik bileşiklerin biyolojik etkileri. *Gıda Bilimi ve Teknolojisi*, 14(1), 23–35.
- Çoklar, H., & Akbulut, M. (2016). Phenolic composition and antioxidant activity of hawthorn fruits. *Food Chemistry*, 195, 69–75.
- Dahmoune, F., Nayak, B., Moussi, K., Remini, H., & Madani, K. (2015). Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Citrus sinensis* peels. *Food Chemistry*, 166, 585–595.
- Demir, F., Doğan, H., Özcan, M., & Haciseferoğulları, H. (2003). Nutritional properties of cornelian cherry. *Journal of Food Engineering*, 60(3), 335–341.
- Denev, P., Kratchanova, M., Ciz, M., Lojek, A., & Kratchanov, C. (2012). Antioxidant activity of black chokeberry. *Food Chemistry*, 135(2), 560–567.
- Denev, P., Kratchanova, M., & Kratchanov, C. (2023). Polyphenols and antioxidant properties of berries. *Antioxidants*, 12(2), 356.
- Durgut, S., Yılmaz, M., & Karaaslan, M. (2022). Fonksiyonel meyve bazlı ürünler. *Gıda Endüstrisi*, 29(4), 45–58.
- EFSA. (2023). Safety assessment of botanical preparations. *EFSA Journal*, 21(3), e07845.
- Georgiev, V., Weber, J., Kneschke, E. M., Denev, P., Bley, T., & Pavlov, A. (2022). Antioxidant activity and phenolic content of Bulgarian wild berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(6), 1486–1494.
- Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., & Cruz, A. G. (2020). Putative health benefits of functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 94, 146–159.
- Güzel, E. (2021). Alıç ve kızılcıkta ekstraksiyon tekniklerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Türkiye.
- Halliwell, B. (2006). Oxidative stress and neurodegeneration. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(7), 497–508.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). *Free radicals in biology and medicine* (5th ed.). Oxford University Press.
- Jayaprakasam, B., Olson, L. K., Schutzki, R. E., Tai, M. H., & Nair, M. G. (2006). Amelioration of obesity and glucose intolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(1), 243–248.

- Jurendić, T., & Ščetar, M. (2021). Sorbitol and organic acids in berries. *Foods*, 10(6), 1241.
- Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J. P., Pihlaja, K., Kujala, T. S., & Heinonen, M. (2001). Antioxidant activity of plant extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 4076–4082.
- Kapanoğlu, E. (2013). Aronya ve fenolik bileşikleri. Akademik Yayıncılık.
- Karaaslan, M., Özden, M., Vardin, H., & Turkoglu, H. (2014). Phenolic fortification of bakery products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(5), 1924–1932.
- Kokotkiewicz, A., Jaremicz, Z., & Luczkiewicz, M. (2010). Aronia plants. *Journal of Medicinal Food*, 13(2), 255–269.
- Kulling, S. E., & Rawel, H. M. (2008). Chokeberry (*Aronia melanocarpa*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(3), 187–195.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118–126.
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., & Domínguez, R. (2018). Natural antioxidants in meat products. *Meat Science*, 146, 104–112.
- Menzek, A. (2023). Kızılılık ve biyolojik etkileri. Nobel Akademik.
- Mustafa, A., Yurt, B., & Toprak, M. (2024). *Crataegus* species and cardiovascular health. *Phytotherapy Research*, 38(1), 45–62.
- Nas, M., Akbulut, M., & Güzel, E. (2025). In vitro propagation of Viking aronia. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 150(2), 345–356.
- Oszmiański, J., & Wojdyło, A. (2005). Aronia phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7980–7986.
- Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanins. *Trends in Food Science & Technology*, 21(1), 3–11.
- Pittler, M. H., & Ernst, E. (2008). Hawthorn extract for treating chronic heart failure. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2008(1), CD005312.
- Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S., & Colla, G. (2023). Biostimulants and elicitors in agriculture. *Trends in Plant Science*, 28(3), 308–320.
- Seeram, N. P., Schutzki, R., Chandra, A., & Nair, M. G. (2002). Characterization of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(9), 2518–2523.

- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781.
- Shi, Y., Ren, Z., & Zhang, Y. (2024). Anthocyanins and metabolic syndrome. *Nutrients*, 16(2), 233.
- Sidor, A., & Gramza-Michałowska, A. (2019). Black chokeberry. *Nutrients*, 11(1), 38.
- Tokatlı, K., & Küpcü, S. (2024). Aronya bazlı fonksiyonel ürünler. *Gıda Teknolojileri*, 18(2), 112–126.
- Tural, S., & Koca, İ. (2008). Cornelian cherry. *Food Chemistry*, 107(3), 1196–1202.
- Uğur, A. (2020). Kızılçık ekstraktlarının biyolojik etkileri. Doktora Tezi, Türkiye.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T. D., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44–84.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., & Prior, R. L. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 4026–4037.
- Yurt, B., & Toprak, M. (2024). Cardioprotective effects of hawthorn. *Journal of Herbal Medicine*, 40, 100684.



## **BÖLÜM 3**

# Tarla Tarımında Yeşil Gübrelemenin Önemi

*Derya Güloğlu<sup>1</sup>*

## GİRİŞ

Yeşil gübreleme, tarla tarımında sürdürülebilir tarım sistemlerinin en önemli temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Sentetik kimyasal gübre uygulamalarının çevresel maliyetleri ve toprak verimliliği üzerindeki sınırlayıcı etkileri, organik ve biyolojik gübrelemenin önemini artırmıştır. Yeşil gübreleme; bitkisel kaynaklı organik materyalin özellikle baklagiller ve diğer yeşil gübre bitkilerinin yetiştirilip, uygun gelişme döneminde sürülüp toprağa karıştırılarak, toprağa organik madde, besin elementleri ve yararlı mikroorganizma sağlama yöntemi olarak tanımlanır. Bu yaklaşım hem toprak özelliklerinin iyileştirilmesi hem de tarımsal üretim sistemlerinin çevresel sürdürülebilirliğinin artırılması açısından kritik bir öneme sahiptir (Shi ve ark., 2025).

Toprak organik karbon (SOC) ve toplam bitki besin elementleri üzerine yeşil gübrelemenin etkileri, son yıllarda gerçekleştirilen meta-analizler ve saha deneyleri ile daha net bir şekilde ortaya konmuştur. Örneğin, Çin’de yapılan bir çalışma, yeşil gübre bitkisi yetiştirilen topraklarda organik karbon içeriğinin dikkate değer miktarlarda arttığını ve bu artışın toprakta hem bitki besin elementleri çevrimini iyileştirdiğini hem de yetiştirilecek sonraki ürünün verimine olumlu etki sağladığını göstermiştir (Shi et al., 2025).

Yeşil gübrelemenin tarımsal üretime olan olumlu etkileri yalnızca karbon birikimi ile sınırlı değildir. Yeşil gübre bitkileri ile yapılan ürün rotasyonları toprağın biyokimyasal aktivitesine ve yararlı mikroorganizma faaliyetlerine de katkı sağlamaktadır. Yeşil gübre–ürün rotasyonlarında karbon ve azot döngüsüne ilişkin enzim aktiviteleri belirgin şekilde artmakta; bu da toprak sağlığının bütünsel olarak iyileşmesine katkı sağlamaktadır.

Ayrıca yeşil gübre uygulamaları; toprak pH’sını düzenleme, toprağın su tutma kapasitesini ve agregat stabilitesini artırma gibi fiziksel özellikleri üzerinde de olumlu etkiler göstermektedir. Bu tür yapısal iyileşmeler, özellikle kurak ve yarı-kurak tarım alanlarında sürdürülebilir verimi destekleyen önemli faktörlerdir (Li et al, 2024).

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Atabey Meslek Yüksekokulu  
0000-0002-1839-8710

Yeşil gübre bitkilerinin farklı tür ve çeşitleri, toprak besin döngülerine ve ekolojik yapıya çok çeşitli yararlar sağlar. Yeşil gübrelemede kullanılan özellikle baklagil bitkisi türleri, atmosfer azotunu toprağa kazandırma özelliği ile kimyasal azotlu gübre ihtiyacını azaltma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, farklı bitki türleri ve yetiştirme stratejileri toprağın organik madde içeriği ve faydalı mikroorganizma toplulukları üzerinde farklı etkiler gösterir, bu da yeşil gübreleme stratejisinin bitki seçimine göre optimize edilmesinin önemini vurgular (LI et al., 2025).

Son yıllarda yeşil gübre uygulamalarının sentetik gübre kullanımının azaltılmasıyla birlikte entegre edildiğinde tarımsal verim ve toprak kalitesine olan etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar yeşil gübrelerin gübre kullanımında azalma sağlamasıyla hem ürün verimini koruyabildiğini hem de toprak besin elementlerini iyileştirebildiğini ortaya koymuştur (Zhang et al., 2025). Bu bulgular, sürdürülebilir tarım stratejilerinde yeşil gübrelemenin yalnızca çevresel etkileri hafiflettiğini değil, aynı zamanda ekonomik ve üretim odaklı hedeflere de katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Özetle, yeşil gübreleme tarla tarımında toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmede çok katmanlı bir etkiye sahiptir. Bu yöntem, organik karbon artışı, mikrobiyal aktivitenin teşviki, azot döngüsünün optimize edilmesi ve kimyasal gübre kullanımının azaltılması gibi avantajlar sunarak sürdürülebilir tarımsal üretim sistemlerine oldukça önemli katkılar sağlar. Yapılan çalışmalar, yeşil gübrelemenin toprak sağlığı ve verimlilik üzerinde olumlu etkilerini belgelemek; bu da yeşil gübrelemenin modern tarımda uygulanabilir ve bilimsel olarak desteklenen bir strateji olduğunu göstermektedir.

## **1. YEŞİL GÜBRELEMENİN TARİHSEL GELİŞİMİ**

Yeşil gübreleme, bitkisel üretim sistemlerinde insanlık tarihi kadar eski bir uygulamadır. Modern anlamda sürdürülebilir tarım stratejilerinin öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir. Antik Yunan ve Roma dönemlerine ait yazıtlarda, baklagil bitkilerinin toprak verimliliğini artırmak amacıyla toprağa karıştırıldığına dair bilgiler yer almaktadır (Saini et al., 2019). Çin tarım tarihinde, MÖ 1000’li yıllarda baklagil bitkilerinin tarım alanlarına ekilerek toprağın verimliliğinin artırıldığına dair kayıtlar bulunmaktadır. Özellikle *Astragalus sinicus* gibi baklagil türlerinin pirinç tarımında yeşil gübre olarak kullanıldığı bilinmektedir (Giller, 2001).

Romalılar döneminde ise tarım araştırmacıları bazı baklagil bitkilerinin toprağa karıştırılmasının tahıl verimini artırdığını belirtmişlerdir. Bu dönemde yeşil



gübreleme, nadas uygulamasının bir alternatifi olarak uygulanmış ve toprağın yeniden canlandırılması amacıyla kullanılmıştır (López-Bellido et al., 2010).

Yeşil gübrelemenin bilimsel gelişimi, 18. ve 19. yüzyıllarda tarımın gelişmesiyle hız kazanmıştır. 19. yüzyılın sonlarına doğru ise, baklagillerin atmosferik azotu toprağa bağlayabildiğinin keşfi, yeşil gübreleme açısından bir dönüm noktası olmuştur (Peoples et al., 2009).

20. yüzyılın ilk yarısına kadar yeşil gübreleme yöntemi, özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika’da hayvansal gübrelerle birlikte topraklar için temel besin kaynağı olarak kullanılmıştır. Ancak sentetik azot içerikli gübrelerin kısa sürede yüksek verim sağlaması, organik ve biyolojik temelli uygulamaların geri planda kalmasına neden olmuştur (Drinkwater & Snapp, 2007). Buna karşın, yoğun kimyasal gübre kullanımının toprağın organik maddesini azaltması, toprak yapısının ve dokusunun bozulması ve çevresel kirlilik sorunlarının artması, yeşil gübreleme uygulamalarına olan ilgiyi yeniden artırmıştır (Ma et al., 2021). Son 10 yıl içerisinde yapılan meta-analizler ve uzun süreli arazi denemeleri, yeşil gübrelemenin yalnızca geleneksel bir uygulama olmadığını, aynı zamanda bilimsel olarak etkinliği kanıtlanmış modern bir tarımsal yönetim aracı olduğunu ortaya koymuştur (Shi et al., 2025).

Ülkemizde ise yeşil gübreleme yöntemi, uzun yıllar sınırlı bir şekilde uygulanmış olmakla birlikte, son dönemde sürdürülebilir tarım politikaları ve nadas alanlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar kapsamında yetiştiricilerin gündemine yeniden girmiştir. Özellikle baklagil bitkilerinin kuru tarım alanlarında yeşil gübre amacıyla kullanımı hem geleneksel bilgi birikimi hem de modern araştırmalarla desteklenmektedir (Sumiahadi et al., 2019).

## **2. YEŞİL GÜBRE BİTKİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI**

Yeşil gübre amacıyla kullanılan bitkiler, tarla tarımında üstlendikleri fonksiyonlar, botanik özellikleri ve toprak iyileştirme üzerindeki etkileri dikkate alınarak sınıflandırılırlar. En yaygın sınıflandırma, bitkilerin azot bağlama kapasitelerine, biyokütle üretim özelliklerine ve ekim sistemlerindeki rollerine göre yapılan sınıflandırmadır (Maitra et al., 2020; Li et al., 2025).

### **2.1. Baklagil Bitkileri**

Yeşil gübrelemede kullanılan baklagil bitkileri (Fabaceae), Rhizobium bakterileri ile simbiyotik olarak oluşturdukları kök nodülleri vasıtasıyla, atmosfer azotunu biyolojik olarak toprağa bağlayabilme yetenekleriyle öne çıkmaktadır. Bu özellikleri ile baklagil bitkileri tarla tarımında azot döngüsünün düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Drinkwater et al., 2017).

Fiğ (*Vicia sativa*, *V. villosa*), yonca (*Medicago sativa*), üçgül (*Trifolium spp.*), bezelye (*Pisum sativum*) ve bakla (*Vicia faba*) bitkileri, bu grupta yaygın olarak kullanılan türler arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda, baklagil bitkilerinin tür ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak 50–200 kg/ha biyolojik azot fiksasyonu sağlayabildiği bildirilmektedir (Zhang et al., 2025).

Baklagil bitkileri, azot kaynağı olmalarının yanında, toprağın organik madde içeriğini artırmakta, mikroorganizma faaliyetini teşvik etmekte ve sonraki ürünlerin azot kullanım etkinliğini artırmaktadır. Bu nedenle bu türler, özellikle azot ihtiyacı yüksek olan buğday, mısır ve pamuk gibi tarla bitkileri öncesinde tercih edilmektedir.

## 2.2. Baklagil Olmayan Bitkiler

Baklagiller familyası dışındaki familyalara dahil olan yeşil gübre bitkileri, biyolojik olarak azot fiksasyonu yapmamalarına rağmen, yüksek biyokütle üretimleri ve kuvvetli kök gelişimleri ile toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerini iyileştirmede büyük önem taşımaktadır. Bu grup içerisinde tahıllar, brassicaceae türleri ve diğer hızlı gelişen bitkiler yer almaktadır (Li et al., 2025).

Buğdaygil kökenli yeşil gübre bitkileri arasında çavdar (*Secale cereale*), yulaf (*Avena sativa*) ve arpa (*Hordeum vulgare*) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu türler güçlü saçak kök sistemleri sayesinde toprağın agregatlaşmasını artırmakta, bitki örtüsü oluşturarak su ve rüzgâr erozyonunu azaltmakta ve yabancı ot gelişimini baskılamaktadır (Ma et al., 2021).

Brassicaceae familyasına ait hardal (*Brassica juncea*, *B. napus*) ve turp (*Raphanus sativus*) gibi türler ise biyo fümigasyon etkileriyle oldukça önemlidir. Bu bitkilerin parçalanması sırasında açığa çıkan glukozinolat türevlerinin, bazı toprak kökenli patojenleri baskılayabildiği rapor edilmiştir (Kirkegaard et al., 2014). Dolayısıyla bu türler, entegre zararlı yönetimi kapsamında da yeşil gübre olarak değerlendirilmektedir.

## 2.3. Karışık Yeşil Gübre Bitkileri

Son yıllarda yapılan araştırmalar, tek tür yeşil gübre bitkisi uygulamalarına kıyasla baklagil ve baklagil olmayan türlerin beraber kullanıldığı karışık sistemlerin daha dengeli ve sürdürülebilir sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu sistemlerde baklagiller azot fiksasyonu sağlarken, baklagil olmayan türler yüksek karbon ve kök biyokütlesi girdisi ile toprak yapısını desteklemektedir (Zhang et al., 2025).

Karışık yeşil gübreleme sistemlerinin, toprağın C/N oranını daha dengeli hale getirdiği, biyolojik çeşitliliği artırdığı ve besin maddelerinin yıkanma kayıplarını azalttığı bildirilmektedir (Shi et al., 2025).

### **3. YEŞİL GÜBRELEMENİN TARLA BİTKİLERİ VERİMİNE OLAN ETKİLERİ**

Yeşil gübreleme uygulamalarının, tarla bitkilerinin verimi üzerine etkileri doğrudan ve dolaylı etkiler olmak üzere iki şekildedir. Bu etkiler, besin elementi temini, toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi, besin maddesi kullanımının etkinliğinin artırılması ve stres koşullarının azaltılması yoluyla ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çok sayıda tarla denemesi, yeşil gübrelemenin farklı ürün gruplarında verim artışı sağladığını bilimsel olarak ortaya koymuştur (Zhang et al., 2025).

#### **3.1. Azot Temini**

Tarla tarımında verimi sınırlayan en önemli faktörlerden biri azot yetersizliğidir. Baklagil bitkileri, biyolojik azot fiksasyonu yoluyla toprağa önemli miktarda azot kazandırarak bu sınırlamayı azaltmaktadır. Peoples et al. (2009), baklagillerin ekim nöbeti sistemlerine dahil edildiğinde, sonraki ürün için %20–60 oranında azot katkısı sağlayabildiğini bildirmiştir. Bu durum azot talebi yüksek tarla bitkilerinde belirgin verim artışları ile sonuçlanmaktadır.

Yapılan bir araştırmada, yeşil gübre uygulanan alanlarda tahıl verimlerinin kontrol parsellerine kıyasla ortalama %8–15 oranında arttığı rapor edilmiştir (Ma et al., 2021). Araştırmada, verim artışının, yalnızca azot girdisine değil; azotun bitki tarafından daha etkin kullanılmasına da bağlı olduğu vurgulanmaktadır.

#### **3.2. Toprak Organik Maddesi ve Su-Besin Maddesi Kullanım Etkinliği**

Yeşil gübre bitkilerinin toprağa kazandırdığı organik madde, toprağın su ve besin maddesi tutma kapasitesini artırarak tarla bitkilerinin büyüme ve gelişme koşullarını iyileştirmektedir. Artan toprak organik karbonu, özellikle yarı kurak ve kurak tarım alanlarında su stresini azaltarak verim istikrarı sağlamaktadır (Blanco-Canqui et al., 2015).

Shi et al. (2025), yeşil gübre uygulamalarının yalnızca ortalama verimi artırmakla kalmadığını, aynı zamanda yıllar arası verim dalgalanmalarını da azalttığını bildirmiştir. Bu durum, yeşil gübrelemenin tarla tarımında iklim değişikliğine karşı bir adaptasyon aracı olarak değerlendirilebileceğini kanıtlamaktadır.

### **3.3. Mikroorganizma Faaliyeti ve Besin Elementi Alımı**

Yeşil gübreleme, toprağın mikrobiyal aktivitesini artırarak bitkiler için besin elementlerinin mineralizasyonunu hızlandırmaktadır. Özellikle fosfor ve çinko, demir ve mangan gibi mikro besin elementlerinin bitki tarafından alınabilirliği, yeşil gübreleme sonrasında artış göstermektedir (Drinkwater et al., 2017). Bu durum, dengeli beslenmenin sağlanması yoluyla bitki büyümesini ve tane/biomass verimini olumlu etkilemektedir.

Yayınlanan bir çalışmada, baklagil bitkisi–tahıl rotasyonlarının, buğdayda hem tane verimini hem de hasat indeksini anlamlı düzeyde artırdığı rapor edilmiştir (Liu et al., 2024). Bu artışın temel nedenleri arasında kök gelişiminin teşvik edilmesi ve besin elementi alımının iyileştirilmesi gösterilmektedir.

### **3.4. Kimyasal Gübre Kullanımının Azaltılması ve Verim Sürdürülebilirliği**

Yeşil gübrelemenin tarla bitkileri verimi üzerindeki en önemli katkılarından biri, kimyasal gübre kullanımını azaltmasına rağmen verim düzeylerinin korunabilmesi veya artırılabilmesidir. Zhang et al. (2025), yeşil gübre ile %20–30 oranında azaltılmış azotlu gübre uygulamalarının, tam doz kimyasal gübreyle eşdeğer veya daha yüksek verim sağlayabildiğini bildirmiştir. Bu bulgu, yeşil gübrelemenin yalnızca çevresel faydalar sunmadığını, aynı zamanda ekonomik açıdan da üreticiye avantaj sağladığını göstermektedir.

Uzun vadede yeşil gübreleme, tarla tarımında verimliliğin sürdürülebilirliğini destekleyen temel uygulamalardan biri olarak öne çıkmaktadır (Ma et al., 2021).

### **3.5. Ürün Gruplarına Göre Verim Tepkileri**

Yeşil gübrelemenin verim üzerindeki etkilerinin ürün türüne göre farklılık gösterebildiği bildirilmektedir. Buğday, mısır ve pamuk gibi tahıllar ve endüstri bitkileri genellikle belirgin verim artışı gösterirken, baklagil ana ürünlerde verim artışı daha sınırlı kalabilmektedir. Bunun nedeni, baklagil bitkilerinin kendi azot gereksinimlerini kısmen karşılayabilmeleridir (Peoples et al., 2009). Ancak bu sistemlerde dahi yeşil gübreleme, verimden ziyade toprak sağlığı ve uzun vadeli üretkenlik açısından önemli katkılar sunmaktadır.

## **SONUÇ**

Yeşil gübreleme, tarla tarımında toprak sağlığının korunması ve geliştirilmesi, bitkisel üretimde verim ve kalite artışının sağlanması ile sürdürülebilir tarım hedeflerine ulaşılması açısından stratejik bir tarımsal uygulama olarak öne çıkmaktadır. Bu uygulama, özellikle toprak organik maddesinin artırılması,

biyolojik aktivitenin teşvik edilmesi ve besin elementi döngüsünün iyileştirilmesi yoluyla tarımsal üretim sistemlerinin uzun vadeli verimliliğine önemli katkılar sağlamaktadır.

Baklagil bitkilerinin biyolojik azot fiksasyonu yetenekleri sayesinde, kimyasal azotlu gübre kullanımının azaltılması mümkün olmakta; bu durum hem üretim maliyetlerinin düşürülmesine hem de çevresel risklerin sınırlandırılmasına katkı sunmaktadır. Baklagil olmayan yeşil gübre bitkileri ise toprak yapısının iyileştirilmesi, erozyonun azaltılması ve su tutma kapasitesinin artırılması açısından tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Bu iki grup bitkinin üretim sistemlerine dengeli bir şekilde entegre edilmesi, tarla tarımında verim artışının sürdürülebilirliğini desteklemektedir.

Türkiye tarla tarımı koşullarında, farklı iklim bölgeleri ve üretim sistemlerine uygun yeşil gübre bitkilerinin seçimi ve doğru ekim-toprağa karıştırma zamanlarının belirlenmesi, uygulamanın başarısını doğrudan etkilemektedir. Yapılan araştırmalar, yeşil gübrelemenin özellikle buğday, mısır ve pamuk gibi yaygın tarla bitkilerinde verim artışı sağladığını; aynı zamanda nadas alanlarının değerlendirilmesi yoluyla arazi kullanım etkinliğini yükselttiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda yeşil gübreleme, nadasın azaltılması ve tarım alanlarının üretkenliğinin artırılması açısından önemli bir alternatif sunmaktadır.

Sonuç olarak, yeşil gübreleme; tarla tarımında yalnızca kısa vadeli verim artışı sağlayan bir uygulama değil, aynı zamanda toprak sağlığını temel alan, çevre dostu ve ekonomik açıdan uygulanabilir bir üretim yaklaşımıdır. Türkiye tarımında yeşil gübrelemenin yaygınlaştırılması için çiftçi eğitimlerinin artırılması, bölgesel uygulama rehberlerinin geliştirilmesi ve destekleme politikalarının bu doğrultuda şekillendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşım, hem günümüz tarımsal üretim sorunlarının çözümüne katkı sağlayacak hem de gelecek nesiller için sağlıklı ve üretken toprakların korunmasına hizmet edecektir.

## KAYNAKLAR

- Blanco-Canqui, H., Shaver, T. M., Lindquist, J. L., Shapiro, C. A., Elmore, R. W., Francis, C. A., & Hergert, G. W. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, 107(6), 2449–2474.  
doi:10.2134/agronj14.0509
- Drinkwater, L. E., & Snapp, S. S. (2007). Nutrients in agroecosystems: Rethinking the management paradigm. *Advances in Agronomy*, 92, 163–186.  
doi:10.1016/S0065-2113(04)92005-0
- Drinkwater, L. E., Schipanski, M. E., Snapp, S. S., & Jackson, L. E. (2017). Ecologically based nutrient management. In D. R. Dent & R. J. Williams (Eds.), *Agricultural systems* (pp. 203–257). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802070-8.00007-4>
- Giller, K. E. (2001). *Nitrogen fixation in tropical cropping systems* (2nd ed.). Wallingford, UK: CABI Publishing. ISBN: 0 85199 417 2
- Kirkegaard, J. A., Conyers, M. K., Hunt, J. R., Kirkby, C. A., Watt, M., & Rebetzke, G. J. (2014). Sense and nonsense in conservation agriculture: Principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187, 133–145.  
doi:10.1016/j.agee.2013.08.011
- Li, G. L., Qin, W. J., Chen, X. F., Wan, L., Chen, X. M., Peng, C. R., ... Liu, J. (2025). The impacts of green manures with root traits of resource acquisitive and conservative strategies on soil quality and bacterial communities in Ultisol. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 31(3), 419–431. doi: 10.11674/zwyf.2024397
- Li, G., Zhang, X., Wang, J., & Liu, Y. (2025). Types and functional traits of green manure crops and their impacts on soil fertility. *Agriculture*, 15(7), 768.  
doi:10.3390/agriculture15070768
- Li, P., Jia, L., Chen, Q., Zhang, H., Deng, J., Lu, J., ... Jiao, J. (2024). Adaptive evaluation for agricultural sustainability of different fertilizer management options for a green manure–maize rotation system: Impacts on crop yield, soil biochemical properties and organic carbon fractions. *Science of the Total Environment*, 908, 168170.  
doi:10.1016/j.scitotenv.2023.168170
- Liu, M., Hu, Z., Fan, Y., Hua, B., Yang, W., Pang, S., ... Zhang, X. (2024). Effects of leguminous green manure–crop rotation on soil enzyme activity and stoichiometry. *Journal of Plant Ecology*, 17(6), rtac065.doi:10.1093/jpe/rtac065

- López-Bellido, R. J., Fontán, J. M., López-Bellido, F. J., & López-Bellido, L. (2010). Carbon sequestration by tillage, rotation, and nitrogen fertilization in a Mediterranean Vertisol. *Agronomy Journal*, 102(1), 310–318. doi:10.2134/agronj2009.0165
- Ma, D., Chen, L., Qu, H., Wang, Y., Misselbrook, T., & Jiang, R. (2021). Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 307, 107224. doi:10.1016/j.agee.2020.107224
- Maitra, S., Shankar, T., Gaikwad, D. J., Palai, J. B., Sagar, L., & Gaikwad, D. J. (2020). Organic agriculture, ecosystem services and sustainability: A review. *Int J Mod Agric*, 9(4), 370-378. ISSN: 2305 - 7246
- Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., Rochester, I. J., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., ... Jensen, E. S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48(1), 1–17. doi:10.1007/BF03179988
- Saini, P. K., Yadav, R. K., & Yadav, G. C. (2019). Green manures in agriculture: A review. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 34(1), 1–10.
- Shi, Y., Tai, K., Cui, Y., Zhang, R., Li, X., Ji, Y., & Yin, B. (2025). Effects of green manure planting on soil organic carbon in China: A meta-analysis. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 18(5), 198–204. 10.25165/j.ijabe.20251805.9709
- Sumiahadi, A., Acar, R., & Özel, A. (2020, October). Green manure for soil properties improvement. In *2nd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2020)*.
- Zhang, J., He, W., Wei, Z., Chen, Y., & Gao, W. (2025). Integrating green manure and fertilizer reduction strategies to enhance soil carbon sequestration and crop yield: Evidence from a two-season pot experiment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1514409. doi:10.3389/fsufs.2024.1514409



## **BÖLÜM 4**



# Su Ürünleri Sektöründe Sürdürülebilir Malzeme Teknolojileri

*F. Ozan Düzbastılar<sup>1</sup>*

## 1. Giriş

Su ürünleri sektörü, artan küresel talep, iklim değişikliği, çevresel baskılar ve hızlanan teknolojik dönüşümün etkisiyle malzeme kullanımında önemli bir dönüşüm sürecine girmiştir. Uzun yıllar boyunca plastik, metal ve kauçuk esaslı malzemeler sektörün temelini oluşturmuş; ancak mikropplastik kirliliği, korozyon, düşük enerji verimliliği ve sınırlı kullanım ömrü gibi sorunlar bu malzemelerin sürdürülebilirlik açısından ciddi kısıtlar taşıdığını göstermiştir.

Balıkçılık faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar; yan av ve ıskarta, gemi üzerindeki işleme faaliyetlerinden doğan organik atıklar, terk edilmiş–kaybolmuş–atılmış av araçları, sintine suları ve diğer operasyonel atıkları kapsamaktadır. Plastik malzemeler dayanıklılık ve operasyonel verimlilik sağlamakla birlikte, çok yavaş bozunmaları nedeniyle denizel ortamda kalıcı kirlilik oluşturmaktadır. Terk edilmiş veya kaybolmuş av araçları ve bunlara bağlı deniz çöpleri, deniz ekosistemleri ve canlı kaynaklar açısından kritik bir tehdit olarak değerlendirilmektedir (Boopendranath, 2012). Sentetik plastiklerin kalıcı atıklara dönüşmesi alternatif malzeme arayışlarını zorunlu kılmakta (Surya, Sundaramanickam, Nithin ve Iswarya, 2023); özellikle deniz suyunda bozunabilen yeni tasarım polimerler ve deniz uyumlu hızlı bozunabilir malzemelere yönelik üretim stratejileri araştırılmaktadır (Wang, Huang, Ji, Völker ve Wurm, 2020) (Şekil 1).

---

<sup>1</sup> Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, ORCID: 0000-0002-5376-7198



**Şekil 1.** Paragat, uzatma ağı, tuzaklar, yapay resifler, yüzen yapay resif ve işleme teknolojilerinde yeni nesil malzemelerin “temsilen” kullanımı

Balıkçılıkta kullanılan araç ve gereçlerin büyük kısmı polimer esaslı olup kullanım süresince ve kullanım ömrü sonunda ekosistem üzerinde baskı oluşturmaktadır. Avrupa Komisyonu, kullanım ömrü sonuna gelmiş ve terk edilmiş av araçlarını döngüsel ekonomi çerçevesinde ele almakta ve ayrı toplama-işleme sistemlerini öngörmektedir (Basurko ve ark., 2023); ancak uygulamada koordinasyon eksiklikleri sürmektedir. Plastik temelli araçlar deniz ekosistemlerine zarar vermenin yanı sıra ekonomik kayıplara da yol açmaktadır (Do ve Armstrong, 2025). Denizel plastik kirliliğinin yaklaşık %10'unun ticari balıkçı ağlarından kaynaklandığı, her yıl 1 milyon tona kadar av aracının denizlere terk edildiği ve mevcut eğilimlerin sürmesi hâlinde bu miktarın 2050'ye kadar iki katına çıkabileceği belirtilmektedir (Sahoo, Singh, Rout, Mishra ve Das, 2023). Kaybolmuş ağların neden olduğu “hayalet avcılık”, risk altındaki türleri tehdit etmekte, %30'a varan av kayıplarına yol açabilmekte; bentik habitatlara zarar vermekte ve mikropplastik ile toksik maddelerin besin ağında birikimini artırmaktadır (Gilman, 2016).

Plastik kirliliğinin biyolojik etkileri çok boyutludur. Deniz kuşlarının av araçlarına dolaşması önemli bir sorun olup, Portekiz'in orta kıyılarında yapılan on yıllık çalışmada kuşların %82'sinin balıkçılıkla ilişkili plastiklerden etkilendiği saptanmıştır (Costa ve ark., 2020). Foklar ve deniz aslanlarında av araçlarından kaynaklanan biyobozunur olmayan halkaların oluşturduğu “neck collar” dolaşmaları yaralanma ve ölümlere neden olabilmektedir (Franco-Trecu, Drago, Katz, Machín ve Marín, 2017). Deniz kaplumbağalarına ilişkin küresel değerlendirmelerde karaya vuran bireylerin %5,5'inin sentetik materyale dolaşmış olduğu ve bunların %90,6'sının ölü bulunduğu rapor edilmiştir; uzmanların %84'ü bazı bölgelerde popülasyon düzeyinde etkiler olabileceğini

belirtmektedir (Duncan ve ark., 2017). Plastik atıkların yol açtığı dolanma, yutma ve boğulma gibi etkiler uzun süredir belgelenmiş (Gregory, 2009); 2000–2020 arasında bu konuda 150’den fazla yayın yapılmıştır (Wang, Huang, Ji, Völker ve Wurm, 2020).

Deniz çöpleri ayrıca yüzen ya da batık materyaller aracılığıyla yabancı ve istilacı türlerin taşınmasına olanak tanımakta; “tutunanlar” ve “yolcular” olarak tanımlanan organizmaların pelajik çöplerle uzun mesafeler kat etmesi hassas kıyı ekosistemleri için ek tehdit oluşturmaktadır (Gregory, 2009). Parçalanma sonucu oluşan (<5 mm) mikropplastikler ise sucul organizmalarda fiziksel hasar, oksidatif stres, bağışıklık baskılanması, genetik hasar ve üreme performansında azalmaya yol açmakta; ayrıca toksik maddelerin taşınmasını kolaylaştırarak biyobirikimi artırmaktadır (Banaee, Multisanti, Impellitteri ve Piccione, 2025).

Bu nedenle plastik üretiminin azaltılması, geri dönüşümün artırılması, atık yönetiminin iyileştirilmesi ve biyobozunur malzemelerin geliştirilmesi öncelikli stratejiler olarak öne çıkmaktadır (Banaee ve ark., 2025). Bununla birlikte, biyobozunur polimerlerin deniz ortamındaki davranışları ve uzun vadeli etkileri hakkında bilgi eksikliği bulunmaktadır (Manfra ve ark., 2021). Üç yıl süreli karşılaştırmalı bir çalışmada biyobozunur, okso-biyobozunur, kompostlanabilir ve HDPE torbaların hiçbirinin deniz koşullarında güvenilir ve tutarlı bir bozunma göstermediği, “biyobozunur” ve “okso-biyobozunur” ürünlerin deniz kirliliğini azaltmada belirgin üstünlük sağlamadığı ortaya konmuştur (Napper ve Thompson, 2019).

Son yıllarda ağlar, av araçları, tuzaklar, yemler ve ambalajlarda biyopolimer kullanımının artması sektörde dönüşüm potansiyeli yaratmıştır (Singh ve ark., 2022). Biyobozunur filmler, yüksek modüllü kompozitler, nanoteknolojik kaplamalar ve hibrit sistemler döngüsel ekonomi yaklaşımıyla birlikte değerlendirilmektedir. Ancak bu yeni nesil malzemelerin balıkçılık uygulamalarındaki teknik performansı, ekonomik uygulanabilirliği ve gerçek çevresel kazanımları, kapsamlı ve uzun dönemli bilimsel çalışmalarla ortaya konulmalıdır.

## **2. Balıkçılıkta Yeni Nesil Malzemeler**

### **2.1. Biyobozunur ve kompozit ağ malzemeleri**

Balıkçılık av araçları geleneksel olarak poliamid (PA) gibi biyobozunur olmayan polimerlerden üretilmektedir. Bu malzemeler denizde kaybolduklarında uzun süreli hayalet avcılık (ghost fishing), mikropplastik oluşumu ve kalıcı kimyasal etkiler gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Wataniyakun, Le Gall, El Rakwe ve Karl, 2025). Güneybatı Atlantik’te yapılan bir çalışmada, *Arctocephalus australis* bireylerindeki dolanma vakalarının %40’ının endüstriyel balıkçılıktan, *Otaria flavescens* bireylerindeki yaralanmaların ise %60’ından

fazlasının küçük ölçekli ve rekreasyonel balıkçılıktan kaynaklandığı bildirilmiştir (Franco-Trecu, Drago, Katz, Machín ve Marín, 2017).

Biyobozunma kavramı sıklıkla yanlış kullanılmaktadır. Fiziksel parçalanma biyobozunma anlamına gelmemekte; birincil biyobozunma mikroorganizmalarca gerçekleştirilen biyokimyasal dönüşümü, nihai biyobozunma ise mineralizasyonu ifade etmektedir (Palmisa ve Pettigrew, 1992). Mikroorganizmaların plastikleri karbon kaynağı olarak kullanabildiği ve aerobik koşullarda CO<sub>2</sub> ve suya, anaerobik koşullarda ise metan ve CO<sub>2</sub>'ye dönüşüm sağladığı belirtilmektedir (Sahoo, Singh, Rout, Mishra ve Das, 2023). Abiyotik süreçler (hidroliz, foto-oksidasyon, fiziksel parçalanma) yüzey alanını artırarak mikrobiyal bozunmayı hızlandırabilmektedir (Palmisa ve Pettigrew, 1992).

Ağ malzemeleri yalnızca hedef türleri değil, ilişkili canlı ve cansız çevreyi de etkileyebilmektedir. Bu nedenle dayanım, elastikiyet, yoğunluk, katlanabilirlik ve UV direnci gibi özelliklerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Sentetik ağlar UV ışınımı ve deniz suyunun etkisiyle bozunmakta; bakım ve mevsimsel kullanım stratejileri ömrü uzatsa da, çevresel etkiler bütünüyle önlenememektedir (Halim ve Mon, 2021).

Geleneksel PA ve PE ağların yüksek dayanımı, kullanım dışı kaldıklarında hayalet avcılık ve mikroplastik riski oluşturmaktadır (Park, Bae, Cha, Kim ve Kwak, 2023; Wasave, Kamble, Kazi, Wasave ve GB, 2025). Bu nedenle PLA, polihidroksialkanoatlar (PHA), polibütilen süksinat (PBS), polibütilen adipat-ko-tereftalat (PBAT), polibütilen süksinat-ko-adipat-ko-tereftalat (PBSAT) ve polibütilen süksinat-ko-bütilen adipat (PBSA) gibi biyobozunur alternatifler geliştirilmiştir. Kim ve ark. (2023), PBS av araçlarının 180 gün içinde %27,3 oranında CO<sub>2</sub>'ye dönüştüğünü; bozunmanın yüzey aşınması ve mikrobiyal hidroliz yoluyla gerçekleştiğini ve *Rhodococcus* türlerinin baskın rol oynadığını bildirmiştir. Lipaz ile hızlandırılmış testte PBS 10 günde %48 biyobozunurluk göstermiştir. Pagnotta (2025), PLA, PHA ve PBAT esaslı ve nanokompozit takviyeli ağları mekanik dayanım ve çevresel bozunma açısından değerlendirmiş; atık PA6 geri kazanımını döngüsel ekonomi bağlamında önermiştir.

PBS esaslı kopolyester polibütilen adipat-ko-polibütilen süksinat-ko-etilen adipat-ko-etilen süksinat (PBEAS), PBS'ye kıyasla daha yüksek mekanik dayanım ve elastik toparlanma göstermiştir. Kompost ortamında 45 günde %82 mineralizasyon sağlamıştır (Kim, Park, Bang, Jin ve Kwak, 2023; Park, Bae, Cha, Kim ve Kwak, 2023). PBSAT'ın mekanik özelliklerinin PA6'ya yakın olduğu ve 1000 saatlik yaşlandırma sonrasında çekme modülündeki artışın PA6 için %21, PBSAT için %5 olduğu; kopma uzamasının ise sırasıyla %67 ve %91 azaldığı bildirilmiştir (Karl ve ark., 2025). PBSAT ve PBSA monofilamentlerin 2 °C'de %50 dayanım kaybı süresi PBSAT için yaklaşık 10 yıl, PBSA için 20 yıl ve PA

için 1000 yıl olarak hesaplanmıştır (Wataniyakun, Le Gall, El Rakwe ve Karl, 2025).

### **2.1.1. Dip sürükleme takımları**

Dip trolleri ve demersal algarnalarda kullanılan polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polietilen tereftalat (PET) lif birleşiminin aşınma sonucu mikroplastik üretimine yol açtığı ve sınırlı geri dönüştürülebilirlik sunduğu belirtilmiştir. Bu nedenle tek polimerli PA ve PET gibi alternatiflerin daha uygun olabileceği ifade edilmektedir (Grimaldo ve ark., 2023). Plastiklerin aşınmaya dayanıklı biyobozunur polimerlerle değiştirilmesi, deniz tabanı temasından kaynaklı kirliliği ve terk edilmiş av araçlarının etkisini azaltma potansiyeline sahiptir (Karl ve ark., 2025). Ancak ağların tekneye alınması sırasında maruz kaldığı yüksek çekme yükleri kopma riskini artırmakta; kullanım ömründeki olası kısalma ve biyobozunur malzemelerin maliyeti balıkçılar için ekonomik yük oluşturmaktadır (Wilcox ve Hardesty, 2016).

### **2.1.2. Uzatma ağları**

Saha denemeleri, biyobozunur galsama ağlarının çoğu durumda naylon ağlara kıyasla daha düşük av verimliliği sağladığını göstermektedir. Atlantik morinası (*Gadus morhua*) avcılığında üç sezon boyunca biyobozunur ağlar sırasıyla %18,4, %40,2 ve %47,4 daha düşük av vermiştir (Grimaldo ve ark., 2020). Benzer sonuçlar morina ve kömür balığı (*Pollachius virens*) avcılığında da bildirilmiş; verim farklarının çekme mukavemetinden çok elastikiyet ve rijitlik farklılıklarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Grimaldo ve ark., 2018; Grimaldo, Herrmann, Jacques ve Vollstad, 2020). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda iplik çapının optimize edilmesiyle av veriminde istatistiksel fark oluşmadığı rapor edilmiştir (Cerbule, Larsen, Vollstad ve Alvestad, 2025). PLA monofilamentlerin, *Liza haematocheila* ve *Mugil cephalus* avcılığında PA ile benzer performans gösterdiği de bildirilmiştir (Yu ve ark., 2023).

Ekonomik değerlendirmeler, biyobozunur av araçlarında temel sorunun yatırım maliyetinden ziyade av verimindeki düşüş olduğunu göstermektedir (Drakeford, Forse ve Failler, 2023a). Biyobozunur galsama ağları çevresel açıdan umut vadetse de, daha düşük av verimi ve yüksek maliyet ticari kabulü sınırlandırmaktadır (Standal, Grimaldo ve Larsen, 2020; Do ve Cherry, 2025). Bu nedenle biyobozunur malzemelerin mekanik performansının artırılması ve teknik uygulanabilirliğinin güçlendirilmesi gerekmektedir (Drakeford, Forse ve Failler, 2023b).

### **2.1.3. Tuzaklar**

Tuzak ve pinterlerde biyobozunur malzemeler umut vadetmektedir. Yıllık kayıp oranı %10-70 arasında değişen sepetlerde (Bilkovic, Havens, Stanhope ve

Angstadt, 2012), pamuk lifinin palmye ve kenevire kıyasla daha yüksek kopma dayanımı gösterdiği belirlenmiştir (Athiyyah ve ark., 2023). PBS+PBAT esaslı ahtapot sepetleri ticari sistemlerle karşılaştırıldığında, tasarıma bağlı olarak benzer ya da %50–60 düzeyinde av performansı göstermiştir (Kim, Park ve Lee, 2014). Chesapeake Körfezi'nde (*Callinectes sapidus*) biyobozunur panellerin av miktarını olumsuz etkilemediği belirlenmiştir (Bilkovic ve ark., 2012). Benzer şekilde, kompostlanabilir pinter ağları geleneksel plastiklerle benzer performans sergilemiştir (Monfardini ve ark., 2025).

#### **2.1.4. Paragat**

Paragat balıkçılığında naylon ve poliestere (PES) kösteklerin kaybı (%3/her köstek) plastik kirliliğine katkı sağlamaktadır (Cerbule ve ark., 2023). Mezgit (*Melanogrammus aeglefinus*) ve Atlantik morinası avcılığında biyobozunur köstekler ile naylon arasında anlamlı av farkı bulunmamıştır (Cerbule ve ark., 2022a).

#### **2.1.5. Sportif balıkçılıkta yapay yemler**

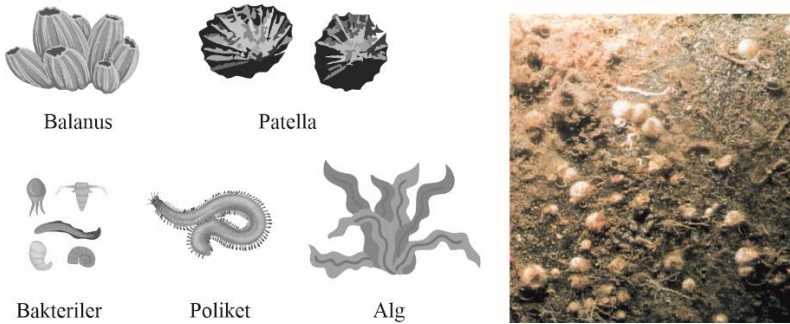
Amatör balıkçılıkta kullanılan yapay yemler de ticari balıkçılıkta olduğu gibi çevre kirliliğine yol açmaktadır. Biyobozunur olmayan bu yemler suda uzun süre kalmakta, zararlı kimyasalların suya geçişine neden olarak sucul canlılar ve ekosistem için risk oluşturmaktadır. Jelatin ve gliserol kullanılarak geliştirilen biyobozunur yapay yemlerin sulu ortamda zamanla parçalandığı, plastisol (PVC esaslı) yemlere kıyasla daha az çevresel zarar oluşturduğu ve kalıcı mikroplastik üretmediği gösterilmiştir (Murphy, Dilip, Quattrucci, Mitroka ve Andreatta, 2019). Beggel, Kalis, Gilb, Pander ve Geist (2025), yumuşak plastik yapay yemlerin tatlı su ortamlarında ciddi toksik etkiler oluşturabileceğini; test edilen tüm yemlerin PVC ve zararlı plastikleştiriciler içerdiğini ve düşük seyreltilerde dahi yüksek ölüm oranlarına yol açtığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, rekreasyonel balıkçılıktan kaynaklanan plastik kirliliğinin daha sıkı düzenleme gerektirdiğini göstermektedir.

Biyobozunur yemlerin geliştirilmesine rağmen, mekanik özellikleri sınırlı kalmaktadır. Legault, Naseri, Madadian ve Ahmadi (2023), farklı formülasyonları test etmiş; yüksek ksantan gamın dayanımı artırdığını, ancak şişmeyi yükselttiğini, yüksek su–düşük jelatin oranının şişmeyi azalttığını ve yüksek su–düşük gliserinin ısı direncini iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Bir diğer çalışmada %5 karboksimetil kitosan katkısının çekme dayanımı ve su altı performansını artırdığı, ancak tatlı suda şişmeyi yükselttiği; buna rağmen yemlerin parçalanmadan önce daha uzun süre dayanım gösterdiği saptanmıştır. Tuzlu suda ise formüller arasında belirgin fark gözlenmemiştir (Legault ve Ahmadi, 2023). Bu sonuçlar, daha sürdürülebilir ve çevre dostu yem tasarımlarına katkı sunmaktadır.

## 2.2. Antifouling ve düşük sürtünmeli kaplamalar

Gemilerin uzun süre deniz suyunda kalması, midye, yosun ve diğer deniz organizmalarının yüzeye tutunarak birikmesiyle karakterize edilen biyolojik kirlenmeye (biofouling) yol açmaktadır (Wu ve ark., 2024) (Şekil 2). Deniz araçları ile balıkçılık araçlarında biyolojik kirlenme (biofouling), verimliliğini azaltan, sürtünmeyi, korozyonu ve yakıt tüketimini artıran önemli bir sorundur (Cao ve Cao, 2023). Denizel biyolojik kirlenmeyi önlemede antifouling kaplamalar etkili bir yöntemdir. Ancak geleneksel organik kalay ve bakır oksit esaslı kaplamalar toksiktir; deniz suyunu kirletmekte ve deniz ekosistemine zarar vermektedir (Li ve ark., 2023; Wang, Li, Wu ve Liu, 2025). Bu nedenle bu tür kaplamalar yasaklanmış veya kısıtlanmıştır (Gu ve ark., 2020).

Toksik biyositlerden uzaklaşma, düşük yüzey enerjili sistemlere yönelim, biyomimetik mikro/nano yapı tasarımı, nanomalzeme ile mekanik dayanımın artırılması ve çok fonksiyonlu (antifouling + düşük sürtünme + korozyon direnci) hibrit sistemler, geleneksel kaplamalara alternatif olarak sunulmaktadır (Wang ve ark., 2026). Yeni nesil antifouling kaplama malzemeleri ve stratejileri genel olarak beş ana grupta değerlendirilebilir.



**Şekil 2.** Gemiler, barçlar, iskeleler, şamandıralar gibi suyun altında kalan yapılarda tutunan sucul organizmalar

İlk grup düşük yüzey enerjili (fouling-release) kaplamalardır (Gu ve ark., 2020). Bu sistemler organizmaların güçlü tutunmasını engellemek yerine, tutunma kuvvetini zayıflatarak hidrodinamik etkilerle uzaklaşmalarını sağlar. Özellikle polidimetilsiloksan (PDMS) esaslı elastomer kaplamalar biyosit içermeksizin fouling oluşumunu azaltır; ancak mekanik dayanım ve aşınma dirençleri sınırlı olabilir. Fluoropolimer modifiye silikon sistemler ise daha düşük yüzey enerjisi, gelişmiş kimyasal ve aşınma direnci ile sürtünme azaltıcı özellikler sunar (Cao ve Cao, 2023; Wang ve ark., 2026).

İkinci grup biyomimetik yüzeylerdir (Cao ve Cao, 2023; Gu ve ark., 2020; Li ve ark., 2023). Doğadaki antifouling stratejiler taklit edilerek geliştirilen bu sistemlerde, köpekbalığı derisini örnek alan mikro-riblet yüzeyler hem akış

direncini azaltır hem de tutunmayı zorlaştırır. Süperhidrofobik kaplamalar ise Cassie–Baxter rejimiyle yüksek temas açıları ( $>150^\circ$ ) oluşturarak ilk tutunma aşamasını sınırlar. Ancak uzun süreli mekanik dayanım ve deniz ortamındaki stabilite hâlen araştırılmaktadır (Wang ve ark., 2026).

Üçüncü grup nanoteknoloji destekli sistemlerdir (Wang ve ark., 2026). Grafen, yüksek mekanik dayanım, düşük sürtünme katsayısı ve üstün bariyer özellikleri sayesinde korozyon önleyici ve antifouling kaplamalarda öne çıkmaktadır (Zhang ve ark., 2025). Ayrıca çatlak ilerlemesini sınırlayan yapısal avantajlar sunar.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{ZnO}$  nanopartikülleri içeren hibrit kaplamalar mekanik dayanımı artırır ve yüzey özelliklerini iyileştirir; özellikle  $\text{TiO}_2$  fotokatalitik etkisiyle biyolojik kirlenmeyi azaltabilir (Wang ve ark., 2026). Bununla birlikte grafen esaslı sistemlerde ölü organizmaların uzaklaştırılması önemli bir sorun olarak devam etmektedir (Kelly, Erbe, Hallsteinsen ve Lein, 2025). Dördüncü grup akıllı ve fonksiyonel kaplamalardır. Kendini yenileyen sistemler, mikrokapsül veya damar benzeri yapılar sayesinde mikrohasar sonrası kaplama bütünlüğünü kısmen geri kazanabilir. Kontrollü salım sistemleri ise aktif bileşenlerin difüzyonla salınmasını sağlayarak çevresel etkiyi azaltmayı hedefler (Wang ve ark., 2026).

Son olarak, amfifilik ve hibrit stratejiler hidrofilik ve hidrofobik segmentleri aynı yapıda birleştirerek protein adsorpsiyonunu ve ilk biyofilm oluşumunu sınırlar. Fouling-release ve antifouling mekanizmalarının birlikte kullanılmasıyla daha geniş spektrumlu ve uzun süreli performans amaçlanmakta; böylece çevresel sürdürülebilirlik ile mekanik dayanım birlikte optimize edilmektedir (Wang ve ark., 2026).

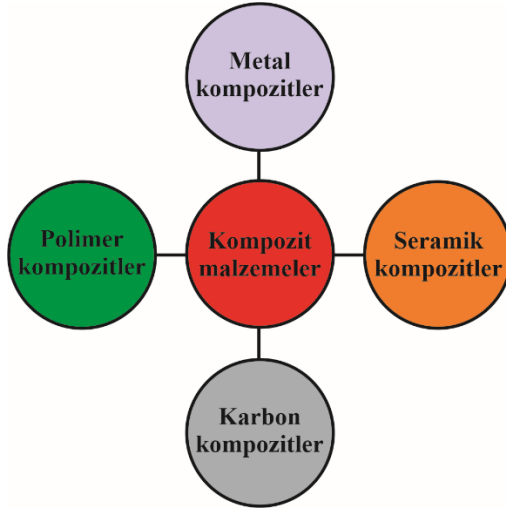
### **2.3. Hafif ve dayanıklı donanım malzemeleri**

Av araçları, gemicilik araç-gereçleri (makaralar, kilit elemanları vb.) ve yüzdürücülerde kullanılan malzemeler giderek daha hafif ve dayanıklı hale gelmektedir. Karbon fiber takviyeli kompozit ve plastik kapılar, çeliğe kıyasla daha düşük ağırlık ve hidrodinamik direnç sağlayarak yakıt tüketimini azaltmaktadır. Alüminyum ve titanyum alaşımları ise korozyon direnci ve yapısal kararlılık açısından avantaj sunmaktadır.

Lif takviyeli plastikler, cam, karbon, aramid veya bazalt liflerle güçlendirilmiş; epoksi, vinil ester veya polyester esaslı termoset matrislerden oluşan kompozit malzemelerdir. Rubino, Nisticò, Tucci ve Carlone (2020), denizel ortamlarda yüksek mekanik ve çevresel yüklere maruz kalan yapılarda polimer kompozitlerin performans artırıcı özelliklerini ve denizcilik ile kıyı ötesi uygulamadaki teknolojik gelişmeleri kapsamlı biçimde değerlendirmektedir. Deniz uygulamalarında yüksek mukavemet ve korozyon direnci gereksinimi nedeniyle kompozit malzemeler (Şekil 3) tercih edilmekte; cam liflerinin çevresel



dezavantajları nedeniyle naylon esaslı alternatif takviyeler araştırılmaktadır (Rohith ve ark., 2019). Peng, Nianga ve Wang (2025) ise cam, karbon ve aramid lif takviyeli polimer kompozitlerin gemi ve açık deniz yapılarında metalik malzemelere alternatif olarak sunduğu hafiflik, mekanik dayanım ve korozyon direnci avantajlarını ortaya koymakta; ayrıca denizel ortam kaynaklı korozyon ve yaşlanma mekanizmalarını değerlendirerek gelecekteki araştırma alanlarına ışık tutmaktadır.



Şekil 3. Kompozit malzeme tipleri

#### 2.4. Yapay habitatlarda alternatif malzemeler

Ekosistemi olumlu yönde manipüle eden yapılar yapay resif (YR) olarak tanımlanmakta; balıkçılığı destekleme, yeni üreme alanları oluşturma, kaybolan habitatları yenileme, kıyı erozyonunu azaltma, alg üretimi (Seaman ve Sprague, 1991) ve yasa dışı balıkçılığın önlenmesi (Ulugöl ve Düzbastılar, 2016) gibi amaçlarla kullanılmaktadır. YR teknolojisi geleneksel tasarımlardan alternatif malzemelere uzanan geniş bir uygulama alanına sahiptir (Düzbastılar ve Lök, 2004; Lukens ve ark., 2004). Ancak birçok projede deniz ortamında doğal olarak bulunmayan beton ve metal esaslı kompozitler tercih edilmektedir (Düzbastılar ve Şentürk, 2009).

Alternatif malzemelere yönelik çalışmalar özellikle yumuşak sediman baskın ekosistemlerde yoğunlaşmaktadır. Beton+metal yerine kalsiyum karbonat esaslı (midye kabuğu, çakıl, iri çakıl, odun ve kabuk parçaları içeren) ve patates nişastası temelli biyobozunur YR'lerin bir yıl içinde balık ve karidesler tarafından yoğun biçimde kolonize edildiği belirlenmiştir. Çıplak kum zemine kıyasla balık bolluğu yaklaşık beş, karides bolluğu ise yaklaşık 30 kat artmış; ancak malzemeler arasında anlamlı fark bulunmamıştır (Watson ve ark., 2025).

YR betonunun performansını artırmaya yönelik çalışmalar geri dönüştürülmüş katkı maddelerine odaklanmaktadır. Uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü ve granit tozu ilavesinin mekanik dayanımı artırdığı ve sülfat korozyonunu azalttığı; özellikle %5 silis dumanı ve granit tozu katkısının dayanımı yaklaşık %3 yükselttiği bildirilmektedir (Anand, Sendhilnathan, Kumar ve Tamilarasan, 2025). Ayrıca Wadden Denizi'nde armut ağaçlarından oluşturulan biyobozunur YR'lerin kısa sürede sessil organizmalar, balıklar ve kabuklular tarafından kolonize edildiği ve tür zenginliğinin kumluk alanlara göre arttığı gösterilmiştir (Dickson ve ark., 2023).

Yüzen yapay resifler (YYR) pelajik türlerin avcılığında yaygın olmakla birlikte zamanla parçalanarak denizel plastik kirliliğine katkıda bulunmaktadır (Murua ve ark., 2023; Phillips ve ark., 2025; Zhang ve ark., 2024). Akdeniz'de terk edilmiş veya kaybolmuş YYR'lerin yoğun avcılık baskısı oluşturduğu ve sentetik ağ bileşenleri nedeniyle deniz kaplumbağaları ile köpekbalıklarında dolaşma kaynaklı ölümlere yol açtığı bildirilmektedir (De Domenico ve ark., 2023). Bu nedenle biyobozunur ve doğal malzeme kullanımı hem denizel kirliliğin hem de yan avın azaltılması açısından önerilmekte ve teşvik edilmektedir (Wang ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2024).

Son yıllarda beton bentik taban, ahşap sal ve bitkisel halat kombinasyonları gibi hibrit tasarımlar geliştirilmiş (Zhang ve ark., 2024); plastik yüzdürücüler yerine bambu ve ağaç türleri, sentetik ağlar yerine biyobozunur halat ve kanvas kullanımı araştırılmıştır (Moreno ve ark., 2023; Zudaire ve ark., 2023). Ancak doğal malzemelerin dayanım süreleri sınırlı olup jüt ve sisal halatlar kısa sürede mukavemet kaybederken pamuk halatlar daha uzun süre dayanımını korumaktadır (Wang ve ark., 2021). Hint Okyanusu'nda bambu ve pamuk esaslı, ağ içermeyen biyobozunur sürüklenen YYR'ler işlevsel bulunmuş ancak zamanla yapısal bütünlük kaybı göstermiştir (Murua ve ark., 2023). Batı ve Orta Pasifik'te ise sentetik ağ kullanımının yaygın olduğu, 2024 itibarıyla ağların yasaklanması ve biyobozunur tasarımların teşvik edilmesinin planlandığı belirtilmektedir (Escalle ve ark., 2023). Ayrıca Lopez ve ark. (2019), tropikal koşullarda pamuk, sisal ve keten esaslı özel iplik tasarımlarının geliştirilmesini önermektedir.

### **3. Kültür Balıkçılığında Yenilikçi Malzemeler**

#### **3.1. Kafes ve platform sistemlerinde yeni nesil malzemeler**

Kültür balıkçılığı, özellikle açık deniz sistemlerine geçişle birlikte daha güçlü, daha esnek ve çevresel baskılara dayanıklı malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Yeni nesil HDPE türevleri, karbon fiber takviyeli yapı elemanları ve polimer-kompozit hibrit halkalar, yüksek dalga ve akıntı yüklerinde yapısal bütünlüğü koruyabilmektedir. Ayrıca UV dayanımı artırılmış polimerler, kafes sistemlerinin kullanım ömrünü belirgin şekilde uzatmaktadır. Arantzamendi, Andrés, Basurko

ve Suárez (2023), midye ve deniz yosunu yetiştiriciliğinde kullanılan fosil yakıt temelli plastik araçların çevresel etkilerini ele almış ve biyo-esaslı ve biyobozunur araç-gereçlerin sürdürülebilir bir alternatif olarak potansiyelini değerlendirmiştir. Akıllı su ürünleri yetiştiriciliği kapsamında biyo-araçların teknoloji, çevresel etki, ekonomik uygulanabilirlik, politika ve sosyal boyutlarını incelemiştir. Dayanıklılık, işlevsellik ve kullanım ömrü sonu yönetimi, bu araç-gereçlerin rekabet gücünü belirleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, biyo-araç kullanımı çevresel olumsuz etkileri azaltmakta ve döngüsel biyoekonomiyi destekleyen sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır.

### **3.2. Ağ kaplamaları ve biyokirillik azaltıcı teknolojiler**

Balık kafes ağlarında biyokirillik; su akışının ve oksijen transferinin azalmasına, ağ ağırlığının artmasına ve balık sağlığının olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır (Bloecher ve Floerl, 2020). Ayrıca yönetim maliyetleri toplam bütçenin yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır (Ashraf, 2019). Bu nedenle bakır esaslı kaplamalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Naylon ve ultra yüksek molekül ağırlıklı PE ağlarda iki farklı bakır esaslı kaplamanın incelendiği çalışmada, bakır yoğunluğu arttıkça biyokütlenin azaldığı; ancak topluluk yapısı ve metal içeriğinin değiştiği belirlenmiştir. Naylon ağlarda bakır azalımı biyokütle artışıyla daha belirgin ilişki göstermiştir. Çevresel bakır birikimi azaltılırken biyokirillik kontrol altında tutulabileceği ifade edilmiştir (García-Bueno ve Marín, 2021).

Nano bakır oksit içeren hidrojel kaplamalar da geliştirilmiştir. Hidrofilik yapı ve nano CuO'nun sinerjik etkisi biyofilm oluşumunu azaltmış; 90 günlük denemede düşük biyokütle birikimi gözlenmiştir (Ashraf ve Edwin, 2016). Benzer şekilde polianilin modifikasyonlu ve nano CuO içeren hidrojel kaplı PE ağlarda biyokirillik yaklaşık %53 oranında azaltılmıştır (Ashraf, 2019). Bununla birlikte bakır temelli kaplamaların çevresel riskleri nedeniyle bakır içermeyen ve nano yapıli alternatifler geliştirilmiştir. Silikon ve çevre dostu kaplamalar biyokirillik azaltmakta; ancak tam koruma sağlamamaktadır. Uzun dönem performans, çevresel güvenlik ve maliyet etkinliği hâlen geliştirilmesi gereken alanlardır (Bloecher ve Floerl, 2020).

Silikon esaslı Veridian 2000 kaplaması, 163 gün sonunda biyokirillik önemli ölçüde azaltmış; organizmaların daha zayıf tutunduğu belirlenmiştir (Hodson, Burke ve Bissett, 2000). Ancak toksik olmayan ticari ürünlerin yoğun midye biyokirillikinde uzun vadeli ağ tıkanmasını önleyemediği, yalnızca kısa süreli gecikme sağladığı bildirilmiştir (MacKenzie ve ark., 2021).

Sentetik ağlara alternatif olarak yüksek dayanımlı paslanmaz çelik tellerden oluşan ağ sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler daha yüksek mekanik dayanım, uzun servis ömrü ve düşük bakım ihtiyacı sunarken mikropplastik ve bakır

kirliliğini azaltma potansiyeli taşımaktadır (Gümpel, Dornbierer, Hörtnagl ve Bogatzky, 2021). Bakır alaşımlı ağların çeliğe göre daha dayanıklı olduğu; uygun tasarımla galvanik korozyonun azaltılabildiği belirtilmiştir (Gao ve ark., 2023). YDA sonuçlarına göre, tam geri dönüştürülebilirlik sağlandığında bakır alaşımlı ağlar PE ağlara kıyasla çevresel açıdan daha avantajlıdır (Rossi ve ark., 2024).

Ayrıca otomatik yemleme sistemleri, sensörler ve çevresel izleme araçlarında tuzlu suya dayanıklı, korozyona dirençli malzemeler kullanılmaktadır (Karningsih, Kusumawardani, Syahroni, Mulyadi ve Saad, 2021). Su izleme sensörlerinde biyokirliliğin performans ve veri kalitesi üzerindeki etkisi vurgulanmış; mevcut çözümlerin sınırlılıkları ortaya konarak daha etkili ve ekonomik antifouling teknolojilerine ihtiyaç olduğu belirtilmiştir (Delgado, Briciu-Burghina ve Regan, 2021).

#### **4. Su Ürünleri İşleme ve Ambalaj Sistemleri**

##### **4.1. Isı yalıtım ve sağlıklı yüzey malzemeleri**

Soğuk zincir süreçlerinde enerji verimliliğini artırmak için aerogel ve vakum yalıtım panelleri giderek daha yaygın kullanılmaktadır. Düşük ısı iletim katsayıları sayesinde bu malzemeler taşımada ve depolamada ısı kaybını azaltır. Cam elyafı, EPS ve PU gibi geleneksel yalıtım malzemelerine kıyasla daha ince olmalarına rağmen yüksek yalıtım performansı sunar.

Yalıtım malzemelerinde en önemli parametrelerden biri lambda ( $\lambda$ ; W/mK) değeridir.  $\lambda$  değeri düştükçe malzemenin ısı tutma kapasitesi artar. Bu değer cam ve taş yününde 0,031–0,044; EPS’de 0,030–0,045; vakum yalıtım panellerinde ise 0,06–0,07 aralığındadır. Düşük  $\lambda$  değerine sahip malzemelerle daha kısa sürede yüksek ısı direnç (R) elde edilerek enerji verimli ve konforlu ortamlar sağlanabilir. Ayrıca, işleme tesislerinde kullanılan antibakteriyel yüzeyli kompozit paneller gıda güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

##### **4.2. Akıllı ve biyobozunur ambalaj teknolojileri**

Tarım ve gıda endüstrisi, ürünlerin korunması ve pazarlanması için ambalaja bağımlıdır. Petrokimya temelli plastikler; düşük maliyet, hafiflik ve kullanım kolaylığı nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir (Debeaufort, 2021). Ancak çevresel etkiler ve artan tüketici endişeleri, biyo-esaslı alternatiflerin araştırılmasını gerekli kılmıştır (Reichert ve ark., 2020). Plastik kirliliğinin hızla artması ve 2050’ye kadar okyanuslardaki plastik miktarının balık popülasyonlarını aşacağı öngörüsü (Barron ve Sparks, 2020), biyobozunur ambalajlara olan ilgiyi artırmıştır. Geleneksel plastikler iyi bariyer özelliklerine sahip olsa da, mikropplastiklere parçalanmaktadır. Bu nedenle biyobozunur ambalajlar, özellikle su ürünleri için sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Sourav, Sasidharan, Mohan, Sabu ve Sunooj, 2025).

Su ürünlerinde tazelik sensörleri, pH ve sıcaklık göstergeleri içeren akıllı ambalaj sistemleri kullanılmaktadır. Polisakkaritler, balık kökenli proteinler, jelatin, PHA, PLA, pullulan, ksantan zımkı, selüloz, kitosan ve nişasta temelli biyomalzemeler hem çevre dostu hem de ürün kalitesini koruyucu özellikler göstermektedir (Lionetto ve Corcione, 2021; Matche, Anup ve Mrudula, 2020; Rathod, Bangar, Şimat ve Özoğul, 2023; Barron ve Sparks). Ancak film geçirgenliğı, gözeneklilik, lipid oksidasyonu ve maliyet gibi teknik sınırlamalar nedeniyle birçok uygulama hâlen laboratuvar ölçeğindedir (Singh ve ark., 2022). Bu nedenle biyopolimerlerin bariyer, mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmeye yönelik stratejiler önem taşımaktadır (Lionetto ve Corcione, 2021). Ayrıca ölçeklenebilirlik, maliyet etkinliğı ve standart etiketleme gereksinimi vurgulanmaktadır (Sourav, Sasidharan, Mohan, Sabu ve Sunooj, 2025).

Balık yan ürünlerinden elde edilen kitin, kitosan, kolajen ve benzeri biyopolimerler, yüksek esneklik ve dayanım özellikleri sayesinde ambalajda koruyucu matris olarak kullanılabilir (Singh ve ark., 2022). Tarım-gıda atıklarından elde edilen biyopolimer ve biyoaktif bileşenlerin aktif ambalajlarda kullanımı, raf ömrünü uzatmakta ve çevresel etkiyi azaltmaktadır (Debeaufort, 2021). Kitosan ve jelatin esaslı filmler antimikrobiyal ve antioksidan özellikleriyle su ürünlerinde bozulmayı yavaşlatmaktadır (Rathod, Bangar, Şimat ve Özoğul, 2023). Balık jelatini, ı-karragenan, laminarin ve nano-kurkumin katkılı filmler ise mekanik dayanımı artırmış ve raf ömrünü uzatmıştır (Matche, Anup ve Mrudula, 2020).

Atık kaynaklardan (çam kütükleri, kitosan vb.) geliştirilen biyobozunur filmler yüksek elastikiyet, iyi su buharı bariyeri ve düşük sitotoksizite göstermiştir (Gaspar ve ark., 2021). Selüloz/miristik asit kompozitleri hidrofobik ve kendini temizleyebilir yüzeyler sunarken (Chen, Chang ve Zhang, 2021), Rami lifleriyle güçlendirilmiş ve NaOH/üre sistemiyle üretilmiş rejenere selüloz filmler yüksek mekanik dayanım, şeffaflık ve biyobozunurluk özellikleri sergilemiştir (Yang, Lue ve Zhang, 2010; Qi, Chang ve Zhang, 2008).

Sonuç olarak, sürdürülebilir, yenilenebilir ve biyobozunur ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi önemli fırsatlar sunmakla birlikte, teknik performans, maliyet ve ölçek büyütme gibi konular çözülmesi gereken temel zorluklar olarak öne çıkmaktadır.

## **5. Denizel Kaynaklardan Biyobozunur Polimerlere**

Dünya genelinde her gün büyük miktarda balık atığı üretilmekte ve çoğu zaman uygunsuz bertaraf nedeniyle çevresel ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Scaffaro, Citarrella, Catania ve Settanni, 2022). Bu kapsamda, sucul canlı atıklarının (balık pulu, derisi, yüzme kesesi, derisi dikenlilerin bağ dokuları vb.) ve ürünlerinin (balık kolajeni, balık yağı) geri kazanılarak yüksek katma değerli

moleküller ve biyo(nano)malzemelere dönüştürülmesine yönelik süreçler incelenmiştir (Maschmeyer, Luque ve Selva, 2020). Denizel biyomakromoleküllerin biyokompozit ve biyo-esinli malzemelerdeki potansiyeli; kitin/kitosan, kolajen ve alg polisakkaritleri gibi bileşenlerin özellikleri ve uygulamaları üzerinden değerlendirilmiş, deniz organizmalarından esinlenen yapısal mekanizmaların sürdürülebilir biyomalzeme geliştirmedeki rolü vurgulanmıştır (Claverie, McReynolds, Petitpas, Thomas ve Fernandes, 2020).

Kitin, gıda ve nutrasötik alanlar dâhil geniş uygulama alanına sahip biyobozunur bir biyopolimerdir (Rumengan, Suptijah, Wullur ve Talumepa, 2017). Özellikle karides, yengeç ve istakoz kabuklarından elde edilmekte; çeşitli işlemlerle jel, membran, nanolif, parçacık ve doku mühendisliği iskeleleri gibi biyomalzeme formlarına dönüştürülebilmektedir (Maschmeyer, Luque ve Selva, 2020). Balık pullarından elde edilen kitin kitosana dönüştürülerek biyoplastik üretiminde kullanılmakta; bu malzemeler biyobozunur, toksik olmayan ve potansiyel olarak toprak verimliliğini artırıcı özellikler göstermektedir. Mekanik ve çevresel testlerle doğrulanan bu biyoplastiklerin biyomedikal uygulama potansiyeli bulunsa da, ölçek büyütme, maliyet ve çevresel sürdürülebilirlik önemli zorluklar yaratmaktadır. Bu nedenle kapsamlı YDA çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Niranjana ve Krishnamoorthy, 2025).

Kolajen, farmasötik, biyomedikal, nutrasötik, kozmesötik ve gıda sektörlerinde yaygın olarak kullanılmakta olup, biyoplastik ve biyomalzemeler için de önemli bir kaynaktır. Bulaşıcı hastalık riski taşımamaları nedeniyle denizel organizmalar kolajen için umut verici kaynaklar olarak değerlendirilmektedir (Coppola ve ark., 2020). Balık kemikleri ise yüksek inorganik içerikleri sayesinde önemli bir biyolojik kalsiyum fosfat kaynağıdır ve biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu atıkların yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesi çevresel sorunların azaltılmasına katkı sağlayabilir (Maschmeyer, Luque ve Selva, 2020).

Balık atıklarının polimer kompozitlerde kullanımı da dikkat çekmektedir. Hamsi kılçıklarından elde edilen tozun PLA ve Mater-Bi® esaslı polimerlere eklenmesiyle 3B yazdırılabilir kompozit filamentler üretilmiş; %10 dolgu oranında en iyi uyum sağlanmıştır. Dolgu, eğilme ve darbe dayanımını artırmış; ancak artık balık yağı plastikleştirici etki göstermiştir (Scaffaro, Citarrella, Catania ve Settanni, 2022). Benzer şekilde, kolajen, jelatin, kitin/kitosan ve aljinat gibi biyopolimerlerin gıda ambalajında sentetik plastiklere alternatif olabileceği belirtilmiştir (Rabiepour, Hodhodi ve Bora, 2022). Balık jelatininden üretilen filmlerin özellikleri hammadde ve işleme koşullarına bağlı olup, çeşitli katkılarla aktif ambalaj özellikleri kazandırılabilir (Gómez-Guillén ve ark., 2009). Balık pulu-mısır nişastası kompozitleri yeterli mekanik ve termal

özellikler sergilemiş ve kısa sürede biyobozunmuştur (Surya, Sundaramanickam, Nithin ve Iswarya, 2023).

Ayrıca pirinç kavuzu, bagas ve balık atıkları PP kompozitlerde denenmiş; balık atığı mekanik takviye sağlamasa da biyobozunurluğu artırmıştır (Nourbakhsh, Ashori ve Tabrizi, 2014). İpek kozası serisini ve balık jelatini kullanılarak üretilen nano takviyeli biyoplastikler ise 14 gün sonunda %85 oranında bozunmuş ve tek kullanımlık plastiklere alternatif olarak önerilmiştir (Vijayakumar ve ark., 2024).

## **6. Sürdürülebilirlik, Çevresel Etki ve Geri Dönüşüm**

### **6.1. Yaşam döngüsü analizi (YDA)**

YDA, bir ürün veya hizmetin hammaddeden bertarafa kadar tüm aşamalarındaki çevresel etkilerini değerlendiren bir yöntemdir. Plastik, gıda ambalajlarında en yaygın kullanılan malzeme olup, YDA bu malzemelerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini karşılaştırmaya ve daha çevre dostu alternatifleri belirlemeye imkân tanır. Plastik ambalaj üretimi yüksek su ve enerji tüketimi gerektirirken, küresel geri dönüşüm oranı yalnızca %9'dur; metal ve kâğıtta bu oran daha yüksektir. Plastik atık üretiminin geri dönüşüm artışı olmaksızın süreceği öngörülmektedir. Bu nedenle geri dönüştürülebilir alternatiflerin kullanımı, biyobozunur plastiklerin geliştirilmesi ve geri dönüşüm altyapısının güçlendirilmesi önem taşımaktadır (Ghosse, Jaka ve Kimaro, 2025). YDA çalışmalarının çoğu et, süt ve taze ürünler gibi çevresel etkisi yüksek gıdalara odaklanmakta; plastik ambalajın raf ömrünü uzatarak gıda israfını azaltmada kritik rol oynadığı belirtilmektedir. Bununla birlikte, daha fazla gıda kategorisini kapsayan çalışmalara ihtiyaç vardır (Hemachandra, Hadjikakou ve Pettigrew, 2024).

Balıkçılık araçları, kafes sistemleri ve gemi yapı malzemelerine yönelik YDA çalışmaları da üretimden bertarafa kadar çevresel etkileri ortaya koyarak sürdürülebilir seçimleri desteklemektedir. Ancak mevcut biyobozunurluk testlerinin okyanuslarda azotun sınırlayıcı rolünü dikkate almaması, gerçek bozunma süreçlerinin doğru değerlendirilmesini engellemekte ve biyobozunur olduğu iddia edilen plastiklerin çevresel risklerinin yanlış yorumlanmasına yol açabilmektedir (Van Rossum, 2011).

PLA üzerine yapılan YDA çalışmalarının incelendiği bir araştırmada, sistem sınırları, hammadde kökeni ve beş çevresel etki kategorisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, PLA'nın deniz ve tatlı su ötrofikasyonu ile insan toksisitesi kategorilerinde daha yüksek etkilere sahip olduğunu, bunun büyük ölçüde tarımsal hammadde üretiminden kaynaklandığını göstermiştir. İklim değişikliği açısından en yüksek sera gazı emisyonu PS'de, ozon tabakasının incilmesi kategorisinde ise PET'te görülmüştür (Fonseca, Ramalho, Gouveia, Figueiredo

ve Nunes, 2023). Biyoplastik YDA çalışmalarının çoğu PLA, PHA ve termoplastik nişastaya odaklanmakta; ancak bu malzemelerin toplam plastik kullanımındaki payının sınırlı kalacağı belirtilmektedir. Kullanım ömrü sonu süreçlerine ilişkin veri eksikliği yüksek belirsizlik yaratmakta olup, özellikle anaerobik sindirim ve döngüsel ekonomi potansiyeline yönelik daha fazla araştırma gerekmektedir (Van Roijen ve Miller, 2022).

## **6.2. Geri dönüşüm stratejileri**

Kullanım ömrünü tamamlamış balık ağlarının bertarafı, depolanması veya yeniden kullanımı önemli bir sorundur. İspanya limanlarında yılda 1.643 ton, çoğunluğu ağlardan oluşan av aracı atılmakta; bunun %97,5'i trol, %2,3'ü galsama ve fanyalı, %0,2'si ise gırgır balıkçılığında kaynaklanmaktadır. En yaygın polimer trol ağlarından gelen HDPE olup, bunu PA6 izlemektedir. Bu malzemeler mekanik olarak geri dönüştürülmekte, ancak kimyasal geri dönüşüm yapan bir kurum bulunmamaktadır (Basurko ve ark., 2023).

Polimer ağların kimyasal ve mekanik geri dönüşümü, karbon fiber kompozitlerin yeniden kullanımı ve paslanmaz çeliklerin geri dönüşüm oranları sürdürülebilir üretim açısından kritik önemdedir. Singh, Raj, Franco ve Binoj (2018) biyobozunur olmayan cam elyafının çevresel etkilerini azaltmak amacıyla, atık balık ağlarından elde edilen naylon lifleri kompozit tekne gövdelerinde alternatif takviye malzemesi olarak incelemişlerdir. ASTM standartlarına göre yapılan testler, naylon lif takviyeli hibrit kompozitlerin çevre dostu ve sürdürülebilir bir malzeme potansiyeli taşıdığını göstermiştir.

Ayrıca, döngüsel ekonomi yaklaşımı kapsamında mermer atıkları ve atılmış PP balık ağlarından yeni bir polimerik kompozit geliştirilmiştir. Mermer bulamacı dolgu olarak kullanılmış; malzeme ekstrüzyon, sıcak baskı ve 3B baskı yöntemleriyle üretilmiştir. İlk mekanik testler olumlu sonuçlar vermiş olsa da, inşaat sektöründe uzun vadeli performans ve çevresel dayanım için daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Famoso ve Corrao, 2025).

## **6.3. Mikroplastik oluşumunu azaltan malzeme yaklaşımları**

Aşınmaya dayanıklı polimer karışımları, doğal lif takviyeli kompozitler ve biyobozunur ağ sistemleri mikroplastik sorununa karşı geliştirilen başlıca malzeme stratejileridir. Örneğin; ısırgan otu (*Girardinia diversifolia*) lifleri ve PLA kullanılarak çevre dostu biyokompozitler üretilmiştir. En iyi performans, lif ve matrisin eşit kütle oranlarında olduğu kompozitte elde edilmiştir. Malzeme hafif, yüksek mekanik dayanımlı ve termal olarak kararlıdır. Kısa sürede belirgin biyobozunma göstermektedir (Nandi ve Das, 2022). Kompozit atıkların çevresel sorunlara yol açtığı için biyobozunur ve sürdürülebilir kompozitlere yönelim artmaktadır. Doğal lif takviyeli kompozitler otomotiv ve inşaatla yaygınlaşmıştır; filament sarma için kullanımları ise sınırlıdır. Doğal liflerin filament sarmada



kullanımı, süreksizlik, hidrofiliklik ve düşük dayanım gibi zorluklar içermektedir. Yüksek selüloz içeriği doğal liflerin mekanik performansını belirleyen temel faktördür. Yüzey modifikasyonları, lif-matris bağı ve çekme dayanımını artırmaktadır. Filament sarma (winding) için doğal-sentetik hibrit kompozitlerin geliştirilmesi, hızla büyüyen basınçlı kap pazarında önemli bir araştırma alanıdır (Shrigandhi ve Kothavale, 2021).

#### **6.4. Biyobozunur malzemeler: Genel bakış**

Biyobozunur polimerler ve plastikler üç ana gruba ayrılır: (1) doğal biyobozunur polimerler, (2) sentetik biyobozunur polimerler ve (3) modifiye edilmiş doğal biyobozunur polimerler. Doğal biyobozunur polimerler canlılar tarafından üretilen, yenilenebilir ve çevre açısından güvenli malzemelerdir. Biyobozunmaları yavaş olsa da, bu durum dezavantaj olarak görülmez. Selüloz ve nişasta gibi polisakkaritler en yaygın örneklerdir; polihidroksialkanoatlar ve proteinler de bu gruptadır. Sentetik polimerlerin çoğu biyobozunur değildir; ancak alifatik poliesterler istisna oluşturur. Polietilen adipat (PEA) ve polikaprolakton (PCL) gibi bazı sentetik PES'ler mikroorganizmalar tarafından parçalanabilirken, poliüretanlar ve çeşitli kopoliesterler lipaz ve esteraz enzimleriyle hidrolize edilebilmektedir. Nişasta ve selüloz esaslı polisakkarit-plastik karışımları da bozunmayan plastiklere alternatif olarak araştırılmakta olup, nişasta-LDPE ve nişasta-etilen-akrilik asit karışımları en yaygın örnekler arasındadır (Nayak, 1999).

Bununla birlikte daha temkinli yaklaşımlar da mevcuttur. Paul-Pont ve ark. (2023), biyobozunur plastiklerin plastik kirliliğine çözüm olarak sınırlı ve koşula bağlı bir role sahip olduğunu, doğal ortamlarda biyobozunurluk ve toksisitenin kanıtlanmasının güç olduğunu belirtmiştir. Evrensel biyobozunurluk kavramının bulunmadığını, her ekosistemin farklı davrandığını ve doğal çevrenin atık bertaraf alanı olarak görülmemesi gerektiğini vurgulamış; ayrıca kompostlanabilir plastiklerin etkin kullanımı için atık yönetim altyapısının yeniden düzenlenmesi gerektiğini ifade etmiştir (Paul-Pont ve ark., 2023).

Deniz tabanının plastiklerin yüzyıllarca birikebildiği bir depo alanı olduğu, biyobozunur plastiklerin daha az kalıcı olmasına rağmen, sedimentin biyokimyasal süreçlerini etkileyebileceği bildirilmiştir. Deneyler, biyobozunur plastiklerin gömülü organik karbonun ayrışmasını hızlandırarak CO<sub>2</sub> salımını artırdığını, inorganik azot akıplarını azalttığını ve azot döngüsünü değiştirdiğini göstermiştir. Yaygınlaşmaları hâlinde karbon tutma süreçlerini ve iklim düzenleyici ekosistem hizmetlerini olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir (Sanz-Lázaro, Casado-Coy ve Beltrán-Sanahuja, 2021). Ayrıca deniz ortamlarında bozunma hızlarının iklim, habitat ve malzeme türüne bağlı olarak büyük ölçüde değiştiği; PHB, PBSe ve PBSeT'nin belirli koşullarda bozunurken LDPE'nin

bozunmadığı ortaya konmuştur. Bu durum, “denizde biyobozunur” kavramının tek başına yeterli olmadığını göstermektedir (Lott ve ark., 2021).

Benzer şekilde, uygun çevresel koşullarda bazı biyobozunur plastiklerin gerçekten parçalanabildiği; toprakta PCL ve PBS’nin 6 aydan kısa sürede tamamen bozunurken PBAT’ın yüksek tereftalat içeriği nedeniyle direnç gösterdiği belirtilmiştir. Deniz ortamında ise PCL’nin bozunduğu ve dalga ile akıntı gibi fiziksel etkenlerin süreci hızlandığı ifade edilmiştir. Ağ yapısının, havalanma ve su hareketlerinin bozunma hızını etkilediği; mekanik dayanımın zamanla düştüğü ve bunun terk edilmiş av araçlarında hayalet avcılığın önlenmesi açısından avantaj sağlayabileceği vurgulanmıştır (Lee ve ark., 2024). Okyanuslar, doğal ve yenilenebilir biyopolimerler açısından önemli bir kaynak olmakla birlikte, denizel ortamlardaki bozunma süreçleri sıcaklık, pH ve mikroorganizmalara bağlı olarak değişmekte ve hâlen yeterince araştırılmamıştır (Samalens ve ark., 2022).

## 7. Gelecek Perspektifleri

Gelecekte akıllı malzemeler, çevresel değişimlere tepki veren adaptif yüzeyler, biyomimetik yüksek dayanımlı yapılar, nanokompozitler ve karbon nötr üretim teknolojileri daha yaygın olarak kullanılacaktır. Otonom sistemlerin gelişmesiyle birlikte sensör uyumlu ve modüler malzemelerin önemi artacaktır. Ancak bu dönüşüm sürecinde çeşitli sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Çevresel kaygılar ve politikalar nedeniyle biyobozunur plastiklere talep artarken, piyasada yaygın olan yeşil yıkama uygulamaları yeterince denetlenmemektedir. Kanada, ABD ve Brezilya’da satılan birçok ürün biyobozunur olduğu iddia edilmesine rağmen deniz ortamında bozunmamış; hatta PE gibi biyobozunur olmayan plastikler çevre dostu olarak pazarlanmıştır. Bu durum tüketiciyi yanıltmakta ve hatalı atık yönetimine yol açmaktadır (Nazareth, Marques, Leite ve Castrob, 2019).

Biyoplastikler, biyobazlı polimerlerden üretilen ve yenilenebilir ya da geri dönüştürülmüş hammaddelere dayanan plastikler olarak, döngüsel ekonomi yaklaşımı kapsamında daha sürdürülebilir yaşam döngülerine katkı sağlayabilir. Bu bağlamda, fosil yakıt ve biyoplastik hammaddelerin fiyat değişimlerini açıklamak üzere çeşitli politika çerçeveleri ve stratejiler geliştirilmektedir (Ali ve ark., 2021).

Deniz ekosistemi hem plastik kirliliği hem de sunduğu biyolojik kaynaklar açısından önemli bir araştırma alanıdır. Evrimsel olarak optimize edilmiş denizel biyomalzemeler, modern malzeme bilimi, biyomimetik ve biyotıp için önemli potansiyel taşımaktadır. Son yıllardaki çalışmalar, deniz kökenli biyomalzemelerin çeşitliliği, uygulama alanları, karşılaşılan zorluklar ve

gelecekteki araştırma yönelimlerini öne çıkarmaktadır (Khrunyk, Lach, Petrenko ve Ehrlich, 2020).

## **8. Sonuç**

Yeni nesil malzemeler, su ürünleri, balıkçılık, kültür balıkçılığı, denizcilik ve deniz araştırmalarında hem verimlilik hem de sürdürülebilirlik açısından kritik bir role sahiptir. Geleneksel malzemelerin çevresel etkileri göz önüne alındığında, biyobozunur polimerlerden karbon fiber kompozitlere, akıllı kaplamalardan geri dönüştürülebilir yapı sistemlerine kadar geniş bir yelpazede yenilikçi malzeme çözümleri sektörel dönüşümü hızlandırmaktadır. Geleceğin deniz endüstrisi, çevre dostu malzeme bilimi ile ileri teknolojilerin kesiştiği bu yeni dönemin üzerine inşa edilecektir. Ancak biyobozunur malzemeler petrol kökenli plastiklerin yerine geçebilecek mi? Bu soruya yanıt bulabilmek için yapılması gereken çok fazla araştırma olduğu da bir gerçektir.

## Kaynaklar

- Abelti, A. L., Teka, T. A., Forsido, S. F., Tamiru, M., Bultosa, G., Alkhtib, A. ve Burton, E. (2022). Bio-based smart materials for fish product packaging: a review. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 857-871. doi:10.1080/10942912.2022.2066121
- Ali, S. S., Abdelkarim, E. A., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Li, F., Zuorro, A., . . . Sun, J. (2021). Bioplastic production in terms of life cycle assessment: A state-of-the-art review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 15(100254), 1-21. doi:10.1016/j.esec.2023.100254
- Anand, S. M., Sendhilnathan, S., Kumar, C. M. ve Tamilarasan, R. (2025). Experimental study of concrete properties for artificial reefs from biodegradable waste materials for fish breeding. *Marine Georesources & Geotechnology*, 43(7), 1247-1262. doi:10.1080/1064119X.2024.2397384
- Arantzamendi, L., Andrés, M., Basurko, O. C. ve Suárez, M. J. (2023). Circular and lower impact mussel and seaweed aquaculture by a shift towards bio-based ropes. *Reviews in Aquaculture*, 15, 1010–1019. doi:10.1111/raq.12816
- Ashraf, P. M. (2019). Nano CuO incorporated polyethylene glycol hydrogel coating over surface modified polyethylene aquaculture cage nets to combat biofouling. *Fishery Technology*, 56, 115-124.
- Ashraf, P. M. ve Edwin, L. (2016). Nano copper oxide incorporated polyethylene glycol hydrogel: An efficient antifouling coating for cage fishing net. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 115, 39-48. doi:10.1016/j.ibiod.2016.07.015
- Athiyyah, R., Simbolon, D., Komarudin, D., Yuwandana, D. P., Saputra, R. ve Riyanto, M. (2023). Evaluating potential biodegradable twine for use in the blue swimming crab collapsible pots. *Engineering and Technology Journal*, 8(11), 3018-3025. doi:10.47191/etj/v8i11.11
- Banaee, M., Multisanti, C. R., Impellitteri, F. ve Piccione, G. (2025). Environmental toxicology of microplastic particles on fish: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 287(110042), 1-19. doi:10.1016/j.cbpc.2024.110042
- Barron, A. ve Sparks, T. D. (2020). Commercial marine-degradable polymers for flexible packaging. *iScience*, 23(101353), 1-13. doi:10.1016/j.isci.2020.101353
- Basurko, O. C., Markalain, G., Mateo, M., Peña-Rodriguez, C., Mondragon, G., Larruskain, A., . . . Gil, N. M. (2023). End-of-life fishing gear in Spain: Quantity and recyclability. *Environmental Pollution*, 316(120545), 1-8. doi:10.1016/j.envpol.2022.120545

- Beggel, S., Kalis, E. J., Gilb, K. M., Pander, J. ve Geist, J. (2025). Ecotoxicological effects of soft plastic fishing lures on the benthic amphipod *Hyaella azteca*. *Heliyon*, 11(e43068), 1-12. doi:10.1016/j.heliyon.2025.e43068
- Bilkovic, D. M., Havens, K. J., Stanhope, D. M. ve Angstadt, K. T. (2012). Use of fully biodegradable panels to reduce derelict pot threats to marine fauna. *Conservation Biology*, 26(6), 957-966. doi:10.1111/j.1523-1739.2012.01939.x
- Bloecher, N. ve Floerl, O. (2020). Efficacy testing of novel antifouling coatings for pen nets in aquaculture: How good are alternatives to traditional copper coatings? *Aquaculture*, 519(734936), 1-7. doi:10.1016/j.aquaculture.2020.734936
- Boopendranath, M. R. (2012). Waste minimisation in fishing operations. *Fishery Technology*, 49, 109-119.
- Cao, Z. ve Cao, P. (2023). Research progress on low-surface-energy antifouling coatings for ship hulls: A review. *Biomimetics*, 8(502), 1-14. doi:10.3390/biomimetics8060502
- Cerbule, K., Grimaldo, E., Herrmann, B., Larsen, R. B., Brčić, J. ve Vollstad, J. (2022a). Can biodegradable materials reduce plastic pollution without decreasing catch efficiency in longline fishery? *Marine Pollution Bulletin*, 178(113577), 1-10. doi:10.1016/j.marpolbul.2022.113577
- Cerbule, K., Herrmann, B., Grimaldo, E., Larsen, R. B., Savina, E. ve Vollstad, J. (2022b). Comparison of the efficiency and modes of capture of biodegradable versus nylon gillnets in the Northeast Atlantic cod (*Gadus morhua*) fishery. *Marine Pollution Bulletin*, 178(113618), 1-12. doi:10.1016/j.marpolbul.2022.113618
- Cerbule, K., Herrmann, B., Trumbić, Z., Petrić, M., Šifner, S. K., Grimaldo, E., . . . Brčić, J. (2023). Use of biodegradable materials to reduce marine plastic pollution in small scale coastal longline fisheries. *Journal for Nature Conservation*, 74(126438), 1-10. doi:10.1016/j.jnc.2023.126438
- Cerbule, K., Larsen, R. B., Vollstad, J. ve Alvestad, A. H. (2025). Comparison of fishing performance of biodegradable and nylon gillnets with different twine diameter. *Regional Studies in Marine Science*, 87(104247), 1-10. doi:10.1016/j.rsma.2025.104247
- Chen, Q., Chang, C. ve Zhang, L. (2021). Surface engineering of cellulose film with myristic acid for high strength, self-cleaning and biodegradable packaging materials. *Carbohydrate Polymers*, 269(118315), 1-9. doi:10.1016/j.carbpol.2021.118315

- Claverie, M., McReynolds, C., Petitpas, A., Thomas, M. ve Fernandes, S. C. (2020). Marine-derived polymeric materials and biomimetics: An overview. *Polymers*, 12(1002), 1-31. doi:10.3390/polym12051002
- Coppola, D., Oliviero, M., Vitale, G. A., Lauritano, C., D'Ambra, I., Iannace, S. ve de Pascale, D. (2020). Marine collagen from alternative and sustainable sources: Extraction, processing and applications. *Marine Drugs*, 18(214), 1-23. doi:10.3390/md18040214
- Costa, R. A., Sá, S., Pereira, A. T., Ângelo, A. R., Vaqueiro, J., Ferreira, M. ve Eira, C. (2020). Prevalence of entanglements of seabirds in marine debris in the central Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 161(111746), 1-7. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111746
- De Domenico, F., Pedà, C., Berti, C., Consoli, P., Longo, F., Greco, S. ve Romeo, T. (2023). Reducing marine litter pollution from anchored fish aggregating devices: Sicilian good practices and the legislative paradox. *Marine Policy*, 154(105695), 1-9. doi:10.1016/j.marpol.2023.105695
- Debeaufort, F. (2021). Active biopackaging produced from by-products and waste from food and marine industries. *FEBS Open Bio*, 11, 984–998. doi:10.1002/2211-5463.13121
- Delgado, A., Briciu-Burghina, C. ve Regan, F. (2021). Antifouling strategies for sensors used in water monitoring: Review and future perspectives. *Sensors*, 2(2), 1-25. doi:10.3390/s21020389
- Dickson, J., Franken, O., Watson, M. S., Monnich, B., Holthuijsen, S., Eriksson, B. K., . . . Bouma, T. J. (2023). Who lives in a pear tree under the sea? A first look at tree reefs as a complex natural biodegradable structure to enhance biodiversity in marine systems. *Frontiers in Marine Science*, 10(1213790), 1-14. doi:10.3389/fmars.2023.1213790
- Do, H.-L. ve Armstrong, C. W. (2025). Navigating transition: understanding fishers' perceptions of biodegradable fishing gear adoption. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 14(2), 181-198. doi:10.1080/21606544.2025.2471112
- Do, H.-L. ve Cherry, T. L. (2025). Ghost fishing and the voluntary adoption of biodegradable gear. *Resource and Energy Economics*, 84(101534), 1-10. doi:10.1016/j.reseneeco.2025.101534
- Drakeford, B. M., Forse, A. ve Failler, P. (2023a). The economic impacts of introducing biodegradable fishing gear as a ghost fishing mitigation in the English Channel static gear fishery. *Marine Pollution Bulletin*, 192(114918), 1-12. doi:10.1016/j.marpolbul.2023.114918

- Drakeford, B. M., Forse, A. ve Failler, P. (2023b). Biodegradability and sustainable fisheries: The case for static gear in the UK Channel fishery. *Marine Policy*, 155(105774), 1-10. doi:10.1016/j.marpol.2023.105774
- Duncan, E. M., Botterell, Z. L., Broderick, A. C., Galloway, T. S., Lindeque, P. K., Nuno, A. ve Godley, B. J. (2017). A global review of marine turtle entanglement in anthropogenic debris: a baseline for further action. *Endangered Species Research*, 34, 431-448. doi:10.3354/esr00865
- Düzbastılar, F. O. ve Lök, A. (2004). Primary materials in construction of artificial reefs (Yapay Resif İnşasında Kullanılan Birincil Malzemeler). *Ege Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 21(1-2), 181-185.
- Düzbastılar, F. O. ve Şentürk, U. (2009). Determining the weights of two types of artificial reefs required to resist wave action in different water depths and bottom slopes. *Ocean Engineering*, 36, 900-913. doi:10.1016/j.oceaneng.2009.06.008
- Escalle, L., Mourot, J., Hamer, P., Hare, S. R., Phillip Jr., N. B. ve Pilling, G. M. (2023). Towards non-entangling and biodegradable drifting fish aggregating devices – Baselines and transition in the world's largest tuna purse seine fishery. *Marine Policy*, 149(105500), 1-13. doi:10.1016/j.marpol.2023.105500
- Famoso, M. ve Corrao, R. (2025). Marble Waste and Disposed Fishnets: A New Polymeric Composite Material Supporting Circular Economy. In R. Albatici, M. Dalprà, M. P. Gatti, G. Maracchini ve S. Torresin, *Envisioning the Futures - Designing and Building for People and the Environment* (pp. 336-353). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-032-06993-1
- Fonseca, A., Ramalho, E., Gouveia, A., Figueiredo, F. ve Nunes, J. (2023). Life cycle assessment of PLA products: A systematic literature review. *Sustainability*, 15(12470), 1-19. doi:10.3390/su151612470
- Franco-Trecu, V., Drago, M., Katz, H., Machín, E. ve Marín, Y. (2017). With the noose around the neck: Marine debris entangling otariid species. *Environmental Pollution*, 220, 985-989. doi:10.1016/j.envpol.2016.11.057
- Gao, F., Gui, F., Feng, D., Qu, X., Hu, F. ve Yang, X. (2023). Study on the corrosion behavior of D36 steel plate and H62 copper alloy net for marine Aquaculture Facilities in Simulated Seawater. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5), 1-22. doi:10.3390/jmse11050975
- García-Bueno, N. ve Marín, A. (2021). Ecological management of biomass and metal bioaccumulation in fish-cage nettings: Influence of antifouling paint and fiber manufacture. *Aquaculture*, 544(737142), 1-10. doi:10.1016/j.aquaculture.2021.737142

- Gaspar, M. C., Leocádio, J., Mendes, C. V., Cardeira, M., Fernández, N., Matias, A., . . . Braga, M. E. (2021). Biodegradable film production from agroforestry and fishery residues with active compounds. *Food Packaging and Shelf Life*, 28(100661), 1-13. doi:10.1016/j.fpsl.2021.100661
- Ghosse, M., Jaka, D. D. ve Kimaro, J. M. (2025). Life cycle assessment (LCA) of plastic food packaging materials: A mini-review. *Journal of Materials Science Research and Reviews*, 8(2), 421-433. doi:10.9734/jmsrr/2025/v8i2415
- Gilman, E. (2016). Biodegradable fishing gear: part of the solution to ghost fishing and marine pollution. *Animal Conservation*, 19, 320-321. doi:10.1111/acv.12298
- Gómez-Guillén, M. C., Pérez-Mateos, M., Gómez-Estaca, J., López-Caballero, E., Giménez, B. ve Montero, P. (2009). Fish gelatin: a renewable material for developing active biodegradable films. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 3-16. doi:10.1016/j.tifs.2008.10.002
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 2013-2025. doi:10.1098/rstb.2008.0265
- Grimaldo, E., Herrmann, B., Jacques, N. ve Vollstad, J. (2020). Effect of mechanical properties of monofilament twines on the catch efficiency of biodegradable gillnets. *Plos One*, 15(9), 1-21. doi:10.1371/journal.pone.0234224
- Grimaldo, E., Herrmann, B., Jacques, N., Kubowicz, S., Cerbule, K., Su, B., . . . Vollstad, J. (2020). The effect of long-term use on the catch efficiency of biodegradable gillnets. *Marine Pollution Bulletin*, 161(111823), 1-11. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111823
- Grimaldo, E., Herrmann, B., Su, B., Føre, H. M., Vollstad, J., Olsen, L., . . . Tatone, I. (2019). Comparison of fishing efficiency between biodegradable gillnets and conventional nylon gillnets. *Fisheries Research*, 213, 67-74. doi:10.1016/j.fishres.2019.01.003
- Grimaldo, E., Herrmann, B., Tveit, G. M., Vollstad, J. ve Schei, M. (2018). Effect of using biodegradable gill nets on the catch efficiency of Greenland halibut. *Marine and Coastal Fisheries*, 10, 619-629. doi:10.1002/mcf2.10058
- Grimaldo, E., Herrmann, B., Vollstad, J., Su, B., Føre, H. M., Larsen, R. B. ve Tatone, I. (2018). Fishing efficiency of biodegradable PBSAT gillnets and conventional nylon gillnets used in Norwegian cod (*Gadus morhua*) and saithe (*Pollachius virens*) fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 75(6), 2245-2256. doi:10.1093/icesjms/fsy108



- Grimaldo, E., Karl, C. W., Alvestad, A., Persson, A.-M., Kubowicz, S., Olafsen, K., . . . Lilleng, G. (2023). Reducing plastic pollution caused by demersal fisheries. *Marine Pollution Bulletin*, 196(115634), 1-11. doi:10.1016/j.marpolbul.2023.115634
- Gu, Y., Yu, L., Mou, J., Wu, D., Xu, M., Zhou, P. ve Ren, Y. (2020). Research strategies to develop environmentally friendly marine antifouling coatings. *Marine Drugs*, 18(7), 1-22. doi:10.3390/md18070371
- Gümpel, P., Dornbierer, U., Hörtnagl, A. ve Bogatzky, T. (2021). New Development: High-Strength Stainless Steel as a Sustainable Material for Aquaculture. In Q. Lu, *Salmon Aquaculture* (pp. 1-15). IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.98680
- Halim, N. A. ve Mon, S. Z. (2021). A review on impact of environmental conditions on fishing net mechanical properties. *Progress in Engineering Application and Technology*, 2(1), 957-964. Retrieved from <http://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/peat>
- Hemachandra, S., Hadjikakou, M. ve Pettigrew, S. (2024). A scoping review of food packaging life cycle assessments that account for packaging-related food waste. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29, 1899-1915. doi:10.1007/s11367-024-02349-z
- Hodson, S. L., Burke, C. M. ve Bissett, A. P. (2000). Biofouling of fish-cage netting: the efficacy of a silicone coating and the effect of netting colour. *Aquaculture*, 184, 277–290.
- Hong, Y., Yang, H.-S., Lee, M. H., Kim, S., Park, S. B., Hwang, S. Y., . . . Hwang, D. S. (2024). Fishing gear with enhanced drapability and biodegradability: Artificial, eco-friendly fibers inspired by the mussel byssus. *Chemical Engineering Journal*, 489(151388), 1-12. doi:10.1016/j.cej.2024.151388
- Karl, C. W., Bernat, S., Arstad, B., Kubowicz, S., Persson, A.-M. M., Stenerud, G., . . . Larsen, R. B. (2025). Degradation behavior of biodegradable and conventional polymers for gill nets, exposed to accelerated aging. *ACS Applied Polymer Materials*, 7, 2830-2840. doi:10.1021/acsapm.4c03333
- Karningsih, P. D., Kusumawardani, R., Syahroni, N., Mulyadi, Y. ve Saad, M. B. (2021). Automated fish feeding system for an offshore aquaculture unit. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1072(012073), 1-13. doi:10.1088/1757-899X/1072/1/012073
- Kelly, M. R., Erbe, A., Hallsteinsen, I. G. ve Lein, H. L. (2025). The antifouling mechanism and efficacy of graphene nanomaterials in composite coatings against marine diatoms. *ACS Omega*, 10, 59478–59488. doi:10.1021/acsomega.5c09053

- Khrunyk, Y., Lach, S., Petrenko, I. ve Ehrlich, H. (2020). Progress in modern marine biomaterials research. *Marine Drugs*, 18(589), 1-47. doi:10.3390/md18120589
- Kim, J., Park, S., Bang, J., Jin, H.-J. ve Kwak, H. W. (2023). Biodegradation in composting conditions of PBEAS monofilaments for the sustainable end-use of fishing nets. *Global Challenges*, 7(2300020), 1-9. doi:10.1002/gch2.202300020
- Kim, J., Park, S., Jung, S., Yun, H., Choi, K., Heo, G., . . . Kwak, H. W. (2023). Biodegradation behavior of polybutylene succinate (PBS) fishing gear in marine sedimentary environments for ghost fishing prevention. *Polymer Degradation and Stability*, 216(110490), 1-10. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2023.110490
- Kim, S., Kim, P., Jeong, S., Lee, K. ve Oh, W. (2019). Physical properties of biodegradable fishing net in accordance with heat-treatment conditions for reducing ghost fishing. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(2), 127-135. doi:10.4194/1303-2712-v20\_2\_05
- Kim, S., Park, S. ve Lee, K. (2014). Fishing performance of an Octopus minor net pot made of biodegradable twines. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14, 21-30. doi:10.4194/1303-2712-v14\_1\_03
- Kim, S., Park, S.-w. ve Lee, K. (2014). Fishing performance of environmentally friendly tubular pots made of biodegradable resin (PBS/PBAT) for catching the conger eel *Conger myriaster*. *Fisheries Science*, 80, 887-895. doi:10.1007/s12562-014-0785-z
- Kozioł, A., Paso, K. G. ve Kuciel, S. (2022). Properties and recyclability of abandoned fishing net-based plastic debris. *Catalysts*, 12(948), 1-15. doi:10.3390/catal12090948
- Lee, J., Kim, S., Park, S. B., Shin, M., Kim, S., Kim, M.-S., . . . Oh, D. X. (2024). Mimicking real-field degradation of biodegradable plastics in soil and marine environments: From product utility to end-of-life analysis. *Polymer Testing*, 131(108338), 1-11. doi:10.1016/j.polymertesting.2024.108338
- Legault, R. ve Ahmadi, A. (2023). Investigation of carboxymethyl chitosan in the development of biodegradable soft bait fishing lures. *Frontiers in Marine Science*, 10(1182395), 1-11. doi:10.3389/fmars.2023.1182395
- Legault, R., Naseri, E., Madadian, E. ve Ahmadi, A. (2023). Development of a biodegradable soft bait fishing lure. *Fisheries Research*, 264(106738), 1-9. doi:10.1016/j.fishres.2023.106738
- Li, Z., Liu, P., Chen, S., Liu, X., Yu, Y., Li, T., . . . Gu, Y. (2023). Bioinspired marine antifouling coatings: Antifouling mechanisms, design strategies and

- application feasibility studies. *European Polymer Journal*, 190(111997), 1-23. doi:10.1016/j.eurpolymj.2023.111997
- Lionetto, F. ve Corcione, C. E. (2021). Recent applications of biopolymers derived from fish industry waste in food packaging. *Polymers*, 13(2337), 1-24. doi:10.3390/polym13142337
- Loizidou, X. I., Orthodoxou, D. L. ve Godet, R. (2024). Bioplastic fishing nets as a sustainable alternative against ghost fishing: Results from the year-long testing among artisanal fishermen for operational effectiveness and social acceptance. *Marine Pollution Bulletin*, 209(117300), 1-11. doi:10.1016/j.marpolbul.2024.117300
- Lopez, J., Ferarios, J. M., Santiago, J., Ubis, M., Moreno, G. ve Murua, H. (2019). Evaluating potential biodegradable twines for use in the tropical tuna FAD fishery. *Fisheries Research*, 219(105321), 1-5. doi:10.1016/j.fishres.2019.105321
- Lott, C., Eich, A., Makarow, D., Unger, B., van Eekert, M., Schuman, E., . . . Weber, M. (2021). Half-life of biodegradable plastics in marine environment depends on material, habitat, and climate zone. *Frontiers in Marine Science*, 8, 1-19. doi:10.3389/fmars.2021.662074
- Lukens, R. R., Bell, M., Culbertson, J., Buchanan, M., Kasprzak, R., Wahlquist, W. ve Thompson, M. (2004). Guidelines for marine artificial reef materials. USA: Gulf States Marine Fisheries Commission.
- MacKenzie, A. F., Basque, K., Maltby, E. A., Hodgson, M., Nicholson, A., Wilson, E., . . . Wyeth, R. C. (2021). Effectiveness of several commercial non-toxic antifouling technologies for aquaculture netting at reducing mussel biofouling. *Aquaculture*, 543(736968), 1-7. doi:10.1016/j.aquaculture.2021.736968
- Manfra, L., Marengo, V., Libralato, G., Costantini, M., De Falco, F. ve Cocca, M. (2021). Biodegradable polymers: A real opportunity to solve marine plastic pollution? *Journal of Hazardous Materials*, 416(125763), 1-14. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125763
- Maschmeyer, T., Luque, R. ve Selva, M. (2020). Upgrading of marine (fish and crustaceans)biowaste for high added-value molecules and bio(nano)-materials. *Chemical Society Reviews*, 49, 4527-4563. doi:10.1039/c9cs00653b
- Matche, R. S., Anup, G. J. ve Mrudula, G. (2020). Development of biodegradable films from marine ingredients incorporated with natural antimicrobial agents for food packaging. *Journal of Packaging Technology and Research*, 4, 45-55. doi:10.1007/s41783-020-00085-x

- McIlgorm, A., Campbell, H. F. ve Rule, M. J. (2011). The economic cost and control of marine debris damage in the Asia-Pacific region. *Ocean & Coastal Management*, 54, 643-651. doi:10.1016/j.ocecoaman.2011.05.007
- Monfardini, E., Ciaralli, L., Catalano, B., Franceschini, G., Antonini, C., Trabucco, B., . . . Nonnis, O. (2025). A field-based framework for evaluating sustainable fishing gear in small-scale *Plesionika edwardsii* fisheries. *Frontiers in Marine Science*, 12(1656784), 1-13. doi:10.3389/fmars.2025.1656784
- Moreno, G., Salvador, J., Zudaire, I., Murua, J., Pelegrí, J. L., Uranga, J., . . . Restrepo, V. (2023). The Jelly-FAD: A paradigm shift in the design of biodegradable Fish Aggregating Devices. *Marine Policy*, 147(105352), 1-12. doi:10.1016/j.marpol.2022.105352
- Murphy, K. C., Dilip, M., Quattrucci, J. G., Mitroka, S. M. ve Andreatta, J. R. (2019). Sustainable consumer choices: An outreach program exploring the environmental impact of our consumer choices using a systems thinking model and laboratory activities. *Journal of Chemical Education*, 96, 2993–2999. doi:10.1021/acs.jchemed.9b00400
- Murua, H., Zudaire, I., Tolotti, M., Murua, J., Capello, M., Basurko, O. C., . . . Santiago, J. (2023). Lessons learnt from the first large-scale biodegradable FAD research experiment to mitigate drifting FADs impacts on the ecosystem. *Marine Policy*, 148(105394), 1-18. doi:10.1016/j.marpol.2022.105394
- Nandi, P. ve Das, D. (2022). Mechanical, thermo-mechanical and biodegradation behaviors of green-composites prepared from woven structural nettle (*Girardinia diversifolia*) reinforcement and poly(lactic acid) fibers. *Industrial Crops & Products*, 175(114247), 1-12. doi:10.1016/j.indcrop.2021.114247
- Napper, I. E. ve Thompson, R. C. (2019). Environmental deterioration of biodegradable, oxo-biodegradable, compostable, and conventional plastic carrier bags in the sea, soil, and open-air over a 3-year period. *Environmental Science & Technology*, 53, 4775-4783. doi:10.1021/acs.est.8b06984
- Nayak, P. L. (1999). Biodegradable Polymers: Opportunities and Challenges. *Journal of Macromolecular Science*, 39(3), 481-505. doi:10.1081/MC-100101425
- Nazareth, M., Marques, M. R., Leite, M. C. ve Castrob, Í. B. (2019). Commercial plastics claiming biodegradable status: Is this also accurate for marine environments? *Journal of Hazardous Materials*, 366, 714-722. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.12.052
- Niranjana, X. S. ve Krishnamoorthy, R. (2025). Chitin extraction from *Lutjanus campechanus* for sustainable bio-plastic production (Red Snapper).

- Biomedical Materials & Devices, 3, 484-495. doi:10.1007/s44174-024-00181-
- Nourbakhsh, A., Ashori, A. ve Tabrizi, A. K. (2014). Characterization and biodegradability of polypropylene composites using agricultural residues and waste fish. *Composites Part B: Engineering*, 56, 279-283. doi:10.1016/j.compositesb.2013.08.028
- Pagnotta, L. (2025). Sustainable netting materials for marine and agricultural applications: A perspective on polymeric and composite developments. *Polymers*, 17(1454), 1-33. doi:10.3390/polym17111454
- Palmisa, A. C. ve Pettigrew, C. A. (1992). Biodegradability of plastics. *BioScience*, 42(9), 680-685. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/1312174>
- Park, S., Bae, B., Cha, B.-j., Kim, Y. J. ve Kwak, H. W. (2023). Development of poly(butylene adipate-co-butylene succinate-co-ethylene adipate-co-ethylene succinate) (PBEAS) net twine as biodegradable fishing gear. *Marine Pollution Bulletin*, 194(115295), 1-9. doi:10.1016/j.marpolbul.2023.115295
- Paul-Pont, I., Ghiglione, J.-F., Gastaldi, E., Halle, A. T., Huvet, A., Bruzard, S., . . . Fabre, P. (2023). Discussion about suitable applications for biodegradable plastics regarding their sources, uses and end of life. *Waste Management*, 157, 242–248. doi:10.1016/j.wasman.2022.12.022
- Peng, Y., Nianga, J.-M. ve Wang, Z. (2025). Characterization of marine composites: A comprehensive review of marine materials in shipbuilding, their mechanical behaviors and degradation mechanisms. *Global Journal of Engineering Sciences*, 12(1), 1-17. doi:10.33552/GJES.2025.12.000778
- Phillips, J. S., Escalle, L., Murua, H., Lopez, J. ve Moreno, G. (2025). A short-lived FAD in the Pacific: Implications and adaptations in the move to biodegradable fish aggregating devices. *Marine Pollution Bulletin*, 218(118130), 1-8. doi:10.1016/j.marpolbul.2025.118130
- Qi, H., Chang, C. ve Zhang, L. (2008). Properties and applications of biodegradable transparent and photoluminescent cellulose films prepared via a green process. *Green Chemistry*, 11, 177-184. doi:10.1039/B814721C
- Rabiepour, A., Hodhodi, A. ve Bora, K. M. (2022). Usage of biodegradable packaging derived from fishery resources considering environmental approaches. 12th International Conference on Food Industry Sciences, Organic Farming and Food Security, (pp. 1-12). Poland.
- Rathod, N. B., Bangar, S. P., Šimat, V. ve Özoğul, F. (2023). Chitosan and gelatine biopolymer-based active/biodegradable packaging for the preservation of

- fish and fishery products. *International Journal of Food Science and Technology*, 58, 854-861. doi:10.1111/ijfs.16038
- Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltelli, M.-B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., . . . Schmid, M. (2020). Bio-based packaging: Materials, modifications, industrial applications and sustainability. *Polymers*, 12(1558), 1-35. doi:10.3390/polym12071558
- Rohith, K., Shreyas, S., Vishnu Appaiah, K. B., Sheshank, R. V., Ganesha, B. B. ve Vinod, B. (2019). Recent material advancement for marine application. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4854-4859.
- Rossi, L., Zoli, M., Capoccioni, F., Pulcini, D., Martini, A. ve Bacenetti, J. (2024). Insights into different marine aquaculture infrastructures from a life cycle perspective. *Aquacultural Engineering*, 107(102462), 1-9. doi:10.1016/j.aquaeng.2024.102462
- Rubino, F., Nisticò, A., Tucci, F. ve Carlone, P. (2020). Marine application of fiber reinforced composites: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(26), 1-28. doi:10.3390/jmse8010026
- Rumengan, I. F., Suptijah, P., Wullur, S. ve Talumepa, A. (2017). Characterization of chitin extracted from fish scales of marine fish species purchased from local markets in North Sulawesi, Indonesia. 89, pp. 1-5. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/89/1/012028
- Sahoo, P. P., Singh, S., Rout, P. K., Mishra, S. ve Das, A. P. (2023). Microbial remediation of plastic pollutants generated from discarded and abandoned marine fishing nets. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 39(2), 511-526. doi:10.1080/02648725.2022.2152629
- Samalens, F., Thomas, M., Claverie, M., Castejon, N., Zhang, Y., Pigot, T., . . . Fernandes, S. C. (2022). Progresses and future prospects in biodegradation of marine biopolymers and emerging biopolymer-based materials for sustainable marine ecosystems. *Green Chemistry*, 24(1762), 1762-1779. doi:10.1039/d1gc04327g
- Sanz-Lázaro, C., Casado-Coy, N. ve Beltrán-Sanahuja, A. (2021). Biodegradable plastics can alter carbon and nitrogen cycles to a greater extent than conventional plastics in marine sediment. *Science of the Total Environment*, 756(143978), 1-7. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143978
- Scaffaro, R., Citarrella, M. C., Catania, A. ve Settanni, L. (2022). Green composites based on biodegradable polymers and anchovy (*Engraulis Encrasicolus*) waste suitable for 3D printing applications. *Composites Science and Technology*, 230(109768), 1-12. doi:10.1016/j.compscitech.2022.109768

- Seaman, W. ve Sprague, L. M. (1991). Artificial habitat practices in aquatic systems. In W. Seaman ve L. M. Sprague, Artificial habitats for marine and freshwater fisheries (pp. 1-29). San Diego, USA: Academic Press.
- Shrigandhi, G. D. ve Kothavale, B. S. (2021). Biodegradable composites for filament winding process. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2762-2768. doi:10.1016/j.matpr.2020.12.718
- Singh, A. M., Raj, F. M., Franco, P. A. ve Binoj, J. S. (2018). Evaluation of mechanical behavior of multifilament discarded fishnet/glass fiber and polyester composites for marine applications. *Marine Structures*, 58, 361–366. doi:10.1016/j.marstruc.2017.11.013
- Singh, M., Unadkat, K., Kapoor, S., Enamala, M. K., Parikh, P. ve Chandrasekhar, K. (2022). Potential Applications of Biopolymers in Fisheries Industry. In A. K. Nadda, S. Sharma ve R. Bhat, *Biopolymers: Recent Updates, Challenges and Opportunities* (pp. 199-221). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-030-98392-5
- Sourav, C., Sasidharan, A., Mohan, C. O., Sabu, S. ve Sunooj, K. V. (2025). Prospects of biodegradable packaging in the seafood industry: A review. *Asian Fisheries Science*, 38, 50-65. doi:10.33997/j.afs.2025.38.1.00
- Standal, D., Grimaldo, E. ve Larsen, R. B. (2020). Governance implications for the implementation of biodegradable gillnets in Norway. *Marine Policy*, 122(104238), 1-9. doi:10.1016/j.marpol.2020.104238
- Surya, P., Sundaramanickam, A., Nithin, A. ve Iswarya, P. (2023). Eco-friendly preparation and characterization of bioplastic films made from marine fish-scale wastes. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 34174–34187. doi:10.1007/s11356-022-24429-z
- Ulugöl, M. ve Düzbastılar, F. O. (2016). A case study for preventing illegal trawl fishery: The application of anti-trawl artificial reef and design criteria (Yasadışı trol balıkçılığının engellenmesi için bir öneri: Anti-trol yapay resif uygulaması ve tasarım ölçütleri). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 33(1), 27-34. doi:10.12714/egejfas.2016.33.1.05
- Van Roijen, E. C. ve Miller, S. A. (2022). A review of bioplastics at end-of-life: Linking experimental biodegradation studies and life cycle impact assessments. *Resources, Conservation and Recycling*, 181(106236), 1-16. doi:10.1016/j.resconrec.2022.106236
- Van Rossum, T. (2011). Marine biodegradability review of plastics. *Water Cycle*, 2, 38-43. doi:10.1016/j.watcyc.2021.06.001
- Vijayakumar, N., Sanjay, A. V., Al-Ghanim, K. A., Nicoletti, M., Baskar, G., Kumar, R. ve Govindarajan, M. (2024). Development of biodegradable bioplastics

- with sericin and gelatin from silk cocoons and fish waste. *Toxics*, 12(453), 1-13. doi:10.3390/toxics12070453
- Wang, G.-X., Huang, D., Ji, J.-H., Völker, C. ve Wurm, F. R. (2020). Seawater-degradable polymers—fighting the marine plastic pollution. *Advanced Science*, 8(2001121), 1-26. doi:10.1002/advs.202001121
- Wang, J., Li, L., Wu, Y. ve Liu, Y. (2025). Design and application of antifouling bio-coatings. *Polymers*, 17(793), 1-38. doi:10.3390/polym17060793
- Wang, X., Jiang, Q., Han, D., Chen, Y., Liu, W., Pei, Y., . . . Hou, B. (2026). Progress in anti-biofouling materials and coatings for the marine environment. *Journal of Environmental Sciences*, 161, 494–510. doi:10.1016/j.jes.2025.05.038
- Wang, Y., Zhou, C., Xu, L., Wan, R., Shi, J., Wang, X., . . . Wang, K. (2021). Degradability evaluation for natural material fibre used on fish aggregation devices (FADs) in tuna purse seine fishery. *Aquaculture and Fisheries*, 6, 376-381. doi:10.1016/j.aaf.2020.06.014
- Wasave, S., Kamble, S., Kazi, T., Wasave, S. ve GB, S. (2025). A bibliometric review on ghost fishing: Impacts on marine environment and governing measures. *Marine Pollution Bulletin*, 212(117604), 1-13. doi:10.1016/j.marpolbul.2025.117604
- Wataniyakun, W., Le Gall, M., El Rakwe, M. ve Karl, C. W. (2025). Biodegradable fishing gears: A potential solution to ghost fishing and marine plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 212(117607), 1-17. doi:10.1016/j.marpolbul.2025.117607
- Watson, M. S., Dickson, J., Franken, O., Govers, L. L., van der Heide, T., Witte, S. ve Eriksson, B. K. (2025). Introduced substrates trigger colonization by reef-associated fish in a degraded coastal system. *Plos One*, 20(1), 1-15. doi:10.1371/journal.pone.0317431
- Wilcox, C. ve Hardesty, B. D. (2016). Biodegradable nets are not a panacea, but can contribute to addressing the ghost fishing problem. *Animal Conservation*, 19, 322-323. doi:10.1111/acv.12300
- Winger, P. D., Legge, G., Batten, C. ve Bishop, G. (2015). Evaluating potential biodegradable twines for use in the snow crab fishery off Newfoundland and Labrador. *Fisheries Research*, 161, 21-23. doi:10.1016/j.fishres.2014.06.007
- Wu, S., Wu, S., Xing, S., Wang, T., Hou, J., Zhao, Y. ve Li, W. (2024). Research progress of marine anti-fouling coatings. *Coatings*, 14(9), 1-25. doi:10.3390/coatings14091227
- Yang, Q., Lue, A. ve Zhang, L. (2010). Reinforcement of ramie fibers on regenerated cellulose films. *Composites Science and Technology*, 70, 2319-2324. doi:10.1016/j.compscitech.2010.09.012



- Yu, M., Tang, Y., Min, M., Herrmann, B., Cerbule, K., Liu, C., . . . Zhang, L. (2023). Comparison of physical properties and fishing performance between biodegradable PLA and conventional PA trammel nets in grey mullet (*Mugil cephalus*) and red-lip mullet (*Liza haematocheila*) fishery. *Marine Pollution Bulletin*, 195(115545), 1-15. doi:10.1016/j.marpolbul.2023.115545
- Yu, W., Yang, F., Wang, L., Liu, Y. ve Shi, J. (2020). Starch-based fishing composite fiber and its degradation behavior. *International Journal of Polymer Science*, 9209108, 1-10. doi:10.1155/2020/9209108
- Zhang, Q., Liu, X., Jiang, Y., Xiao, F., Wang, W. ve Duan, J. (2025). Graphene research progress in the application of anticorrosion and antifouling coatings. *Crystals*, 15(541), 1-22. doi:10.3390/cryst15060541
- Zhang, T., Liu, Z., Zhang, J., Su, X., Chen, J. ve Wan, R. (2024). Numerical study of the hydrodynamic response of biodegradable drifting Fish Aggregating Devices in regular waves. *Fishes*, 9(112), 1-17. doi:10.3390/fishes9040112
- Zhang, T., Zhao, W., Zhou, C., Zhao, F. ve Wan, R. (2024). Design and modeling of an eco-friendly anchored fish aggregating device with artificial reef subjected to wave and current. *Ocean Engineering*, 313(119599), 1-15. doi:10.1016/j.oceaneng.2024.119599
- Zudaire, I., Moreno, G., Murua, J., Hamer, P., Murua, H., Tolotti, M. T., . . . Santiago, J. (2023). Biodegradable drifting fish aggregating devices: Current status and future prospects. *Marine Policy*, 153(105659), 1-9. doi:10.1016/j.marpol.2023.105659



## **BÖLÜM 5**

# Su Hasadı Tekniklerinin Tarımsal Üretimde Uygulanabilirliği ve Sürdürülebilir Tarıma Katkısı

***Birol Taş<sup>1</sup>***

## **Giriş**

Dünya nüfусundaki artış, su kaynaklarının nicelik ve nitelik bakımından azalması ve iklim değışikliğinin giderek belirginleşen etkileri, tarımsal üretimin suya olan bağımlılığını kritik bir eşik noktasına taşımıştır. Küresel ölçekte mevcut tatlı su rezervlerinin büyük bir kısmı tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır. Bu durum, yağış rejimlerindeki düzensizlikler ve kuraklık sıklığındaki artış ile birleştğinde, özellikle kuru tarım yapılan bölgelerde üretim riskini belirgin biçimde artırmaktadır (Velasco-Muñoz vd., 2019). Tarım sektörünün toplam su tüketimindeki yüksek payı alternatif ve sürdürülebilir su yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda yağmur suyunun ve yüzey akışının toplanması depolanması ile üretim amaçlı kullanılması esasına dayanan su hasadı uygulamaları (Food and Agriculture Organization AGROVOC) söz konusu zorlukların aşılmasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Velasco-Muñoz vd., 2019). Su hasadı yağışın zaman ve mekân bakımından düzensiz dağıldığı koşullarda tarımsal üretimin sürekliliğini güçlendiren temel uyum araçlarından biridir (Mekdaschi Studer & Liniger 2013).

Tarım sektörü su güvenliği tartışmalarında merkezi bir konumda yer almaktadır; çünkü küresel su kullanımının en büyük payı bu sektöre aittir. UNESCO tarafından yayımlanan 2025 tarihli rapora göre, toplam su kullanımının yaklaşık %72'si tarıma, %15'i sanayiye ve %13'ü evsel kullanıma yönelmektedir. Aynı raporda, 2000 yılında yaklaşık 3.500 km<sup>3</sup> olan küresel su kullanımının 2021 itibarıyla 4.000 km<sup>3</sup> düzeyine ulaştığı belirtilmektedir (UNESCO, 2025). Bu artış eğilimi, özellikle iklim baskısının yoğunlaştığı dönemlerde arzı artırmaya yönelik müdahalelerden ziyade talep yönetimi ve kayıpların azaltılmasına dayalı stratejilerin önemini artırmaktadır (WMO, 2024). Dünya Meteoroloji Örgütü verileri ise günümüzde yaklaşık 3,6 milyar insanın yılın en az bir döneminde su yetersizliği ile karşı karşıya kaldığını ve mevcut eğilimlerin devam etmesi halinde bu sayının 2050 yılına kadar 5 milyarı aşabileceğini öngörmektedir. Bu çerçevede su hasadı, suyun kaynağında tutulması, kayıpların azaltılması ve kritik büyüme dönemlerinde kullanılması

---

<sup>1</sup> Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü

esasına dayanan bir dayanıklılık aracı olarak öne çıkmaktadır (Mekdaschi Studer & Liniger, 2013). Etiyopya yükseklerinde uygulanan zai çukuru tekniklerine ilişkin saha çalışmalarında, su ve bitki besin elementlerinin eş zamanlı yönetiminin, sağlanan gelir artışı açısından işgücü maliyetlerini dengelemekle kalmayıp çoğu durumda aşan bir ekonomik performans ortaya koyduğu belirtilmektedir (Amede vd., 2011). Benzer bulgular Burkina Faso’da yürütülen araştırmalarda da rapor edilmiştir. Yağmur suyu hasadı havzalarıyla desteklenen tamamlayıcı sulama uygulamalarında hem ürün veriminde hem de su üretkenliğinde anlamlı artışlar sağlanmış; bu artışların üretim maliyetleri üzerinde olumlu bir etki yarattığı ifade edilmiştir (Kima vd., 2025). Bu sonuçlar, su hasadı uygulamalarının yalnızca üretim düzeyini artıran teknikler olarak değil, aynı zamanda kurak yıllarda ortaya çıkan gelir dalgalanmalarını sınırlayan bir risk yönetimi aracı olarak da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Oweis & Hachum, 2006).

Su hasadı uygulamaları teknik açıdan oldukça geniş bir çerçeveye sahiptir. Suyun düştüğü alanda tutulmasına dayanan mikro havza sistemlerinden, dış havzalardan gelen yüzey akışının kontrollü biçimde üretim alanlarına yönlendirildiği makro havza sistemlerine kadar farklı ölçeklerde çözümler geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar, kurak dönemlerde bitkinin kritik su gereksinimini karşılamaya destek olmakta; yeraltı su rezervlerinin yeniden beslenmesine katkıda bulunmakta; yüzey akışını düzenleyerek toprak erozyonunu azaltmakta ve yağış değişkenliğine karşı tarımsal üretim sistemlerine bir tampon mekanizması kazandırmaktadır. Böylece su hasadı, yalnızca bir su temin yöntemi değil, aynı zamanda agroekolojik dayanıklılığı artıran bütüncül bir arazi ve su yönetimi stratejisi niteliği taşımaktadır.

### **Teorik Çerçeve ve Su Hasadı Sistemlerinin Sınıflandırılması**

Su hasadı sistemleri, buharlaşma, yüzey akışı veya kök bölgesinden daha aşağıya sızma yoluyla kaybolacak yağışı yakalamak, yönlendirmek ve depolamak amacıyla tasarlanmış uygulamalardır. Bu sistemlerin kuramsal temeli, hidrolojik bilgilerin ışığı altında tarla ya da çiftlik ölçeğinde sağlanacak su dengesi optimizasyonuna dayanmaktadır (Velasco-Muñoz vd., 2019). Su hasadı sistemleri genellikle mekânsal ölçek ve teknik yaklaşıma göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar:

**In situ su hasadı:** Yağışın düştüğü toprak profili içerisinde infiltrasyonun ve su tutma kapasitesinin artırılmasını hedefleyen uygulamaları kapsamaktadır. Kontur set oluşturma, teraslama ve derin toprak işleme bu yöntemdeki başlıca uygulamalardır. Kontur set oluşturma eğime dik doğrultuda eş yükselti eğrileri boyunca toprak bentlerin inşa edilmesine dayanmaktadır. Bu bentler akış hızını azaltarak suyun toprak tarafından emilmesi için gerekli süreyi artırmakta; böylece yüzey akışını ve erozyon riskini azaltmaktadır.

Set tipi teraslama ise dik yamaçların desteklenmiş dik yüzeyler aracılığıyla bir dizi düz platforma dönüştürülmesini içermektedir. Bu uygulama yüzey akış hızını ve toprak kaybını önemli ölçüde azaltmakta aynı zamanda farklı ürünlerin yetiştirilebileceği mikro iklim koşulları oluşturmaktadır. Güneydoğu Asya'daki geleneksel pirinç terasları bu yaklaşımın başarılı örnekleri arasında yer almaktadır. İnşa süreci yüksek iş gücü gerektirse de uzun vadede arazi kullanılabilirliğini artırmakta ve su tutma kapasitesini iyileştirmektedir.

**Mikro Havza Sistemleri:** Mikro havza sistemi, su hasadı (yağmur suyu toplama) uygulamalarında kullanılan etkili ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Mikro havza sistemleri genellikle 1.000 m<sup>2</sup>'den küçük alanlardan gelen yüzey akışını toplayarak bitkilerin kök bölgesine yönlendirirler. Temel prensibi yağışı bir "kaynak alanından (catchment area) toplayıp "hedef alana" (target area- genellikle bitkinin dibine) aktarmaktır. Yarı dairesel bentler yamuk bentler ve kontur sırt sistemleri yaygın uygulamalardır (Yetik ve Şen 2020). Bu sistemler kurak alanlarda her türlü ağacın sulanmasında yem üretimi için arazide gerekli olan suyun sağlanmasında uygundur.

Mikro havza sistemleri, Kuzey Kenya'nın Turkana bölgesinde, meyve ağaçları için değerlendirilen yarı dairesel toprak bentleri kullanılarak uygulanmıştır. Maliyet-fayda analizleri, makro havza sistemlerinde papaya yetiştiriciliğinin daha düşük su gereksinimleri ve erken meyve üretimi nedeniyle mango veya guavaya göre daha iyi ekonomik performans gösterdiğini belirtmektedir (Benicke, 2001). Bu tür sistemlerin kârlılığı kritik olarak ürün seçimine bağlıdır; yüksek pazar değeri ve düşük su talebi gösteren türler ekonomik başarı potansiyeli en yüksek olanlardır.

Etiyopya'da yapılan çalışmalar, küçük ölçekli alan bazlı su hasadı uygulamalarının özellikle yüksek rakımlı bölgelerde tarımsal verimliliği artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Ayale, 2014). Su hasadının organik madde uygulamaları gibi toprak koruma teknikleriyle entegre edilmesi, kurak ortamlarda toprak nemini ve ürün verimini artırma açısından umut verici sonuçlar ortaya koymuştur (Kugedera ve Naik, 2026).

**Makro Havza ve Depolama Sistemleri :** Makro havza sistemleri, daha geniş harici havzalardan toplanan suyu rezervuar, gölet veya tanklarda depolayarak daha sonra kullanımını mümkün kılmaktadır (Yetik ve Şen, 2020). Çatı yağmur suyu hasadı, özellikle kentsel ve kent çevresi tarımda yaygın olarak benimsenen bir makro havza yaklaşımını temsil eder. Maryland, Baltimore'da yapılan bir araştırma, kentsel çiftliklerin %27'sinin yağmur suyu hasadı kullandığını, kapalı variller ve çatı toplama sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığını belgelemiştir (Segal vd., 2024). Makro havza sistemlerinin tasarımında, yağış desenleri, akış katsayıları ve havza alanı boyutlarını içeren dikkatli hidrolojik analizler gereklidir. Arauco ve Florida'daki sistemlerde sırasıyla 40 m<sup>3</sup> ve 10 m<sup>3</sup> su hasadı

yapılmıştır (Gonzales vd., 2025). Bu sistemler, mega kuraklık koşullarıyla karşı karşıya olan Akdeniz iklimlerinde adaptasyon stratejileri olarak değerli bulunmuştur (Zondo vd., 2024).

İşte bu nedenle bir yerde hangi tip su hasadı yapılacağına karar verebilmek için o bölgenin:

- Yağış miktarı ve dağılımı,
- Toprak özellikleri ve eğim,
- Arazi kullanılabilirliği,
- Bitki su gereksinimleri
- Çiftçilerin ekonomik kapasitesi gibi biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörlere bakılması gerektiği bildirilmiştir (Zondo vd., 2024).

Kurak ve yarı kurak bölgelerde hasat edilen suyun tamamlayıcı sulama şeklinde kullanılması, kritik büyüme dönemlerinde bitkiye verilmesi gereken suyun verilerek verim dalgalanmalarını azaltabilmektedir (Birka vd., 2024). International Center for Agricultural Research in the Dry Areas tarafından yayımlanan saha raporlarında, tamamlayıcı sulama uygulanan parsellerde birim su başına üretimin yağışa bağlı sistemlere kıyasla belirgin biçimde arttığı ortaya konmuştur (ICARDA, 2026). Bu bulgu, su kısıtı yaşayan bölgelerde suyun özellikle kritik fenolojik dönemlerde kullanılmasının toplam verim artışı kadar önemli olduğunu göstermektedir (Oweis & Hachum, 2006, Bouma et al., 2016).

### **Ekonomik Uygulanabilirlik ve Maliyet-Fayda Analizi**

Su hasadı sistemlerinin ekonomik değerlendirmesi, ilk sermaye yatırımı, işletme ve bakım giderlerini ve artan tarımsal verimlilikten ve su güvenliğinden elde edilen ekonomik faydaları hesaba katan kapsamlı yaşam döngüsü maliyet analizini (LCCA) gerektirir. Güneydoğu ABD'de yapılan araştırmalar, tarımsal yağmur suyu hasadı sistemlerinin kuyu suyu sulamasına kıyasla %77,7 kümülatif enerji tasarrufu sağlayabileceğini, çiftlik başına potansiyel ömür boyu enerji maliyeti tasarrufunun 705.515 \$ olduğunu göstermektedir (Ghimire ve Johnston, 2017). Örneğin, Kenya'daki akış sulama sistemlerinin maliyet-fayda analizleri, kârlılığın ürün seçimine, sistem ölçeğine ve yerel pazar koşullarına bağlı olduğunu göstermektedir. Makro havza sistemlerindeki papaya plantasyonları, toplam su gereksinimlerinin daha düşük olması ve yatırım getirisinin daha erken olması nedeniyle mango veya guavaya göre açık ekonomik avantajlar göstermiştir. Makro havza yaklaşımı genel olarak, net bugünkü değer, fayda-maliyet oranı ve iç verim oranı dahil tüm karar kriterlerinde mikro havza sistemlerine göre daha iyi performans göstermiştir (Benicke, 2001). Orta Şili'de yağmur suyu hasadı sistemlerinin ekonomik değerlendirmesi, daha büyük

sistemler için 263,51 USD/m<sup>3</sup> ve daha küçük kurulumlar için ise 841,07 USD/m<sup>3</sup> depolama maliyetlerini ortaya koymuştur; bu da ekonomik uygulanabilirlikte ölçeğin önemini vurgulamaktadır. %6 iskonto oranı ve 10 yıllık faydalı ömür kullanılarak yapılan net bugünkü değer hesaplamaları, her iki sistem için de pozitif getiriler gösterse de daha büyük kurulumların önemli ölçüde daha yüksek kârlılık sağladığını göstermiştir (Gonzales vd., 2025).

Su hasadının ekonomik faydaları, doğrudan tarımsal verimliliğin ötesine uzanarak yoksulluğun hafifletilmesini ve sosyoekonomik kalkınmayı da desteklemektedir. Araştırmalar, su temin sistemlerine yapılan her bir doların 5 ila 45 dolar arasında ekonomik getiri sağlayabileceğini, en yüksek getirilerin en az gelişmiş ülkelerde gözlemlendiğini göstermektedir (Islam, 2023). Bu bulgular hem tarımsal verimliliği hem de kırsal geçim iyileştirmeyi ele alan bir kalkınma müdahalesi olarak su hasadının potansiyelini vurgulamaktadır. Özetle bu iki sistemi karşılaştıracak olursak :

| <b>Karşılaştırma Kriteri</b> | <b>Mikro Havza Sistemleri</b>                              | <b>Makro Havza Sistemleri</b>                                                |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Toplama Alanı Ölçeği         | Genellikle 10–1.000 m <sup>2</sup> arası küçük havzalar    | Çiftlik sınırını aşabilen geniş havzalar                                     |
| Su Yönlendirme Şekli         | Su doğrudan bitki kök bölgesine yönlendirilir              | Su depolanır, daha sonra kontrollü şekilde kullanılır                        |
| Depolama Gereksinimi         | Genellikle anlık infiltrasyon; ayrı depolama yapısı yoktur | Rezervuar, tank, sarnıç veya gölet gerektirir                                |
| Teknik Karmaşıklık           | Düşük–orta                                                 | Orta–yüksek (hidrolojik tasarım gerektirir)                                  |
| Başlangıç Yatırım Maliyeti   | Görece düşük                                               | Görece yüksek                                                                |
| İşgücü Gereksinimi           | İlk kurulumda orta düzey                                   | İnşaat aşamasında yüksek                                                     |
| Bakım Gereksinimi            | Düşük–orta                                                 | Orta                                                                         |
| Uygun Ürün Tipi              | Ağaç ürünleri, yem bitkileri, kuraklığa dayanıklı türler   | Sebze üretimi, ticari meyve bahçeleri, tamamlayıcı sulama gerektiren ürünler |
| Ekonomik Risk                | Ürün seçimine bağlı olarak değişken                        | Yüksek yatırım nedeniyle daha yüksek sermaye riski                           |
| Kuraklık Dayanımı Katkısı    | Toprak nemini artırarak doğrudan dayanımı yükseltir        | Kritik dönemlerde sulama sağlayarak üretim istikrarı sağlar                  |
| Ölçek Ekonomisi              | Sınırlı                                                    | Büyük sistemlerde maliyet avantajı mümkündür                                 |

### **İklim Değişikliği Adaptasyonu ve Dayanıklılık**

İklim değişikliği, küresel ölçekte tarımsal sistemler üzerinde yapısal baskılar oluşturmakta; yağış miktarındaki azalma, yağış dağılımındaki düzensizlik ve aşırı hava olaylarının artan sıklığı, özellikle kırılgan bölgelerde gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Bu bağlamda su hasadı teknolojileri, tarımsal üretim sistemlerinin

iklim değişkenliği ve uzun vadeli iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını artıran önemli adaptasyon stratejileri olarak değerlendirilmektedir (Gonzales vd., 2025).

Kamerun'un Uzak Kuzey Bölgesi'nde, üretimin büyük ölçüde yağışa dayalı olduğu alanlarda yürütölen deneysel çalışmaları, kuru dönemlerde hasat edilen suyunun tamamlayıcı sulamada kullanılmasının bamya, marul ve salatalık gibi sebze türlerinde büyüme ve verim parametrelerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir (Birka vd., 2024).

Şili'nin Akdeniz iklim kuşağında yer alan bölgeleri 2010 yılından bu yana uzun süreli bir mega kuraklık süreci yaşamaktadır. Projeksiyonlar, ortalama yıllık yağışta yaklaşık %30 oranında bir azalmaya işaret etmektedir. Bu koşullar altında uygulanan su hasadı sistemleri, uzayan kurak dönemlerde hem tarımsal sulama hem de yeraltı suyu beslenmesi açısından güvenilir bir alternatif kaynak olarak ortaya çıkmıştır (Gonzales vd., 2025). Ayrıca hasat edilen suyunun kalite analizlerinin ulusal sulama standartlarını karşıladığı ve ileri düzey arıtma gerektirmeksizin tarımsal kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

Sahra Altı Afrika'daki küçük ölçekli tarım sistemleri; düşük pazar entegrasyonu, sınırlı sermaye birikimi ve çevresel şoklara karşı yüksek kırılğanlık nedeniyle iklim değişikliğine karşı özellikle hassastır. Bu bağlamda su hasadı ve mikro sulama gibi iklim dostu su yönetimi teknolojileri, dayanıklılığı artıran kritik müdahaleler olarak öne çıkmaktadır. Yapılan analizler, su kısıtının tarımsal üretimi sınırladığı kurak alanlarda su hasadı uygulamalarının ekilebilir alanı yaklaşık %3–5 oranında artırabildiğini göstermektedir (Zondo vd., 2024).

### **Küçük Çiftçi Sistemlerinde Uygulanabilirlik**

Küçük çiftçiler, gelişmekte olan ölkelerde tarımsal üretimin büyük bölümünü gerçekleştirmekte ve su kıtlığı ile iklim değişkenliğinden orantısız biçimde etkilenmektedirler. Bu nedenle, su hasadı teknolojilerinin küçük çiftçi sistemlerinde uygulanabilirliği; teknik erişilebilirlik, işgücü kapasitesi ve finansal kısıtlar dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Birçok küçük ölçekli tarım alanlarında geleneksel su hasadı uygulamaları hâlen sürdürölmektedir. Ancak daha gelişmiş sistemlere geçiş; sınırlı sermaye birikimi, teknik bilgi eksikliği ve arazi mülkiyet güvencesinin zayıf olması gibi yapısal engellerle sınırlı kalmaktadır. Başarılı benimseme stratejileri, yerel bilgi birikimini modern teknik çözümlerle bütünleştiren katılımcı yaklaşımlara dayanmaktadır. Bu tür yaklaşımlar, müdahalelerin hem kültürel olarak kabul edilebilir hem de ekonomik olarak uygulanabilir olmasını sağlamaktadır (Zondo vd., 2024).

Politika desteği ve kurumsal çerçeveler teknoloji benimsemesini kolaylaştırmada kritik öneme sahiptir. Su hasadı altyapısına yönelik sübvansiyonlar, teknik eğitim programları ve uygun iş modellerinin geliştirilmesi, kaynak kısıtlı küçük çiftçiler arasında benimsemeyi hızlandırabilir



(Zondo vd., 2024). Ayrıca tarımsal değeri zinciri boyunca paydaş iş birliği, iklim dostu su yönetimi uygulamalarına geçiş için destekleyici bir ortam oluşturmaktadır.

### **Zorluklar ve Sınırlamalar**

Su hasadının kanıtlanmış faydalarına rağmen, yaygın benimseme çeşitli teknik, ekonomik ve kurumsal sınırlamalarla karşılaşmaktadır. Özellikle makro havza sistemlerinde görülen yüksek başlangıç yatırım maliyetleri, küçük ölçekli üreticiler için önemli bir caydırıcı unsur olabilmektedir (Ghimire ve Johnston, 2017). Uzun vadeli ekonomik getiriler olumlu görünse de, ilk yatırım gereksinimi çoğu zaman dış finansal destek olmadan karşılanamamaktadır.

Teknik zorluklar arasında uygun sistem tasarımı, yeterli depolama kapasitesinin belirlenmesi, buharlaşma kayıplarının azaltılması ve aşırı yağış olaylarına karşı dayanıklılık yer almaktadır. Yetersiz tasarım; kapasite eksikliği, yapısal hasar veya sistem verimsizliği ile sonuçlanabilmektedir. Düzenli bakım, sistem performansının sürdürülebilirliği açısından kritik olmakla birlikte, kırsal ve uzak bölgelerde bakım imkanı sınırlı olabilmektedir (Segal vd., 2024).

Su kalitesi de önemli bir kısıt oluşturabilmektedir. Patojenler, ağır metaller veya tarımsal kimyasallar içerebilecek yüzey akışının depolanması, bazı durumlarda arıtma gereksinimi doğurabilmektedir. Her ne kadar bazı çalışmalarda uygun tasarlanmış sistemlerin sulama kalite standartlarını karşılayabildiği gösterilmiş olsa da farklı bağlamlarda ilave arıtma maliyetleri söz konusu olabilmektedir.

Sosyal ve kurumsal faktörler de benimseme düzeyini etkilemektedir. Arazi mülkiyet güvencesinin zayıf olması, kalıcı altyapı yatırımlarını caydırabilmekte; toplumsal cinsiyet rolleri ve hane içi karar alma süreçleri teknolojiye erişimi şekillendirebilmektedir. Ayrıca yayım hizmetlerinin teknik kapasite eksikliği, uygulamaların ölçeklendirilmesini sınırlayabilmektedir (Zondo vd., 2024).

### **Gelecek Yönelimleri ve Öneriler**

Tarımda su hasadının geleceği, mevcut sınırlamaların giderilmesi ve yenilikçi çözümlerin ölçeklendirilmesine bağlıdır. Araştırma öncelikleri;

- Düşük maliyetli, dayanıklı inşaat malzemelerinin geliştirilmesi
- Yağış belirsizliğini dikkate alan, iklim bilgisine dayalı sistem tasarım modelleri
- Su toplama ile koruma amaçlı tarım ve tarım ormancılığının entegrasyonu

- Verim istikrarını ve gelir değişkenliğini değerlendiren uzun vadeli etki değerlendirmeleri

Politika m¼dahaleleri ise aşağıdaki konulara odaklanmalıdır:

- Mali teşvikler ve karma finansman mekanizmaları
- Yaygınlaştırma sistemlerinin g¼çlendirilmesi
- Uzun vadeli yatırımı teşvik eden arazi m¼lkiyeti reformları

Su hasadını açık biçimde içeren iklim dostu tarım politikalarının geliştirilmesi, uygulamaların ulusal kalkınma stratejilerine entegre edilmesini sağlayabilir (Zondo vd., 2024). Uluslararası bilgi paylaşımı ve b¼lgesel iş birliği platformları, benzer agroekolojik koşullara sahip b¼lgeler arasında başarılı uygulamaların yayılımını hızlandırabilir. Geleneksel bilginin bilimsel yaklaşımlarla b¼t¼nleřtirilmesi, yerel bağlama uygun ve toplumsal kabul¼ y¼ksek c¼z¼mler geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

### **Sonuç**

Su hasadı, tarımsal sistemlerde su kıtlığına karşı teknik olarak uygulanabilir, ekonomik olarak potansiyel fayda sağlayan ve c¼vresel s¼rd¼r¼lebilirlięi destekleyen bir yaklaşımdır. *In situ* uygulamalardan depolama ve dağıtım temelli sistemlere kadar uzanan geniş teknik yelpaze, farklı agroekolojik koşullarda ¼retim artışı ve dayanıklılık sağlamaya y¼nelik ¼leklenebilir c¼z¼mler sunmaktadır.

Mevcut kanıtlar, uygun tasarım ve y¼netim koşullarında su hasadı uygulamalarının ¼r¼n verimini artırabileceğini, ¼retim istikrarını g¼çlendirebileceęini ve uzun vadede ekonomik getiriler sağlayabileceğini g¼stermektedir. İlim değişikliğinin su stresini artırdığı bir d¼nemde, su hasadı altyapısının stratejik biçimde yaygınlaştırılması giderek daha kritik hale gelmektedir.

Bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi; politika yapıcılar, araştırmacılar ve kalkınma uygulayıcıları arasında koordineli ve uzun vadeli bir yaklaşım gerektirmektedir. Su kaynaklarının verimli ve adil y¼netimi, s¼rd¼r¼lebilir tarımın temel koşullarından biridir ve su hasadı teknolojileri bu hedefe ulaşmada ¼nemli araçlar sunmaktadır.

## Kaynakça

- Anonim, Agriculture Notes by Agriculture.Institute.(2026) (<https://agriculture.institute/soil-water-conservation/water-harvesting-techniques-methods-benefits/> E.T: 20. 02. 2026
- Anonim, FAO. <https://agrovoc.fao.org/> E.T.:20.02.2026
- Ayele, YA., (2014). Rain water harvesting for climate change adaption in Ethiopia:Policy and Institutional Analysis. Institute of Developing Economies, 1-66
- Birka, R. J., Kawzu, K. J., ve Nnaji, C. C. (2024). Diamaré, Kamerun'da gıda güvenliğini artırmak için yağmur suyu hasadı yoluyla iklim değişikliği adaptasyonu. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 14(12), 1244-1259. <https://doi.org/10.2166/washdev.2024.053>
- Bouma, J. A., Hegde, S. S., Lasage, R. (2016). Assessing the returns to water harvesting: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 163, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.012>
- Clemens Benicke, C. (2001). Costs and Benefits of Adopting Runoff Irrigation Systems : A case study from Kakuma, northern Kenya. Diplomarbeit in Geoökologie, Lehrstuhl für Biogeographie der Universität Bayreuth. ET.: <https://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/research/other/Costs%20and%20Benefits%20of%20Runoff%20Irrigation.pdf>
- Ghimire,SR , Johnston, JM. (2017). Holistic impact assessment and cost savings of rainwater harvesting at the watershed scale. *Elementa (Wash DC)*. 5:9. doi: 10.1525/elementa.135
- Gonzáles, P. S., Sáez Lazo, R., Vallejos Carrera, C., Fernández Torres, Ó., Bustos-Espinoza, L., Ibáñez Córdova, A., ve Ingram, B. (2025). Rainwater Harvesting for Well Recharge and Agricultural Irrigation: An Adaptation Strategy to Climate Change in Central Chile.. *Sustainability*, 17(8), 3549. <https://doi.org/10.3390/su17083549>
- ICARDA. (2026). Supplemental irrigation (innovation brief). <https://icarda.org/research/innovations/supplemental-irrigation> E.T.:20.02.2026
- Islam, MR. (2023). Factors influencing economic benefit of rainwater harvesting: an empirical analysis . *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72, 32-48. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.040>
- Kima, A. S., Sandwidi, B.-W. B., Waongo, M., Barbier, B., Kima, E., & Wang, Y.-M. (2025). Supplemental irrigation water management using rainwater

- harvesting basin for improving soil fertility, maize yield and water productivity in semi-arid climate of Burkina Faso. *American Journal of Applied Scientific Research*, 11(4), 219-231. <https://doi.org/10.11648/j.ajasn.20251104.15>
- Kugedera, AT., Naik, BSS. (2026). Climate-Resilient Agriculture Practices for Enhancing Resilient Practices and Food Systems in Dry Regions. *Plant Environ Interact*. 11;7(1). doi: 10.1002/pei3.70116
- Mekdaschi Studer, R., Liniger, H. (2013). Water harvesting: Guidelines to good practice. Centre for Development and Environment, WOCAT. <https://wocat.net/documents/126>
- Oweis, T., Hachum, A. (2006). Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 57-73. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.004>
- Segal, A., Khanjar, N., Yang, J., Brooks, K., Williams, M., Little, N., Lazar, A., Goldstein, RR. (2024). Urban agriculture in Baltimore, Maryland: Documenting current irrigation practices and rainwater harvesting. *Urban Agric Region Food Syst*. 1-13. <https://doi.org/10.1002/uar2.20075>
- UNESCO. (2025). The United Nations World Water Development Report 2025: Mountains and glaciers- Water towers. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/>
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Batlles-de-laFuente, A., ve Fidelibus, M. D. (2019). Tarımsal sulama için yağmur suyu hasadı: Küresel araştırmanın bir analizi. *Water*, 11(7), 1320. <https://doi.org/10.3390/w11071320>
- WMO (World Meteorological Organization). (2024). State of global water resources 2023. WMO. <https://public.wmo.int/publication-series/state-of-global-water-resources-2023>
- Yetik, A. K., ve Şen, B. (2020). Importance and Techniques of Water Harvesting Systems. *Turkish Journal of Agriculture and Food Science and Technology*, 8(sp1), 46–53. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8isp1.46-53.3952>
- Zondo, NS., Ndoro, JT., Mlambo, V. (2024). The Adoption and Impact of Climate-Smart Water Management Technologies in Smallholder Farming Systems of Sub-Saharan Africa: A Systematic Literature Review. *Water* 2024, 16(19), 2787; <https://doi.org/10.3390/w16192787>





## **BÖLÜM 6**

# **Orman Genel Müdürlüğü'nde Rotasyon, Atama ve Görevde Yükselme Uygulamaları ile Örgütsel Adalet Etkilerinin İncelenmesi: Bursa Orman Bölge Müdürlüğü Örneği**

*Murat Köse<sup>1</sup> & Duygu Öcal<sup>2</sup>*

## **1. Giriş**

Ormancılık örgütü, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve topluma ekonomik, sosyal, kültürel, vb. katkılar sağlama açısından büyük bir öneme sahiptir. Ormancılık örgütünün uygulama birimleri olan orman işletmeleri, ormanların bakımı, ağaçlandırma, yangın yönetimi ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi çevresel görevlerin yanı sıra, odun ve diğer orman ürünlerinin üretimi ile ekonomiye katkı sağlamaktadır (Öztürk, 2019). Ormanların başarılı bir şekilde işletilmesi yalnızca ekonomik kazanç sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ekosistemin dengesinin korunmasına ve sonuçta çok boyutlu ve sürdürülebilir ekosistem yönetiminin gerçekleştirilmesine de katkı sağlamaktadır.

Orman İşletmelerinin başarısını etkileyen faktörler arasında hem çevre hem de organizasyon unsurları bulunmaktadır. Orman İşletmelerinin başarısında yönetim stratejilerinden insan kaynakları yönetimine kadar pek çok faktör rol oynamaktadır. Ormancılık çalışanlarının sahip olduğu bilgi ve beceriler, doğru işe alım, performans değerlendirme, başarının ödüllendirilmesi, uzmanlıkların ve yeteneklerin doğru kullanımı, örgütsel adaletin sağlanması ve kariyer geliştirme fırsatları sunulması vb. faktörler işletmenin genel başarısını doğrudan etkiler.

Stratejik ormancılık yaklaşımında temel yaklaşımlarından biri, ormanların yeryüzündeki tüm insanların ve hatta tüm canlıların sahip olduğu doğal kaynaklardan biri olduğu gerçeğinden yola çıkarak, sürdürülebilir kaynak yönetimi ilkelerine göre yönetilmesidir. Değişim olmadan gelişmenin olmayacağı gerçeğinden hareketle, organizasyonel değişim, yeni bir yönetim anlayışı ve yeni belirlenen personelin oluşturacağı yeni bir yönetim politikası ile sağlanabilir. Bu durum personel üzerinde ya da kişilerin bilgi, beceri ve

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ORCID:0000-0002-7487-9287

<sup>2</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0009-0004-5821-8747

tutumlarında değişiklikler meydana getirecektir (Töremen, 2002; Kayıkçı ve ark., 2015)). Bunun sağlanabilmesi adına örgüt çalışanları yer değiştirme (rotasyon) uygulamasına tabi tutulmaktadır.

Rotasyon, Fransızca kökenli bir kelime olup, Türk Dil Kurumu (TDK, tdk.gov.tr) sözlüklerinde “yer değiştirme” olarak ifade edilmektedir (TDK, 2024). Yönetim bilimine göre eşit sorumluluklar vererek personelin çeşitli ve değişik yerlerde çalışmalarını sağlamak suretiyle iş veriminin artırılması (Tortop, 1994; Arslan ve Direk, 2017) olan rotasyon, bir başka ifadeyle de yer değiştirmek suretiyle personelin değişik zamanlarda ve yerlerde, farklı görevleri yerine getirmesidir.

Bu doğrultuda olaya bakıldığında, ülkede çalışan bütün kamu personelinin rotasyon uygulaması yoluyla hem sosyoekonomik açıdan kalkınmış veya avantajlı görülen bölgelerde hem de daha az kalkınmış veya dezavantajlı görülen bölgelerde çalışması sağlanmaktadır. Böylece kamu personelinin sürekli olarak avantajlı veya dezavantajlı bir bölgede veya yerde görev yapmasının önüne geçilmektedir. Rotasyonun uygulanmaması dezavantajlı (istenmeyen) yerlerde çalışan kamu personeline işte tatminsizliğe ve hoşnutsuzluğa sebep olacağı, bu durumun da zamanla örgütün zayıflamasına yol açacağı kabul edilmektedir (Kayıkçı ve Şarlak, 2013). Böyle bir gerçeklikten yola çıkarak rotasyon uygulaması, ülkenin coğrafi bölgeleri arasında var olan kalkınma düzeyi, sağlık, ulaşım, eğitim ekonomik imkanlar, topoğrafik özellikler, sosyoekonomik yapı, vb. farklılıklar bakımından kamu görevlilerinin ülkenin bazı bölgelerinde görev yapmayı tercih etmemeleri sebebiyle, tercih edilmeyen bölgelerde yaşanabilecek kamu hizmetlerindeki aksamanın önüne geçmeyi amaçlayan bir uygulamadır (Çolak, 2005). Rotasyon uygulamasının kısaca bir taraftan kamu hizmetlerindeki aksamanın önüne geçmeyi amaçlarken, diğer taraftan kamu hizmeti gören çalışanlar arasındaki örgütsel adalet duygusunun gelişmesine katkı sağladığı söylenebilir.

Kamu çalışanlarının sergilediği davranışlar, devletin tarafsızlığına veya devlete olan güvene zarar verecek sonuçlar üretmemelidir. Bunu sağlamanın en temel koşullarından biri, kamu personelinin atama-yükselme uygulamalarında liyakate, dolayısıyla hukuk kurallarına uyulmasıdır. Liyakat, yapılması gereken işin o işi en iyi yapabilecek kişiye verilmesi yani ehline verilmesi, personelin atama ve yükselmelerinde bu durumun dikkate alınması olarak tanımlanabilir (Yıldırım, 2023). Diğer bir ifadeyle bilgi, tecrübe, kıdem, sosyokültürel birikim, akıl, kapasite gibi kavramların bir üst bileşenini veya toplamını ifade eden bir kavramdır (Aktan, 2021). Ancak liyakati tanımlamak, dolayısıyla atama-yükselmelerde adil davranmak ve adil bir atama-yükselme anlayışını veya



sistemini ortaya koymak kolay bir iş değildir. Gelişmiş ülkelerde dahi liyakate dayalı adil bir atama- yükselme sisteminin meydana getirilmesi kolay bir şekilde gerçekleştirilmemiştir (Yıldırım, 2023). Bu anlamda ülkelerin kendi rejimlerinin sağlamlaşmasını sağlayan temel koşullardan biri, sosyoekonomik mücadelenin sonunda ülkede bürokrasinin yerleşmesini sağlamaktır (Dreyfus, 2007).

Demokratik ve hukuk kurallarına göre yönetilen ülkelerde atama ve yükselmelerde liyakatin dikkate alınmaması, dolayısıyla ülkede hukuka uyulmaması, bunun yerine personelin atama ve yükselmelerinde siyasi görüş, din, cemaat ve bölge milliyetçiliği gibi farklı özelliklerin aranması anlamına gelir. Bu ise zamanla önce ilgili kurumlara sonra tüm devlete olan güvenin azalmasına ve hatta kaybolmasına neden olur. Çalışanların atama ve yükselmelerinde liyakatin yerine başka özelliklerin aranıyor olmasının yaygın bir uygulama haline gelmesi ise devletin geleceğini tehlikeye sokabilecek boyutlara ulaşabilir.

Bir kurumda tepe yöneticilerinin çalışanlara yönelik atama-yükselme, ödüllendirme veya cezalandırma vb. uygulamalarının adil ve hakkaniyet ölçülerine uygun olması çalışanlar arasında örgütsel adalet duygusunun gelişmesine yardımcı olacaktır. Bu da iş veriminin artmasına ve çalışanlar arasında uyumun ve olumlu iletişimin gelişmesine katkı sağlayacaktır. Ödüllendirme veya cezalandırma uygulamalarının kurum içerisinde geliştirilecek performans kriterleri dikkate alınarak yapılmaması, çalışanlar arasında liyakate dayalı olmayan kayırmacılık yapılması ise çalışanların örgütsel adalet duygularını zayıflatacaktır.

Örgütsel adalet, kurum çalışanları arasında uygulanan ödül ve cezaların nasıl belirleneceği, yönetileceği ve dağıtılacağı süreçlerle ilişkin ilke ve kurallar bütünü olarak ifade edilebilir (Yüksekbilgili ve Hatipoğlu, 2015; Dağlı, 2016; Tokmak, 2019). Bir diğer ifadeyle örgütsel adalet, gruplar ya da bireyler arasındaki ilişkileri objektif bir şekilde oluşturmayı ve işle ilgili uygulamalarda adaletli davranmayı, çalışanların şahsiyetlerine ve kültürel değerlerine saygılı olmayı gerektirir (De Cremer, 2005).

Örgütler ve örgüt çalışanları açısından kritik öneme sahip olan örgütsel adalet kavramı; etkileşim adaleti, dağıtım adaleti ve işlem adaleti şeklinde ele alınmaktadır (Tuna, 2013). Etkileşim adaleti adaletin kaynağı olan nezaket, dürüstlük ve saygıyı iletişim yoluyla karar alma süreçlerinde bireylere ne kadar objektif ve ne kadar açıklıkla aktarıldığını ifade etmektedir (Tuna, 2013; Ertaş, 2014; Kayapalı ve Karabey, 2015). Dağıtım adaleti, ücret, terfi, ödül ve ceza gibi her türlü kazancın çalışanlara adil ve adalet standartlarına uygun şekilde dağıtılıp-dağıtılmadığına ilişkin algıdır (Tuna, 2013; Ertaş, 2014; Kayapalı ve Karabey,

2015). İşlem adaleti ise kaynak dağıtımında takip edilen süreç ve yöntemlerle ilişkili olup, kaynak dağıtımı sürecinde verilen kararların objektif olarak verilip verilmediğini değerlendirmektedir.

Orman Genel Müdürlüğü'nde (OGM, ogm.gov.tr) rotasyon, atama-yükselme uygulamalarının örgütsel adalete etkisi konusunda veya benzer konularda Bursa Orman Bölge Müdürlüğü (BOBM) merkezinde ve bağlı müdürlüklerinde yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Türkiye genelinde ise ormancılık iş kolunda bu veya benzer konularda yapılmış çalışmaların oldukça sınırlıdır ve çok önceki dönemlerde yapılmışlardır.

Çalışanların rotasyon, atama-yükselme, örgütsel adalet konularındaki düşünceleri zamanla değişebildiği gibi, coğrafi bölgelere, il merkezinde veya merkeze uzak ilçelerde çalışıyor olma, görev yeri ve pozisyonlarındaki değişme durumuna göre değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla bu tür çalışmaların farklı zamanlarda ve farklı bölgelerde yapılması ve aralarındaki ilişkilerin irdelenmesinde fayda bulunmaktadır. Özellikle son zamanlarda OGM'deki rotasyonun faydalı bir uygulama olup olmadığı, atama ve yükselmelerin liyakate dayalı adil bir şekilde yapılıp yapılmadığı vb. konular güncelliğini korumakta ve tartışılmaktadır. Diğer yandan rotasyon, atama-yükselme uygulamalarının ilgili mevzuata uygun ve adil yapılmasıyla örgütsel adalet duygusunun gelişeceği ve iş verimini artacağı yadsınamaz bir gerçektir.

Çalışmada amaç, BOBM örneğinde teknik eleman (tekniker, mühendis vb.) ve yönetici (orman işletme şefi, işletme müdürü ve yardımcısı, şube müdürü, bölge müdürü ve yardımcısı vb.) olarak çalışanların ormancılıkta rotasyon, atama-yükselme uygulamalarının örgütsel adalet konularındaki düşüncelerini irdelemektir. Bu çalışanların ormancılıkta rotasyon, atama-yükselme uygulamaları ile ilgili düşüncelerinin örgütsel adalet ile ilgili düşünceleri arasında anlamlı ve önemli bir ilişkinin olup olmadığı, rotasyon ve atama-yükselme uygulamalarının belli görev gruplarının (cinsiyet, görev yeri, görev türü, deneyim) düşünceleri arasında anlamlı ve önemli bir fark olup olmadığı da araştırılmıştır. Sonuçlardan ve değerlendirmelerden yola çıkılarak OGM'ndeki rotasyon ve atama-yükselme uygulamalarına mevcut haliyle devam edilip edilmemesi ve örgütsel adalet duygusunun geliştirilmesi konularında strateji ve politikalar ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma alanının ve verilerin tespiti

Araştırma alanını oluşturan Bursa ili, Marmara Bölgesi'ndedir, Marmara Denizi'nin güneydoğusunda yer almakta ve 28-30 derece kuzey paralelleri ile 40 derece doğu meridyeni arasında bulunmaktadır. Kuzeyinde İzmit, Yalova ve İstanbul; güneyinde Eskişehir ve Kütahya; doğusunda Bilecik ve Adapazarı ve batısında ise Balıkesir illeriyle çevrili olan Bursa'nın denizden yüksekliği 155 metre (m) olup, Akdeniz ve Karadeniz iklimi arasındadır ve genelde ılıman bir geçiş iklimine sahiptir.

BOBM alanındaki Bursa ve Bilecik illeri dahilinde 11 Orman İşletme Müdürlüğüne (Bilecik, Bozüyük, Bursa, Gemlik, İnegöl, İznik, Karacabey, Keles, Mustafakemalpaşa, Orhaneli ve Yalova OİM) bağlı 102 adet Orman İşletme Şefliği (OİŞ) bünyesinde çalışmalarını yürütmektedir. Bursa il merkezindeki Orman Fidanlık Müdürlüğü dahil BOBM personel sayıları Tablo 1'de verilmiştir (OGM, 2025).

Çalışma alanı olarak seçilen BOBM'nü temsilen Bursa il merkezindeki Bursa Orman Bölge Müdürlüğü merkezi, Bursa OİM ve Bursa Fidanlık Müdürlüğü çalışanları, il merkezinden uzak ve Bursa'nın en az kalkınmış ilçelerinden Keles ve Orhaneli'deki orman işletme müdürlüklerinin çalışanları araştırma kapsamına alınmıştır. Çalışma alanları seçilirken BOBM'nü temsil etmesi bakımından, merkezde olma ve merkeze uzak olma durumu, kalkınmada gelişmişlik ve geri kalmışlık durumu, iş yükünün ağırlığı ve çalışma koşullarının zorluğu dikkate alınmıştır. Keles OİM'nin merkezi Keles ilçesidir. Orhaneli OİM birimleri ise Orhaneli, Büyükorhan ve Harmancık ilçelerindedir. Bursa'nın kalkınmada en geri kalmış ilçeleri sırasıyla Büyükorhan, Keles, Harmancık ve Orhaneli'dir (STB, 2022).

BOBM'nün toplam ormanlık alanı 771.364 hektardır (ha). Toplam ormanlık alan bakımından Orhaneli OİM (103.184 ha), Bursa OİM (79.889 ha) ve Keles OİM (36.193 ha) (OGM, 2025) sırasıyla 2., 4. ve 9. sırada yer almaktadır.

Çalışma alanında, rotasyon, atama-terfi ve örgütsel adalet konularında teknik personel ve yöneticilerin görüşlerini öğrenmek amacıyla ve uzman görüşleri ile literatürden (Köse ve ark., 2019; Yurdakul Erol ve Köse, 2017b) faydalanılarak tarafımızca anket formları geliştirilmiştir. Kamu kuruluşlarında yaygın olarak kullanılan ve OGM çalışanlarına uygulanabilecek çeşitli ölçeklerden ve özellikle Niehoff ve Moorman (1993) tarafından geliştirilen örgütsel adalet ölçeğinden yararlanılmıştır.

Anket formlarında şu konular özetlenmiştir: 1) Ormancılıkta rotasyon uygulamaları, 2) Atama-yükselme uygulamaları, 3) örgütsel adalet. Hazırlanan anket formu *ön anket* çalışması yapıldıktan sonra uygulanmış ve ön ankete göre anlaşılmayan veya eksik kalan, önemli derecede hatalı sayılabilecek soru ise tespit edilmemiştir. Anket ve görüşmelerden elde edilen veriler ile ilgili kurumlardan ve literatürden elde edilen her türlü nitelik ve nicelik verileri materyal olarak kullanılmıştır.

## 2.2. Verilerin toplanması

BOBM merkezi, Bursa OİM, Bursa Fidanlık Müdürlüğü, Orhaneli OİM ve Keles OİM’nde yönetici ve teknik eleman olarak çalışanların sayısı (Tablo 1) araştırmanın kapsamını oluşturmaktadır. Anket yapılması gereken asgari katılımcı sayısı, genellikle kullanılmakta olan sınırlı toplumlarda örnek büyüklüğünü veren aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Orhunbilge, 2000; Daşdemir, 2016).

$$n \geq \frac{Z^2 x N x p x q}{N x D^2 + Z^2 x p x q} \quad (1)$$

Burada; n: Örnek büyüklüğünü, Z: Güven katsayısını (%95 güven düzeyi için Z= 1,96), N: Ana kütle büyüklüğünü (97), p: Ölçmek istenilen özelliğin ana kütlede bulunma olasılığını (0,5), q: Ölçmek istenilen özelliğin ana kütlede bulunmama olasılığını (0,5) ve D: Kabul edilen örneklem hatasını (0,1) göstermektedir.

Formüle göre asgari katılımcı sayısı (n değeri) yaklaşık 49 olarak bulunmuştur; ancak çalışmada 49 sayısı geçilerek 68 katılımcı ile görüşme sağlanmıştır.

Her bir görev yerindeki personelin sayısı toplam personel sayısına oranlanarak (n/N), her bir görev yerindeki görüşülmesi gereken asgari kişi sayısı da hesaplanmıştır (Tablo 1). Anket uygulaması haziran-2025 ile ağustos-2025 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş ve katılımcılar rastgele örneklem yöntemiyle göre belirlenmiştir. Anketler, katılımcıların tamamına elden ulaştırılmış ve birçoğuyla yüz yüze görüşme yapılmıştır. Bu görüşmelerde katılımcıların düşünceleri kayıt altına alınmış ve değerlendirilmiştir. Araştırma, Bursa Teknik Üniversitesi (btu.edu.tr) Fen, Mühendislik ve Sosyal Bilimleri Araştırmaları Etik Kurulu'ndan (26.05.2025 tarih ve E-69707128-050.04-198121 sayılı kararıyla)

etik onayı almıştır. Veriler anonimleştirilmiş ve yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılmıştır.

Tablo 1. Görev yerlerindeki çalışanların sayıları ve asgari görüşülmesi gereken katılımcı adedi

|                              | Böl.<br>Md. | Böl.<br>Md.Yrd. | Şub.<br>Müd. | İşlt.<br>Müd. | İşlet.<br>Md.Yrd. | Orm.<br>İşlt. Ş. | Mü<br>h.,<br>Tek. | Top.<br>Çalışan | Asgari<br>Sayı | Katılım<br>cı Sayısı |
|------------------------------|-------------|-----------------|--------------|---------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|----------------|----------------------|
| Bursa OBM<br>Merkezi*        | 1           | 3               | 16           |               |                   |                  | 29                | 49              | 24             | 31                   |
| Bursa OİM**                  |             |                 |              | 1             | 2                 | 13               | 4                 | 20              | 10             | 18                   |
| Bursa<br>Fidanlık<br>Müd.*** |             |                 |              | 1             | 1                 | 2                | 3                 | 7               | 4              | 5                    |
| Orhaneli OİM                 |             |                 |              | 1             | 1                 | 8                | 2                 | 12              | 6              | 7                    |
| Keles OİM                    |             |                 |              | 1             | 1                 | 6                | 1                 | 9               | 5              | 7                    |
| <b>TOPLAM</b>                |             |                 |              |               |                   |                  |                   | <b>97</b>       | <b>49</b>      | <b>68</b>            |

\*Bursa OBM; \*\*OİM: Orman İşletme Müdürlüğü; \*\*\*Orman Fidanlık Müdürlüğü

### 2.3. Verilerin analizi ve değerlendirilmesi

Veriler bilgisayar ortamına aktarılarak betimsel istatistikler yardımıyla analiz edilip değerlendirilmiş ve sonuçları Tablolar halinde gösterilmiştir. Bursa OBM örneğinde, çalışma alanındaki teknik eleman (tekniker, mühendis) ve yöneticilerin (orman işletme şefi, işletme/fidanlık müdürü ve yardımcısı, şube müdürü, bölge müdürü ve yardımcısı vb.) ormancılıkta rotasyon uygulamaları, atama-yükselme uygulamaları ve örgütsel adalet konularındaki düşünceleri ortaya konulmuştur. Ayrıca bu çalışanların ormancılıkta rotasyon, atama-yükselme ile ilgili düşüncelerinin örgütsel adalet ile ilgili düşünceleri arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığı, var ise bu ilişkinin yönü ve gücü korelasyon analizi ile irdelenmiştir.

Bazı konularda (*rotasyon uygulamasının gerekliliği, rotasyon mevcut haliyle adil bir şekilde uygulanmaktadır, rotasyon uygulamasında hizmet süresi esas alınmalıdır, görevde yükselme adil olarak yapılmaktadır, vb.*) belli görev gruplarının (*cinsiyet, görev yeri, görev türü, deneyim*) düşünceleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı Kruskal-Wallis (K-W) H Testi ile, farklı olan grup(lar)ın tespiti ise Duncan Testi ile incelenmiştir.

Korelasyon analizi değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü, derecesini ve önemini ortaya koyan istatistiksel bir yöntemdir. Kruskal-Wallis (K-W) H Testi, normal dağılım göstermeyen gruplarda üç veya daha fazla sayıda grubun ortalamaları arasında anlamlı ve önemli bir farklılığın olup olmadığını test etmekte kullanılır. Duncan testi ise her bir grubu ortalama büyüklüklerine göre sıralayıp, ortalamalar arasındaki farkları ortaya koyar. Verilerinin değerlendirilmesi ve istatistiksel analizleri için Microsoft Excel ve SPSS 23.0 yazılımlarından yararlanılmıştır.

### 3. Bulgular

Bu bölümde, araştırmanın alt problemleri doğrultusunda alt başlıklar halinde sunulmakta olup kullanılan sosyal ekonomik değişkenler (Tablo 2) ile rotasyon, atama-yükselme uygulamaları ve örgütsel adalet ile ilgili değişkenler (Tablo 3) tablolar halinde verilmektedir.

Tablo 2. Araştırmada kullanılan sosyal ve ekonomik değişkenler

| No | Değişken ve Tanımı                         | Kod | Açıklaması ve sayısallaştırılması                                                                                                                                            | Tercih oranı (%) (Mak-Min.) |
|----|--------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1  | Cinsiyet                                   | SE1 | a) Kadın b) Erkek                                                                                                                                                            | 45,6-54,4                   |
| 2  | Yaş                                        | SE2 | a) 18-25 b) 26-35 c) 36-45 d) 46-60 e) 61 yaş üstü                                                                                                                           | 4,4-32,4                    |
| 3  | Medeni durum                               | SE3 | a) Evli b) Bekar                                                                                                                                                             | 31,3-68,7                   |
| 4  | Eğitim                                     | SE4 | a) Ön lisans b) Lisans c) Yüksek lisans d) Doktora                                                                                                                           | 7,4-67,6                    |
| 5  | Görevi                                     | SE5 | a) Orman Mühendisi, b) Orman İşletme Şefi, c) Orman İşletme Md. Yrd., d) İşletme Md., e) Şube Md., f) Bölge Md. Yrd., f) Bölge Md., g) Diğer (tekniker, diğer mühendis, vb.) | 1,5-44,1                    |
| 6  | Görev yeri                                 | SE6 | a) Bursa OİM b) Keles OİM c) Orhaneli OİM d) Bursa Fidanlık Md. e) Şube Müdürlüğü f) Kadastro Komisyonu g) Orman Amenajman Heyeti h) Diğer                                   | 7,4-27,9                    |
| 7  | Toplam çalışma süresi                      | SE7 | a) 0-5 b) 6-10 c) 11-20 d) 21-35 e) 36 yıl ve üzeri                                                                                                                          | 8,8-30,9                    |
| 8  | Halen görev yapılan yerdeki çalışma süresi | SE8 | a) 0-5 b) 6-10 c) 11-20 d) 21-35 e) 36 yıl ve üzeri                                                                                                                          | 3,0-53,7                    |
| 9  | Çalışma şartlarını                         | SE9 | a) Siyasiler, b) Diğer kamu ve özel kuruluşlar, c) Yerel yönetimler, d) Sivil Toplum Örgütleri                                                                               | 1,5-63,3                    |

|    |                                                        |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |           |
|----|--------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|    | etkileyen baskılar                                     |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |           |
| 10 | Çalışma şartlarını zorlaştıran etmenler                | SE10 | a) Ağır arazi şartları, b) Teşkilat yapısı, c) Toplumsal baskı, d) Alet, teçhizat ve teknoloji yetersizliği, e) Yasal engeller, f) Bürokratik engeller, g) Finansal engeller, h) Eğitim ve bilgi yetersizliği, i) Personel yetersizliği, j) Diğer                                                                                                                                                         | 3,0-54,5  |
| 11 | Mevzuatta olmadığı halde yapılmak zorunda olunan işler | SE11 | a) Var b) Yok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 23,8-76,2 |
| 12 | Mezun olunan Orman Fakültesi                           | SE12 | a) İstanbul Ün., b) Karadeniz Tek. Ün. (KTÜ), c) Artvin Çoruh Ün. (AÇÜ), d) Bartın Ün., e) Çankırı Karatekin Ün. (ÇKÜ), f) Düzce Ün., g) Kahramanmaraş Sütçü İmam Ün. (KSÜ), h) Karabük Ün., i) Kastamonu Ün., j) Süleyman Demirel Ün. (SDÜ), k) İzmir Katip Çelebi Ün. (İKCÜ), l) Bursa Teknik Ün. (BTÜ), m) İstanbul- Üniversitesi Cerrahpaşa (İÜC), n) Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi (IUBÜ) | 1,7-33,3  |
| 13 | Mezuniyet yılı                                         | SE13 | a) 2023-2015, b) 2014-2005, c) 2004-1995, d) 1994-1985, e) 1984-1975, f) 1974-1965, g) 1964 ve öncesi                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 3,4-32,2  |

Tablo 3. Araştırmada kullanılan rotasyon, atama-yükselme uygulamaları ve örgütsel adalet ile ilgili değişkenler

| Sınıf                                | No | Değişkenin adı ve tanımı                                                                                  | Kod | Açıklaması ve sayısallaştırılması                                                                          | Ort. | St. Sap. | Ölç. |
|--------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|------|
| Rotasyon ile ilgili değerlendirmeler | 1  | Rotasyonun uygulanması gereklidir.                                                                        | R1  | 1= Kesinlikle katılmıyorum, 2=Katılmıyorum, 3=Kararsızım, 4=Çoğunlukla katılıyorum, 5= Tamamen katılıyorum | 2,9  | 1,4      | 1-5  |
|                                      | 2  | Rotasyon uygulaması çalışanların iş verimini arttırmaktadır.                                              | R2  |                                                                                                            | 2,7  | 1,3      | 1-5  |
|                                      | 3  | Rotasyon uygulaması çalışanların çalışma hayatları boyunca görev yerleri konusunda adaleti sağlamaktadır. | R3  |                                                                                                            | 2,8  | 1,4      | 1-5  |
|                                      | 4  | Rotasyon uygulaması mesleki gelişim açısından önemlidir.                                                  | R4  |                                                                                                            | 3,1  | 1,4      | 1-5  |
|                                      | 5  | Rotasyon uygulaması orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağlamaktadır.                    | R5  |                                                                                                            | 2,9  | 1,3      | 1-5  |

|                                            |    |                                                                                                   |     |     |     |     |
|--------------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                                            | 6  | Rotasyon uygulaması çalışma performansını (Örgütün başarısını) artırmaktadır.                     | R6  | 2,6 | 1,3 | 1-5 |
|                                            | 7  | Rotasyon ile çalışanlar adil ve eşit bir şekilde, ihtiyaçlar çerçevesinde dağıtılmaktadır.        | R7  | 2,3 | 1,3 | 1-5 |
|                                            | 8  | Rotasyon vatandaşlara verilen hizmetin kalitesi açısından gereklidir.                             | R8  | 2,9 | 1,3 | 1-5 |
|                                            | 9  | Rotasyon bir kamu çalışanının ülkenin her kesiminde görev yapması açısından etkili bir yöntemdir. | R9  | 3,2 | 1,3 | 1-5 |
|                                            | 10 | Rotasyon uygulamasında hizmet süresi esas alınmalıdır.                                            | R10 | 3,4 | 1,2 | 1-5 |
|                                            | 11 | Rotasyon uygulamasında görev yeri esas alınmalıdır.                                               | R11 | 3,2 | 1,4 | 1-5 |
|                                            | 12 | Rotasyon uygulamasında başarı ölçütleri dikkate alınmalıdır.                                      | R12 | 3,4 | 1,4 | 1-5 |
|                                            | 13 | Rotasyon uygulamasında eğitim durumu göz önünde bulundurulmalıdır.                                | R13 | 2,9 | 1,4 | 1-5 |
|                                            | 14 | Rotasyon uygulanmasında uzmanlık alanları dikkate alınmalıdır.                                    | R14 | 3,8 | 1,3 | 1-5 |
|                                            | 15 | Rotasyon uygulaması belirli kriterler dikkate alınmadan herkese aynı şekilde uygulanmalıdır.      | R15 | 3,0 | 1,5 | 1-5 |
|                                            | 16 | Rotasyon mevcut haliyle adil şekilde uygulanmaktadır.                                             | R16 | 2,4 | 1,4 | 1-5 |
| Atama-yükselme ile ilgili değerlendirmeler | 17 | Atamalar, Kamu Personel Sınavı esas alınarak yapılmalıdır.                                        | AY1 | 3,6 | 1,4 | 1-5 |
|                                            | 18 | Atamalar kurum tarafından gerçekleştirilecek sınav esas alınarak yapılmalıdır.                    | AY2 | 2,9 | 1,4 | 1-5 |
|                                            | 19 | Atamalarda hizmet bölgesi ve zorunlu                                                              | AY3 | 3,4 | 1,3 | 1-5 |

1= Kesinlikle katılmıyorum, 2= Katılmıyorum, 3= Karasızım, 4= Çoğunlukla katılmıyorum, 5= Tamamen katılmıyorum



|    |  |                                                                                                                                                |      |     |     |     |
|----|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|
|    |  | çalışma süresi uygulaması gereklidir.                                                                                                          |      |     |     |     |
| 20 |  | Kadrolar için kanunla belirlenen zorunlu çalışma süreleri idealdir.                                                                            | AY4  | 3,1 | 1,3 | 1-5 |
| 21 |  | Aynı bölge için belirlenmiş bir çalışma süresinin olması gereklidir.                                                                           | AY5  | 3,3 | 1,3 | 1-5 |
| 22 |  | İlk defa Orman İşletme Şefi olarak atanacak mühendislerin, Bölge Müdürlüklerince 6 aylık temel eğitime tabi tutulması yerinde bir uygulamadır. | AY6  | 3,8 | 1,3 | 1-5 |
| 23 |  | Atama-Yükselme ve Yer Değiştirme Kurulları adil ve objektif çalışmaktadır .                                                                    | AY7  | 2,6 | 1,2 | 1-5 |
| 24 |  | Görevde yükselme adil olarak uygulanmaktadır.                                                                                                  | AY8  | 2,5 | 1,3 | 1-5 |
| 25 |  | Görevde yükselme sınavının yazılı ve sözlü olarak iki aşamalı uygulanması yerinde bir uygulamadır.                                             | AY9  | 2,9 | 1,3 | 1-5 |
| 26 |  | Görevde yükselme sınavının yazılı yapılması gerekmektedir.                                                                                     | AY10 | 3,6 | 1,3 | 1-5 |
| 27 |  | Görevde yükselme sınavının sözlü yapılması gerekmektedir.                                                                                      | AY11 | 2,6 | 1,3 | 1-5 |
| 28 |  | Görevde yükselme için başarı ölçütleri esas alınması gerekmektedir.                                                                            | AY12 | 3,8 | 1,1 | 1-5 |
| 29 |  | OGM Teftiş Kurulu Başkanlığı müfettişleri ve diğer disiplin amirleri adil ve yerinde değerlendirmeler yapmaktadır.                             | AY13 | 3,0 | 1,2 | 1-5 |
| 30 |  | OGM Teftiş Kurulu Başkanlığı ve diğer disiplin kuruları sistemi etkili bir yapıdadır.                                                          | AY14 | 3,1 | 1,2 | 1-5 |

|                                           |    |                                                                                                     |      |     |     |     |
|-------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|
| Örgütsel adalete ilişkin değerlendirmeler | 31 | OGM Teftiş Kurulu hiçbir yerden emir almadan bağımsız çalışmaktadırlar.                             | AY15 | 3,0 | 1,3 | 1-5 |
|                                           | 32 | OGM teftiş sistemi etkili bir şekilde işlemektedir.                                                 | AY16 | 2,9 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 33 | OGM Teftiş Kurulu adil çalışmaktadır.                                                               | AY17 | 3,0 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 34 | OGM müfettişleri objektif ve adil olarak teftiş sürecini sürdürmektedir.                            | AY18 | 2,9 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 35 | Teftiş Kurulu etkin inceleme, araştırma, soruşturma ve teftiş yapmaktadırlar.                       | AY19 | 3,1 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 36 | Teftiş sonucunda verilen kararlar adildir.                                                          | AY20 | 3,0 | 1,3 | 1-5 |
|                                           | 37 | Çalışanlar arasında iş yükü dağılımı adildir.                                                       | A1   | 2,3 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 38 | Ücretimin iş yüküme göre adil olduğunu düşünüyorum.                                                 | A2   | 2,4 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 39 | Bütüncül bakıldığında, işten elde ettiğim faydaların adil olduğunu düşünüyorum.                     | A3   | 2,8 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 40 | İş yerindeki yetki ve sorumluluklarımın dengeli ve adil olduğu kanısındayım.                        | A4   | 2,8 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 41 | İşe ilişkin kararlar yöneticiler tarafından objektif ve tarafsız bir şekilde alınmaktadır.          | A5   | 3,0 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 42 | Yöneticiler işle ilgili kararları vermeden önce tüm çalışanların görüşlerine başvururlar.           | A6   | 2,7 | 1,1 | 1-5 |
|                                           | 43 | Yöneticiler iş konusunda kararlarını yeterli ve doğru bilgi toplayarak alırlar.                     | A7   | 3,0 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 44 | Yöneticiler alınan kararları çalışanlara bildirir ve talep edilmesi durumunda ek açıklama yaparlar. | A8   | 3,1 | 1,2 | 1-5 |
|                                           | 45 | Kurum çalışanlarına ilişkin alınan tüm kararlar, etkilenen tüm                                      | A9   | 2,9 | 1,1 | 1-5 |

1= Kesinlikle katılmıyorum, 2= Katılmıyorum, 3= Karasızım, 4= Çoğunlukla katılıyorum, 5= Tamamen katılıyorum

|    |                                                                                                                                                              |     |     |     |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|    | personeler eşit biçimde uygulanır.                                                                                                                           |     |     |     |     |
| 46 | Çalışanlar, yöneticilerin işle ilgili kararlarına itiraz edebilir ya da bu kararların üst merciler tarafından yeniden değerlendirilmesini talep edebilirler. | A10 | 2,8 | 1,2 | 1-5 |
| 47 | İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı saygılı ve ilgili davranırlar.                                                                     | A11 | 3,5 | 1,1 | 1-5 |
| 48 | İşime dair kararlar alınırken yöneticilerim kişisel sorumluluklarımı göz önünde bulundururlar.                                                               | A12 | 3,4 | 1,1 | 1-5 |
| 49 | İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim kişisel gereksinimlerime duyarlılık gösterirler.                                                              | A13 | 3,3 | 1,1 | 1-5 |
| 50 | İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı dürüst ve içten davranırlar.                                                                       | A14 | 3,5 | 1,1 | 1-5 |
| 51 | İşime ilişkin kararlar alınırken yöneticilerim bir çalışan olarak haklarımı dikkate alırlar.                                                                 | A15 | 3,4 | 1,1 | 1-5 |
| 52 | Yöneticilerim, işimle ilgili kararların olası sonuçlarını benimle paylaşırlar.                                                                               | A16 | 3,3 | 1,2 | 1-5 |
| 53 | İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana mantıklı ve anlaşılır açıklamalar yaparlar.                                                              | A17 | 3,5 | 1,2 | 1-5 |
| 54 | Yöneticilerim, işimle ilgili her kararı bana açık ve net biçimde ifade ederler.                                                                              | A18 | 3,3 | 1,2 | 1-5 |

### 3.1. Katılımcıların sosyoekonomik özellikleri

Katılımcıların %54,4'ü erkek ve %45,6'sı kadınlardan oluşmaktadır; %7,5'i 18-25 yaşları arasında, %32,8'i 26-35 yaşları arasında, %29,9'u 36-45 yaşları arasında, %25,4'ü 46-60 yaşları arasında, %4,5'i ise 61 ve üzeri yaşları arasındadır. Medeni durum bakımından %68,7'si evli, %31,3'ü ise bekar olan

bu katılımcıların %7,4'ü Ön Lisans, %67,4'ü Lisans ve %25'i Yüksek Lisans eğitimi almıştır.

Katılımcıların %33,3'ü Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ), %31,7'si İstanbul Üniversitesi, %15,0'nın Artvin Çoruh Üniversitesi (AÇÜ), %8,3'ü Bursa Teknik Üniversitesi (BTÜ), %3,3'ü Düzce Üniversitesi, %1,7'si Bartın Üniversitesi, %1,7'si Kastamonu Üniversitesi, %1,7'si Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi (İUBÜ) ve %1,7'si Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi'nden (KSÜ) mezun olmuşlardır. Mezun oldukları yıllar açısından %3,4'ü 1975-1984 arasında, %20,3'ü 1985-1994 arasında, %18,6'sı 1995-2004 arasında, %25,4'ü 2005-2014 arasında ve %32,2'si ise 2015-2023 arasında mezun olmuşlardır.

Görevi bakımından katılımcıların %44,1'i orman mühendisi, %23,5'i orman işletme şefi, %2,9'u orman işletme müdürü, %10,3'ü şube müdürü, %1,5'i orman bölge müdür yardımcısı, %17,6'sı (tekniker, inşaat mühendisi, ziraat mühendisi, vs.) diğer teknik eleman olarak çalışanlardır. Görev yeri (çalışma birimleri) açısından ise katılımcıların %26,5'i Bursa OİM'nde, %10,3'ü Keles OİM'nde, %10,3'ü Orhaneli OİM'nde, %7,4'ü Bursa Fidanlık Müdürlüğü'nde, %27,9'u Şube Müdürlüklerinde, %10,3'ü Kadastro Komisyonlarında, %7,4'ü kurumun diğer çalışma alanlarında (Amenajman Heyetleri, Proje Başmühendislikler, vb.) görevlidirler.

Toplam çalışma süresi (deneyim) bakımından katılımcıların %30,9'u 0-5 yıl, %17,6'sı 6-10 yıl, %16,2'si 11-20 yıl, %26,5'i 21-35 yıl ve %8,8'i ise 36 yıl ve üzeri çalışmakta oldukları tespit edilmiştir. Halen çalıştıkları görev yerlerindeki çalışma süreleri bakımından ise katılımcıların %53,7'si 0-5 yıl, %28,4'ü 6-11 yıl, %9'u 11-20 yıl, %6'sı 21-35 yıl ve %3'ü ise 36 yıl ve üzeri görev yapmakta oldukları tespit edilmiştir. Katılımcıların çoğunluğunun 0-5 yıldır aynı yerde görev yaptıkları anlaşılmaktadır

Çalışma koşullarını etkileyen baskılar açısından, katılımcılar çalışma koşullarını en çok etkileyen baskı türlerini dikkate alarak birden fazla tercihte bulunmuşlardır. Katılımcıların %60,0'ı çalışma koşullarını etkileyen baskıların siyasilerden, %27,8'i diğer kamu ve özel kuruluşlardan, %33,3'ü yerel yönetimlerden ve %63,3'ü ise sivil toplum kuruluşlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla en fazla sivil toplum örgütleri ve siyasilerin OGM çalışanları üzerinde baskı kurduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan katılımcıların %54,5'i zorlu arazi koşullarını, %50,0'si araç, gereç ve teknoloji eksikliğini, %35,3'ü sosyal baskıyı ve %34,6'sı ise teşkilat (organizasyon) yapısını çalışma koşullarını en fazla zorlaştıran faktörler olarak belirtmişlerdir. Son olarak mevzuatta olmadığı halde yapmak zorunda kalınan işler sorusuna katılımcıların %76,2'si hayır, %23,8'i ise evet cevabını vermiştir.

### 3.2. Rotasyon, atama-yükselme uygulamalarına yönelik ifadelere katılım düzeyleri

Katılımcıların rotasyon, atama-yükselme uygulamalarına yönelik düşüncelerini ölçmek amacıyla beşli Likert ölçeğine (Kesinlikle katılmıyorum, Katılmıyorum, Kararsızım, Çoğunlukla katılıyorum, Tamamen katılıyorum) dayalı anket çalışması uygulanmıştır ve sonuçlar Tablo 4’te verilmektedir.

Tablo 4. Rotasyon, atama-yükselme ile ilgili ifadelere yönelik düşünceler

| No | Açıklama                                                                                                  | Kesinlikle Katılmıyorum (%) | Katılmıyorum (%) | Kararsızım (%) | Çoğunlukla Katılıyorum (%) | Tamamen Katılıyorum (%) |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|
| 1  | Rotasyonun uygulanması gereklidir.                                                                        | 25,0                        | 11,8             | 25,0           | 26,4                       | 11,8                    |
| 2  | Rotasyon uygulaması çalışanların iş verimini arttırmaktadır.                                              | 26,5                        | 17,6             | 25             | 22,1                       | 8,8                     |
| 3  | Rotasyon uygulaması çalışanların çalışma hayatları boyunca görev yerleri konusunda adaleti sağlamaktadır. | 26,5                        | 19,1             | 17,6           | 25,0                       | 11,8                    |
| 4  | Rotasyon uygulaması mesleki gelişim açısından önemlidir.                                                  | 22,1                        | 4,4              | 26,5           | 30,9                       | 16,2                    |
| 5  | Rotasyon uygulaması orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağlamaktadır.                    | 23,5                        | 10,3             | 32,4           | 25,0                       | 16,2                    |
| 6  | Rotasyon uygulaması çalışma performansını (Örgütün başarısını) artırmaktadır.                             | 26,5                        | 17,6             | 30,9           | 14,7                       | 10,3                    |
| 7  | Rotasyon ile çalışanlar adil ve eşit bir şekilde ve ihtiyaçlar çerçevesinde dağıtılmaktadır.              | 40,3                        | 16,4             | 20,9           | 16,4                       | 6,0                     |
| 8  | Rotasyon vatandaşa verilen hizmet kalitesi açısından gereklidir.                                          | 22,1                        | 16,2             | 23,5           | 26,5                       | 11,8                    |
| 9  | Rotasyon bir kamu çalışanının ülkenin her kesiminde görev yapması açısından etkili bir yöntemdir.         | 16,4                        | 13,4             | 23,9           | 29,9                       | 16,4                    |
| 10 | Rotasyon uygulamasında hizmet süresi esas alınmalıdır.                                                    | 11,8                        | 8,8              | 23,5           | 42,6                       | 13,2                    |

|    |                                                                                                                                                          |      |      |      |      |      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| 11 | Rotasyon uygulamasında görev yeri esas alınmalıdır.                                                                                                      | 16,4 | 14,9 | 23,9 | 25,4 | 19,4 |
| 12 | Rotasyon uygulamasında başarı ölçütleri dikkate alınmalıdır.                                                                                             | 16,4 | 9,0  | 19,4 | 28,4 | 26,9 |
| 13 | Rotasyon uygulamasında eğitim durumu göz önünde bulundurulmalıdır.                                                                                       | 20,5 | 16,2 | 27,9 | 19,1 | 16,2 |
| 14 | Rotasyon uygulanmasında uzmanlık alanları dikkate alınmalıdır                                                                                            | 11,8 | 4,4  | 17,6 | 27,9 | 38,2 |
| 15 | Rotasyon uygulaması belirli kriterler dikkate alınmadan herkese aynı şekilde uygulanmalıdır.                                                             | 25,0 | 13,2 | 25   | 13,2 | 23,5 |
| 16 | Rotasyon mevcut haliyle adil şekilde uygulanmaktadır.                                                                                                    | 41,2 | 14,7 | 22,1 | 11,8 | 10,3 |
| 17 | Atamalar kamu personel sınavı esas alınarak yapılmalıdır.                                                                                                | 11,9 | 9,0  | 20,9 | 19,4 | 38,8 |
| 18 | Atamalar kurum tarafından gerçekleştirilecek sınav esas alınarak yapılmalıdır.                                                                           | 22,4 | 14,9 | 25,4 | 20,9 | 16,4 |
| 19 | Atamalarda hizmet bölgesi ve zorunlu çalışma süresi uygulaması gereklidir.                                                                               | 11,8 | 10,3 | 25,0 | 30,9 | 22,1 |
| 20 | Kadrolar için kanunla belirlenen zorunlu çalışma süreleri idealdir.                                                                                      | 14,7 | 11,8 | 39,7 | 16,2 | 17,6 |
| 21 | Aynı bölge için belirlenmiş bir çalışma süresinin olması gereklidir.                                                                                     | 13,2 | 14,7 | 23,5 | 25,0 | 23,5 |
| 22 | İlk defa Orman İşletme/ Fidanlık Şefi olarak atanacak mühendislerin, Bölge Müdürlüklerince 6 aylık temel eğitime tabi tutulması yerinde bir uygulamadır. | 8,8  | 11,8 | 16,2 | 22,1 | 41,2 |
| 23 | Atama-Yükselme ve Yer Değiştirme Kurulları adil ve objektif çalışmaktadır.                                                                               | 23,5 | 19,1 | 36,8 | 10,3 | 10,3 |
| 24 | Görevde yükselme adil olarak uygulanmaktadır.                                                                                                            | 32,4 | 10,3 | 38,2 | 11,8 | 7,4  |

|    |                                                                                                    |      |      |      |      |      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| 25 | Görevde yükselme sınavının yazılı ve sözlü olarak iki aşamalı uygulanması yerinde bir uygulamadır. | 25,4 | 7,5  | 32,8 | 23,9 | 10,4 |
| 26 | Görevde yükselme sınavının yazılı yapılması gerekmektedir.                                         | 7,6  | 12,1 | 22,7 | 25,8 | 31,8 |
| 27 | Görevde yükselme sınavının sözlü yapılması gerekmektedir.                                          | 29,2 | 15,4 | 30,8 | 16,9 | 7,7  |
| 28 | Görevde yükselme için başarı ölçütlerinin esas alınması gerekmektedir.                             | 2,9  | 10,3 | 20,6 | 32,4 | 33,8 |
| 29 | OGM müfettişleri ve diğer disiplin amirleri adil ve yerinde değerlendirmeler yapmaktadır.          | 14,7 | 16,2 | 36,8 | 20,6 | 11,8 |
| 30 | OGM Teftiş Kurulu ve diğer disiplin kurulları sistemi etkili bir yapıdadır.                        | 16,2 | 10,3 | 33,8 | 27,9 | 11,8 |
| 31 | OGM Teftiş Kurulu hiçbir yerden emir almadan bağımsız çalışmaktadırlar.                            | 20,6 | 7,4  | 36,8 | 25,0 | 10,3 |
| 32 | OGM teftiş sistemi etkili bir şekilde işlemektedir.                                                | 19,1 | 10,3 | 36,8 | 25,0 | 8,8  |
| 33 | OGM Teftiş Kurulu adil çalışmaktadır.                                                              | 19,1 | 8,8  | 38,2 | 25   | 8,8  |
| 34 | OGM müfettişleri objektif ve adil olarak teftiş sürecini sürdürmektedir.                           | 19,1 | 11,8 | 32,4 | 30,9 | 5,9  |
| 35 | Teftiş Kurulu etkin inceleme, araştırma, soruşturma ve teftiş yapmaktadırlar.                      | 14,7 | 8,8  | 33,8 | 33,8 | 8,8  |
| 36 | Teftiş sonucunda verilen kararlar adildir.                                                         | 16,2 | 13,2 | 33,8 | 23,5 | 13,2 |

Tablo 4’e göre katılımcıların %38,2(26,4+11,8)’si “Rotasyonun uygulanması gereklidir” ifadesini “Çoğunlukla katılıyorum” ve “Tamamen katılıyorum” şeklinde değerlendirmiş, %25,0’ı ise “Kararsızım” şeklinde tercih belirtmiştir. “*Rotasyon uygulaması gereklidir*” ifadesine ilişkin Kruskal-Wallis H-Testi’ne göre, katılımcıların görüşleri cinsiyet, görev türü ve çalışılan birim değişkenleri açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılık göstermemektedir ( $p>0,05$ ). Deneyim (toplam çalışma yılı) değişkenine göre ise anlamlı farklılıklar saptanmıştır ( $p<0,05$ ). Bu amaçla yapılan Duncan Testi’ne göre, rotasyon uygulamasının gerekli olduğuna inanan katılımcıların sayısı deneyim süresi arttıkça azalmıştır ve rotasyonun gerekli olduğuna en fazla 0-10 yıl arası

deneyime sahip olanların inandıkları anlaşılmaktadır ( $\bar{X}_{21}$  yıl ve üzeri deneyim= 1,97;  $\bar{X}_{11-20}$  yıl deneyim=2,82;  $\bar{X}_{0-10}$  yıl deneyim=3,39).

Katılımcıların “Rotasyon ile çalışanlar adil ve eşit bir şekilde, ihtiyaçlar çerçevesinde dağıtılmaktadır” ifadesini %56,7(40,3+16,4)’si “Kesinlikle katılmıyorum” ve “Katılmıyorum” değerlendirmesi yapmışlardır. “*Rotasyon ile çalışanlar adil ve eşit biçimde, ihtiyaçlar doğrultusunda dağıtılmaktadır*” ifadesine yönelik yapılan Kruskal-Wallis H-Testi sonuçları, katılımcıların görüşleri arasında cinsiyet, görev türü ve çalışılan birim açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir farkın bulunmadığını göstermektedir ( $p>0,05$ ). Buna karşın, deneyim (toplam çalışma yılı) değişkenine göre anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçlarına göre, rotasyon ile çalışanların adil ve eşit bir şekilde ve ihtiyaçlar çerçevesinde dağıtıldığına en fazla 0-10 yıl arası deneyime sahip olanlar inanmaktadır ( $\bar{X}_{36}$  yıl ve üzeri deneyim= 1,33;  $\bar{X}_{11-35}$  yıl deneyim= 2,02;  $\bar{X}_{0-10}$  yıl deneyim= 2,89).

Katılımcıların %55,8(42,6+13,2)’i “Rotasyon uygulamasında hizmet süresi esas alınmalıdır” ifadesine “Çoğunlukla katılıyorum” ve “Tamamen katılıyorum” şeklinde görüş belirtmişlerdir. “*Rotasyon uygulamasında hizmet süresi esas alınmalıdır*” ifadesine ilişkin Kruskal-Wallis H-Testi sonuçlarına göre, katılımcıların görüşleri cinsiyet, görev türü ve görev yeri değişkenleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılık göstermemektedir ( $p>0,05$ ). Ancak, deneyim açısından anlamlı farklılıkların bulunmuştur ( $p<0,05$ ). İstatistiki incelemeye göre, rotasyon uygulamasında hizmet süresinin esas alınması gerektiğini daha çok 6-10 yıl ve 36 yıl ve üzerinde deneyime sahip olanlar kabul etmektedir ( $\bar{X}_{6-10}$  yıl ve 36 yıl ve üzeri deneyim= 2,63;  $\bar{X}_{0-5}$  yıl ve 11-35 yıl deneyim= 3,61).

“Rotasyon uygulamasında görev yeri esas alınmalıdır” ifadesine katılımcıların %44,8 (25,4+19,4)’i “Çoğunlukla katılıyorum” ve “Tamamen Katılıyorum” şeklinde yanıt vermişlerdir. Bu düşünceye katılımcıların %23,9’u “Kararsızım” şeklinde beyanda bulunmuşlardır. Dolayısıyla katılımcıların yalnızca %31,3’ü rotasyon uygulanmasında görev yerinin esas alınması düşüncesine olumsuz görüş bildirmiştir. Rotasyon uygulamasında görev yerinin esas alınması gerektiği konusunda deneklerin düşüncelerinde bütün katılımcı grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark olmadığı ( $p>0,05$ ) anlaşılmıştır.

Katılımcıların %55,3(28,4+26,9)’ü “Rotasyon uygulamasında başarı ölçütleri dikkate alınmalıdır” ifadesine “Çoğunlukla katılıyorum” ve “Tamamen katılıyorum” şeklinde değerlendirmede bulunmuşlardır. Bu konuda bütün katılımcı grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir farkın olmadığı ( $p>0,05$ ) tespit edilmiştir.



Araştırma sonuçlarına göre, katılımcıların %66,1(27,9+38,2)'i "Rotasyon uygulamasında uzmanlık alanları dikkate alınmalıdır" ifadesine "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" şeklinde değerlendirmede bulunmuşlardır. Bu durum, rotasyon uygulamalarında uzmanlık alanlarının göz önünde bulundurulmasının önemli olduğunu göstermektedir. Bu konuda deneklerin düşüncelerinde tüm katılımcı grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark olmadığı ( $p>0,05$ ) görülmüştür.

Tablo 1'e göre katılımcıların %55,9(41,2+14,7)'u "Rotasyon mevcut haliyle adil şekilde uygulanmaktadır" ifadesine "Kesinlikle katılmıyorum" ve "Katılmıyorum" şeklinde değerlendirmede bulunmuşlardır. Dolayısıyla OGM'nde teknik eleman ve yönetici olarak görev yapanların çoğunluğu rotasyon uygulamalarının mevcut haliyle adil şekilde yapılmadığını düşünmektedirler. Bu konuda, katılımcıların düşüncelerinde cinsiyet, yapılan görev ve görev yeri (çalışılan birim) grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ). Ancak deneyim (toplam çalışma yılı) grubu açısından anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçları mevcut haliyle rotasyon uygulamasının adil bir şekilde yapıldığı ve adil sonuçlar ortaya koyduğu düşüncesini 0-20 yıl deneyime sahip olanların daha fazla kabul ettiklerini göstermektedir ( $\bar{X}_{21}$  yıl ve üzeri deneyim = 1,69;  $\bar{X}_{0-20}$  yıl deneyim = 2,99).

"Atamalar kamu personel sınavı esas alınarak yapılmalıdır." ifadesine katılımcıların %58,2 (19,4+38,8)'i "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" şeklinde yanıt vermişlerdir. Bu, kamu görevlisi atamalarında objektif bir sınav sürecinin gerekliliğine güçlü bir inanç olduğunu göstermektedir. Bu konuda, katılımcıların düşüncelerinde tüm çalışan grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ).

"İlk defa orman işletme şefi olarak atanacak mühendislerin, bölge müdürlüklerince altı aylık temel eğitime tabi tutulması yerinde bir uygulamadır" ifadesine katılımcıların %63,3 (22,1+41,2)'ü "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" olarak değerlendirme yapmışlardır. Bu konuda kararsızların oranı %16,2'dir. Bu konuda katılımcıların düşüncelerinde cinsiyet, yapılan görev, görev yeri ve deneyim grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir farkın olmadığı ( $p>0,05$ ) görülmüştür.

"Görevde yükselme adil olarak uygulanmaktadır" ifadesine katılımcıların %19,2 (11,8+7,4)'si "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" şeklinde beyanda bulunmuşlardır. Bu düşünce ile ilgili olarak kararsızların oranı %38,2'dir. Bu düşünceye katılmayanların ve kararsızların oranı ise %80,9 (32,4+10,3+38,2)'dur. Dolayısıyla katılımcıların büyük bir çoğunluğu mevcut haliyle görevde yükselme uygulamalarının adil olarak yapılıyor olduğu konusunda ya kararsız, veya bu uygulamanın adil olarak yapılmadığını düşünmektedir. Bu konuda katılımcıların düşüncelerinde bütün çalışan grupları

açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark olmadığı ( $p>0,05$ ) görülmüştür. Ancak deneyim grubu açısından anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçları mevcut haliyle görevde yükselme uygulamasının adil şekilde yapıldığı düşüncesini 20 yıla kadar deneyime sahip olanların daha fazla deneyime sahip olanlara göre daha fazla kabul ettikleri anlaşılmaktadır ( $\bar{X}_{21}$  yıl ve üzeri deneyim = 1,89;  $\bar{X}_{0-20}$  yıl deneyim = 2,86).

“Görevde yükselme sınavının yazılı yapılması gerekmektedir” ifadesine katılımcıların %57,6(25,8+31,8)’si “Çoğunlukla katılıyorum” ve “Tamamen katılıyorum” şeklinde yanıt vermişlerdir. Dolayısıyla katılımcıların çoğunluğu görevde yükselme sınavlarının, belli bir kişi veya grubun inisiyatifi dışında objektif ölçülere göre düzenlenmiş yazılı sınavlar şeklinde yapılması gerektiğini değerlendirmektedir. Bu konuda, katılımcıların düşüncelerinde cinsiyet, yapılan görev, görev yeri ve deneyim grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ).

“Görevde yükselme için başarı ölçütleri esas alınması gerekmektedir” ifadesine katılımcıların %66,2(32,4+33,8)’si “Çoğunlukla katılıyorum” ve “Tamamen katılıyorum” değerlendirmesi yapmıştır. Bu değerlendirmelerden hareketle katılımcıların çoğunluğu görevlerinde terfi edecek çalışanların, önceden belirlenmiş başarı ölçütleri esas alınarak terfi etmeleri gerektiğini düşünmektedir. Yani terfi sınavlarının da yazılı olması gerektiği, ancak yazılı sınava girecek adayların bilgi, beceri ve başarılarının dikkate alınması gerektiği katılımcıların çoğunluğu tarafından kabul edilmektedir. Konu ile ilgili olarak, katılımcıların düşüncelerinde bütün çalışan grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ).

### **3.3. Örgütsel adalet uygulamalarına yönelik ifadelere katılım düzeyleri**

Katılımcıların örgütsel adalet uygulamalarına yönelik düşüncelerini belirlemek amacıyla beşli Likert ölçeğine (Kesinlikle katılmıyorum, Katılmıyorum, Kararsızım, Çoğunlukla katılıyorum, Tamamen katılıyorum) dayalı anket çalışması uygulanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Örgütsel adalete ilişkin düşünceleri

| No | Açıklamalar                                                                                                                                                  | Kesinlikle katılmıyorum (%) | Katılmıyorum (%) | Kararsızım (%) | Çoğunlukla katılıyorum (%) | Tamamen katılıyorum (%) |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|
| 1  | Çalışanlar arasında iş yükünün dağılımı adildir.                                                                                                             | 35,3                        | 25,0             | 19,1           | 17,6                       | 2,9                     |
| 2  | Ücretimin iş yüküme göre adil olduğunu düşünüyorum.                                                                                                          | 30,9                        | 23,5             | 29,4           | 8,8                        | 7,4                     |
| 3  | Bütüncül bakıldığında, işten elde ettiğim faydaların adil olduğunu düşünüyorum.                                                                              | 13,2                        | 29,4             | 26,5           | 22,1                       | 8,8                     |
| 4  | İş yerindeki yetki ve sorumluluklarımın dengeli ve adil olduğu kanısındayım.                                                                                 | 14,7                        | 26,5             | 32,4           | 17,6                       | 8,8                     |
| 5  | İşe ilişkin kararlar yöneticiler tarafından objektif ve tarafsız bir şekilde alınmaktadır.                                                                   | 14,7                        | 20,6             | 26,5           | 26,5                       | 11,8                    |
| 6  | Yöneticiler işle ilgili kararları vermeden önce tüm çalışanların görüşlerine başvururlar.                                                                    | 17,9                        | 25,4             | 36,8           | 14,9                       | 6                       |
| 7  | Yöneticiler iş konusunda kararlarını yeterli ve doğru bilgi toplayarak alırlar.                                                                              | 14,7                        | 14,7             | 39,7           | 19,1                       | 11,8                    |
| 8  | Yöneticiler alınan kararları çalışanlara bildirir ve talep edilmesi durumunda ek açıklamalar yaparlar.                                                       | 11,8                        | 20,6             | 29,4           | 23,5                       | 14,7                    |
| 9  | Kurum çalışanlarına ilişkin alınan tüm kararlar, etkilenen tüm personele eşit biçimde uygulanır.                                                             | 14,7                        | 20,6             | 38,2           | 17,6                       | 8,8                     |
| 10 | Çalışanlar, yöneticilerin işle ilgili kararlarına itiraz edebilir ya da bu kararların üst merciler tarafından yeniden değerlendirilmesini talep edebilirler. | 17,6                        | 19,1             | 36,8           | 17,6                       | 8,8                     |
| 11 | İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı saygılı ve ilgili davranırlar.                                                                     | 7,4                         | 7,4              | 30,9           | 36,8                       | 17,6                    |

|    |                                                                                                 |      |      |      |      |      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| 12 | İşime dair kararlar alınırken yöneticilerim kişisel sorumluluklarımı göz önünde bulundururlar.  | 6,0  | 10,4 | 32,8 | 34,3 | 16,4 |
| 13 | İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim kişisel gereksinimlerime duyarlılık gösterirler. | 6,0  | 14,9 | 34,3 | 28,4 | 16,4 |
| 14 | İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı dürüst ve içten davranırlar.          | 7,4  | 8,8  | 29,4 | 35,3 | 19,1 |
| 15 | İşime ilişkin kararlar alınırken yöneticilerim bir çalışan olarak haklarımı dikkate alırlar.    | 7,4  | 8,8  | 29,4 | 35,3 | 19,2 |
| 16 | Yöneticilerim, işimle ilgili kararların olası sonuçlarını benimle paylaşırlar.                  | 5,9  | 13,2 | 32,4 | 27,9 | 20,6 |
| 17 | İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana mantıklı ve anlaşılır açıklamalar yaparlar. | 8,8  | 8,8  | 27,9 | 36,8 | 17,5 |
| 18 | Yöneticilerim, işimle ilgili her kararı bana açık ve net biçimde ifade ederler.                 | 11,8 | 10,3 | 33,8 | 23,5 | 20,6 |

Tablo 5'e göre, "Çalışanlar arasında iş yükü dağılımı adildir" ifadesini katılımcıların %60,3 (35,3+25,0)'ü "Kesinlikle katılmıyorum" ve "Katılmıyorum" şeklinde değerlendirmişlerdir. Burdan hareketle katılımcıların büyük çoğunluğunun iş yükünün çalışanlar arasında adil olarak dağıtılmadığına inandıkları söylenebilir. Bu konudaki istatistik analiz sonuçlarına göre, katılımcıların düşüncelerinde bütün çalışan grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ).

"Ücretimin iş yüküme göre adil olduğunu düşünüyorum" ifadesini katılımcıların %54,4(30,9+23,5)'ü "Kesinlikle katılmıyorum" ve "Katılmıyorum" şeklinde değerlendirmiştir. Bu ifade ile ilgili istatistik analiz sonuçları, katılımcıların düşüncelerinde cinsiyet, yapılan görev, görev yeri ve çalışan grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ). Ancak deneyim grubu açısından anlamlı farklılık tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçları, ücretin iş yüküne göre adil olduğu düşüncesini daha fazla benimseyen katılımcıların genellikle 6-10 yıl deneyime sahip katılımcılar olduğu anlaşılmaktadır ( $\bar{X}_{0-5}$  yıl ve 21 yıl ve üzeri deneyim = 2,16;  $\bar{X}_{6-10}$  yıl deneyim = 3,50).

Katılımcıların %54,4 (36,8+17,6)'ü "İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı saygılı ve ilgili davranırlar" ifadesini "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" şeklinde değerlendirmişlerdir. Konu ile ilgili istatistik analiz sonuçlarına göre, katılımcıların düşüncelerinde yapılan görev, görev yeri ve deneyim grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ). Ancak cinsiyet grubu açısından anlamlı bir farklılık vardır ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçları işle ilgili kararlar alınırken yöneticilerin saygılı ve konuya ilgili davrandıkları düşüncesine kadın katılımcıların daha fazla katıldıklarını göstermektedir ( $\bar{X}_{kadın} = 3,94$ ;  $\bar{X}_{erkek} = 3,14$ ).

"İşime dair kararlar alınırken yöneticilerim kişisel sorumluluklarını göz önünde bulundururlar" ifadesine katılımcıların %50,7(34,3+16,4)'si "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" yanıtını vermişlerdir. Bunla ilgili istatistik analiz sonuçları, katılımcıların düşüncelerinde görev, görev yeri ve deneyim grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir farkın olmadığını göstermektedir ( $p>0,05$ ). Ancak cinsiyet grubu açısından anlamlı ve önemli bir farklılık olduğu görülmektedir ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçları işle ilgili kararlar alınırken yöneticilerin çalışanların kişisel sorumluluklarını dikkate aldıkları konusunda kadın katılımcıların genellikle daha olumlu düşündüklerini göstermektedir ( $\bar{X}_{kadın} = 3,74$ ;  $\bar{X}_{erkek} = 3,19$ ).

Katılımcıların %54,4(35,3+19,1)'ü "İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı dürüst ve içten davranırlar" ifadesini "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" şeklinde değerlendirmiştir. Bu konudaki istatistik analiz sonuçlarına göre, katılımcıların düşüncelerinde yapılan görev, görev yeri ve deneyim grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ). Ancak cinsiyet grubu açısından anlamlı ve önemli bir farklılık tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçlarına göre, işle ilgili kararlar alınırken yöneticilerin çalışanlarına karşı dürüst ve samimi oldukları konusunda kadın katılımcıların genellikle daha olumlu düşündükleri anlaşılmaktadır ( $\bar{X}_{kadın} = 3,81$ ;  $\bar{X}_{erkek} = 3,24$ ).

Katılımcıların %54,5(35,3+19,2)'ü "İşime ilişkin kararlar alınırken yöneticilerim bir çalışan olarak haklarımı dikkate alırlar" ifadesini "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" şeklinde değerlendirmiştir. Bu konudaki istatistik analiz sonuçlarına göre, katılımcıların düşüncelerinde cinsiyet, yapılan görev ve deneyim grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ). Ancak görev yeri grubu açısından anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçlarına göre, işle ilgili kararlar alınırken yöneticilerin çalışanların haklarını gözetmesi konusunda Kadastro Komisyonlarında çalışanlar ile Keles OİM çalışanlarının genellikle daha olumsuz düşündükleri görülmektedir ( $\bar{X}_{Kadastro Komisyonu \text{ ve Keles Orm. İşl. MÜd. çalışanları}} = 2,79$ ;  $\bar{X}_{Diğer bütün yerlerde çalışanlar} = 3,83$ ).

Katılımcıların %54,3 (36,8+17,5)'ü "İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana mantıklı ve anlaşılır açıklamalar yaparlar" ifadesini "Çoğunlukla katılıyorum" ve "Tamamen katılıyorum" şeklinde değerlendirmişlerdir. İlgili istatistik analiz sonuçlarına göre, katılımcıların düşüncelerinde yapılan görev ve görev yeri grupları açısından %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark yoktur ( $p>0,05$ ). Ancak cinsiyet ve deneyim grupları açısından anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Duncan Testi sonuçlarına göre, işle ilgili kararlar alınırken yöneticilerin çalışanlara gerekli mantıklı açıklamaları yapıyor oldukları konusunda kadın katılımcıların ( $\bar{X}_{\text{kadın}}=3,90$ ;  $\bar{X}_{\text{erkek}}=3,08$ ) ve 0-5 yıl deneyime sahip katılımcıların ( $\bar{X}_{0-5 \text{ yıl deneyim}}=4,24$ ;  $\bar{X}_{6 \text{ yıl ve üzeri deneyim}}=3,07$ ) daha olumlu düşündükleri anlaşılmaktadır.

### **3.4. Rotasyon ve atama-yükselme uygulamalarının örgütsel adalet üzerine etkisi**

Bu bölümde,

a) Rotasyonla ilgili "*Rotasyon uygulaması çalışanların çalışma hayatları boyunca görev yerleri konusunda adaleti sağlamaktadır (R3)*", "*Rotasyon ile çalışanlar adil ve eşit bir şekilde, ihtiyaçlar çerçevesinde dağıtılmaktadır (R7)*",

b) Atama-yükselmeyle ilgili "*Atama-yükselme ve yer değiştirme kurulları adil ve objektif çalışmaktadır (AY7)*", "*Görevde yükselme adil olarak uygulanmaktadır (AY8)*" ifadeler ile;

c) Örgütsel adaletle ilgili "*Kurum çalışanlarına ilişkin alınan tüm kararlar, etkilenen tüm personele eşit biçimde uygulanır (A9)*", "*Çalışanlar, yöneticilerin işle ilgili kararlarına itiraz edebilir ya da bu kararların üst merciler tarafından yeniden değerlendirilmesini talep edebilirler (A10)*", "*İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı saygılı ve ilgili davranırlar (A11)*", "*İşime dair kararlar alınırken yöneticilerim kişisel sorumluluklarımı göz önünde bulundururlar (A12)*", "*İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim kişisel gereksinimlerime duyarlılık gösterirler (A13)*", "*İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı dürüst ve içten davranırlar (A14)*", "*İşime ilişkin kararlar alınırken yöneticilerim bir çalışan olarak haklarımı dikkate alırlar (A15)*", "*Yöneticilerim, işimle ilgili kararların olası sonuçlarını benimle paylaşırlar (A16)*", "*İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana mantıklı ve anlaşılır açıklamalar yaparlar (A17)*", "*Yöneticilerim, işimle ilgili her kararı bana açık ve net biçimde ifade ederler (A18)*".

Bu ifadeler arasında 0,01 güven düzeyinde anlamlı bir korelasyonun olup-olmadığı ve varsa hangi yönde olduğu Korelasyon analizi ile araştırılmıştır (Tablo 6) .

Tablo 6. Rotasyon ve atama-yükselme uygulamalarının örgütsel adalet üzerindeki etkisine ilişkin korelasyon analiz matrisi

|     | A9     | A10    | A11    | A12  | A13  | A14  | A15    | A16    | A17    | A18  |
|-----|--------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|--------|------|
| R3  | 0,38** | 0,39** | 0,21   | 0,29 | 0,13 | 0,27 | 0,13   | 0,42** | 0,40** | 0,20 |
| R7  | 0,42** | 0,31** | 0,20   | 0,22 | 0,04 | 0,13 | 0,03   | 0,20   | 0,21   | 0,09 |
| AY7 | 0,30   | 0,36** | 0,30   | 0,18 | 0,10 | 0,21 | 0,39** | 0,17   | 0,21   | 0,16 |
| AY8 | 0,48** | 0,59** | 0,42** | 0,18 | 0,11 | 0,15 | 0,32** | 0,31   | 0,41** | 0,26 |

\*\*Korelasyon 0,01 güven düzeyinde anlamlıdır ( $P<0.01$ ) (iki kuyruklu),

Tablo 6’da görüleceği gibi, rotasyonla ilgili “*Rotasyon uygulaması çalışanların çalışma hayatları boyunca görev yerleri konusunda adaleti sağlamaktadır (R3)*” ifadesi ile; örgütsel adaletle ilgili “*Kurum çalışanlarına ilişkin alınan tüm kararlar, etkilenen tüm personele eşit biçimde uygulanır (A9)*”, “*Çalışanlar, yöneticilerin işle ilgili kararlarına itiraz edebilir ya da bu kararların üst merciler tarafından yeniden değerlendirilmesini talep edebilirler (A10)*”, “*Yöneticilerim, işimle ilgili kararların olası sonuçlarını benimle paylaşırlar (A16)*” ve “*İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana mantıklı ve anlaşılır açıklamalar yaparlar (A17)*” ifadeleri arasında 0,01 güven düzeyinde anlamlı ve pozitif korelasyonlar (sırasıyla  $r= 0,38^{**}$ ,  $r= 0,39^{**}$ ,  $r= 0,42^{**}$  ve  $r= 0,40^{**}$ ) bulunmaktadır. Başka bir deyişle kurum tarafından alınan kararlar ve yapılan çalışmalar bunlardan etkilenen bütün çalışanlara ayırım gözetmeksizin uygulanırsa, katılımcılığa dayalı bir yönetim anlayışı benimsenir, alınan kararlarda çalışanların düşünceleri dikkate alınır ve yöneticiler tarafından alınan kararlarla ilgili mantıklı açıklamalar yapılırsa, rotasyon uygulamalarının da daha etkin uygulanabileceği ve bu ölçüde adaletin sağlanabileceği değerlendirilmektedir.

Rotasyonla ilgili “*Rotasyon ile çalışanlar adil ve eşit bir şekilde ve ihtiyaçlar çerçevesinde dağıtılmaktadır (R7)*” ifadesi ile, örgütsel adaletle ilgili “*Kurum çalışanlarına ilişkin alınan tüm kararlar, etkilenen tüm personele eşit biçimde uygulanır (A9)*” ve “*Çalışanlar, yöneticilerin işle ilgili kararlarına itiraz edebilir ya da bu kararların üst merciler tarafından yeniden değerlendirilmesini talep edebilirler (A10)*” ifadeleri arasında 0,01 güven düzeyinde anlamlı ve pozitif korelasyonlar (sırasıyla  $r= 0,42^{**}$  ve  $r= 0,31^{**}$ ) bulunmaktadır. Yani kurum çalışanları ile ilgili alınan bütün kararlar, bunlardan etkilenen bütün çalışanlara ne kadar çok ayırım gözetmeksizin uygulanabilir ise ve yöneticiler alınan kararlarda çalışanların düşüncelerini ne kadar çok dikkate alırlarsa o ölçüde rotasyon ile bu çalışanların adil ve hakkaniyet ölçüsünde ve ihtiyaçlar çerçevesinde dağıtılması sağlanabilecektir.

Atama-yükselme uygulamaları ile ilgili “*Atama-yükselme ve yer değiştirme kurulları adil ve objektif çalışmaktadır* (AY7)” ifadesi ile, örgütsel adaletle ilgili “*Çalışanlar, yöneticilerin işle ilgili kararlarına itiraz edebilir ya da bu kararların üst merciler tarafından yeniden değerlendirilmesini talep edebilirler* (A10)” ve “*İşime ilişkin kararlar alınırken yöneticilerim bir çalışan olarak haklarımı dikkate alırlar* (A15)” ifadeleri arasında 0,01 güven düzeyinde anlamlı ve pozitif korelasyonlar (sırasıyla  $r = 0,36^{**}$  ve  $r = 0,39^{**}$ ) bulunmaktadır. Diğer bir anlatımla çalışanlar alınan kararlarda ve yönetimde ne kadar çok etkili olabilirlerse ve yöneticiler çalışanların haklarını ne derece çok gözetirse, atama-yükselme ve yer değiştirme kurullarının bu ölçüde adil ve objektif çalışabileceği düşünülmektedir.

Son olarak atama- yükselme uygulamaları ile ilgili “*Görevde yükselme adil olarak uygulanmaktadır* (AY8)” ifadesi ile, örgütsel adaletle ilgili “*Kurum çalışanlarına ilişkin alınan tüm kararlar, etkilenen tüm personele eşit biçimde uygulanır* (A9)”, “*Çalışanlar, yöneticilerin işle ilgili kararlarına itiraz edebilir ya da bu kararların üst merciler tarafından yeniden değerlendirilmesini talep edebilirler* (A10)”, “*İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana karşı saygılı ve ilgili davranırlar* (A11)”, “*İşime ilişkin kararlar alınırken yöneticilerim bir çalışan olarak haklarımı dikkate alırlar* (A15)” ve “*İşimle ilgili kararlar alınırken yöneticilerim bana mantıklı ve anlaşılır açıklamalar yaparlar* (A17)” ifadeleri arasında 0,01 güven düzeyinde anlamlı ve pozitif korelasyonlar (sırasıyla  $r = 0,48^{**}$ ,  $r = 0,59^{**}$ ,  $r = 0,42^{**}$ ,  $r = 0,32^{**}$  ve  $r = 0,41^{**}$ ) bulunmaktadır. Bu nedenle alınan tüm kararların, bu kararlardan etkilenen bütün çalışanlara ayrımcılık yapılmaksızın uygulanması, katılıma dayalı yönetim anlayışı doğrultusunda çalışanların haklarının dikkate alınması ve çalışanlara bu kararlara ilişkin mantıklı ve anlaşılır açıklamaların yapılması halinde görevde yükselme uygulamalarının yüksek derecede adaletle yürütülebileceğine inanılmaktadır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada, Bursa Orman Bölge Müdürlüğü örneğinde OGM’deki teknik eleman ve yönetici personelin rotasyon, atama-yükselme uygulamaları ve örgütsel adalet konularındaki düşünceleri incelenmiştir. Ayrıca belirli görev gruplarının (cinsiyet, görev yeri, görev türü ve deneyim) rotasyon ve atama-yükselme uygulamalarına ilişkin görüşleri arasında anlamlı bir farklılığın olup olmadığı incelenmiştir. Çalışanların kurumda rotasyon ve atama-yükselme uygulamaları ile ilgili düşüncelerinin örgütsel adalet ile ilgili düşünceleri arasında anlamlı ve önemli bir ilişkinin olup olmadığı, var ise bu ilişkinin yönü ve gücü de irdelenmiştir.



Katılımcıların cinsiyet, yaş ve medeni durum dağılımları, çalışan grubunun çeşitlilik gösterdiğini; ancak evli olanların (%68,7) ve erkeklerin (%54,4) ağırlıkta olduğunu ortaya koymaktadır. Büyük çoğunluğu lisans eğitimi (%67,4) almıştır. Yine büyük bir kısmı KTÜ (%33,3) ve İstanbul Üniversitesi (%31,7) mezunudur. Mezuniyet yılı açısından; 1975-1984 arası mezun olanların oranı %3,4 ile en düşük, 2015-2023 arası mezun olanların oranı ise %32,2 ile en yüksektir ve böylece son yıllarda mezun olan OGM çalışanlarının sayıca ve dolayısıyla oran bakımından çoğalmaları dikkat çekmektedir.

Katılımcıların çoğu mühendis (%44,1) olarak görev yapmaktadır veda çoğunluğu 0-5 yıl deneyime (%30,9) sahiptirler. Halen görev yapılan yerle ilgili süre çoğunlukla 0-5 yıl (%53,7) olmuştur ve bu süre beş yılı aşınca çalışan sayısı hızla düşmektedir. Zorunlu çalışma süresi sonunda katılımcıların ilk görev yerlerinden genellikle bir şekilde ayrıldıkları görülmektedir.

Çalışma şartlarını en fazla etkileyen baskı türlerinin başında siyasi baskıların geldiği; çalışma şartlarını zorlaştıran en önemli faktörün ise zorlu arazi koşulları olduğu anlaşılmaktadır.

Rotasyon, örgütlerin çalışanları arasında çalışma barışını sağlamak, çalışanlarının bilgi, beceri ve yeteneklerini geliştirerek daha adil ve daha verimli bir iş ortamı oluşturmak ve örgüt içi sosyalleşmeyi güçlendirmek, vb. amaçlarla kullandıkları yaygın bir uygulamadır. Rotasyon uygulamaları, örgütlerin türlerine ve sektörel özelliklerine, yapı ve işleyişlerine göre farklı şekilde ele alınabilir; bu yüzden her örgüt kendi özelliklerine en uygun rotasyon uygulama modelini geliştirmelidir (Kılıç, 2008).

Çalışmamızda katılımcıların çoğunluğu (%56) rotasyonun mevcut haliyle adil şekilde uygulandığına inanmamaktadır. Yurdakul Erol ve Köse (2017a) de rotasyon uygulamasının mevcut haliyle adil ve tarafsız yapılmadığını belirtmektedirler. Benzer şekilde Arslan ve Direk (2017)'e göre Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı devlet okullarında görev yapan pek çok öğretmen, rotasyon konusunda yeterince bilgilendirilmemeleri veya bilgilerin kendilerine doğru ulaşmaması nedeniyle rotasyonun adil bir şekilde yapılacağına inanmamaktadır. Ancak çalışmamızda genel olarak rotasyon uygulamasının gerekli olduğuna inanan katılımcıların sayısı, gerekli olduğuna inanmayan katılımcıların sayısından fazladır. Ancak, deneyim süresi arttıkça rotasyon uygulamasının gerekli olduğuna inanan katılımcıların sayısı azalmaktadır. Burada iki durumdan bahsedilebilir: a) İlki çalışma yılı fazla olan katılımcıların çalışma hayatları süresince rotasyon uygulamaları konusunda güzel tecrübelerle sahip olmamaları, b) İkincisi ise sahip oldukları mevcut görevi ve görev yerlerini artık kaybetmek istememeleri olarak değerlendirilebilir.

Katılımcıların çoğunluğu rotasyon uygulamasında hizmet süresi, görev yeri, başarı ölçütleri, uzmanlık alanları gibi faktörlerin dikkate alınması gerektiğini düşünmektedir. Altı-on yıl arası deneyime sahip olanlar ile 36 yıl ve üzeri deneyime sahip olanlar genellikle hizmet süresinin dikkate alınması gerektiği konusunda daha fazla hemfikirler. Fakat görev yeri, başarı ölçütleri ve uzmanlık alanları gibi faktörlerin dikkate alınması gerektiğini bütün çalışan grupları genellikle desteklenmektedir. Nural ve Çıtak (2012)'a göre, yöneticilerin sürekli aynı kurumda çalışması iş körlüğüne, durgunluğa ve verim düşüklüğüne yol açmaktadır. Özellikle yeni işyerlerinde veya kurumda yönetici olarak görev yapanların fiziki koşullar ile idari ve teknik konulardaki hatalar ve eksiklikler dikkatlerini çekse de, zamanla mevcut durum normalleşmekte, hatalı ve eksik iş veya durumları tespit etmeleri giderek zorlaşmaktadır.

Rotasyon uygulamalarında her bir çalışanın yaptığı işe ilişkin görev yeri, deneyim, çalışma koşulları ve başarı ölçütleri gibi çalışanın tüm özelliklerini kapsayan adil, şeffaf ve uygulanabilir bir OGM Rotasyon Uygulama Sisteminin geliştirilmesi, bu sistemin sürekli güncellenmesi ve rotasyon uygulamalarının bu sistem üzerinden ve üçüncü şahısların tasarruf almasını mümkün olduğu kadar önleyecek şekilde yapılması gerekir. Diğer yandan çalışanların işleri ile ilgili şeffaf, objektif, adil, ölçülebilir ve uygulanabilir başarı ölçütleri sistemi araştırmalarla ortaya konması ve bunlar OGM Rotasyon Uygulama Sisteminde dikkate alınmalıdır.

Başarı ölçütleri ve uzmanlık alanları tespit edilirken, kurumun ihtiyaçları analiz edilmeli, iş tanımları yapılmalı ve bunlar temel alınarak öncelikler, zorluklar, ölçülebilir standartlar ve uygulamalar tespit edilmelidir. Çalışanların başarı ölçütlerini belirlemek için öncelikle ölçülebilir standartlar tanımlanmalı ve planlar yapılmalıdır. Performansları düzenli izlenmeli ve çalışanlarla iletişimde kalınmalıdır. Performans analizi ve 360 Derece Değerlendirme vb. yöntemler kullanılarak, çalışanların iş yerlerindeki performansları çeşitli açılardan incelenip değerlendirilebilir.

Çalışanların uzmanlık alanları genellikle eğitim geçmişleri, deneyimleri ve çalıştıkları pozisyonlar göz önünde bulundurularak; yeterlik sınavları gibi değerlendirme yöntemleriyle de tespit edilebilir.

Görevde yükselme uygulamalarının halen adil yapıldığı düşüncesini katılımcıların çoğunluğu kabul etmemekte ve deneyim süresi arttıkça kabul etmeyenlerin oranı artmaktadır. Bu nedenle bu konuda yeni bir sistem değişikliğine gidilmelidir.

Atama-yükselme uygulamalarında katılımcıların çoğunluğu kamu personel sınavının esas alınması gerektiğini (%58,2), başarı ölçütlerinin esas alınması gerektiğini (%66,2) ve sınavın yazılı şeklinde yapılması gerektiğini (%57,6)

belirtmişlerdir. Dolayısıyla çalışanların işleri ile ilgili olarak, şeffaf, adil, ölçülebilir ve uygulanabilir performansa dayalı başarı ölçütleri sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Atama-yükselmeye aday olanlar arasında performansa dayalı başarı ölçütleri sistemine göre en yüksek başarıyı göstermiş olanlar objektif, adil ve ölçülebilir yazılı ve uygulama sınavlarına tabi tutulabilir.

Katılımcıların çoğunluğu (%63,3) Orman İşletme/Fidanlık Şefi (OİŞ) olarak ilk defa atanacak mühendislerin, Orman Bölge Müdürlüklerince altı aylık temel eğitime tabi tutulmasının gerekliliğine inanmaktadır. Bu durum Şef olarak atanacak Orman Mühendislerinin o göreve başlamadan önce görevin ağırlığı gereği belli bir süre temel eğitime tabi tutulmaları ve deneyim kazanmalarının gereğini ortaya koymaktadır. Ancak bilinmelidir ki, OGM’niün pek çok alanda uzmanlık ve iş bölümü gerektiren görev ve işlemlerinin neredeyse tamamı, en tecrübesiz bu Şefler ve onlara bağlı personel tarafından yürütülmektedir.

Türkiye’nin her tarafında çok iyi örgütlenmiş olmasına rağmen, OGM örgütü günümüz koşullarında yangın, orman kadastro, ağaçlandırma, silvikültür, ormancılık hukuku, suçların takibi ve önlenmesi, karbon ormancılığı, biyoçeşitlilik, yeni ormancılık anlayışları gibi birçok konuda sıkıntılar yaşamaktadır. Çünkü bu konuların her biri uzmanlık ve iş bölümü gerektirdiği için, bir Orman İşletme Şefi’nin her bir konuda uzman olması, kafa yorması ve dünya standartlarında güzel çalışmalar ortaya koyması beklenemez. Bu nedenle Köse ve ark. (2018)’na göre, OGM’nün merkezde ve taşrada yeniden yapılanmaya giderek, özellikle Orman İşletme Müdürlüklerinde merkezdeki yapılanmanın simetriği olacak bir yapılanmaya gidilmeli, işlerin hızlı takibi açısından merkezle irtibatın doğrudan bu Orman İşletme Müdürlükleri ile yapması sağlanmalıdır.

Orman İşletme Müdürlükleri alanları büyütülerek ve sorumluluk alanları bütün müdürlük alanını kapsayacak şekilde, ihtiyaca göre değişebilen dinamik yapıda, uzmanlık ve iş bölümüne dayalı birimlerden oluşmalıdır. Her birimin başında ise konu uzmanı bir kişi ve yanında ihtiyaca göre diğer teknik elemanlar ve yardımcı personel yer alabilir. Bu sayede çalışmalar, Müdürlüğün birim çalışma alanı olarak, bir uzmanın sorumluluğunda yürütülecek ve diğer teknik personel zamanla uzmanlaşarak işlerin güvenilir ve doğru yapılması ve ormancılıktaki yeni gelişmelerin daha kolay takip edilebilmesi sağlanacaktır. Bu suretle işler birim çalışma alanı Müdürlük olacak şekilde ve uzmanların sorumluluğunda, diğer teknik elemanların da zaman içinde uzmanlaşmasını, işlerin güvenli ve düzgün yapılmasını ve ormancılıkla ilgili gelişmelerin daha kolay takibini sağlayacaktır.

Katılımcıların çoğu çalışanlar arasında iş yükünün hakkaniyet ölçüleri dikkate alınarak yapılmadığını (60,3) ve ücretin iş yüküne göre adil olmadığını (54,4) düşünmektedir. Özellikle mahrumiyet bölgesinde yeni işe başlayan personel

fırsatını bulduğu en kısa sürede daha merkezi yerlere tayinini yaptırmaya çalışmakta, bu ise mahrumiyet bölgelerinde personel sıkıntısına sebep olmakta ve üst yöneticilerin sürekli rahatsız edilmesine yol açmaktadır. Diğer yandan işini düzgün yapan ve yoğun çalışanların sayısının genel toplam personel sayısının yanında azınlıkta kaldığından şikâyet edilmektedir. Bu gerçeklik de performansa ve görev yerine dayalı ücretlendirme ile objektif, adil ve uygulanabilir bir rotasyonu uygulamanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Katılımcıların görüşlerine dayanılarak, yöneticilerin iş ile ilgili kararlar alınırken genellikle katılımcılığa önem verdikleri ve personelin haklarını gözettikleri anlaşılmaktadır. Bu da OGM’de yönetim anlayışının ve yöneticilerle diğer personel arasında karşılıklı dayanışmanın ve anlayışın gelişmiş olduğunu göstermektedir.

Rotasyon ve atama-yükselme uygulamalarının örgütsel adalete etkisi hakkında, katılımcı bir yönetim anlayışının benimsenmesi, kararlarda çalışanların görüşlerinin dikkate alınması, kurumun karar ve faaliyetlerinin etkilenen tüm çalışanlara ayırım yapılmaksızın uygulanması ve yöneticilerin bu kararlarına ilişkin makul açıklamaların yapılması halinde rotasyon ve atama-yükselme uygulamalarının daha etkin uygulanabileceği ve adaletin bu ölçüde sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Tokmak (2019), örgütsel adalet algıları ile örgütsel bağlılık düzeylerinin ilişkisini test eden Korelasyon analizi sonucu, çalışanların adil bir kurumda görev yapmalarıyla onların örgütlerine bağlılık düzeylerinin olumlu etkilendiğini belirlemiştir. Yine pek çok araştırmada benzer sonuçlara ulaşılmış, örgütsel adalet algısının örgütsel bağlılık düzeyiyle pozitif ve anlamlı bir ilişkisinin olduğu sonucuna varılmıştır (Pillai ve ark. 1999; Nasurdin, 2005; Wasti, 2001; Aslantürk ve Şahan, 2012; Bal, 2014; Kıray, 2011).

Öneriler ise kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- OGM’nün merkezde ve taşrada yeniden yapılandırılması, Orman İşletme Müdürlüklerinde merkezdeki yapıya simetrik uzmanlaşma ve işbölümüne dayalı bir yapının oluşturulması işlerin daha güvenli ve sağlıklı yapılmasını ve yeni gelişmelerin daha kolay takip edilmesini sağlayacaktır.
- Atama-yükselme süreçlerinde çalışanların işleri ile ilgili objektif, şeffaf, adil, ölçülebilir ve uygulanabilir performansa dayalı başarı ölçütleri sisteminin geliştirilmesi gerekir. Bu, kurumsal başarıyı çalışan motivasyonunu ve kuruma bağlılığı artıracaktır.
- Objektif, adil, şeffaf, uygulanabilir ve üçüncü şahısların tasarruf almasını mümkün oldukça önleyecek bir OGM Rotasyon Uygulama Sisteminin geliştirilmesi ve sürekli güncellenmesi gerekir. Bu durum çalışanların bir başka yeri sahiplenmesini önleyecek ve yeni görev yerinde daha başarılı olmasına da yardımcı olacaktır.

- Performans değerlendirme yapıları ve rotasyon uygulama sistemi tüm OGM çalışanlarının erişebileceği şeffaf bir hale getirilmelidir.
- Yöneticiler işyerinde alınan kararların gerekçelerini çalışanlarla açıkça paylaşmalıdır. Bu, çalışanların iş süreçlerine güvenini artıracaktır.
- Dürüst ve samimi bir yönetim anlayışı benimsenmeli, çalışanlarla düzenli iletişim kurulmalıdır.
- Çalışanlar üzerindeki siyasi ve dış baskılar azaltılmalı, mesleki bağımsızlıkları korunmalıdır.
- Çalışma saatlerinin düzenlenmesi ve görev yükünün dengeli dağıtılması, iş stresini ve tükenmişlik seviyelerini azaltabilir.
- Performansa dayalı ücretlendirme sisteminin getirilmesi örgütsel başarıyı ve kuruma bağlılığı artıracak, aynı zamanda çalışma barışının sağlanmasına da yardımcı olacaktır.
- Çalışanların eğitim seviyelerine uygun ve sürekli mesleki eğitim programları sağlanmalıdır.
- Eğitimler, iş süreçlerinde yenilikçi tekniklerin kullanımını artıracak şekilde tasarlanmalıdır.
- Benzer çalışmalar, farklı coğrafi bölgelerde veya diğer kamu kurumlarında gerçekleştirilebilir.
- Çalışma koşullarının örgütsel başarıya ve bağlılığa etkisi, uzun vadeli araştırmalar ile daha ayrıntılı ortaya konulabilir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen bir projeden türetilmiştir. Çalışmanın ortaya çıkmasına destek veren Bursa OBM çalışanlarına ve ismini sayamadığımız tüm katılımcılara teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Aktan, C.C., 2021. Liyakatsizlik ve Kamusal Siyasal Patoloji Açısından Bazı Tespit ve Değerlendirmeler, Aktan, C.C., Öztürk, N.K., Acar, O.K. (Ed.). Kamu Yönetiminde Liyakat. Sosyal Bilimler Araştırmaları Derneği. Hukuk ve İktisat Araştırma Merkezi. İzmir. ISBN: 978-625-44321-9-4
- Arslan, A., Direk, A., 2017. Rotasyon uygulamasına ilişkin öğretmen görüşleri ve Sosyal Sermaye Kuramı açısından değerlendirilmesi. *Akademik İncelemeler Dergisi*, 12(2): 235-261
- Aslantürk G., Şahan S., 2012. Örgütsel adalet ve örgütsel bağlılık arasındaki ilişkinin Manisa İl Emniyet Müdürlüğü örnekleminde incelenmesi. *Polis Bilimleri Dergisi*, 14(1): 135-159
- Bal, V., 2014. Örgütsel adalet ve örgütsel bağlılık ilişkisi: Manisa'daki eğitim kurumlarında bir araştırma. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1): 1-9
- OGM, 2025. Orman Genel Müdürlüğü. Bursa Orman Bölge Müdürlüğü, [ogm.gov.tr/bursaobm/ormanlarimiz/orman-varligi](http://ogm.gov.tr/bursaobm/ormanlarimiz/orman-varligi) (Ziyaret tarihi: 24.11.2025?)
- Çolak, N. İ., 2005. Kamu görevlilerinin naklen atanma kriterleri, *Atatürk Üniversitesi Erzincan Hukuk Fakültesi Dergisi*, 9(1): 127-165
- Dağlı, M., 2016. Psikolojik Sözleşme İhlalleri, Örgütsel Vatandaşlık ve Örgütsel Adalet Algısı İlişkisine Yönelik Bir Araştırma. Haliç Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans tezi. İstanbul
- Daşdemir, İ., 2016. Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Nobel Akademik Yayıncılık ve Danışmanlık. Yayın No: 1536. Ankara. ISBN: 978-605-320-442-8
- De Cremer, D., 2005. Procedural and distributive justice effects moderated by organizational identification. *Journal of Managerial Psychology*, 20(1): 4-13
- Dreyfus, F., 2007. Bürokrasinin İcadı. (*L'invention de la bureaucratie servir l'état en france, en grande-bretagne et aux états-unis* (XVIIIe –Xxe siècle)), Ergüden, I. (Çev.). İletişim Yayınları No: 1228. İstanbul. ISBN-13: 978-975-05-0500-3
- Ertay, H., 2014. Belediye personelinin örgütsel adalet algıları üzerine bir araştırma: Konya örneği. *Turkish Studies*, 9(8): 467-482
- Kayapalı, S., Karabey, C.N., 2015. Örgütsel adalet algısının performans değerlendirme sisteminden duyulan memnuniyet üzerine etkisi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* 13(2): 40-58
- Kayıkçı, K., Şarlak, Ş., 2013. İlköğretim okullarında denetimin etkili işleyişini zorlaştıran örgütsel engeller. *İlköğretim Online*, 12 (2): 461-478

- Kayıkçı, K., Yörük, T., Özdemir, İ., 2015. İl ve ilçe eğitim yöneticilerinin tabi oldukları rotasyon uygulamasına ilişkin görüşler, elementary. *İlköğretim Online*, 14(1): 200-215. Doi: 10.17051/io.2015.34141
- Kılıç, E., 2008. İş Tatmini ve İş Rotasyonu Arasındaki İlişkinin İncelenmesine İlişkin Otomotiv Sektöründe Bir İnceleme. Marmara Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans tezi. İstanbul
- Kıray A., 2011. Örgütsel Adalet ile Örgütsel Bağlılık Arasındaki İlişkinin Belirlenmesine Yönelik Ampirik Bir Çalışma. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü,.Yüksek Lisans tezi. Çanakkale
- Köse, M., Daşdemir, İ., Yurdakul Erol, S., Yıldırım, H., Arslan, A., Göksu, E., Şekercan, U., Alkan, S., 2018. Türkiye ormancılığı için alternatif örgütlenme modellerinin geliştirilmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 5 (2):, 143-168. Doi: 10.17568/ogmoad.437335
- Köse, M., Daşdemir, İ., Yurdakul Erol, S., Yıldırım, H.T., 2019. Factors affecting administrative and organizational suc-cess in the Turkey's Forestry. *App. Eco. Environ. Res.*, 17(4): 8713-8735
- Nasuridin, A. M., 2005. The role of noninstrumental justice and again predicting organizational commitment evidence from Malaysia. *Gadjah Mada International Journal of Business*, 7(1): 1-14
- Niehoff, B. P., Moorman, R. H., 1993. Justice as a mediator of the relationship between methods of monitoring and organizational citizenship behavior. *Academy Management Journal*, 36(3): 527-556
- Nural, E., Çıtak, Ş., 2012. Ordu İlinde Resmi Eğitim Kurumlarında Görev Yapan Yöneticilerin Zorunlu Yer Değiştirme Uygulamasına İlişkin Görüş ve Önerileri, 7. Ulusal Eğitim Yönetimi Kongresi, Malatya
- Orhunbilge, A.N., 2000. Örneklem Yöntemleri ve Hipotez Testleri (Gözden Geçirilmiş ve Genişletilmiş İkinci Baskı). Avcıol Basım ve Yayın. İstanbul
- Öztürk, E., 2019. Orman işletmelerinde sürdürülebilir yönetim ve çevresel planlama. *Orman Yönetimi ve Sürdürülebilirlik Dergisi*, 6(1): 78-92
- Pillai, R., Schriesheim, C. A., Williams, E. S., 1999. Fairness perceptions and trust as mediators for transformational and transactional leadership: A two-sample study. *Journal of Management*, 25(6): 897-933
- STB, 2022. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. İlçelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması SEGE-2022. Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü Yayın No: 35. Araştırma Raporu Sayı: 8, Ankara, ISBN: 978-605-7679-34-5
- TDK, 2024. Türk Dil Kurumu sözlükleri. sozluk.gov.tr (Ziyaret tarihi: 24.11.2025)

- Tokmak, M., 2019. Kamu çalışanlarında örgütsel adalet algısı ve örgütsel bağlılık düzeyi arasındaki ilişkiye yönelik bir araştırma: Bursa ve Afyonkarahisar ili Örneği, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(3): 321-334
- Tortop, N., 1994. Personel Yönetimi. Yargı Yayınları. Ankara
- Töremen, F., 2002. Eğitim örgütlerinde değişimin engel ve nedenleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1): 185-202
- Tuna, M., 2013. Örgütsel adalet: Kamu ve özel sektör kuruluşlarında bir araştırma. *The Journal of Academic Social Science Studies* 6(8): 997-1023
- Wasti, S. A., 2001. Örgütsel adalet kavramı ve tercüme bir ölçeğin Türkçe’de güvenirlik ve geçerlik analizi. *Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 1: 33-50
- Yıldırım, A., 2023. Türk kamu yönetiminde liyakat sistemi: Uygulama biçimleri, sorunlar ve çözüm önerileri. *Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1): 37-63
- Yurdakul Erol, S., Köse, M., 2017a. Teknik Personelin Atama-Yükseltme ve Rotasyon Konularındaki Yaklaşımlarının İrdelenmesi: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Örneği, IV. Ulusal Ormancılık Kongresi, Türkiye Ormancılar Deneği, 15-16 Kasım 2017, Antalya
- Yurdakul Erol, S., Köse, M., 2017b. İş Tatmini, Örgütsel Bağlılık, Örgütsel Vatandaşlık ve Örgütsel Adalet Arasındaki İlişkilerin İrdelenmesi: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Örneği. Proje Sonuç Raporu. İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: FYD-2016-20540. İstanbul
- Yüksekbilgili, Z., Hatipoğlu, Z., 2015. Kuşaklara göre örgütsel adalet algısı. *Gaziantep University Journal of Social Siencies* 14(2): 403-412







## **BÖLÜM 7**

# Ağır Metallerin Çevresel Risk Karakterizasyonunda Kirlilik İndeksleri

*Fatma Nur Kılıç<sup>1</sup> & Osman Sönmez<sup>2</sup>*

## GİRİŞ

Doğal süreçler ve insan faaliyetlerinin etkisiyle ekosisteme yayılan ağır metaller, biyolojik olarak parçalanamayan ve canlılar için toksisiteye yol açan inorganik kirleticiler arasında yer almaktadır (Kumar vd., 2021). Canlıların metabolizmasında demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu), kobalt (Co) ve mangan (Mn) gibi ağır metaller canlılar için esansiyel olarak değerlendirilirken, kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), cıva (Hg) ve arsenik (As) gibi metaller ise esansiyel olarak değerlendirilmemektedir (Sahoo ve Sahu, 2022). Bu metallerin uzun süreli maruziyetleri veya besin zinciri ile iletimi insan ve hayvanlarda kanser ve diğer ciddi hastalıklarla ilişkilendirilmiştir (Briffa vd., 2020). Ayrıca tarımsal üretim kapsamında bitkilerin çimlenme, su dengesi, besin alımı ve fotosentez süreçlerinde olumsuz etkilere ve hatta ölümlere yol açtığı bilinmektedir (Manegabe vd., 2026).

Ağır metaller kirleticili kaynağının olduğu alanda ve çevresindeki mesafelerde; atmosferik çökeltme ve suyun dağılımı gibi faktörlerle toprak fazlarına kompleksleşme ve adsorpsiyon süreçleriyle bağlanarak birikebilmektedir (Mohamed vd., 2014). Bağlanma ve birikme süreçlerinde, toprak pH'ı, redoks potansiyeli, organik madde mineralizasyonu ve mikrobiyal aktivite gibi değişimler dengeleri bozarak metallerin yeniden çözünerek hareketli formlara geçmesine yol açabilir (El-Sharkawy vd., 2025). Giderek artan antropojenik faaliyetler, ağır metallerin çevreye yayılımını da paralel biçimde artırmakta ve birbirini doğrudan etkileyen bir dinamik oluşturmaktadır. Mevcut ve uzun vadede ekosistemdeki kirleticili düzeyinin kontrolü ve minimize edilmesi için, ağır metal düzeyinin tek parametre olarak değerlendirilmesi kirleticili düzeyinin anlaşılması açısından yeterli olmayabilir (Baran vd., 2018). Ağır metal düzeyleri ile kirlilik indekslerinin beraber kullanılması toprak kalitesinin, toprak bozulma düzeyinin, çevresel risk durumunun ve kirliliğin doğal etmenlerle mi yoksa antropojenik

---

<sup>1</sup> Araştırma Görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kayseri, fatmanur@erciyes.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0003-3498-2455

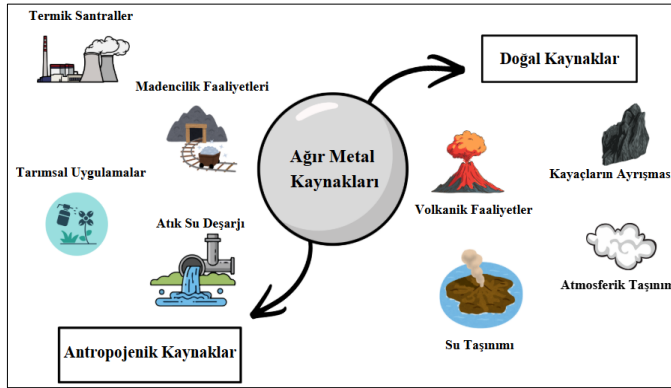
<sup>2</sup> Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kayseri, ORCID: orcid.org/0000-0002-9134-6466

etmenlerle mi oluştuğunun belirlenmesinde yardımcı olur (Wang vd., 2023; Gong vd., 2008).

Bu bölümde, ağır metallerin çevresel ortamlara yayılımını belirleyen başlıca etmenler incelenmekte; çevresel risk indekslerinin kullanım esasları ve sınıflandırma yaklaşımları ortaya konulmakta; ayrıca kirlilik indeksleri temelinde gerçekleştirilen çalışmalar çerçevesinde çevresel risk değerlendirmeleri ele alınmaktadır.

### Ağır Metallerin Kaynakları ve Dağılımını Etkileyen Faktörler

Ağır metallerin hava, su ve toprak ortamına yayılımı doğal ve antropojenik etmenlerle meydana gelmektedir. Kayaçların ayrışması, volkanik olaylar, atmosfer ve su ile taşınım gibi doğal etmenler düşük düzeyde ağır metal yayılımı sağlamaktadır (Tchounwou vd., 2012). Bunun yanı sıra, madencilik, termik santral faaliyetleri, tarımsal uygulamalar (pestisitler ve gübreler), atık su deşarjı ile çevrede meydana gelen kademeli birikim süreçleri ağır metallerin belirlenen güvenli sınır değerlerinin üzerine çıkmasına yol açar (Wang vd., 2015) (Şekil 1).

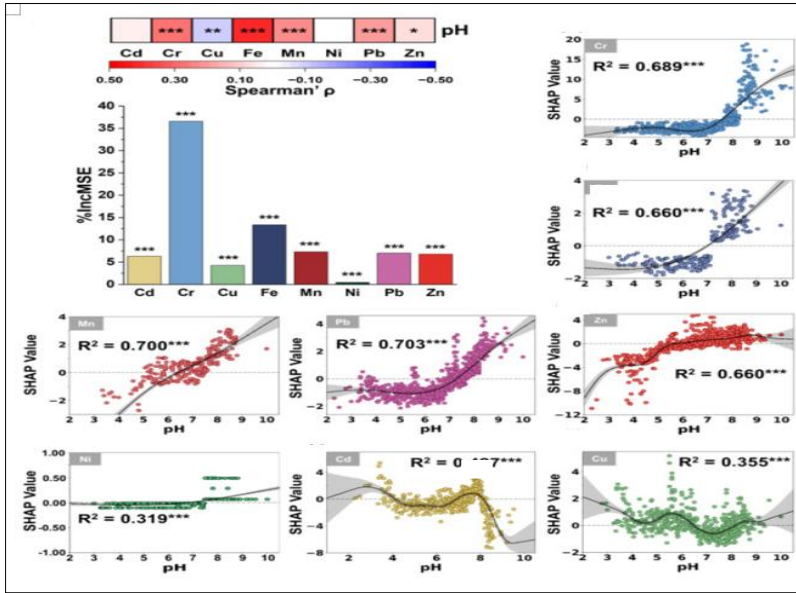


Şekil 1. Ağır Metallerin Çevreye Taşınımında Doğal ve Antropojenik Faaliyetler

Söz konusu faaliyetlerin özellikle Cu, Pb, Hg, Cd ve As gibi ağır metallerin kirlетici kaynağının olduğu alanda ve çevresinde birikime yol açtığı birçok araştırmada rapor edilmiştir (Huang vd., 2017; Rashid vd., 2023). Ağır metallerin toprakta birikmesine yol açan bu kaynaklar, yalnızca metal miktarını değil aynı zamanda çevredeki davranışlarını da belirleyen önemli faktörlerdir.

Topraktaki ağır metaller, organik maddelerle kompleks halde ve kil minerallerinin tabakalarına bağlı durumda bulunabilir. Ağır metallerin besin zincirine bitkiler aracılığıyla girmesi genelde toprak pH'ı, katyon değişim kapasitesi, redoks potansiyeli, toprak organik karbonuna, mineral yapısına ve mikrobiyomun aktivitesine bağlıdır (Xu vd., 2021). Buna ilaveten, toprak matrisinde bulunan koloidal maddelerin miktarı, yüzey özellikleri ve bileşimi ağır

metallerin dağılımında etkili olmaktadır (Qin vd., 2020). Toprak pH'ı düştükçe toprak çözeltisinde  $H^+$  miktarının artması Cd, Pb, As, Hg, Cr gibi katyonların toprak kolloidlerine tutumunu azaltır, bağlı metallerin ise serbest hale geçmesine yol açar ve mobilitesinin artmasına neden olur. Ağır metaller ile pH ilişkisini 162 farklı çalışmadan elde edilen 5151 gözlem ile Random Forest ve SHAP analizleri ile değerlendiren bir çalışmada, Fe, Cr, Mn ve Pb konsantrasyonlarının pH yükseldikçe artma eğilimi sergilediği, Zn'nin ise nötr pH seviyesinde en yüksek değerleri gösterdiği ifade edilmiştir (Wu vd., 2026) (Şekil 2). Katyon değişim kapasitesinin yüksek olması, katyonların özellikle kil ve organik maddenin yüzeylerindeki negatif yüklere bağlanmasını artırmakta, böylelikle de ağır metallerin serbest hâle geçmesini sınırlandırmaktadır (Violante vd., 2020; Wan vd., 2024). Ayrıca redoks potansiyelinin artması ve mikroorganizma faaliyetlerinin yoğunluğu bu metallerin mobilitesini sınırlandırmakta ve immobil fraksiyonlara geçişini hızlandırmaktadır (Madadi vd., 2023; Patil vd., 2025). Ağır metallerin topraktaki formu ve kimyasal davranışı, çevresel riskin değerlendirilmesinde belirleyici bir rol oynamaktadır.



Şekil 2. Random Forest Değişken Önem Analizi, Spearman Korelasyon Analizi ve SHAP Dağılım Grafikleri Kullanılarak Ph İle Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn İlişkisinin Değerlendirilmesi (Wu vd., 2026)

### Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesinde Çevresel Risk İndeksleri

Toprakta insan kaynaklı meydana gelen kirliliğin varlığını ve seviyesini belirlemek için kirlilik değerlendirme indeksleri kullanılmaktadır. Tekli kirlilik ve çoklu kirlilik indeksleri olarak sınıflandırılan göstergeler ağır metallerin kirliliğinin kapsamlı olarak değerlendirilmesinde güçlü katkılar sağlamaktadır.

Jeokümülayon indeksi (Igeo), zenginleştirme faktörü (EF), kirlilik faktörü (CF) ve ekolojik risk faktörü (Er<sub>i</sub>) tekli kirlilik indeksi olarak sınıflandırılırken, kirlilik yükü indeksi (PLI) ise çoklu ya da bütünleşmiş kirlilik indeksi olarak sınıflandırılmaktadır (Ferreira vd., 2022). Bu değerlerin hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde farklı arka plan/referans değerleri bulunmaktadır (Tablo 1) (Clemente vd., 2003; Rudnick ve Gao vd., 2003; Yaroshevsky, 2006; Kabata-Pendias, 2011).

**Tablo 1.** Çevresel Risk Hesaplaması İçin Çalışmalarda Kullanılan Yer Kabuğundaki Metallerin Bazı Referans Değerleri

| Ağır metaller | Yer kabuğundaki referans değerler |      |      |
|---------------|-----------------------------------|------|------|
| As            | 1.8                               | 4.8  | 1.7  |
| Cd            | 0.1                               | 0.09 | 0.13 |
| Cr            | 100                               | 92   | 83   |
| Co            | 10                                | 17.3 | 18   |
| Cu            | 55                                | 28   | 47   |
| Hg            | 0.07                              | 0.05 | 0.08 |
| Pb            | 15                                | 17   | 16   |

Jeobirikim indeksi, sediment veya toprakta meydana gelen kirliliğin doğal seviyesinden mevcut düzeyindeki değişimi belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Müller, 1969; Hu vd., 2020). Mevcut ve önceki kirliliğin karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kowalska vd., 2018). Bu değer, değerlendirilecek metalin doğal olarak bulunan referans konsantrasyonunun 1.5 katsayısı ile düzeltilmiş değerine oranının iki tabanlı logaritması alınarak hesaplanmaktadır (Muller, 1969). Igeo değerine göre hesaplanan değer referansa göre arttıkça kirlilik düzeyinin arttığını göstermektedir. Kirlenmemişten aşırı kirlenmiş düzeyine kadar değişen bir sınıflama sistemi bulunmaktadır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Jeoakümülayon İndeksi Değerlerinin Sınıflandırılması

| Igeo Değeri          | Kirlilik Sınıfı         |
|----------------------|-------------------------|
| $Igeo \leq 0$        | Kirlenmemiş             |
| $0 \leq Igeo \leq 1$ | Hafif kirlenmiş         |
| $1 \leq Igeo \leq 2$ | Orta derecede kirlenmiş |
| $2 \leq Igeo \leq 3$ | Orta-yüksek kirlenmiş   |

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| $3 \leq \text{Igeo} \leq 4$ | Yüksek kirlenmiş     |
| $4 \leq \text{Igeo} \leq 5$ | Çok yüksek kirlenmiş |
| $5 < \text{Igeo}$           | Aşırı kirlenmiş      |

Zenginleştirme faktörü, toprak veya sedimentlerde meydana gelen kirliliğin doğal kaynaklı mı yoksa antropojenik kaynaklı mı olduğunu belirlemek için kullanılmaktadır (Reimann ve Caritat, 2000). İndeksin hesaplanmasında referans element olarak Al, Fe, Ca, Mn ve Ti yaygın olarak kullanılmaktadır (Weissmannová ve Pavlovský, 2017). Zenginleştirme faktörü hesabı, örnekteki metal düzeyinin hedef metalin referans elemente oranının, aynı metalin doğal arka plan koşullarındaki referans elemente oranına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Zenginleştirme faktörünün değerinin artması antropojenik faaliyetlerin yoğun olduğunu göstermektedir (Han ve Gu, 2023) (Tablo 3).

**Tablo 3.** Zenginleştirme Faktörüne Göre Değerlerin Sınıflandırılması

| EF Değeri                | Zenginleşme Düzeyi        |
|--------------------------|---------------------------|
| $\text{EF} < 2$          | Minimum zenginleştirme    |
| $2 < \text{EF} \leq 5$   | Orta zenginleştirme       |
| $5 < \text{EF} \leq 20$  | Belirgin zenginleştirme   |
| $20 < \text{EF} \leq 40$ | Çok yüksek zenginleştirme |
| $\text{EF} > 40$         | Aşırı zenginleştirme      |

Kontaminasyon faktörü, değerlendirilecek metalin konsantrasyonunun doğal düzeydeki durumuna göre artış derecesini ortaya koymaktadır. Bu indeks, analiz edilen metalin konsantrasyonunun referans metal konsantrasyonuna oranı ile hesaplanmaktadır (Hakanson, 1980). Özellikle antropojenik faktörlerin kirlettiği ortamdaki metal birikim katkısını değerlendirmede önemli parametrelerden birisidir (Mandal vd., 2022). Kontaminasyon düzeyinin sınıflandırılması, düşük düzeyde kirlilik ile çok yüksek düzeyde kirlilik aralığında olmaktadır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Kontaminasyon Faktörünün Sınıflandırılması

| CF Değeri              | Kirlilik Seviyesi   |
|------------------------|---------------------|
| $\text{CF} < 1$        | Düşük kirlilik      |
| $1 \leq \text{CF} < 3$ | Orta kirlilik       |
| $3 \leq \text{CF} < 6$ | Yüksek kirlilik     |
| $\text{CF} \geq 6$     | Çok yüksek kirlilik |

Kirlilik yükü indeksi, bir çalışma alanında meydana gelen genel ağır metal kirliliğini değerlendirmek için kullanılan önemli bir indekstir. Bu indeks, birden fazla metal için hesaplanan kontaminasyon faktörlerinin geometrik ortalamasının hesaplanması sonucu çalışma alanındaki toplam kirlilik seviyesini ortaya koymaktadır (Tomlinson vd., 1980; Santos vd., 2020) (Tablo 5).

**Tablo 5.** Kirlilik Yükü İndeksi Sınıflandırılması

| PLI Değeri | Değerlendirme                 |
|------------|-------------------------------|
| $PLI < 1$  | Kirlilik yok / doğal seviyede |
| $PLI = 1$  | Temel kirlilik Seviyesi       |
| $PLI > 1$  | Kirlenme mevcut               |

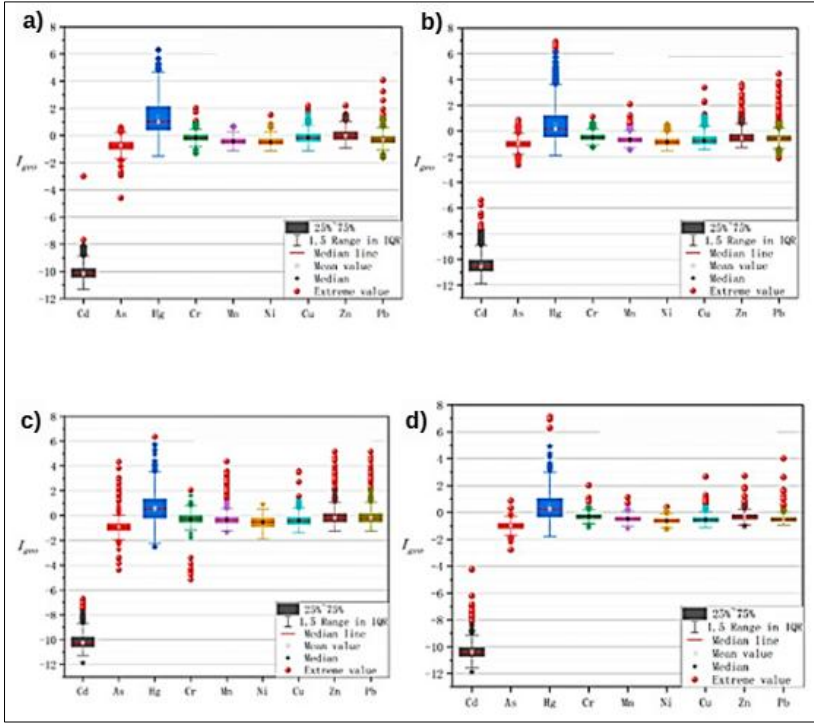
Ekolojik risk faktörü metalin toksisite katsayısının kirlilik indeksiyle çarpılması sonucu bulunmaktadır. Kirleticinin konsantrasyonu, toksisite durumu ve çevresel risk potansiyeli hakkında bilgi vermektedir. Hakanson'a (1980) göre risk sınıflaması yapılmıştır (Tablo 6).

**Tablo 6.** Ekolojik Risk Faktörü Sınıflandırılması

| Er <sub>i</sub> Değeri | Risk Seviyesi     |
|------------------------|-------------------|
| $Er_i < 40$            | Düşük risk        |
| $40 \leq Er_i < 80$    | Orta risk         |
| $80 \leq Er_i < 160$   | Yüksek risk       |
| $160 \leq Er_i < 320$  | Çok yüksek risk   |
| $Er_i \geq 320$        | Aşırı yüksek risk |

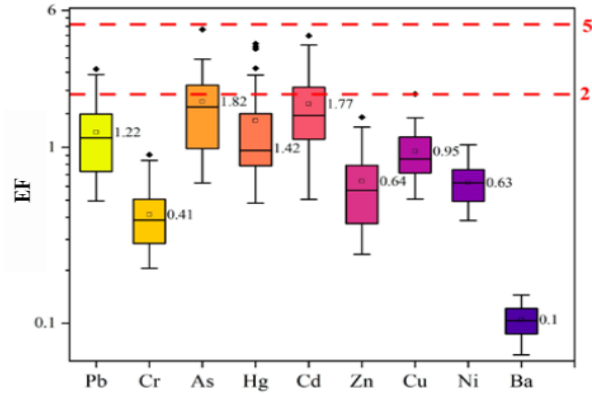
Ağır metal kirliliğinin çevresel risk açısından tekli indekslerin yanı sıra entegre olarak kullanılan indekslerle analiz edilmesi durumun kapsamlı olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Bu kitap bölümünde alınan indeksler birçok literatürde yaygın olarak kullanılmış ve önemi vurgulanmıştır. Çin'de çöp depolama alanında yüzey topraklarının ağır metal konsantrasyonlarının ve çevresel risk düzeylerinin değerlendirildiği bir çalışmada Zn, Cd, Cr ve Cu'nun yer kabuğundaki referans değerine kıyasla daha yüksek olduğu, aynı zamanda metallerin kirlilik yük indeksinin Cd'de en yüksek, Pb'de en düşük olduğu belirlenmiştir (Liu vd., 2013). Baotou'da dört bölgede, toprak metal konsantrasyonları ve çevresel risk durumunun araştırıldığı çalışmada, Kundulun ve Jiuyuan bölgelerinde özellikle As, Mn, Zn ve Pb için yüksek ve aşırı yüksek kirlilik gösterirken, Qingshan ve Doğu Nehri bölgelerinde Cu, Zn, Pb ve Cr genellikle orta ile yüksek düzey arasında kirlilik göstermiştir (Şekil 3) (Chen vd., 2025).





**Şekil 3.** Baotou Şehrinin Dört Farklı Bölgesinde (A) Donghe, B) Jiuyuan, C) Kundulun, D) Qingshan) Ağır Metallerin Jeoakümülyasyon İndeksinin Grafik ile Gösterimi (Chen vd., 2025).

Benzer şekilde, Sırbistan’da bulunan Pančevo şehrinde yer alan sanayi bölgesinde gerçekleştirilen çalışmada EF değerleri Pb için 0.4 ile 2.79, Cr için 0.21 ile 0.91, As için 0.63 ile 4.69, Hg için 0.48 ile 3.89, Cd için 0.51 ile 4.31, Zn için 0.25 ile 1.48, Cu için 0.51 ile 2.01, Ni için 0.38 ile 1.03 ve Ba için 0.07 ile 0.14 arasında değiştiğini ve Igeo değerlerine göre, As, Cd ve Hg’nin ciddi kirlilik oluşturduğunu ifade etmişlerdir (Şekil 4) (Miletic vd., 2025).



**Şekil 4.** Çalışma Alanında Farklı Ağır Metaller İçin Hesaplanan Zenginleşme Faktörü Düzeyleri

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, yaşam alanlarının ve tarımsal toprakların metallerce kirlenmesi, insan sağlığı için potansiyel riskler haline gelmesi nedeniyle küresel ölçekte ciddi bir çevre sorunu oluşturmıştır. Toprakların ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi her zaman için bölgedeki risk potansiyelini gösteremeyebilir. Bu durumun kaplı olarak ele alınabilmesi için çeşitli risk parametreleri oluşturulmuştur. Kirlilik belirlenen alanda ağır metal konsantrasyonlarının tekli ve entegre indekslerle ele alınması o alandaki toksisite ve potansiyel risk durumunu daha net bir şekilde ortaya koyabilmesine yardımcı olur. Bu kitap bölümünde ağır metallerin olası kaynakları, topraktaki davranışları ve etkileyen faktörler ile bazı çevresel risk indeksleri ve sınıflamaları ele alınmıştır. Ağır metal kirliliğinin oluşturabileceği çevresel ve ekolojik risklerin etkin bir şekilde yönetilebilmesi için özellikle yüksek kirlilik potansiyeline sahip metallerin belirlenmesine, kirlilik kaynaklarının ortaya konulmasına ve uygun iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Baran, A., Wieczorek, J., Mazurek, R., Urbański, K. and Klimkowicz-Pawlas, A. (2018). Potential ecological risk assessment and predicting zinc accumulation in soils. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 435-450.
- Briffa, J., Sinagra, E. and Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9).
- Chen, X., Ren, Y., Li, C., Shang, Y., Ji, R., Yao, D., & He, Y. (2025). Pollution characteristics and ecological risk assessment of typical heavy metals in the soil of the heavy industrial city Baotou. *Processes*, 13(1), 170.
- El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D. and Mahmoud, E. (2025). Heavy metal pollution in coastal environments: ecological implications and management strategies: a review. *Sustainability*, 17(2), 701.
- Ferreira, S. L., da Silva Junior, J. B., dos Santos, I. F., de Oliveira, O. M., Cerda, V. and Queiroz, A. F. (2022). Use of pollution indices and ecological risk in the assessment of contamination from chemical elements in soils and sediments—Practical aspects. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 35, e00169.
- Han, Y. and Gu, X. (2023). Enrichment, contamination, ecological and health risks of toxic metals in agricultural soils of an industrial city, northwestern China. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 3, 100043.
- Gong, Q., Deng, J., Xiang, Y., Wang, Q. and Yang, L. (2008). *Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing*. *J China University of Geosciences* 19: 230–241.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8), 975-1001.
- Hu, B., Shao, S., Ni, H., Fu, Z., Hu, L., Zhou, Y., ... and Shi, Z. (2020). Current status, spatial features, health risks, and potential driving factors of soil heavy metal pollution in China at province level. *Environmental Pollution*, 266, 114961.
- Huang, X., Hu, J., Qin, F., Quan, W., Cao, R., Fan, M. and Wu, X (2017). Heavy metal pollution and ecological assessment around the Jinsha coal-fired power plant (China). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1589.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace elements of soils and plants* (fourth ed.pp. 28–534). USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC.
- Kowalska, J. B., Mazurek, R., Gąsiorek, M. and Zaleski, T. (2018). Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil

- contamination—A review. *Environmental geochemistry and health*, 40(6), 2395-2420.
- Kumar, V., Pandita, S., Sharma, A., Bakshi, P., Sharma, P., Karaouzas, I., ... and Cerda, A. (2021). Ecological and human health risks appraisal of metal (loid)s in agricultural soils: A review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 5(3), 173-185.
- Liu, C., Cui, J., Jiang, G., Chen, X., Wang, L. and Fang, C. (2013). Soil heavy metal pollution assessment near the largest landfill of China. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 22(4), 390-403.
- Madadi, R., Kachoueian, F. and De-la-Torre, G. E. (2023). Effect of redox potential on the heavy metals binding phases in estuarine sediment: Case study of the Musa Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 195, 115565.
- Mandal, S., Bhattacharya, S., & Paul, S. (2022). Assessing the level of contamination of metals in surface soils at thermal power area: Evidence from developing country (India). *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 4, 37-49.
- Manegabe, B. J., Msagati, T. A., Ntabugi, M. M. K. and Dewar, J. B. (2026). Assessment of human health risk associated with heavy metals from the consumption of Swiss chard (*Beta vulgaris* L.) exposed to low-quality irrigation water of different types. *International Journal of Environmental Health Research*, 36(2), 290-304.
- Miletić, A., Vesković, J., Lučić, M., Varol, M., Crnković, D., Potkonjak, N. and Onjia, A. (2025). Comprehensive Assessment of Heavy Metal (loid) Pollution in Agricultural and Urban Soils near an Oil Refining Facility: Distribution Patterns, Source Apportionment, Ecological Impact, and Probabilistic Health Risk Analysis. *Urban Science*, 9(10), 415.
- Mohamed, T. A., Mohamed, M. A. K., Rabeiy, R. and Ghandour, M. A. (2014). Application of pollution indices for evaluation of heavy metals in soil close to phosphate fertilizer plant, Assiut, Egypt. *Assiut Univ Bull Environ Res*, 17(1), 45-55.
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River.
- Patil, A., Chakraborty, S., Yadav, Y., Sharma, B., Singh, S. and Arya, M. (2025). Bioremediation strategies and mechanisms of bacteria for resistance against heavy metals: a review. *Bioremediation Journal*, 29(4), 448-480.
- Qin, C., Yuan, X., Xiong, T., Tan, Y. Z. and Wang, H. (2020). Physicochemical properties, metal availability and bacterial community structure in heavy metal-polluted soil remediated by montmorillonite-based amendments. *Chemosphere*, 261, 128010.

- Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo, S., Lehnhoff, E. A. and Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, 13(6), 1521.
- Reimann, C. and Caritat, P. D. (2000). Intrinsic flaws of element enrichment factors (EFs) in environmental geochemistry. *Environmental science & technology*, 34(24), 5084-5091.
- Rudnick, R. L., & Gao, S. (2003). Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*, 3, 659.
- Sahoo, B.P. and Sahu, H.B. (2022). Assessment of metal pollution in surface water using pollution indices and multivariate statistics: a case study of Talcher coalfield area, India. *Applied Water Science*, 12(9), 223.
- Santos, M. V. S., da Silva Júnior, J. B., de Carvalho, C. E. V., dos Santos Vergílio, C., Hadlich, G. M., de Santana, C. O. and de Jesus, T. B. (2020). Geochemical evaluation of potentially toxic elements determined in surface sediment collected in an area under the influence of gold mining. *Marine pollution bulletin*, 158, 111384.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K. and Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology: volume 3: environmental toxicology*, 133-164.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R. and Jeffrey, D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer meeresuntersuchungen*, 33(1), 566-575.
- Violante, A. U. D. N., Cozzolino, V. U. D. N., Perelomov, L. P. S. U., Caporale, A. G. and Pigna, M. U. D. N. (2010). Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. *Journal of soil science and plant nutrition*, 10(3), 268-292.
- Wan, Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q. and Li, H. (2024). Heavy metals in agricultural soils: Sources, influencing factors, and remediation strategies. *Toxics*, 12(1), 63.
- Wang, C. C., Zhang, Q. C., Yan, C. A., Tang, G. Y., Zhang, M. Y., Ma, L. Q., ... and Xiang, P. (2023). Heavy metal (loid) s in agriculture soils, rice, and wheat across China: Status assessment and spatiotemporal analysis. *Science of the Total Environment*, 882, 163361.
- Wang, Z., Wang, Y., Chen, L., Yan, C., Yan, Y. and Chi, Q. (2015). Assessment of metal contamination in coastal sediments of the Maluan Bay (China) using geochemical indices and multivariate statistical approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 99(1-2), 43-53.

- Xu, D. M., Fu, R. B., Wang, J. X., Shi, Y. X. and Guo, X. P. (2021). Chemical stabilization remediation for heavy metals in contaminated soils on the latest decade: Available stabilizing materials and associated evaluation methods-A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128730.
- Yaroshevsky, A. A. (2006). Abundances of chemical elements in the Earth's crust. *Geochemistry International*, 44(1), 48–55.





## **BÖLÜM 8**



# Hassas Hayvancılıkta Sığırlarda Yapay Zekâ Uygulamaları

*İrfan İnan<sup>1</sup> & Mehmet Salih Kaçmaz<sup>2</sup>  
Savaş Demir<sup>3</sup>*

## 1. GİRİŞ

Küresel ölçekte iklim değişikliği, arazi bozunumu, hayvan refahı, ekonomik krizler ve artan gıda talebi, tarımsal üretim sistemlerinin istikrarı açısından önemli zorluklar oluşturmaktadır. Bu durum, hayvansal üretim bilimini ileriye taşımak için daha yenilikçi yaklaşımlara ve sürdürülebilir, modern hayvancılık yönetimi uygulamalarının önemini açıkça ortaya koymaktadır (Abdelrahman ve ark., 2026; Ghavipanje ve ark., 2025).

Mevcut demografik ve ekonomik büyüme bağlamında et ve süt ürünlerine olan talebin önemli ölçüde artması beklenmektedir. Hayvansal ürünlere yönelik artan talep ve buna karşılık çiftçi ve yetiştirici sayısındaki azalma, hayvancılık faaliyetlerinin karmaşıklığını önemli ölçüde artırmıştır. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek amacıyla hassas hayvancılık, sığır gibi çiftlik hayvanlarını sürekli izleyerek sorunları daha erken tespit eden ve üretkenliği artıran tam otomatik araçların geliştirilmesini hedeflemektedir (Besler ve ark., 2024; Michelena ve ark., 2024).

Hayvancılık sektörü, verimliliği, hayvan refahını ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan akıllı teknolojilerin entegrasyonu ile önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Hassas hayvancılık, hayvancılık sektöründe önemli bir evrimi temsil etmekte; çiftlik yönetimini dönüştürerek üretim verimliliğini, sürdürülebilirliği, ürün kalitesini, çalışma koşullarını ve hayvan refahını iyileştirme vaadi sunmaktadır. Hassas hayvancılık, sürdürülebilir tarımın geleceğine ilişkin güçlü bir vizyon sunmaktadır. Bu yaklaşım, bilginin toplanması, işlenmesi, anlaşılması ve uygulanması yoluyla yönetim ve karar verme süreçlerine sistematik bir çerçeve kazandıran, veri ve teknoloji temelli bir strateji ortaya koymaktadır (Bernabucci ve ark., 2025; Papakonstantinou ve ark., 2024; Vlaicu ve ark., 2024).

---

<sup>1</sup> Yüksek Ziraat Mühendisi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, 65080 Van, Türkiye, ORCID: 0009-0007-0084-1394

<sup>2</sup> Arş. Gör. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, 65080 Van, Türkiye ORCID: 0000-0003-3419-7342

<sup>3</sup> Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 65080 Van, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3795-8883

Hayvancılık sektörü, yapay zekâ ve gelişmiş görsel elektronik izleme teknolojilerinin entegrasyonu ile önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Veri odaklı teknolojilerin sayısı ve çeşitliliğindeki sürekli artış ve hızla gelişen AI yöntemleriyle birlikte, sığır reproduksiyonu alanı yapay zekâ tarafından dönüştürülmeye hazır bir konumdadır. Yapay zekâ alanındaki son gelişmeler, sürekli gerçek zamanlı veri izleme ve otomatik karar destek sistemlerini mümkün kılarak hayvancılık sektörünü dönüştürmektedir (Distante ve ark., 2025; Giordano & Laplacette, 2026; Moe ve ark., 2025).

Hayvancılık alanında yapay zekâ; sığırlarda duygusal durumların değerlendirilmesi, beslenme alışkanlıklarının izlenmesi, süt üretiminin analizi, hastalık durumlarının belirlenmesi, yüz tanıma, sayım ve sınıflandırma işlemleri ile zoonotik hastalıkların yayılımının takibi gibi birçok uygulamada giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yapay zekâ, sığırlarda üretkenlik, hayvan refahı ve ekolojik dayanıklılık arasında denge kurarak farklı üretim sistemlerinde maliyet etkinliği ve erişilebilirliği güvence altına alan sürdürülebilir hayvancılığı yeniden tanımlayacaktır (Mijwil ve ark., 2023; Zhu ve ark., 2025).

Sığırlarda bilgisayarlı görme teknolojileri, hayvan sağlığı, davranışı ve verimliliğinin otomatik ve girişimsel olmayan yöntemlerle izlenmesini mümkün kılarak süt sığırcılığı işletme yönetimi alanını hızla dönüştürmektedir. Özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme ile bütünleştirilen bilgisayarlı görme tabanlı temassız ölçüm teknikleri, çiftlik hayvanlarında vücut ölçüleri ve canlı ağırlık tahmini açısından önemli bir potansiyel ortaya koymaktadır.

Bilgisayarlı görme, üç boyutlu (3B) yeniden yapılandırma ve akustik analizden yararlanan yapay zekâ tabanlı fenotipik ölçüm yaklaşımları; farklı hayvan türlerinde bireysel tanımlama, davranış, canlı ağırlık ve sağlık durumunun invaziv olmayan ve gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanımaktadır. Sensör teknolojilerinde ve üretken yapay zekâ alanında kaydedilen son gelişmeler, davranış izleme ve kestirimci analiz yeteneklerini geliştirerek hassas hayvancılık sistemlerini dönüştürmektedir (Antognoli ve ark., 2025; Eckhardt ve ark., 2025; Xu ve ark., 2025; Zhu ve ark., 2025).

Bu derleme çalışmasının amacı, hem sığırlarda yapay zekâ tabanlı uygulamaların hassas hayvancılık sistemlerindeki kullanım alanlarını incelemek hem de güncel literatür bulguları doğrultusunda bu teknolojilerin hayvan sağlığı, davranış izleme, üretim verimliliği ve sürü yönetimine sağladığı katkıları ortaya koymaktır.

## **2. HASSAS HAYVANCILIĞIN GELİŞTİRİLMESİNİN AVANTAJLARI**

Tarım sektörü; verimliliğin artırılması, hayvan refahının güvence altına alınması ve manuel iş gücüne olan bağımlılığın azaltılması yönünde artan

bir baskı altındadır. Buna karşın, geleneksel üretim sistemleri Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0 çözümlerinin benimsenmesinde çoğu zaman geride kalmaktadır. Dijital teknolojiler, özellikle dijital ikizler, fiziksel uygulamaya geçilmeden önce sanal temsil, gerçek zamanlı simülasyon, kestirimsel analiz ve performans doğrulama olanağı sunarak dönüşümsel bir yaklaşım sağlamaktadır ve bu yönüyle maliyet etkin bir kavram kanıtı ortaya koymaktadır (Hurtado ve ark., 2026).

Akıllı hayvancılık, gıda güvenliği ve sürdürülebilir kaynak yönetimine yönelik küresel taleplerin artmasına yanıt olarak hızla gelişmektedir. Bulut-uç-cihaz iş birliğine dayalı hesaplama; dağıtık zekâ, gerçek zamanlı işleme ve uyarlanabilir karar verme olanakları sağlayarak geleneksel merkezi mimarilerin sınırlılıklarını aşan dönüştürücü bir paradigma olarak ortaya çıkmıştır. Akıllı tarım teknolojileri, tarımı daha sürdürülebilir ve dayanıklı bir sektöre dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Hassas tarım, Nesnelerin İnterneti sensörleri ve veri analitiği; kaynak kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırabilen, çevresel etkileri azaltabilen ve ürün verimliliğini yükseltebilen temel yeniliklerdir (Muthukumar & Karthick, 2025; Yu ve ark., 2025). Hassas hayvancılığın gelişmesiyle birlikte, çiftlik hayvanlarına ait fenotipik özelliklerin geleneksel manuel ölçüm yöntemleri; doğruluk, verimlilik ve hayvan refahı açısından modern gereksinimleri karşılamada ciddi biçimde yetersiz kalmaktadır. Bu duruma yanıt olarak, özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme ile bütünleştirilen bilgisayarlı görü tabanlı temassız ölçüm teknikleri, çiftlik hayvanlarında vücut ölçüleri ve canlı ağırlık tahmini alanında önemli bir potansiyel ortaya koymuştur (Xu ve ark., 2025).

Çiftlik düzeyinde hassas ve yaygın hayvancılık uygulamaları kapsamında giyilebilir sensörler, çevresel izleme ekipmanları ve uzaktan algılama teknolojilerinin kullanımı; üretim izleme, yönetim sorunlarının çözümü, lojistik güçlüklerin giderilmesi, kaynak kullanım etkinliğinin artırılması ve karar alma süreçlerinin iyileştirilmesi açısından geniş kullanım alanı bulmaktadır. Nesnelerin İnterneti'nin çok sayıda sensör, denetleyici ve iletişim protokolü ile entegre edilmesi, çiftliklerde insanların ve makinelerin çalışma biçimini köklü biçimde değiştirmiştir (Bernabucci ve ark., 2025; Pathmudi ve ark., 2023).

Girişimsel olmayan teknolojiler kapsamında yer alan kırmızı-yeşil-mavi görüntüleme sistemleri, derinlik kameraları, üç boyutlu görüntüleme sistemleri ve Nesnelerin İnterneti tabanlı platformlar; günümüzde ayrıntılı biyometrik ve davranışsal verileri gerçek zamanlı olarak toplayabilmektedir. Yapay zekâ algoritmaları ise hastalıkların erken teşhisini mümkün kılmakta, yemleme

stratejilerinin optimize edilmesini sağlamakta ve üreme yönetimini iyileştirmektedir (Tedeschi ve ark., 2026). Sığır davranışlarının tanınması, hassas hayvancılık uygulamaları açısından hayvan refahının değerlendirilmesi, sağlık izleme ve akıllı yönetim süreçlerinin desteklenmesi bakımından kritik öneme sahiptir. Bilgisayarlı görme ve derin öğrenme alanındaki gelişmelerle birlikte otomatik davranış analizi hızlı bir evrim süreci geçirmiştir (Yuan ve ark., 2025). Yapay zekâ ve sensör teknolojilerinin entegrasyonu, hassas hayvancılıkta büyük veri üretimini artırarak yüksek verimli fenotipik ölçüm ile genomik seleksiyon arasında güçlü bir sinerji oluşturmıştır. Bilgisayarlı görme ve derin öğrenme yöntemleri, hayvanların sağlık, davranış ve verim özelliklerinin gerçek zamanlı ve invaziv olmayan biçimde izlenmesini sağlamaktadır (Zhu ve ark., 2025).

**Tablo 1.** Geleneksel hayvancılık, hassas hayvancılık ve yapay zekâ tabanlı hassas hayvancılık yaklaşımlarının karşılaştırılması.

| <b>Tema</b>                   | <b>Geleneksel Hayvancılık</b>      | <b>Hassas Hayvancılık</b>                          | <b>Yapay Zekâ Tabanlı Hassas Hayvancılık</b>                            |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>İzleme Yöntemi</b>         | Manuel gözlem ve periyodik kontrol | Sensörler ve giyilebilir cihazlarla sürekli izleme | Bilgisayarlı görme, derin öğrenme ve temassız gerçek zamanlı izleme     |
| <b>Veri Toplama</b>           | Sınırlı ve kayıt temelli           | Sensör verileri ve otomatik kayıt sistemleri       | Büyük veri, görüntü analizi ve çok modlu veri entegrasyonu              |
| <b>Karar Alma</b>             | Deneyime ve gözleme dayalı         | Veri destekli ancak kısmen manuel analiz           | Otomatik karar destek sistemleri ve kestirimci analiz                   |
| <b>Sağlık ve Refah İzleme</b> | Hastalık sonrası müdahale          | Erken uyarı sistemleri                             | Fizyolojik ve davranışsal değişimlerin gerçek zamanlı ve hassas tespiti |
| <b>Maliyet ve Verimlilik</b>  | İş gücü yoğun, değişken verimlilik | Daha kontrollü ve optimize edilmiş üretim          | Ölçeklenebilir, maliyet etkin ve üretkenliği artıran akıllı sistemler   |

| <b>Tema</b>                    | <b>Geleneksel<br/>Hayvancılık</b>    | <b>Hassas<br/>Hayvancılık</b>                    | <b>Yapay Zekâ Tabanlı<br/>Hassas Hayvancılık</b>                                         |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Uygulama<br/>Zorlukları</b> | İnsan hatası ve izleme yetersizliği  | Sensör maliyetleri ve teknik altyapı gereksinimi | Algoritma genellenabilirliği, veri kalitesi ve saha doğrulama gereksinimi                |
| <b>Sürdürülebilirlik</b>       | Kaynak kullanımı kontrolsüz olabilir | Kaynak kullanımında optimizasyon                 | Refah, verimlilik ve ekolojik dayanıklılığı entegre eden sürdürülebilir sistem yaklaşımı |

(Antognoli ve ark., 2025 uyarlanmıştır).

Bulgular, hassas hayvancılıkta özellikle öğrenme ve algılama temelli yapay zekâ alanlarında geniş bir teknik yelpazenin kullanıldığını göstermektedir. Bu tekniklerin; hayvan tanıma, anormallik tespiti ile sağlık ve refah izleme gibi görevlerde etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, çevresel izleme ve sürdürülebilirlik konularının görece daha sınırlı ele alındığı görülmüş olup, bu durum gelecekte daha fazla araştırma gerektiren önemli bir boşluğa işaret etmektedir (Distante ve ark., 2025). Bununla birlikte, teknolojilerin etkin bir şekilde entegre edilebilmesi için eğitim ve teknik destek sağlanması da en az finansal teşvikler kadar kritik bir rol oynamaktadır. Politika yapıcılar, teknoloji sağlayıcıları ve tarımsal kurumlar arasındaki iş birliği; iyi uygulamaların oluşturulması ve yeniliklerin tüm bölgelerde fayda sağlamasının güvence altına alınması açısından hayati öneme sahiptir. Bu iş birliği, daha sürdürülebilir ve hayvan refahı odaklı bir hayvancılık sektörüne giden yolu açacaktır (Dell’Unto ve ark., 2025).

### **3. SIĞIRLARDA YAPAY ZEKA TABANLI UYGULAMALARIN ÖNEMİ**

Dijitalleşme, yaşamın tüm alanlarında yaygın hâle gelmiş olup yapay zekâ, bilgisayarların verileri anlamlandırabilmesini amaçlarken; makine öğrenmesi, açık biçimde programlanmadan karar verebilen sistemlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Yapay zekâ ve makine öğrenmesinin birlikte kullanımı, verimliliği artırmasının yanı sıra sürdürülebilir varlık yönetimi yaklaşımlarını teşvik etmesi bakımından da güçlü bir etki ortaya koymaktadır (Dawkins, 2025; Padhiary ve ark., 2024).

Yapay zekâ, dijital bir bilgisayarın ya da bilgisayar kontrollü bir robotun, genellikle zeki varlıklarla ilişkilendirilen akıl yürütme görevlerini yerine getirebilme yeteneğini ifade etmektedir. İnsan–hayvan–bilgisayar etkileşiminin

geleceği umut verici olmakla birlikte, bu teknolojilerin uygulanması; hayvan refahına bağlılık, şeffaflık ve etik standartlara sıkı bir bağlılıkla yönlendirilmelidir. Bu yaklaşım, daha insancıl, daha üretken ve daha sürdürülebilir tarımsal üretim sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır (De Vries ve ark., 2023; Neethirajan ve ark., 2024).

Yapay zekâ; bilgisayarlı görme, makine öğrenmesi, derin öğrenme, Nesnelerin İnterneti, uç bilişim, robotik sistemler ve veri analitiği teknolojilerinden yararlanarak üretkenliği, sürdürülebilirliği ve hayvan refahını artıran gerçek zamanlı ve kanıta dayalı karar alma süreçlerini mümkün kılmaktadır. Kenar yapay zekâ çözümleri ise gecikmeyi azaltmakta ve bulut bilişime bağımlılığı düşürerek düşük bağlantı altyapısına sahip işletmelerde yerinde izleme uygulamalarını mümkün kılmaktadır (Natsir ve ark., 2025; Paneru ve ark., 2026).

Çiftlik hayvanlarında sağlık ve refahın izlenmesi, geçmişte insanlar tarafından manuel olarak yürütülen, zahmetli ve yoğun emek gerektiren bir süreçtir. Ancak son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte hayvancılık sektörü, derin öğrenme modelleriyle güçlendirilmiş ve özünde karar verme aracı olarak işlev gören yapay zekâ ve bilgisayarlı görü temelli en güncel teknikleri benimsemiştir **(Rohan ve ark., 2024)**.

Hayvancılık alanında yapay zekâ; sığırlarda hayvanların duygusal durumlarının değerlendirilmesi, beslenme alışkanlıklarının izlenmesi, süt üretiminin analizi, hastalık durumlarının belirlenmesi, yüz tanıma, sayım ve sınıflandırma işlemleri ile zoonotik hastalıkların yayılımının takibi gibi birçok uygulamada giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu teknikler, insan kaynaklı hataların azaltılmasına katkı sağlamakta ve hayvan yetiştiricileri ile veteriner hekimlerin hayvan sağlığını daha uzun süre koruyabilmesine ve üretkenliğin artırılmasına yardımcı olmaktadır (Mijwil ve ark., 2023).

Hayvancılıkta yapay zekânın artan kullanımı, özellikle büyük çok kipli modeller gibi üretici yapay zekâdaki gelişmelerle birlikte otomatik refah değerlendirme araçlarının geliştirilmesini hızlandırmaktadır. Yapay zekâ tabanlı refah değerlendirme araçları, bireyselleştirilmiş refah değerlendirmesine olanak tanıyarak insan bakımındaki çiftlik hayvanları için, özellikle sığırlar açısından, iyi bir yaşamın sağlanmasına katkı sunabilmektedir (Foris ve ark., 2025).

Sığırların tam bir üreme döngüsü; östrus, ovulasyon, gebelik ve doğum gibi bir dizi biyolojik süreç ve olayın tamamlanmasını gerektirmekte olup bu süreçler yapay zekâ araçları tarafından izlenebilmekte ve tahmin edilebilmektedir. Üreme izleme ve yönetim görevleri ile karar alma süreçleri de yapay zekâ araçları tarafından geliştirilebilmekte veya tamamen yürütülebilmektedir. Etkili yapay zekâ tabanlı araçların geliştirilmesi; veri aracılığıyla hayvan biyolojisinin daha

iyi anlaşılmasını ve yönetim ile çevresel faktörlerin yapay zekâ modellerinde kullanılan veriler üzerindeki etkilerinin ortaya konmasını gerektirmektedir (Giordano & Laplacette, 2026).

Geleneksel sığır tartım yöntemleri iş gücü yoğun, zaman alıcı ve hayvanlarda strese yol açabilen uygulamalar olup bu durum hayvan sağlığı ve üretim performansı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu sorunların giderilmesi amacıyla bilgisayarlı görme ve makine öğrenmesi teknolojilerine dayalı otomatik ve temassız yöntemler geliştirilmektedir. Morfometrik ve davranışsal verilerin birlikte kullanıldığı çok boyutlu yaklaşım, besi sığırlarında canlı ağırlık tahminine daha hassas ve ayrıntılı bir yöntem sunmakta; hayvancılık yönetimi uygulamaları ve ıslah programlarının geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır (Ruchay ve ark., 2026).

Bilgisayarlı görme temelli yaklaşımlar; süt sığırlarının izlenmesinde otomatik, temassız ve ölçeklenebilir araçlar olarak ortaya çıkmış, böylece etkili sürü yönetimi, sağlık değerlendirmesi ve fenotipik veri toplama süreçlerini desteklemiştir (Wang ve ark., 2026).

Büyük ölçekli süt sığircılığı işletmelerinde bireysel ineklerin hastalık tespiti amacıyla manuel gözlem ve izleme süreçleri önemli zorluklar barındırmaktadır. Bu süreç; yoğun iş gücü gerektirmesi, zaman alıcı olması ve doğruluk düzeyinin düşmesi nedeniyle sınırlı etkinlik göstermektedir. İnsan gözlemine dayalı uygulamalar, hayvan sayısının fazlalığı nedeniyle belirtilerin zamanında fark edilmesini zorlaştırmakta; bu durum hastalık tespitinin doğruluk ve hassasiyetini olumsuz etkilemekte ve dolayısıyla hayvan sağlığı ile işletme verimliliği üzerinde risk oluşturmaktadır. Nesnelerin İnterneti, makine öğrenmesi ve siber-fiziksel sistemlerdeki gelişmeler ise inek sağlığının daha yüksek doğruluk ve daha düşük işletme maliyeti ile otomatik olarak izlenmesine olanak sağlamıştır (Mishra ve ark., 2026).

Sığır davranışlarının doğru biçimde izlenmesi, hassas hayvancılık uygulamalarında sığırlarda sağlık değerlendirmesi, kızgınlık tespiti, doğum izleme ve yem tüketiminin tahmini gibi kritik uygulamaları desteklemektedir. Temaslı ve temassız algılama yöntemleri birlikte kullanılsa da gömülü algılayıcılara (örneğin ivmeölçerler ve basınç algılayıcıları) sahip giyilebilir aygıtlar, davranışların izlenebilirliğini artıran sürekli veri akışları sunmaları nedeniyle önemli avantajlar sağlamaktadır. Küçük makine öğrenmesi yaklaşımları, gelecekte pratik ve ölçeklenebilir davranış izleme çözümlerine yönelik araştırmalara yön verebilecek önemli bir potansiyel sunmaktadır (Ding ve ark., 2025).

Elde edilen bulgular, benzer kapsamlı önceki çalışmalara kıyasla makine öğrenmesi modellerinin performansında iyileşme olduğunu göstermekle

kalmamış, aynı zamanda zaman serisi niteliğindeki otomatik sağım sistemi verilerinin gelecekteki olayların öngörülmesinde güçlü ve dayanıklı bir veri kaynağı olduğunu ortaya koymuştur. Gelecekteki çalışmalarda makine öğrenmesi modellerinin performansını daha da artırmak amacıyla otomatik sağım sistemi kayıtlarından ek değişkenlerin dâhil edilmesi ve diğer sensör verileri ile entegrasyon sağlanması önerilmektedir (Dharejo ve ark., 2025). Hayvan bilimciler, mühendisler, bilgisayar bilimciler ve sosyal bilimciler arasındaki disiplinler arası iş birliğinin güçlendirilmesiyle hassas hayvancılık; hayvansal üretimde sürdürülebilir ve verimli uygulamaları geliştirmeye devam edebilecek, aynı zamanda teknolojilerin geleneksel yetiştiricilik bilgisinin yerini almak yerine onu tamamlayıcı nitelikte kullanılmasını sağlayacaktır (Tedeschi ve ark., 2026).

#### **4. SIĞIRLARDA YAPAY ZEKÂ TABANLI LİTERATÜRE İLİŞKİN YAPILAN ÇALIŞMALARIN BULGULARI**

Süt sığırlarında topallık, hem hayvan refahını hem de işletme verimliliğini önemli ölçüde etkileyen yaygın bir sorundur. Geleneksel topallık tespit yöntemleri çoğunlukla hareket biçimi ve sırt eğriliğindeki değişimlere odaklanan öznel görsel değerlendirmelere dayanmaktadır. Ancak bu yöntemler, özellikle erken dönem tespitinde, tutarlılık ve doğruluk açısından yetersiz kalabilmektedir. Topallık genellikle, hareket ve duruşta gözlemlenen değişimlere göre şiddet derecesini sınıflandıran Hareket Skorlama Sistemi kullanılarak değerlendirilmektedir. Yapay zekâ tabanlı bilgisayarlı görme ile topallık tespiti yapılmaktadır (Narli ve ark., 2025).

Ticari süt sığırcılığı işletmeleri, çevresel ısı stresine karşı hayvan refahını ve işletme sürdürülebilirliğini koruma konusunda önemli zorluklarla karşı karşıyadır. İklim değişikliğinin birçok bölgede sıcaklık artışına yol açması nedeniyle, ısı stresinin süt sığırları üzerindeki potansiyel etkilerinin önceden tahmin edilmesi ve olumsuz etkilerin azaltılması büyük önem taşımaktadır (Hasan ve ark., 2025).

Süt sığırlarında mastitis, yalnızca hayvan sağlığı ve refahı açısından risk oluşturan bir hastalık değil, aynı zamanda süt sektöründe doğrudan ve dolaylı büyük ekonomik kayıplara yol açan en önemli sorunlardan biridir. Son yıllarda otomatik sağım sistemlerinin süt sığırcılığı işletmelerinde kullanımının ve benimsenmesinin hızla arttığı görülmektedir. Ancak otomatik sağım sistemleri altında mastitisin tespiti, sağım sırasında süt ve meme dokusunun doğrudan insan gözlemiyle değerlendirilememesi nedeniyle daha güç hâle gelmektedir (Dharejo ve ark., 2025).

Geleneksel sığır tartım yöntemleri iş gücü yoğun, zaman alıcı ve hayvanlarda strese yol açabilen uygulamalar olup, bu durum hayvan sağlığı ve üretim



performansı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu sorunların giderilmesi amacıyla bilgisayarlı görme ve makine öğrenmesi teknolojilerine dayalı otomatik ve temassız yöntemler önerilmiştir (Ruchay ve ark., 2026). Modeller farklı sığır ırkları, yaş grupları ve barınma koşullarına uyarlanmalıdır.

Sanal çitleme, serbest dolaşan çiftlik hayvanlarının yönetiminde geleneksel fiziksel bariyerlere alternatif oluşturan, esneklik sağlayan, altyapı maliyetlerini azaltan ve hayvan refahı açısından olumlu sonuçlar sunma potansiyeli taşıyan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, açık mera koşullarında sanal çitleme sistemlerinin pratik uygulamalarında önemli boşluklar bulunmaktadır. Mevcut bilimsel ve ticari sistemlerin tamamı ağırlıklı olarak küresel konumlama sistemi donanımlı tasmalara dayanmaktadır. Ancak bu çözümler; hayvan konumlandırma doğruluğu, davranış tanıma ve uyarlanabilir sınır uygulama süreçleri açısından çeşitli sınırlılıklar içermektedir. Küresel konumlama sistemi tasma kullanılmaksızın sabit kameralar ve insansız hava araçları potansiyel bilgisayarlı görme veri kaynakları olarak değerlendirilmiştir (Aghazadeh Ardebili ve ark., 2026).

Topallık, süt sığırlarında hayvan refahını ve üretkenliği olumsuz etkileyen yaygın bir sağlık sorunudur. Otomatik topallık tespiti, sınırlı iş gücü ile zamanında teşhis ve tedavi olanağı sağlayabilir. Duruş tahmini yaklaşımı ile çift yönlü uzun-kısa süreli bellek temelli sinir ağı mimarisini birleştiren bir topallık tespit yöntemi sunulmuştur (Russello ve ark., 2026).

Bilgisayarlı görme temelli yaklaşımlar; süt sığırlarının izlenmesinde otomatik, temassız ve ölçeklenebilir araçlar olarak ortaya çıkmış, böylece etkili sürü yönetimi, sağlık değerlendirmesi ve fenotipik veri toplama süreçlerini desteklemiştir. Görüntülerden canlı ağırlık tahmini yapılan çalışmalarda aktarım öğrenmesi yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bu yaklaşımın etkinliği ve en uygun ince ayar stratejileri hayvancılık uygulamalarında, özellikle de önceden eğitilmiş genel veri seti ağırlıklarının basit kullanımının ötesinde, yeterince anlaşılmamıştır (Wang ve ark., 2026).

Büyük ölçekli süt sığırıcılığı işletmelerinde bireysel ineklerin hastalık tespiti amacıyla manuel gözlem ve izleme süreçleri önemli zorluklar barındırmaktadır. Bu süreç; yoğun iş gücü gerektirmesi, zaman alıcı olması ve doğruluk düzeyinin düşmesi nedeniyle sınırlı etkinlik göstermektedir. İnsan gözlemine dayalı uygulamalar, hayvan sayısının fazlalığı nedeniyle belirtilerin zamanında fark edilmesini zorlaştırmakta; bu durum hastalık tespitinin doğruluk ve hassasiyetini olumsuz etkilemekte ve dolayısıyla hayvan sağlığı ile işletme verimliliği üzerinde risk oluşturmaktadır. Ayrıca inek sağlığının manuel olarak gözlemlenmesi ve izlenmesi için insan kaynağının organize edilmesi ve yönetilmesi karmaşık ve ekonomik açıdan maliyetli bir süreçtir. Bu durum, nitelikli personel

gereksinimini artırmakta ve işletme bakım maliyetleri ile operasyonel verimsizliklere yol açmaktadır (Mishra ve ark., 2026).

Rumen asidozu, süt sığırlarında önemli ekonomik kayıplara ve hayvan refahı sorunlarına yol açan yaygın bir metabolik hastalıktır. Mevcut tanı yöntemleri invaziv pH ölçümlerine dayanmakta olup sürekli izleme açısından ölçeklenebilirliği sınırlamaktadır (Islam et al.).

Nodüler deri hastalığı ve şap hastalığı, sığırlarda görülen yüksek derecede bulaşıcı viral hastalıklar olup önemli ekonomik kayıplara ve hayvan refahı sorunlarına yol açmaktadır. Bu hastalıkların görsel tanısı; hem birbirleriyle hem de böcek ısırıkları veya kimyasal yanıklar gibi zararsız durumlarla belirti benzerliği göstermeleri nedeniyle güçleşmekte ve zamanında kontrol önlemlerinin alınmasını zorlaştırmaktadır (Ayon ve ark., 2026).

Bireysel ineklerin hassas biçimde tanımlanması, akıllı hayvancılıkta kapsamlı dijital yönetimin temel ön koşullarından biridir. Mevcut hayvan kimliklendirme yöntemleri kontrollü ve tek kamera ortamlarında yüksek performans gösterse de çoklu kamera senaryolarında ciddi genelleme sorunlarıyla karşılaşmaktadır (Wang ve ark., 2026).

Sığırlarda vücut kütlelerinin doğru biçimde tahmin edilmesi; sürü izleme, biyolojik verimliliğin değerlendirilmesi ve besleme yönetiminin optimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Yapay zekâ destekli yapay sinir ağı çalışmaları yapılmaktadır (de Oliveira ve ark., 2025).

Temassız ve akıllı teknolojiler, tarımsal sistemlerin gerçek zamanlı izlenmesinde kullanılarak hızlı karar alma süreçlerini kolaylaştırmakta ve farklı iklim koşullarında hayvan stresinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Sığırlarda termal stres durumlarının belirlenmesinde derin öğrenmenin etkili bir teknoloji olduğu gösterilmiştir (da Silva ve ark., 2026).

Hayvan davranışı, fizyolojisi ve üretim verilerini sürekli olarak nicelleştiren dijital teknolojiler; süt sığırlarında sağlık ve refah bozukluklarının erken tanımlanması açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Meme, bacak ve tırnak enfeksiyonları veteriner hekim tarafından doğrulanmış süt sığırlarında gerçek zamanlı sağlık izleme amacıyla; fizyolojik, davranışsal, üretim ve termal görüntüleme verilerinin entegrasyonuna dayalı çok modlu bir yapay zekâ çerçevesi önerilmiştir (Paulauskaite-Taraseviciene ve ark., 2026).

Sığır davranışı, hayvanların sağlık durumu ile yakından ilişkilidir ve davranışın akıllı cihazlar aracılığıyla izlenmesi, yetiştiricilerin hassas ve bilimsel hayvancılık yönetimi gerçekleştirmesine yardımcı olabilmektedir. Mevcut davranış tanıma algoritmaları genellikle sunucu tabanlı platformlarda çalıştırılmakta; bu durum uç cihazlardan veri iletimi nedeniyle enerji tüketimini

artırmakta ve gerçek zamanlı hesaplamayı zorlaştırmaktadır. Grafik sinir ağları sıkıştırmasına dayalı uç bilişim temelli bir sığır davranış tanıma yöntemi önerilmiştir (Liu ve ark., 2026).

Sığır davranışlarının izlenmesi; çiftlik verimliliğinin artırılması, hayvan refahının korunması ve etkin yönetim uygulamalarının desteklenmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, senkronize edilmiş üstten görünüm (top-view) ve önden görünüm (front-view) CCTV görüntülerini derin öğrenme teknikleri ile birleştiren çoklu görüşlü bir davranış tanıma sistemi sunmaktadır (Hanpinitsak ve ark., 2026).

Sığır davranışlarının izlenmesi ve sınıflandırılmasına yönelik hassas ve otonom araçların yetersizliği, çiftçilerin otlatma ve sürü yönetimine ilişkin proaktif ve bilinçli kararlar alma kapasitesini sınırlamaktadır. Günümüzde sığır davranış sınıflandırmasına yönelik standartlaştırılmış bir model bulunmamaktadır. Bu boşluğu gidermek amacıyla ineğin vücudunun farklı bölgelerine (burun, kulak, boyun) yerleştirilen sensörlerden elde edilen ivmeölçer verilerini kullanarak bir Random Forest makine öğrenmesi modeli geliştirilmiştir (James ve ark., 2026).

Süt sığırlarında topallığın üstten görünüm perspektifinden tespit edilmesi, çiftlik ekipmanları veya diğer hayvanlardan kaynaklanan örtülme sorunlarını etkili biçimde azaltabilmektedir. Ayrıca askıya alınmış tespit cihazları doğal davranışları bozmadan paralel izleme imkânı sunmaktadır. Bununla birlikte bu perspektiften geliştirilen mevcut yöntemler; sırt hareket özelliklerinin inceliği ve bireysel varyasyonlar nedeniyle doğruluk ve genellenebilirlik açısından hâlen çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu sınırlılıkları gidermek amacıyla RGB-D verilerine dayalı üstten görünüm topallık tespit yaklaşımı incelenmiştir (Duan ve ark., 2025).

Bilgisayarlı görme tabanlı bir anahtar nokta tespit tekniğinin süt sığırlarında üstten görünüm iki boyutlu videolardan hareketlilik skorları ile ilişkili hareket değişkenlerini çıkarmadaki uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışma, yeni elde edilen hareketlilik değişkenlerine dayalı olarak hareketlilik skorlarını tahmin edebilen bir makine öğrenmesi sınıflandırma modelinin potansiyelini belirlemeyi hedeflemiştir (Higaki ve ark., 2025).

Bilimsel literatürden davranış verilerinin çıkarılması ve sınıflandırılmasında ChatGPT-4'ün uygulanabilirliğini inceleyen çalışmalar, süt sığırlarının günlük zaman-aktivite bütçesinin analizine odaklanmaktadır. Zaman-aktivite bütçelerinin doğru analizi, süt sığırı refahı ve verimliliğinin anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel yöntemler zaman alıcıdır ve yanlışlık riski taşımaktadır. Bu nedenle çalışmalar, süt sığırı davranış araştırmalarında güvenilirlik ve doğruluğu artırmak amacıyla yapay zekâ yetenekleri ile insan

denetimini birleştiren hibrit yaklaşımların benimsenmesini önermektedir (Lamanna ve ark., 2025).

**Tablo 2.** Sığırlarda Yapay Zekâ Uygulamalarına İlişkin Çalışmaların Özeti

| Sığır                         | Amaç                                                  | Yapay Zekâ Yöntemi                                                         | Başarı Oranı                  | Araştırma Alanı          | Kaynaklar                   |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>Süt sığırnı (Holştayn-</b> | Topallığın tespiti ve hareket skoru sınıflandırılması | Bilgisayarlı görme ve derin öğrenme                                        | %97                           | Topallık tespiti         | (Narli ve ark., 2025)       |
| <b>Süt sığırnı</b>            | Isı stresi koşullarında günlük süt verimi tahmini     | XGBoost makine öğrenmesi modeli                                            | $R^2 = 0.73$ ,<br>CCC = 0.84  | Isı stresi ve süt verimi | (Hasan ve ark., 2025)       |
| <b>Süt sığırnı</b>            | Mastitis durumunun tahmini                            | Lojistik regresyon, SVM, Karar ağacı, Rastgele orman, Gradyan artırma, MLP | Doğruluk: 0.84–0.93           | Mastitis tespiti         | (Dharejo ve ark., 2025)     |
| <b>Besi sığırnı</b>           | Canlı ağırlık tahmini                                 | CNN ve Ekstra Ağaçlar modeli                                               | Ortalama mutlak hata: -1.9 kg | Canlı ağırlık tahmini    | (Ruchay ve ark., 2026)      |
| <b>Süt sığırnı</b>            | Video tabanlı topallık tespiti                        | Pose estimation + Bi-LSTM                                                  | %84.5                         | Topallık tespiti         | (Russello ve ark., 2026)    |
| <b>Süt sığırnı</b>            | Rumen asidozu tespiti                                 | Çift akışlı derin öğrenme mimarisi                                         | %98.82                        | Rumen asidozu            | (Islam ve ark., 2026)       |
| <b>Sığırnı</b>                | Nodüler deri hastalığı ve şap hastalığının tespiti    | Ensemble derin öğrenme                                                     | %98.2                         | Hastalık tespiti         | (Ayon ve ark., 2026)        |
| <b>Süt sığırnı</b>            | Bireysel inek kimliklendirme                          | Ayrıştırılmış temsil öğrenmesi tabanlı derin öğrenme                       | %86.0                         | Hayvan kimliklendirme    | (Wang ve ark., 2026)        |
| <b>Süt sığırnı</b>            | Vücut kütlesi tahmini                                 | Yapay sinir ağları                                                         | $R^2 = 0.9125$                | Canlı ağırlık tahmini    | (de Oliveira ve ark., 2025) |

| Sığır         | Amaç                                  | Yapay Zekâ Başarı Yöntemi Oranı                            | Araştırma Alanı        | Kaynaklar                                  |
|---------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|
| Nelore sığırı | Isı stresi sınıflandırması            | Denetimli derin öğrenme modeli %72                         | Isı stresi tespiti     | (da Silva ve ark., 2026)                   |
| Süt sığırı    | Sağlık bozukluklarının erken tespiti  | U-Net, O-Net ve ResNet tabanlı hibrit derin öğrenme %91.62 | Hastalık tespiti       | (Paulauskaite-Taraseviciene ve ark., 2026) |
| Sığır         | Davranış sınıflandırması              | Grafik sinir ağı sıkıştırması ve S-ResNet %94.50           | Davranış tanıma        | (Liu ve ark., 2026)                        |
| Süt sığırı    | Davranış tanıma ve östrus tespiti     | YOLOv8 tabanlı çoklu kamera derin öğrenme F1 = 0.481       | Davranış analizi       | (Hanpinitsak ve ark., 2026)                |
| Süt sığırı    | Üstten görüntü ile topallık tespiti   | Anahtar nokta tespiti + Random Forest %91                  | Topallık tespiti       | (Duan ve ark., 2025)                       |
| Süt sığırı    | Hareketlilik skoru tahmini            | Anahtar nokta tespiti + Random Forest AUC = 0.89           | Hareketlilik analizi   | (Higaki ve ark., 2025)                     |
| Süt sığırı    | Literatürden davranış verisi çıkarımı | Büyük Dil Modeli (ChatGPT-4) %75.4 doğruluk                | Davranış araştırmaları | (Lamanna ve ark., 2025)                    |

Tablo 2 bulgularına göre, sığırlarda yapay zekâ uygulamalarının başlıca kullanım alanları; topallık tespiti, hastalık tanısı, canlı ağırlık tahmini, davranış analizi, ısı stresi belirleme, bireysel hayvan kimliklendirme ve sağlık bozukluklarının erken tespiti olarak öne çıkmaktadır. Çalışmalarda yaygın olarak derin öğrenme, yapay sinir ağları, Random Forest, XGBoost, grafik sinir ağları, LSTM ve ensemble modelleri kullanılmıştır. Elde edilen performans sonuçları incelendiğinde, modellerin başarı oranlarının %72 ile %98,82 arasında değiştiği görülmektedir. Özellikle rumen asidozu tespiti (%98,82) ve bulaşıcı hastalıkların görüntü tabanlı tanısı (%98,2) en yüksek doğruluk değerlerine ulaşan uygulamalar arasında yer almaktadır. Buna karşılık ısı stresi sınıflandırması (%72) daha düşük doğruluk değerine sahip uygulamalardan biri olarak dikkat çekmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, yapay zekâ tabanlı yöntemlerin sığırlarda sağlık izleme, üretim yönetimi ve davranış analizi gibi alanlarda yüksek doğrulukla uygulanabildiği görülmektedir.

## 5. SONUÇ

Bu derleme çalışması, sığırlarda yapay zekâ tabanlı uygulamaların hayvansal üretim sistemlerinde kullanım alanlarını ve literatürde elde edilen bulguları ortaya koymuştur. Çalışma bulgularına göre, yapay zekâ tabanlı entegrasyon özellikle hayvan sağlığı, davranış analizi, üretim verimliliği ve sürü yönetimi gibi alanlarda önemli bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bilgisayarlı görme, makine öğrenmesi, derin öğrenme, nesnelerin interneti tabanlı sensör sistemleri ve veri analitiği gibi teknolojiler sayesinde sığırlarda sağlık durumunun izlenmesi, davranışların analiz edilmesi, canlı ağırlık tahmini, hastalıkların erken teşhisi ve üretim süreçlerinin yönetimi daha hızlı ve objektif bir biçimde gerçekleştirilebilmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar, yapay zekâ tabanlı sistemlerin topallık tespiti, mastitis ve rumen asidozu gibi hastalıkların belirlenmesi, ısı stresi analizleri, davranış sınıflandırması, bireysel hayvan kimliklendirme ve canlı ağırlık tahmini gibi farklı uygulama alanlarında başarıyla kullanılabildiğini göstermektedir. Bu teknolojiler, özellikle bilgisayarlı görme ve sensör tabanlı veri toplama sistemleri ile birlikte kullanıldığında hayvanların sağlık ve davranış durumlarının insan müdahalesi olmadan izlenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca yapay zekâ destekli analiz yöntemleri, otomatik karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayarak üretim yönetiminde daha etkin ve veri temelli yaklaşımların uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, yapay zekâ tabanlı teknolojilerin sığır yetiştiriciliğinde hem hayvan sağlık izleme, davranış, üretim yönetimi ve hayvan refahının değerlendirilmesi gibi alanlarda önemli katkılar sağladığı hem de hassas hayvancılık uygulamalarının geliştirilmesinde önemli katkılar sağladığı görülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Abdelrahman, M., Issa, S., Elsayed Ali, M., Alotaibi, J., & Alshanbari, F. (2026). From machine learning to digital twin integration for livestock production and research. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, 1744053. <https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1744053>
- Aghazadeh Ardebili, A., Boscolo, M., & Padoano, E. (2026). Computer vision-enabled smart farms for cattle herd management in open-pasture. *Smart Agricultural Technology*, 13, 101809. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101809>
- Antognoli, V., Presutti, L., Bovo, M., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2025). Computer vision in dairy farm management: A literature review of current applications and future perspectives. *Animals*, 15, 2508. <https://doi.org/10.3390/ani15172508>
- Ayon, N. B., Hasib, A., Ahmed, M. F., Rahman, M. S., Islam, K., Hasan, T. M. M., & Sarkar Akib, A. S. M. A. (2026). Simultaneous detection of LSD and FMD in cattle using ensemble deep learning. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.12889>
- Bernabucci, G., Evangelista, C., Girotti, P., Viola, P., Spina, R., Ronchi, B., Bernabucci, U., Basiricò, L., Turini, L., Mantino, A., Mele, M., & Primi, R. (2025). Yaygın hayvancılık sistemlerinde hassas hayvancılık uygulamalarına genel bir bakış. *Italian Journal of Animal Science*, 24(1), 859–884. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2480821>
- Besler, B. C., Mojabi, P., Lasemiimani, Z., Murphy, J. E., Wang, Z., Baker, R., Pearson, J. M., & Fear, E. C. (2024). Scoping review of precision technologies for cattle monitoring. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100596. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100596>
- da Silva, W. C., da Silva, J. A. R., Martorano, L. G., da Silva, É. B. R., de Araújo, C. V., Camargo-Júnior, R. N. C., Neves, K. A. L., Belo, T. S., Joaquim, L. A., Rodrigues, T. C. G. C., e Silva, A. G. M., & Lourenço-Júnior, J. B. (2026). A supervised deep learning model was developed to classify Nelore cattle (*Bos indicus*) with heat stress in the Brazilian Amazon. *Animals*, 16, 161. <https://doi.org/10.3390/ani16020161>
- Dawkins, M. S. (2025). Smart farming and artificial intelligence: How can we ensure that animal welfare is a priority? *Applied Animal Behaviour Science*, 283, 106519. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2025.106519>
- de Oliveira, F. M., Ferraz, P. F. P., Ferraz, G. A. e S., Pereira, M. N., Barbari, M., & Rossi, G. (2025). Prediction of body mass of dairy cattle using machine learning algorithms applied to morphological characteristics. *Animals*, 15(7), 1054. <https://doi.org/10.3390/ani15071054>

- De Vries, A., Bliznyuk, N., & Pinedo, P. (2023). Invited review: Examples and opportunities for artificial intelligence in dairy farms. *Applied Animal Science*, 39, 14–22. <https://doi.org/10.15232/aas.2022-02345>
- Dell'Unto, D., Selvaggi, R., Pappalardo, G., & Cortignani, R. (2025). Adoption of precision livestock farming devices in the dairy cattle sector: An assessment based on agro-economic modelling. *Science of the Total Environment*, 1002, 180555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180555>
- Dharejo, M. N., Minogue, L., Kabelitz, T., Amon, T., Kashongwe, O., & Doherr, M. G. (2025). Time series data analysis to predict the status of mastitis in dairy cows by applying machine learning models to automated milking systems data. *Preventive Veterinary Medicine*, 242, 106575. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106575>
- Dharejo, M. N., Minogue, L., Kabelitz, T., Amon, T., Kashongwe, O., & Doherr, M. G. (2025). Time series data analysis to predict the status of mastitis in dairy cows by applying machine learning models to automated milking systems data. *Preventive Veterinary Medicine*, 242, 106575. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106575>
- Ding, L., Zhang, C., Yue, Y., Yao, C., Li, Z., Hu, Y., Yang, B., Ma, W., Yu, L., Gao, R., et al. (2025). Wearable sensors-based intelligent sensing and application of animal behaviors: A comprehensive review. *Sensors*, 25, 4515. <https://doi.org/10.3390/s25144515>
- Distante, D., Albanello, C., Zaffar, H., Faralli, S., & Amalfitano, D. (2025). Artificial intelligence applied to precision livestock farming: A tertiary study. *Smart Agricultural Technology*, 11, 100889. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100889>
- Duan, W., Wang, F., Li, H., Liu, N., & Fu, X. (2025). Lameness detection in dairy cows from overhead view: High-precision keypoint localization and multi-feature fusion classification. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1675181. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1675181>
- Eckhardt, R., Arablouei, R., Ingham, A., McCosker, K., & Bernhardt, H. (2025). Üretken yapay zekâ yoluyla hayvan davranışlarının öngörülmesi. *Smart Agricultural Technology*, 11, 100987. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100987>
- Foris, B., Sheng, K., Dürnberger, C., Oczak, M., & Rault, J.-L. (2025). Artificial intelligence for One Welfare: The role of animal welfare scientists in developing valid and ethical AI-based welfare assessment tools. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1645901. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1645901>



- Ghavipanje, N., Fathi Nasri, M. H., & Vargas-Bello-Pérez, E. (2025). Trends and future directions of artificial intelligence applications in Iranian livestock production systems: A review. *Annals of Animal Science*, 25(3), 865–874. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0098>
- Giordano, J. O., & Laplacette, A. L. (2026). Present and future opportunities for artificial intelligence applications in dairy cattle reproduction. *Animal Frontiers*. Advance online publication. <https://doi.org/vfag007>
- Hanpinitrak, P., Katanyukul, T., Tonmitr, N., Suntra, C., Tanusilp, S., & Phuphaphud, A. (2026). Artificial intelligence-based dairy cattle behavior recognition for estrus detection via ensemble fusion of two camera views. *PLOS ONE*, 21(1), e0340999. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0340999>
- Hasan, M. F., Celik, N., Williams, Y., Williams, S. R. O., & Marett, L. C. (2025). An effective way to incorporate temperature–humidity index to study effect of heat stress on milk yield by an XGBoost machine learning model. *Journal of Dairy Science*, 108, 13995–14017. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-27193>
- Higaki, S., Menezes, G. L., Ferreira, R. E. P., Negreiro, A., Cabrera, V. E., & Dórea, J. R. R. (2025). Objective dairy cow mobility analysis and scoring system using computer vision–based keypoint detection technique from top-view two-dimensional videos. *Journal of Dairy Science*, 108(5), 3942–3955. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25545>
- Hurtado, E., Suryadevara, C., Walker, J., Tayag, G., & Ryait, H. (2026). Digital twins as decision-support tools for automation in agriculture: A case study on robotic vaccination. *Smart Agricultural Technology*, 13, 101675. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101675>
- James, H., Rial, C., Giordano, J., & Erickson, D. (2026). Advancing standardized cattle behavior classification with a random forest model evaluated across diverse datasets. *Frontiers in Animal Science*, 7, 1676504. <https://doi.org/10.3389/fanim.2026.1676504>
- Lamanna, M., Muca, E., Giannone, C., Bovo, M., Boffo, F., Romanzin, A., & Cavallini, D. (2025). Artificial intelligence meets dairy cow research: Large language model’s application in extracting daily time-activity budget data for a meta-analytical study. *Journal of Dairy Science*, 108(9), 10203–10219. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26385>
- Liu, H., Song, P., Xin, X., Rong, Y., Gao, J., Wang, Z., & Zhang, Y. (2026). A cattle behavior recognition method based on graph neural network compression on the edge. *Animals*, 16(3), 430. <https://doi.org/10.3390/ani16030430>
- Michelená, Á., Fontenla-Romero, O., & Calvo-Rolle, J. L. (2024). A review and future trends of precision livestock over dairy and beef cow cattle with

- artificial intelligence. *Logic Journal of the IGPL*, 33(4).  
<https://doi.org/10.1093/jigpal/jzae111>
- Mijwil, M. M., Adelaja, O., Badr, A., Ali, G., Buruga, B. A., & Pudasaini, P. (2023). Innovative livestock: A survey of artificial intelligence techniques in livestock farming management. *Wasit Journal of Computer and Mathematics Science*, 5(2), xx–xx.  
<https://doi.org/10.52866/ijcsm.0000.00.00.000>
- Mijwil, M. M., Adelaja, O., Badr, A., Ali, G., Buruga, B. A., & Pudasaini, P. (2023). Innovative livestock: A survey of artificial intelligence techniques in livestock farming management. *Wasit Journal of Computer and Mathematics Science*, 5(2), xx–xx.  
<https://doi.org/10.52866/ijcsm.0000.00.00.000>
- Mishra, R. R., Chandrasekhar Rao, D., & Tripathy, A. K. (2026). Smart IoT-based wearable device for detection and monitoring of common cow diseases using a novel machine learning technique. *arXiv*.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.04761>
- Moe, A. S. T., Tin, P., Aikawa, M., Kobayashi, I., & Zin, T. T. (2025). AI-powered visual E-monitoring system for cattle health and wealth. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101300>
- Muthukumar, M., & Karthick, A. (2025). Recent progress in the implementation of sustainable farming. *Measurement: Sensors*, 39, 101877.  
<https://doi.org/10.1016/j.measen.2025.101877>
- Narli, S. S., Schmidt, H., Firouzabadi, A., Schönnagel, L., Reich, M. S., & Reitmaier, S. (2025). Automated detection of lameness in dairy cattle through computer vision analysis of back shape characteristics. *Computers in Biology and Medicine*, 197, 111038. <https://doi.org/10.1016/j.compbio.2025.111038>
- Natsir, M. H., Mahmudy, W. F., Tono, M., & Nuningtyas, Y. F. (2025). Advancements in artificial intelligence and machine learning for poultry farming: Applications, challenges, and future prospects. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101307. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101307>
- Padhiary, M., Saha, D., Kumar, R., Sethi, L. N., & Kumar, A. (2024). Enhancing precision agriculture: A comprehensive review of machine learning and AI vision applications in all-terrain vehicle for farm automation. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100483.  
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100483>
- Paneru, B., Dhungana, A., Dahal, S., & Chai, L. (2026). Artificial intelligence in precision poultry farming: Opportunities, challenges, and future features. *Animal Frontiers*. <https://doi.org/10.1093/af/vfag004>

- Papakonstantinou, G. I., Voulgarakis, N., Terzidou, G., Fotos, L., Giamouri, E., & Papatsiros, V. G. (2024). Precision livestock farming technology: Applications and challenges of animal welfare and climate change. *Agriculture*, 14, 620. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040620>
- Pathmudi, V. R., Khatri, N., Kumar, S., Abdul-Qawy, A. S. H., & Vyas, A. K. (2023). A systematic review of IoT technologies and their constituents for smart and sustainable agriculture applications. *Scientific African*, 19, e01577. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01577>
- Paulauskaite-Taraseviciene, A., Nakrosis, A., Zymantiene, J., Jurenas, V., Vezys, J., Sederevicius, A., Gruzauskas, R., Oberauskas, V., Japertiene, R., & Ostasevicius, V. (2026). AI-driven multimodal sensing for early detection of health disorders in dairy cows. *Animals*, 16(3), 411. <https://doi.org/10.3390/ani16030411>
- Rohan, A., Rafaq, M. S., Hasan, M. J., Asghar, F., Bashir, A. K., & Dottorini, T. (2024). Application of deep learning for livestock behaviour recognition: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 224, 109115. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109115>
- Ruchay, A., Kolpakov, V., Guo, H., & Pezzuolo, A. (2026). Optimising automatic cattle weight estimation based on computer vision through animal temperament assessment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 243, 111395. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.111395>
- Russello, H., van der Tol, R., van Henten, E. J., & Kootstra, G. (2026). Lameness detection in dairy cows using pose estimation and bidirectional LSTMs. *Smart Agricultural Technology*, 13, 101831. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101831>
- Tedeschi, L. O., Guarnido-Lopez, P., Menendez, H. M., III, & Seo, S. (2026). Advancing precision livestock farming: Integrating artificial intelligence and emerging technologies for sustainable livestock management: Review. *Animal Bioscience*. Advance online publication. <https://doi.org/10.5713/ab.25.0289>
- Vlaicu, P. A., Gras, M. A., Untea, A. E., Lefter, N. A., & Rotar, M. C. (2024). Advancing livestock technology: Intelligent systemization for enhanced productivity, welfare, and sustainability. *AgriEngineering*, 6, 1479–1496. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020084>
- Wang, J., De Castro, A., Zhang, Y., Borsatto, L. B., Guo, Y., Primo, V. B., Montevecchio Bernardino, A. B., Morota, G., Chebel, R. C., & Yu, H. (2026). Evaluating transfer learning strategies for improving dairy cattle body weight prediction in small farms using depth-image and point-cloud data. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.01044>

- Wang, R., Yaru, C., Zhang, G., & Jiang, H. (2026). Cross-camera cow identification via disentangled representation learning. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2602.07566>
- Wang, Y., Mùcher, S., Wang, W., Guo, L., & Kooistra, L. (2023). A review of three-dimensional computer vision used in precision livestock farming for cattle growth management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 206, 107687. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107687>
- Xu, J., Jiang, W., Wang, L., Wang, H., Wu, J., Shen, Y., Zhu, C., Hao, S., & Liu, C. (2025). Recent advances in computer vision for non-contact phenotyping and weight estimation in livestock: A systematic review. *Information Processing in Agriculture*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2025.10.003>
- Yu, P., Teng, F., Zhu, W., Shen, C., Chen, Z., & Song, J. (2025). Cloud–edge–device collaborative computing in smart agriculture: Architectures, applications, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1668545. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1668545>
- Yuan, L., Li, W., Yue, J., Li, Z., Zhao, Y., Li, Q., Feng, W., & Kou, G. (2025). A review of cattle behavior recognition methods based on computer vision and deep learning. *Smart Agricultural Technology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101867>
- Zhu, L., Yang, X., Xian, Y., Jiang, W., Pu, X., Wang, S., Cheng, J., Niu, L., Zhao, Y., Chen, L., Zhou, X., Wang, Y., Gan, M., Zhu, L., & Shen, L. (2025). Empowering precision livestock farming: Artificial intelligence applications in animal genomic breeding and multi-dimensional phenotypic measurement. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101655. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101655>





## **BÖLÜM 9**

# Kehf Sûresinde Betimlenen Tarımsal Ormancılık Modeli

*Salih Parlak<sup>1</sup> Celalettin Divlekci<sup>2</sup>  
Berrak Kadriye Birgili<sup>3</sup>*

## 1. Giriş

Küresel nüfusun 2030'da 8.6 milyara, 2050'de 9.7 milyara ve 2100'de 10.9 milyara ulaşması beklenmektedir (Dagar vd., 2020b). Gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal nüfusun büyük bir kısmı tarıma bağımlıdır ve bu nüfusun yaklaşık %52 ile %82'si istihdam edilmektedir (Kedaitiene ve Martinaviciene, 2005; Raj vd., 2020). Yaklaşık 1.6 milyar insan geçim için ormanlara bağımlı olup (Montagnini, 2024), tarımsal ormancılık sistemlerini uygulayan 1.2 milyar insan olduğu tahmin edilmektedir (Zomer vd., 2016; 2022). Artan nüfus, dünya genelinde gıda üretimini ve güvenliğini sağlamak için tarımsal üretimde artışı zorunlu kılmaktadır. Üretilen gıdanın yaklaşık %98'i karasal, %2'si ise sucul ekosistemlerden elde edilmektedir (Kidd ve Pimentel, 1992). Bu durum, karasal ekosistemlerin sürdürülebilir yönetiminin önemini vurgulamakta, hızla artan nüfus için yeterli gıda üretimini gerekli kılmaktadır.

Sanayi öncesi döneme göre 2-3°C'lik küresel sıcaklık artışları (Ong vd., 2015) sonucunda dünya iklimi, daha önce hiç görülmemiş bir şekilde değişmektedir. İklim değişikliğinin temel nedeni, dünyanın karbon döngüsünde meydana gelen bozulmalardır. Arazi bozulması ve çölleşme gibi sorunlar, iklim değişikliği ve küresel ısınma ile ortaya çıkmaktadır (Raj vd., 2020). Tarımsal faaliyetler de iklim değişikliğini etkilemektedir. Küresel sera gazı emisyonunun yaklaşık %25'ini ve tatlı suların %70'ini tarımsal sistemler kullanmaktadır. 2050 yılına kadar tarımın tek başına sera gazı emisyonlarının %70'ini oluşturacağı öngörülmektedir (Ong vd., 2015). İklim değişikliği ile ilgili tahminler, önümüzdeki yıllarda sel, kuraklık ve fırtına gibi doğal afetlerin aşırı hava koşulları nedeniyle daha sık ve daha şiddetli meydana geleceğini öngörmektedir (IPCC, 2013; Di Carlo vd., 2019). Kısa süre içinde gerçekleşen aşırı iklim olayları, örneğin maksimum veya minimum sıcaklık ile günlük yağışlar, tarımsal üretim için daha tehditkâr hale gelebilir, çünkü bu durum felaketlere karşı hazırlık yapma ve ani değişikliklere uyum sağlama yeteneğini, dolayısıyla aşırı iklim

<sup>1</sup> Prof. Dr., Bursa Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü  
ORCID: 0000 -0003-3808-3297, \*Sorumlu yazar

<sup>2</sup> Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi İlahiyat Fakültesi, Temel İslam Bilimleri  
ORCID: 0000-0002-5949-8128

<sup>3</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü  
ORCID: 0009-0006-11368144

olayları tarımsal üretimi dramatik bir biçimde azaltabilir (Ong vd., 2015). Değişen iklim, tarımsal üretimleri olumsuz etkileyerek gıda güvenliğini tehdit edecektir (Kumar, 2006; Rathore vd., 2014). İklim değişikliği nedeniyle aşırı yağış rejimleri, toprak ve su kaynaklarındaki bozulmayı hızlandıracaktır (Nair ve Garrity, 2012). Ayrıca, değişen iklim tarım sistemlerinin yapısını ve işlevlerini de etkilemesi beklenmektedir (Raj vd., 2020).

İklimsel etkilerin tarımsal üretim sistemleri üzerindeki etkisi bölgeden bölgeye farklılık göstermekte, yarı kurak iklimlerde tarımsal verim azalmaktadır (Scialabba ve Nadia El Hage, 2007). Artan nüfus, arazi kullanımları üzerindeki baskıları artırmakta ve kaynakların daha verimli ve sürdürülebilir kullanımını zorunlu kılmaktadır. İklim değişikliği devam ederken, artan nüfusun taleplerini karşılamak için gıda üretiminin ve kırsal geçim kaynaklarının iyileştirilmesi gereklidir (Nair ve Garrity, 2012). Artan nüfus baskısı ve küresel ısınmanın yol açtığı aşırı iklim değişikliklerine karşı tarımsal üretim sistemlerinin uyumlu ve dayanıklı hale getirilmesi, gıda güvenliğinin sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır. İklim değişikliğine karşı çeşitli tarımsal ormancılık (agroforestry) modellerinin bilimsel yöntemlerle uygulanması, olumsuz etkilerin en aza indirilmesi için etkili bir strateji kabul edilmektedir. Ayrıca iklim dayanıklı tarımsal ekosistem uygulamaları, gıda güvenliğini sağlamak için gereklidir (Raj vd., 2020).

Tarımsal ormancılık, yüksek iklim değişkenliğine maruz kalan tarımsal üretim alanlarında potansiyel faydaları nedeniyle bir uyum stratejisi olarak tercih edilebilir (Ong vd., 2015). Bu bakımdan iklim değişikliklerinin artacağı göz önünde bulundurulduğunda, tarımsal ormancılık sürdürülebilir arazi kullanımı için alternatif sunmaktadır (Dixon, 1995). Geleneksel ve modern arazi kullanım sistemlerini birleştiren tarımsal ormancılık, umut verici bir arazi yönetim sistemi olarak değerlendirilmektedir (Nair, 2007; Hillbrand vd., 2017; Dagar vd., 2020b). İklim değişikliği konusundaki artan endişeler, konvansiyonel tarımın çevresel etkileri ve artan üretim maliyetleri, sürdürülebilir tarım çözümlerine duyulan ihtiyacı her zamankinden daha fazladır. Tarımsal sistemler, sürekli girdi gerektiren ve kendi kendini sürdüremeyen yapılar olarak tanımlanabilir. Uygun toprak ve su koruma tedbirleri ile yönetim modelleri uygulanmadığında, bu sistemler kısa sürede toprak ve su kaybı nedeniyle işlevlerini yitirebilir. Bu nedenle doğal ekosistemlere benzer bir girdi-çıktı dengesine sahip olmaları sürdürülebilirlik bakımından önemlidir. Tarımsal ormancılık, bu hedefe ulaşmak için dünyanın bazı bölgelerinde 6000 yıldan fazla uygulanan en eski sistemlerden biridir (Gordon vd., 2018). Ancak, bilimsel bir disiplin olarak son zamanlarda tanınmaya başlamıştır (Dagar ve Tewari, 2017). 1977 yılında Uluslararası Tarım Ormancılığı Araştırma Konseyi'nin (ICRAF) kurulmasıyla birlikte bu kavram daha da yaygınlaşmıştır (Steppler ve Lundgren, 1988). Tarımsal ormancılık,



ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar sağlamak amacıyla aynı arazi üzerinde ağaçlar, tarımsal ürünler ve hayvanların üretimini bir araya getiren, toplam üretimi artıran ve sürdürülebilir bir arazi yönetim sistemi olarak tanımlanabilir (Rancâne ve vd., 2014; van Noordwijk vd., 2016; Dagar vd., 2020a; Patra, 2023). Tarımsal ormancılık, ağaçların ürünler ve hayvanlarla birleştirilmesinden doğan sinerjilerden yararlanır (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019). Ağaçlar uzun ömürlü olduğundan, tarım üzerindeki olumlu etkileri her mevsimde uzun süre devam edecektir (Lowenfels ve Lewis, 2010). En yaygın tarımsal ormancılık sistemleri arasında gölgede yetiştirilen yıllık ve çok yıllık ürünler, çok katmanlı sistemler, silvopastoral sistemler ve rüzgâr perdeleri bulunmaktadır (Nair vd., 2021; Montagnini, 2024). İyi tasarlanmış bir tarımsal ormancılık sistemi, verimliliği artırmanın yanı sıra ürün çeşitliliği sağlama, toprağı iyileştirme gibi ekolojik, sosyal ve ekonomik hedefleri de karşılayabilir (Raj vd., 2020). Tarımsal ormancılık sistemleri, besin stoklarının ve toprak verimliliğinin geri kazanılması ve korunmasını sağlayan işlevsel özelliklere de sahiptir (Sileshi vd., 2014).

Tarımsal ormancılık, kurak ve yarı kurak bölgelerde üretkenliği artırmakta ve çiftçilerin yaşam standartlarını iyileştirmektedir. Tarımsal ormancılık sistemleri, ürün entegrasyonu ve çeşitliliği sayesinde farklı tarım türleri arasındaki riskleri azaltmakta, bu sayede toplam ürün kaybını azaltmaktadır. Bu sistemleri uygulayan çiftçiler, genellikle daha yüksek gelir elde etmektedir (Ong vd., 2015; Dagar vd., 2020b). Dünya genelinde 630 milyon hektar verimsiz tarım arazisinin yaklaşık %20'sinin tarımsal ormancılık için uygun olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca, dünya üzerindeki tarım arazilerinin %43'ünde tarımsal ormancılık uygulamaları bulunmaktadır ve bu arazilerde kırsal nüfusun %30'u yaşamaktadır (Zomer vd., 2014).

Tarımsal ormancılık sistemleri, ağaçların hava sıcaklıkları üzerindeki olumlu etkilerinden yararlanarak iklim değişikliğine uyum sağlamaya yardımcı olabilir (Montagnini, 2015; Nair vd., 2021). En az %10-30 ağaç örtüsüne sahip arazi kullanım sistemleri, tarımsal ormancılığı oluşturmaktadır (Montagnini, 2024). Bu sistemler, tarım ve ormancılığın entegre bir üretim sistemi olarak bir araya gelmesiyle maksimum fayda sağlamayı hedefleyen sürdürülebilir arazi kullanım yönetimidir (Kidd ve Pimentel, 1992; Nair, 1998; Batish vd., 2008). Monokültür sistemlerinin tersine tarımsal ormancılık, verim ve üretkenliği artıran, kaynakları korumaya yönelik tarım sistemleridir. Genel biyokütlenin artırılması, toprak sağlığı ve kalitesinin iyileştirilmesi, toprak ve su koruma, verimli besin döngüleri ve sürdürülebilir arazi kullanımı gibi faydalar tarımsal ormancılık uygulamaları ile elde edilebilir (Fanish ve Priya, 2013; Jhariya vd., 2015; Raj vd., 2016). Tarımsal ormancılık yönetim ve uygulamaları, küresel iklim değişikliği sorunlarını hafifletmekte ve arazi bozulması ile çölleşmeyi azaltmaktadır (Raj vd., 2020).

Tarımsal ormancılık sistemlerinin toprağa etkileri oldukça çeşitlidir. Agroekosistemlerdeki çok yıllık bitkiler, toprak özelliklerini iyileştirebilir (Barrios vd., 2012; Silesi vd., 2014) ve toprak erozyonu ile besin kaybını azaltabilir (Sanchez vd., 1997). Bu sistemler, topraktaki organik madde miktarını artırarak su tutma ve infiltrasyonu kapasitesini geliştirmeye yardımcı olur. Ayrıca toprağın agregatlaşmasını teşvik ederek erozyonu azaltır, poroziteyi artırır ve hacim yoğunluğunu düşürür. Bu süreçler, mikrobiyal aktiviteyi artırır, topraktaki organik madde içeriğini zenginleştirir, suyun sızmasını kolaylaştırır ve besin döngüsünü destekler. pH dengesini sağlamaya yardımcı olurken hacim yoğunluğunu azaltır, su akışını en aza indirir ve erozyona karşı direnç gösterir. Bu sayede çiftçilerin kimyasal gübreye bağımlılığı azalır ve toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri iyileşir. Sonuç olarak, tarımsal ormancılık sistemleri, monokültür sistemlere kıyasla daha yüksek toprak kalitesi sunar (Amacher et al. 2007; Thomazini et al. 2015; Udawatta et al. 2020).

Tarımsal ormancılığın diğer faydaları arasında buharlaşmanın azalması, toprak verimliliğinin artması ve bitkilerin kuvvetli rüzgârlardan ve diğer olumsuz ekolojik faktörlerden korunması yer almaktadır. Örneğin, kahve ve kakao gibi bitkilerin yetiştirilmesinde, ağaçların sağladığı gölgeleme sistemleri kullanılmaktadır (Kyereh, 2017; Olwig vd., 2024). Tarımsal ormancılık kombinasyonları, monokültür sistemlere göre su kullanım verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir (Jose ve Gordon, 2008). Karmaşık tarımsal ormancılık sistemleri, bir tampon görevi görerek aşırı sıcaklık dalgalanmalarını azaltır. Bu durum, mahsullerin optimal sıcaklıklarda kalmasına yardımcı olarak verim kayıplarını ve ilişkili riskleri en aza indirir (Semenov ve Porter, 1995). Ayrıca, bu sistemler zararlıların ve hastalıkların yayılmasını da azaltabilir (Patra, 2023).

Kurakçıl tarım, küresel tarım üretiminin önemli bir bileşenidir. Stewart vd., (2006)'ın belirttiği gibi, dünya gıda üretiminin %60'ı tarımsal üretimde su sıkıntısının olduğu kurak bölgelerde gerçekleşmektedir. Bu nedenle, su koruma teknikleri, başarılı kurakçıl tarım uygulamaları için kritik öneme sahiptir (Lichtfouse, 2010). Bu bağlamda, ağaçlarla oluşturulan tarımsal ormancılık sistemleri, toprak suyunun korunmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Ağaçların varlığı alt katmanın mikroiklimini doğrudan etkilemektedir. Bu etkiler, toprak yüzeyi ve hava sıcaklıklarının, buharlaşmanın, atmosferik nem ve buhar basıncı açığının, güneş ışığı yoğunluğu ve spektral kalitesinin, rüzgâr hızı ve yönünün modifikasyonunu kapsamaktadır. Tarımsal ormancılıktaki ağaçların ürünler üzerindeki temel etkileri, besin ve su dengesiyle ilişkilidir. Ağaçların destekleyici hizmetleri sayesinde toprak verimliliği artarken, toprak erozyonu azalmakta ve su içeriği artmaktadır (Bayala vd., 2014). Bu süreçler, özellikle ağaç ve mahsul köklerinin farklı toprak katmanlarını kullanması durumunda su stresini azaltmaktadır (Ripley vd., 2007; Ong vd., 2015). Ağaçlar organik madde

sağlayarak toprak kalitesini iyileştirir, toprak erozyonunu önler, toprak nemini korur, rüzgâra karşı koruma sağlar, yabancı ot popülasyonunu ve bileşimini azaltır, derin toprak katmanlarından besinlerin geri kazanımına yardımcı olur ve daha fazla fosfor ile azot tutar (Giller, 2001).

Teorik olarak, tüm tarımsal ormancılık sistemleri verimlilik, sürdürülebilirlik ve uygulanabilirlik açısından üç temel özelliğe sahiptir (Nair, 2008; Patra, 2023). Bu sistemler, çeşitli arazi kullanım alternatifleri olarak sürdürülebilirliklerini kanıtlamıştır (Garrett, 1997; Alavalapati ve Mercer, 2004). Birçok kez tecrübe edilmiş tarımsal ormancılık uygulamaları, geleneksel yerel bilgi ile geliştirilmiş sistemlerdir ve hala dünyanın farklı bölgelerinde uygulanmaktadır. Aynı zamanda, dünya genelindeki yerli tarımsal ormancılık sistemleriyle ilgili geleneksel bilgiler ve temel ekolojik ilkeler, modern tarımsal ormancılık sistemlerinin tasarımında başarıyla kullanılmaktadır (Dagar vd., 2020b). Tarımsal ormancılığın yeniden canlandırılması, tarım alanlarını korumak, artan nüfus taleplerini karşılamak, hızla artan ormansızlaşma ve toprak bozulması nedeniyle ormanları korumak adına kaçınılmaz hale gelmiştir (Batish vd., 2008). Kur'an-ı Kerim'de verilen örnekte olduğu gibi hurma, üzüm ve ekinen (buğday, arpa, yulaf, çavdar, pirinç vb.) oluşan sistemin sürdürülebilirliği, bozulmadan ve ürünlerde azalma olmadan sağlanmaktadır. Bu çalışmada, kutsal kitapta tanımlanan bu sistemde yer alan ağaç, asma ve ekinlerin özellikleri, sistemin işleyişine katkıları ve uyumları incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada Kur'an-ı Kerim, tefsir kaynakları ve tarımsal ormancılık konusunda yapılan bilimsel çalışmalardan materyal olarak faydalanılmıştır. Kehf sûresinin 32-35 ayetlerinde betimlenen bahçe modeli bilimsel çalışmalar ışığında, sistemin işleyişi ve model olarak tanımlanmasının nedenleri yorumlanmıştır. Tefsir ilmi açısından bakıldığında, ortaya koyulan bu çalışma bir tür “bilimsel tefsir” niteliğindedir. Âlimlerin büyük çoğunluğu Kur'an'ın ilmî bir mucize olduğunu, onu bilimsel bir şekilde tefsir etmenin önünde bir engel bulunmadığını çünkü ayetlerde müspet ilimlere dair sayısız incelikler olduğunu belirtmişlerdir. Bunların başında, kadim âlimlerimizden Gazzâlî (ö.1111), Râzî (1981-ö.1210) ve Süyûtî (ö.1505) gelir. Günümüz âlimlerinden ise Muhammed Abduh (ö.1905), Reşit Rıza (ö. 1935), Mustafa Sâdık er-Râfî (ö.1937) ve Muhammed Abdullah Dirâz (ö.1958) gelmektedir (Abbâs, 2007).

Bilimsel tefsir, Kur'an-ı Kerim'i başta müspet ilimler olmak üzere çeşitli ilimlerdeki esaslar, nazariyeler ve gelişmeler çerçevesinde ele alan bir tefsir ekolüdür. Bilimsel tefsir adına yapılan yorumların kabul edilebilmesi için bir takım şartlar ileri sürülmüştür. Bunlar: a: Bilimsel tefsir adına ayetten anlaşılan anlamın Arap diline uygun olması. b: Hz.Peygamber'den gelen sahih haberlere yahut merfu hükmünde olan haberlere ters olmaması. c: İlgili ayetin bağlamına

uygun olması. d: Yapılan bilimsel tefsirin Kur'an'da bahsedilen mucizelerle çatışmaması. e: Bilimsel tefsir, hipotezlerden hareketle değil, teorilerden hareketle yapılmasıdır (Abbâs, 2007). Çalışmada bu kaidelerin tamamı dikkate alınmıştır. Kur'an-ı Kerim, tefsir kaynakları ve tarımsal ormancılık konusunda yapılan bilimsel çalışmalardan materyal olarak faydalanılmıştır. Kehf sûresinin 32-35. ayetlerinde betimlenen bahçe modeli bilimsel çalışmalar ışığında, sistemin işleyişi ve model olarak verilmesinin nedenleri yorumlanmıştır

### 3. Bulgular ve Tartışma

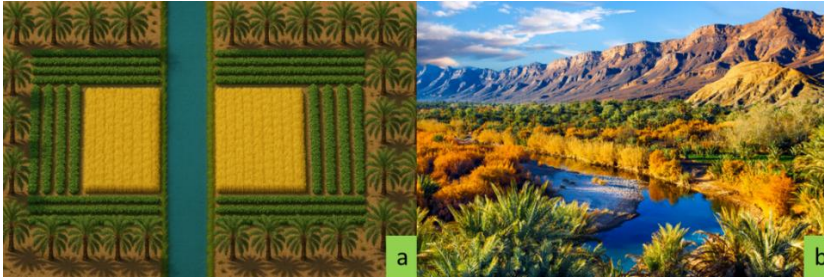
Kur'an, pek çok kıssa barındıran bir kitaptır. Kıssaların anlatılmasındaki temel amaç, insanlara doğruyu göstermek ve toplumların inanç ve ahlâk konusundaki hatalara düşmelerini engellemektir. Kur'an'da kıssalarıyla öne çıkan önemli surelerden biri Kehf sûresidir. Bu surede, verimli bahçeleriyle övünen bir inkârcının bahçeleri ve mümin bir arkadaşıyla yaptığı konuşmalar anlatılmaktadır. Kıssanın amacı ders çıkarmak ve ibret almak olduğundan, olayın geçtiği zaman dilimi ve coğrafya belirtilmemiştir.

Kur'an, bu bahçenin detaylı bir betimlemesini sunar ve bahçe hakkında orman, tarım ve tarımsal ormancılık açısından değerlendirilebilecek çeşitli bilgiler verir: *وَاضْرِبْ لَهُم مَّثَلًا رَجُلَيْنِ جَعَلْنَا لِأَحَدِهِمَا جَنَّتَيْنِ مِنْ أَعْنَابٍ وَحَفَفْنَاهُمَا بِنَخْلٍ وَجَعَلْنَا بَيْنَهُمَا وَادِيًّا فَتَوَلَّىٰ وَكَانَ الْآخَرُ يَسْأَلُ الْآخَرَ عَنْ الْبَنَاتِ وَأَخَذَ الْآخَرُ الصَّنَدَ فَوَرَّاهُ وَكَانَ الْأَخَرُ نَادِيًّا ۚ وَأَخَذَ الْأَخَرُ الْحَصَىٰ فَكَانَ الْآخَرُ يَسْأَلُ الْآخَرَ عَنْ الْبَنَاتِ وَأَخَذَ الْآخَرُ الصَّنَدَ فَوَرَّاهُ وَكَانَ الْأَخَرُ نَادِيًّا ۚ وَأَخَذَ الْأَخَرُ الْحَصَىٰ فَكَانَ الْآخَرُ يَسْأَلُ الْآخَرَ عَنْ الْبَنَاتِ وَأَخَذَ الْآخَرُ الصَّنَدَ فَوَرَّاهُ وَكَانَ الْأَخَرُ نَادِيًّا ۚ وَأَخَذَ الْأَخَرُ الْحَصَىٰ فَكَانَ الْآخَرُ يَسْأَلُ الْآخَرَ عَنْ الْبَنَاتِ وَأَخَذَ الْآخَرُ الصَّنَدَ فَوَرَّاهُ وَكَAN* *Onlara şu iki adam örneğini ver ki onlardan birisine iki üzüm bahçesi vermiş; bu bahçelerin etrafını hurma ağaçlarıyla çevirmiş ve ortalarında bir ekin var etmiştik. Her iki bahçe de sürekli olarak tam mahsul vermekteydi. Aralarından bir de ırmak geçirmiştik.” (Kehf, 32, 33).*

#### 3.1. Bahçenin betimlemesi, türlerin uyumu ve fonksiyonları

Tarımsal ormancılık sistemleri, ağaçlar ve tarımsal ürünler olmak üzere iki ana bileşeni içerir (Rigueiro-Rodríguez vd., 2009). Ağaçların mekânsal ve zamansal düzenine göre tarımsal ormancılık sistemleri zonlu, karışık veya döngüsel olarak sınıflandırılabilir (Wood, 1990). Ağaçları ve tarımsal ürünleri aynı arazide birleştiren bu sistemler, hem kısa hem de uzun vadede verimliliği artırarak çiftçilere sosyal ve ekonomik avantajlar sağlar (Montagnini, 2020; Nair vd., 2021; Montagnini, 2024). Derin köklere sahip ağaçlar, otsu bitkilerin kök bölgesinin altında bir "güvenlik ağı" işlevi görür (Allen vd., 2004). Tarımsal ormancılık sistemlerindeki ağaçlar, otsu bitki kök bölgesinden aşağıya sızan toprak besin maddelerini geri dönüştürerek yeraltı suyu kirliliğini azaltır ve sistemde besin kullanım verimliliğini artırır (Rowe vd., 1999; Wolz vd., 2018). Ayrıca derin köklü ağaçlar, erişilemeyen su kaynaklarını da kullanabilir, böylece sistemdeki türlerin birlikteliği kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar (Fernandez vd., 2008; Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019).

Ayetteki anlatıma göre yan yana iki *üzüm bahçesi* bulunmaktadır. Her iki bahçe hurmalıklarla çevrilidir ve iki bahçenin ortasında *ekin* bulunmaktadır. Bahçelerin içinden *bir ırmak* akmaktadır. Ziraî açıdan dikkat çeken üç unsur mevcuttur: dıştan merkeze doğru sıralanan hurma, üzüm ve ekin. Ayrıca, bahçenin ortasından geçen ırmak, ürünlerin doğal veya yapay sulama imkânına sahip olduğunu göstermektedir. Sistemin bileşenlerinin gelişigüzel değil, bir düzen halinde olması, tarımsal ormancılık sistemlerinin kuruluşun bilinçli olarak yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. Tarif edilen bahçede, tarımsal ormancılığın başarılı bir örneği olarak fonksiyonel türlerin seçildiği görülmektedir. Her üç tür de ürün vererek gelir sağlamaktadır. Hurma, bahçenin kenarlarında yer alırken, iç kısımda üzüm bağları ve iki bahçenin ortasında ekin bulunmaktadır. Bahçenin ortasından geçen ırmak, toprağın verimli olduğunu ve her üç ürünün besin ve su ihtiyacını karşıladığını göstermektedir. Ayrıca, bahçenin ırmak kenarında olması, nehir kenarlarının genel özelliği olan alüvyonlu ve verimli toprak yapısına işaret etmektedir. Her iki bahçenin de verimliliği sürdürülebilirken, verim düşüklüğü göstermemesi, sistemin uyumlu çalıştığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, tasvir edilen bahçenin ortasından geçen ırmak, sistemi oluşturan bitkilerde su açığının bulunmadığını göstermektedir. Doğal taban suyu yüksekliği veya yapay sulama ile bitkilerin, özellikle asmanın yaz döneminde su açığının olmadığı düşünülebilir. Ayet-i Kerime’den, bahçenin ortasından geçen ırmak sayesinde tarımsal ormancılık sisteminde yer alan hurma, bağ ve buğdayın su stresi yaşamadığı anlaşılmaktadır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Kur'an-ı Kerim'de tasvir edilen bahçenin şematik tasviri (a) ve Fas'ın Tafilalet vahasında bir ırmak kenarında günümüzde kullanılan tarımsal ormancılık sistemleri (b)

Palmyeler, takson çeşitliliği, yaygınlıkları ve geniş ekolojik toleransları (Uhl ve Dransfield, 1987); insanlığa sağladıkları zengin mal ve hizmet çeşitliliği (Balick ve Beck, 1990); ve birçok ortama uyum sağlama yetenekleri (Johnson, 1988; Pedersen ve Balslev, 1990) nedeniyle tarımsal ormancılık sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Buck vd., 1999). Hurma (*Phoenix dactylifera*), ekolojik istekleri açısından yüksek sıcaklık ve geçirgen toprak yapısı isteyen bir türdür ve genellikle kumsal ve kurak alanlarda gelişim göstermektedir. Kurak alanlar bozulmaya karşı hassastır (Reynolds vd., 2007) ve arazi bozulmasının başlıca

nedenleri arasında su ve rüzgâr erozyonu, toprakta verim kaybı, tuzluluk, ürün veriminde düşüş, fiziksel bozulma ve biyolojik çeşitlilikte azalma yer almaktadır (Sivakumar, 2007). Hurmanın yayılış gösterdiği alanlarda en büyük sorun, rüzgârlarla meydana gelen toprak erozyonudur. Tasvir edilen bahçede erozyon söz konusu olsaydı, kötüleşen toprak koşulları nedeniyle bahçenin verimliliği uzun süre devam edemezdi. Bu bağlamda, bahçenin etrafına dikilen hurmanın, gelir sağlamanın yanı sıra toprak ve su koruma işlevi ile bahçede yeralan diğer ürünlerini koruma ve destekleme işlevini de vurgulamak gerekir.

Ayetlerde açıkça tasvir edilen sistem, ağaçların tarımsal ürünlerle bir arada yetiştirildiği bir arazi yönetim sistemidir. Bu sistemin amacı, bileşenlerini oluşturan türlerin toplam verimliliğini optimize etmek ve sürdürmektir. Tarımsal ormancılık sistemlerindeki birden fazla bitki türü, kaynakların kullanımı açısından birbirini tamamlamayabilir veya rekabet edebilir (Buck vd., 1999). Ancak bu rekabetin, toplam verimliliğini olumsuz etkileyecek boyutta olmadığı görülmektedir. Su, besin ve ışık, bir tarımsal ormancılık sisteminde kısıtlayıcı faktörlerdir. Sistem içindeki orman ağaçları ile tarımsal türlerin uyumlu olması ve yaşam döngülerinin büyük bir kısmında birbirlerini desteklemesi gerekmektedir (Patra, 2023). Tarımsal ormancılık sistemlerinde etkileşimlerden kaynaklanan sorunların incelenmesi, bütünleşik bir yaklaşım gerektirir (Lichtfouse, 2010). Bu sistemlerin başarısının anahtarı, türlerin kaynak kullanımındaki mekansal ve zamansal düzenlemenin en iyi kombinasyonunu seçmektir (Cannell vd., 1996; Descheemaeker vd., 2013). Çok katmanlı orman-meyve ağacı sistemlerinde, çeşitli türler dikey alanı paylaşır; en üst katmanda genellikle ağaçlar, orta katmanda meyve ağaçları en alt katmanda ise temel gıda bitkileri yer alır (Parrotta vd., 2015; Saj vd., 2017).

Bu sistemler yeni değildir. Örneğin, meyve bahçelerinde karışık ürün yetiştirme; buğday ile zeytin (*Olea europaea*) ağaçlarının kombinasyonu, M.Ö. birinci yüzyılda Roma İmparatorluğu'na kadar uzanmaktadır. Keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua*) ağaçları da İspanya, Yunanistan ve Kıbrıs'ta tahıllarla bir arada yetiştirilmektedir (Lelle ve Gold, 1994). Akdeniz ve Kuzey Afrika'da odunsu polikültürler, geleneksel tarımsal ekosistemlerin bir parçasıdır. Bu sistemlere kırsal ormanlardaki zeytin, incir, badem ve keçiboynuzu ağaçlarının kombinasyonları ile vahalarda meyve ağaçlarının üzerinde bulunan hurma ağaçları örnek verilebilir (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019) (Şekil 2).

### 3.2. Ayetin analizi:

Kur'an'da bahsedilen bu bahçe modelinin öncelikli olarak verimliliği yüksek bir bahçe modelinin nasıl olması gerektiğini göstermek amacı taşımadığını belirtmek gerekir. Ancak ayetin bağlamından, tasvir edilen her iki bahçeden her yıl "tam" verim alındığı anlaşılmaktadır. Kur'an bunu şu şekilde ifade eder: "Her iki bahçe de sürekli olarak tam mahsul vermekteydi." Ayette geçen ( وَلَمْ تَظْلِمْ مِنْهُ ) ifadesi, önde gelen müfessirler tarafından "verimde süreklilik" şeklinde

yorumlanmıştır (Âlûsî, 2015; Beydâvî, 2001; İcî, 2024). Tarımsal ormancılık sistemlerinin temel amacı, sürdürülebilir şekilde birim alandan elde edilen ürünlerin miktarını ve çeşitliliğini korumak veya artırmaktır. Bahçede verim sürekliliğinin sağlanması için, öncelikle yetiştirme ortamı şartlarında bir eksiklik veya gerileme olmaması gerekir. Ayet'te belirtildiği gibi sürekli ve tam ürün alınması, kurulan sistemin mükemmel işlediğini göstermektedir. Sürekli verim alınabilmesi için burada kullanılan üç türün de birbiriyle uyumlu ve destekleyici nitelikte olması önemlidir. Bu destekleme; sistemden erozyon yoluyla toprak ve su kaybını önlemek, gölgeleme ve rüzgârı azaltarak diğer ürünlerin zarar görmesini engellemek şeklinde olabilir. Görüldüğü gibi burada betimlenen tarımsal ormancılık sistemi, tek bir amaç için değil, aksine çok sayıda fayda sağlayan ve birbiriyle uyumlu türlerden oluşan karmaşık bir ekolojik sistem olarak tanımlanmıştır. Yapılan bilimsel çalışmalardan ayette tasvir edilen türlerin özelliklerinin birbirleriyle uyumlu ve destekleyici nitelikte olduğu anlaşılmaktadır. Tasvir edilen bahçelerde toprağın yatay ve dikey katmanlarının kullanılması da ayrıca üzerinde durulması gereken bir konudur. Hurma, bağ ve hububatlardan oluşan dikey bir sistemin kurulması ve verimin azalmaması, sistemi idealize eden bir yaklaşımdır.

### 3.2.1. Hurma (*Phoenix dactylifera* L.)

Palmiyelerin (Arecaceae; Palmae) dahil olduğu familya yaklaşık 2440 türden oluşmaktadır (Dransfield vd., 2008; Nair vd., 2021). Ekonomik açıdan önemli palmye türleri arasında Hindistan cevizi, yağ palmyesi ve hurma palmyesi (*Phoenix dactylifera*) yer almaktadır (Jawaid vd., 2023). Hurma palmyesi Orta Doğu'ya özgü bir türdür (Buck vd., 1999) ve 6000 yıl önce kültüre alındığı bilinmektedir (Mediapro, 2024). Hurma üç büyük dinde önemli bir yere sahiptir. İslâmiyette Hz. Peygamber hurmaları değerli bir meyve olarak görmüş ve Kur'an-ı Kerim'de ağaç ve meyve anlamında 17 kez adı geçmektedir (Abdûlbâkî, 1988). Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da ağaç kıtlığının yaşandığı yarı kurak bölgelerde yetişebilir (Jawaid vd., 2023). 20-30 m'ye ulaşan ince bir gövdeye sahiptir (Maundu vd., 2005) ve ana gövde yaşlandıkça çap artışı olmaz (Nair vd., 2021). Uzun ömürlü bir ağaç olan hurma, tarımsal ormancılık için çok uygun bir türdür (Rigueiro-Rodríguez vd., 2009). Olgun halde yaklaşık 7 m çapında bir taç oluşturur. Palmiyelerin yaprak yapısının plantasyon zeminine ışık geçişine imkân vermesi sayesinde sıra aralarında veya altlarında nispeten gölgeye toleranslı ürünlerin yetişmesine olanak sağlar. Tek gövdeli olması, yüksekliği ve ince taçları, sadece gölgeye dayanıklı türler için değil, tahılların yetiştirilmesi için de uygundur. Palmiyenin köklerinin çoğunluğu gövdeye yakın kısımda oluşur, dolayısıyla hurmanın ve ara tarımında yer alan ürünlerin kök sistemlerinin örtüşmesi minimaldir (Nelliat vd., 1974). Ekonomik verimler 6-7 yıl sonra elde edilebilir. Bir hurma tam verim döneminde yılda birkaç yüz kilograma kadar

meyve verebilir. Meyveleri değerli bir gıda olarak kullanıldığı gibi, yaprakları da geleneksel olarak çeşitli hastalıkların tedavisinde, hayvan yemi, barınak yapımı ve giysi için kullanılmaktadır. Hurma yüksek bir su tabanına sahip toprakları sever fakat su baskınlarını tolere edemez (Maundu vd., 2005; Mediapro, 2024). Hurma ağaç tacının küçük ve yaprakların mumsu bir tabaka ile kaplı olması nedeniyle su kullanımı minimum düzeydedir. Bu durum, buharlaşma yoluyla su kaybını azaltmasının yanı sıra, kendisinin de çok az su kullanmasını sağlar (Ong vd., 2015). Tarımsal ormancılık sistemlerinin her bileşenin üstlendiği fonksiyonlar yanında, gelir getirici veya insan beslenmesinde kullanılabilirliği gibi çok yönlü faydalanılan ürünlerden oluşması arzu edilmektedir. Hurma bu yönüyle beklentileri fazlasıyla karşılayan bir tür olarak kabul edilebilir (Şekil 2).



Şekil 2. Fas'ın Tafilalet vahesindeki hurma, zeytin ve yıllık tarımsal ürünlerden oluşan tarımsal ormancılık sistemi (HTML 1)

### 3.2.2. Asma (*Vitis spp*)

Tarımsal ormancılık sistemlerinde bağ yetiştirilmesi binlerce yıldır uygulanan geleneksel bir yöntemdir (Dupraz vd., 2009; Fabre, 2014). Ağaçların sağladığı ortam, asma köklerinin daha iyi gelişebileceği bir toprak yapısına katkıda bulunmaktadır (Lanyon vd., 2004; Seobi vd., 2005). Ağaç ve asma kökleri, rekabete uyum sağlayarak örtüşen kök yapılarına rağmen gelişmeye devam edebilir (Udawatta ve Jose, 2021). Günümüzde, bağların dâhil olduğu tarımsal ormancılık sistemleri, zararlı popülasyonlarını azaltmak, çiftçilerin tarımsal gübre ve kimyasallara bağımlılığını en aza indirmek, toprak verimliliğini, kalitesini artırmak ve iklim değişikliği streslerine dayanıklılığı sağlamak amacıyla yeniden tasarlanmaktadır (Udawatta ve Jose, 2021). Akdeniz Avrupa'sındaki birçok ağaç türü, genellikle zeytin ağaçları, tahıllar veya üzüm asmaları ile birlikte yetiştirilmektedir (Rigueiro-Rodríguez vd., 2009). Üzüm bağları meyve ağaçlarıyla bir arada yetiştirildiğinde, dikey alanın kullanımı sayesinde hektar başına daha fazla gelir elde etme imkânı sunmaktadır (Nair, 1993a). Tarımsal ormancılık sistemindeki ağaçlar, asmalara doğrudan mekanik destek sağlayarak alt katmandaki bitkilerin gelişimine yardımcı olmaktadır (Rigueiro-Rodríguez vd., 2009). Örneğin, Akdeniz ülkelerinde söğüt ile asma arasında geleneksel destekleme sistemleri kullanılmaktadır (Caporali, 2004).



Besin ve su için rekabet, tarımsal ormancılık sistemlerinde üzüm üretimini engelleyebilecek iki önemli faktördür (Smart vd., 2006). Kuraklık stresinin, iklim değişikliği ile birlikte önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir (Pachauri ve Meyer, 2015). Su stresi üzüm bağlarını olumsuz etkileyerek önemli verim kayıplarına yol açabilmektedir. Mevsim başındaki yüksek sıcaklıklar, çiçeklerin azalmasına ve meyve tutumunun düşmesine sebep olurken (Dunn ve Martin, 2008; Pagay ve Collins, 2017), mevsim sonundaki yüksek sıcaklıklar meyve dökülmesine neden olabilmektedir (Stephenson, 1981). Çiçeklenme, meyve tutumu ve olgunlaşma dönemlerinde günlük 40 °C sıcaklığa maruz kalan bağlarda önemli ölçüde çiçek dökülmesi yaşandığı ve fotosentezde %35'lik bir azalma olduğu tespit edilmiştir. 40.6 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara 3-4 gün maruz kalan üzümün olgunlaşması gecikmektedir (Dokoozlian, 2016). Bağların içinde ve etrafındaki ağaç sıralarının rüzgâr kesici etkisi sayesinde üzüm bağlarında fotosentez oranının arttığı belirlenmiştir. Kapsamlı bir araştırmada, ağaçların gölgeleme etkisinin bağın sıcaklık stresini önemli derecede azalttığı, fakat fotosentetik olarak aktif radyasyonu önemli ölçüde azaltmadığı bulunmuştur (Grimaldi vd., 2017; 2019). Aynı çalışmada, ağaçların bağlardaki soğuk stresini de azalttığı, ağaçların ısı kaybını düşürerek bağları dondan koruyan bir "örtü" etkisi oluşturduğu belirlenmiştir (Gosme vd., 2019). Ayrıca ağaçların bağlardaki yer altı toprak kalite parametrelerini iyileştirdiği kanıtlanmış ve bağlara entegre edilmesinin bağcılığın sürdürülebilirliği açısından değerli bir rol oynayabileceği vurgulanmıştır (Udawatta ve Jose, 2021). Günümüzde bağlarda yaşanan ilkbahar geç don tehlikesine karşı hurma ağaçlarının bir "şemsiye" görevi gördüğü ve bu sayede don zararlarının önlenerek ürün kaybının önüne geçildiği düşünülmektedir. Bu "şemsiye" etkisi yaz döneminde de bağları aşırı sıcaklardan koruyarak çiçeklenme ve üzümün olgunlaşma dönemlerinde zarar görmelerini engellemektedir (Şekil 3).



**Şekil 3.** Tarımsal ormancılık sistemlerinde hurma ağaçlarının oluşturduğu siper etkisi ve hurma altında yetiştirilen yonca (HTML 1)

Monokültür bağlar, hastalık ve zararlılara karşı son derece savunmasızdır (Francis vd., 2004). Habitat çeşitliliği olmadan doğal yırtıcı popülasyonlar desteklenemez ve bağlar yüksek zararlı baskısı ile karşı karşıya kalır. Artan

zararlı baskısı, verim kaybına, çevre ve sağlık sorunlarına yol açan pestisit kullanımının artmasına neden olmaktadır (Altieri vd., 2005; Nicholls vd., 2008; Nicolopoulou-Stamati vd., 2016). Monokültür yerine ağaç-bağ kombinasyonları yararlı böcekleri çekerek ve zararlı popülasyonlarını azaltarak çiftçilerin kimyasal pestisitlere olan bağımlılığını düşürmektedir (Wilson vd., 2017; Udawatta ve Jose, 2021). Hastalık ve zararlı yönetimi açısından da hurma-bağ sisteminin son derece uyumlu olduğu görülmektedir.

Tarımsal ormancılık sistemlerinde ağaçlar ile mahsuller arasında bazen su rekabeti kaçınılmazdır (Udawatta vd., 2016). Aşırı su rekabeti, su stresini artırarak salkım sayısı, meyve ağırlığı ve toplam verimi azaltabilir (McCarthy vd., 1983). Bağlarda ağaç bulunmasının su rekabetinin yüksek su stresi oluşturmayaacağı iddia edilmektedir (Dupraz vd., 2009; Grimaldi, 2018). Çalışmalar, bağlarda ağaçların varlığının meyve kalitesi, büyüme veya verim azalmasına neden olmadığını doğrulamıştır (Trambouze vd., 2017). Hafif su stresi, meyvelerde fenolojik bileşikleri ve şeker konsantrasyonunu artırabilir. Ancak ciddi su stresi durumunda, üzümde şeker metabolizması ve aroma gelişimi olumsuz etkilenmektedir (Jones ve Webb, 2010; Bondada ve Keller, 2012; Udawatta ve Jose, 2021). Ayetin tefsirine göre, ürünlerden “tam verim” alındığı belirtildiğinden, hem hurmalarda hem de bağlarda ciddi anlamda su stresinin yaşanmadığı anlaşılmaktadır. Tarif edilen sistemin içinde bir ırmak bulunması ve hurmanın kök yapısı itibarıyla (Nelliat vd., 1974; Nair vd., 2021) asma ile rekabete girmemesi bunu kanıtlar niteliktedir. Yapılan çalışmalarda, ağaçların yakınında ve uzağında büyüyen asmalar arasında büyüme bakımından anlamlı farklılıklar saptanmamıştır (Dufourcq vd., 2017). Hem bağ hem de ağaçların suyu hidrolik kaldırma kapasitesine sahip olması, tarımsal ormancılık sistemlerinde bağ ve ağaçlar arasında düşük rekabet olduğunu göstermektedir (Smart vd., 2005; Grimaldi, 2018).

Konvansiyonel bağlar, genellikle düşük organik karbon seviyeleri, yüksek erozyon, düşük mikrobiyal aktivite ve toprak sıkışması nedeniyle beslenme sorunlarıyla karşılaşmaktadır (Pool vd., 1990; Garcia vd., 2018; Udawatta ve Jose, 2021). Ancak bağların bulunduğu tarımsal ormancılık sistemlerinde, ağaçlar organik maddeyi artırarak derin toprak profillerinden üst toprak katmanlarına besin döngüsünü sağlamaktadır (Adetunji vd., 2017). Bu olumlu faydalar, ağaçlar ve asmalar arasındaki besin rekabetinden kaynaklanan bazı olumsuz etkilere karşı denge oluşturabilir. Bağın dâhil olduğu tarımsal ormancılık sistemlerinde, dökülen yaprakların malçlama etkisi toprak yapısı üzerinde olumlu etkiler yaratabilmektedir (Riha ve McIntyre, 1999).

Herhangi bir ara ziraati sisteminde, 30 cm'lik üst toprak katmanında kökler arasında genellikle yoğun besin ve su rekabeti bulunur; bu da verimi ve bitki biyokütlesini azaltır (Jose vd., 2009). Ancak, derin köklü ağaçlarla sığ köklü

mahsullerin bir arada yetiştirilmesi sayesinde yer altındaki kök rekabeti hafifletilebilir (Lott vd., 1995). Bağıın dahil olduğu tarımsal ormancılık uygulamalarında, hem ağaçların hem de bağıın kökleri oldukça uzun olabilir. Bağı köklerinin çoğunluğu toprağıın 1-2 m'lik üst kısmında bulunmasına rağmen, daha derinlere ulaşabilir. Bağı köklerinin %63'ünün 60 cm, %80'inin 1 m ve geri kalanının 12 m derinliklere kadar uzayabileceğı belirtilmektedir (Lavee, 2000; Smart vd., 2006). Ağaç ve asma kökleri benzer toprak katmanlarını kullansa da, asmanın kök morfolojisi ile ilgili bulgular, su ve besin maddesi alımı için farklı toprak katmanlarında morfolojik ve fizyolojik farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır (Grimaldi, 2018). Su rekabeti asmada yüksek kök plastisitesi göstermekte, kök miktarını ve köklerin dikey dağılımını etkilemektedir (Morlat ve Jacquet, 1984). Bağların kuru sulama rejimlerinde daha fazla kök ürettiğı belirtilmiştir (Freeman vd., 1982). Ayette bahçenin "tam verimli" olarak tanımlanması, hurma ve asma arasındaki toprak altı ve toprak üstü rekabet unsurlarının verimi etkileyecek seviyede olmadığı sonucuna varılabilir.

### 3.2.3. Buğday (*Triticum aestivum*)

Buğday (*Triticum aestivum*) insanlık tarihinde ilk kültüre alınan ve temel besin kaynağı olarak kullanılan bir üründür. Her iklim tipine uyum sağlayabilen geniş bir adaptasyon kabiliyetine sahiptir. Buğdayı besin olarak kullanan ilk insanların muhtemelen 17.000 yıl önce yabani tahıl tanelerini çiğneyerek beslendiğı düşünülmektedir. Buğdayın anavatanı Suriye, Türkiye, Afganistan, Irak ve İran'ı kapsayan Orta Doğu coğrafyasıdır. İlk kültüre alınma tarihi, arkeolojik kalıntılara göre İran'da M.Ö. 6500 yılına ve Anadolu'da M.Ö. 5500 yılına dayanmaktadır (Republic of South Africa, 2016). Ilıman bölgelerde modern tarımsal ormancılık yöntemlerinde genellikle geniş aralıklı ağaç veya bitki sıralarında ara tarım sistemleri kullanılmaktadır (Van Lerberghe, 2017). Tahıllar hem kuzey hem de Akdeniz bölgelerinde tarımsal ormancılık sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kış buğdayı, sert kış koşullarına dayanabilen tek mahsul olduğundan tüm tarımsal ormancılık modellerinde ilk mahsul olarak tercih edilmektedir. İnsan beslenmesinde önemli bir gıda kaynağı olmasının yanı sıra, tarımsal ormancılık sistemlerinin alt katmanında kullanılan tahıllar, aynı zamanda hayvan beslenmesinde de kaba yem olarak değerlendirilmektedir (Alavalapati ve Mercer, 2004; Rigueiro-Rodríguez vd., 2009).

Ayette tasvir edilen bahçenin ortasında yetiştirilen "ekin" buğday veya arpa olması mümkündür. Aynı alandan faydalanma söz konusu olduğundan, asmaların gölge yapmayacağı ve su ile besin rekabetinin olmadığı kış döneminde ekim yapılması olasıdır. Ayette belirtildiğı üzere, bağların yapraksız olduğı dönemde kış buğdayının ara mahsul olarak kullanılması, doğrudan rekabet koşulları oluşturmaz (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019). Ayrıca hurma ağaçları aşırı

gölge yapmadığından, buğday ve arpa tarımsal ormancılık sistemlerinde kolayca entegre edilebilir (Nair ve Garrity, 2012).

Meyve ağacı ve hububat sistemlerinde hurma-buğday ideal bir modeldir. Hurmada yaprak çıkışı geç olduğundan, buğday maksimum ışık alabilmektedir. Hurma yaprakları çıkmaya başladığında buğday başaklanma aşamasındadır ve bu aşamada yalnızca %20-30 ışığa ihtiyaç duyar. Araştırmalar, hurma ağaçlarının şemsiye etkisi ile tarlada mikroiklimi değiştirdiğini, rüzgârdan ve sıcaktan koruduğunu göstermektedir (Sun vd., 2008). Oluşan daha serin ve nemli toprak koşullarında tohumlar daha erken çimlenmekte ve daha yüksek oranda hayatta kalmaktadır (Batish vd., 2008; Dagar ve Tewari, 2017; Dagar vd., 2020a). Tahıl üretimi ve kalitesi, büyük ölçüde yağış miktarına bağlıdır (Ndjondjop vd., 2010). Buğday yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında zayıf gelişmekte, başaklar daha küçük oluşmakta ve tane verimi düşük olmaktadır (Jose ve Gordon, 2008). Ayette tasvir edilen bahçelerin hurmayla çevrili olması, mikroiklim etkisiyle rüzgârdan ve sıcaktan koruyarak buğday tohumlarının kolay çimlenmesini ve olgun ekinlerin zarar görmesini engellemektedir. Rüzgâr perdeleri, mikro iklim oluşturarak sıcak kuru rüzgârların verim üzerindeki olumsuz etkisini azaltmakta ve buğday verimini %38 oranında artırmaktadır (Buck vd., 1999; Alavalapati ve Mercer, 2004). Arpa ve buğday verimleri, açık alanla karşılaştırıldığında rüzgâr perdeleri sayesinde önemli ölçüde artmaktadır (Dagar vd., 2020a). Yapılan bir çalışmada, rüzgâr perdelerinin sağladığı ürün artışı arpada %25, kış buğdayında %23, bahar buğdayında %8 ve saman veriminde %20 olarak belirlenmiştir (Brandle vd., 2000). Uygun şekilde tesis edilmiş rüzgâr perdeleri, koruma zonunda bulunan buğdayda verimi %38 oranında artırmaktadır (Umrani ve Jain, 2010). Ürün artışı, yalnızca iyileşen mikroiklim ve toprak nemine bağlı olmayıp, yaprak hasarı, çiçek dökülmesi ve güçlü rüzgârlardan kaynaklanan kumun fiziksel zararlarını da önlemektedir. Buğdayın kökleri genellikle 30-40 cm'lik üst toprak katmanlarında yayılmaktadır (Jose ve Gordon, 2008; Nuberg ve Bennell, 2009; Gordon vd., 2018). Yapılan çalışmalarda, kış tahıllarının ağaçlar uyanmadan önce üst toprak katmanını kurutarak ağaç köklerinin daha derin katmanlara doğru gelişimini sağladığı belirtilmektedir (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019). Hurmanın rüzgâr perdesi fonksiyonu, buğdayda büyük bir sorun olan yatmayı da önlemektedir. Buğdayın, kenarlardaki uzun hurma ağaçları ile gölgelenmesi, aşırı sıcakların oluşturacağı zararlardan korunmasını sağlamaktadır. Ayrıca, buğdayın da dolaylı olarak asma ve hurmanın kök gelişimine etkisi olabilir. Buğdayın erken dönemde üst toprak suyunu kullanması, asma ve hurma köklerinin sığ sudan faydalanamayıp, derin suya yönlendirilmesine katkıda bulunabilir (Şekil 4).



**Şekil 4.** Tarımsal ormancılıkta hurma ile birlikte buğday ve bağın kullanıldığı sistemler (HTML 1)

#### **3.2.4. Ayette bahçelere dair dikkate değer hususlar ve çıkartılabilecek genel prensipler**

Bahçe sahibinin, bahçesine bir şey olmayacağına dair kesin bir inancı ve bahçesinin verimliliğiyle gururlanması dikkat çekicidir: *وَدَخَلَ جَنَّتَهُ وَهُوَ ظَالِمٌ لِّنَفْسِهِ قَالَ مَا أَظُنُّ أَنْ تَبِيدَ هَذِهِ أَبَدًا (35)* *(Bu küstahça davranışlarıyla) yalnızca kendisine zulmetmekte olan bu adam, bahçesine girdi ve ‘Bu bahçeye hayatta bir şey olmaz!’ dedi.”* (Kehf, 35). Görünen o ki, bahçe sahibinin doğa koşulları karşısında bahçesinin zarar görmeyeceğine dair kişisel deneyimleri ve gözlemleri bu kanaati oluşturmuştur. Bu inancın pekişmesinde her yıl bol ürün almanın önemli bir rolü olduğu söylenebilir. Bu durumda, karma tarımsal ormancılık sistemlerinin dış koşullara karşı daha dayanıklı olduğu ve sürdürülebilir üretimin sağlanabileceği sonucuna varılabilir. Sistemi oluşturan bileşenlerin de son derece uyumlu ve birbirini destekleyen niteliklerde olduğu anlaşılmaktadır. Tasvir edilen tarımsal ormancılık sistemi, hurma, asma ve ekin gibi her yıl bol ürün veren bileşenlerden oluşmaktadır. Benzer bir örnek, geleneksel tarımsal ormancılık sisteminin bulunduğu Fas’ın Tafilalet Vahası’nda uygulanmaktadır. Bu vaha, biyosfer rezervi olarak belirlenmiş ve uygulanan tarımsal ormancılık sistemi 2011 yılında FAO tarafından “Küresel Öneme Sahip Tarımsal Miras Sistemleri” olarak tanınmıştır Fas’taki palmyelerin yoğun olduğu vahalarda, orman-meyve ağaçları tarımsal ormancılık sistemleri üç katmanlı dikey yapıdadır. Bu katmanların en üstünde, vahanın anahtar türü olan hurma (*Phoenix dactylifera*) yer alırken, orta katmanda zeytin, incir, üzüm, badem, nar ve kayısı gibi meyve ağaçları bulunmaktadır. Alt katmanda ise baklagiller, tahıllar, yem bitkileri ve sebzeler gibi otsu tarımsal ürünler yer almaktadır. Bu vahada, meyve ağaçlarının altında rotasyonla sebzeler, tahıllar ve hayvancılığın entegre edildiği bir sistem uygulanmaktadır (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019) (Şekil 5).



Şekil 5. Biyosfer rezervi olarak belirlenen Fas'ın Tafilalet vahası ve tarımsal ormancılık sistemleri (HTML 1)

### 3.2.5. Tasvir edilen bahçe modelinde;

#### a. Bahçeyi olumsuz etkenlerden korumak amacıyla her iki bahçeyi de hurma ağaçları çevrelemektedir. (Tantâvî, ty.)

Bahçenin kenarındaki hurmalık, hem koruma işlevi sağlamakta hem de gelir getirici bir ürün sunmaktadır. Hurma ağacının koruyucu işlevlerinden biri, rüzgârları keserek erozyonu önlemesi ve ürünlerin zarar görmesini önleyen bir rüzgâr perdesi görevidir. Yanlış tür seçimi ve yönetim sonucunda tarımsal ormancılık sistemlerinde ağaçlar, bitkilerle ışık, besin ve su için rekabet ederek tarımsal verimi azaltabilir (García-Barrios, 2003). Sistemi oluşturan ağaç türlerinin ticari değeri, yerel kullanımı, diğer bitkilere minimal olumsuz etkileri, fazla gölgeleme yapmaması için küçük ve açık taçlı, tarımsal türlerin kullandığı toprak katmanlarından farklı katmanları kullanmaları ve derin kök sistemine sahip, kesintili yaprak yapıları sayesinde gölgeli alanlar sağlama ve allelopatik etkilerinin olmaması beklenmektedir (Patra, 2023). Hurma bu niteliklerin birçoğunu karşılamaktadır. Ayette sözü edilen bahçelerin her yıl tam verim sağlaması, bu bahçenin ideal bir model olduğunu göstermektedir.

#### b. Bahçenin etrafının hurma ağaçlarıyla çevrili olmasının bir diğer işlevi, rüzgâr erozyonunu önlemektir

Erozyon tarih boyunca var olmuş, ancak son yıllarda artış göstermiştir. Dünya genelinde toprak kaybı, sürdürülebilirlik düzeyinden yaklaşık 30 kat daha fazladır (Pimentel vd., 1995). Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, ormansızlaşma ve tarımsal alanlarda toprak erozyonunun artması beklenmektedir (Kendall ve Pimentel, 1994). Dünya tarım arazilerinin yaklaşık %80'i orta-şiddetli, %10'u hafif-orta derecede erozyona maruz kalmaktadır (Speth, 1994; Buck vd., 1999). Küresel toprak erozyonu önemli bir sorundur; yıllık %2.5 oranındaki kayıp oranı, toprak yenileme hızının 10-40 katıdır (Pimentel, 2006; Borrelli vd., 2013). Rüzgâr erozyonu, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli bir problemdir ve su erozyonundan daha fazla zarara yol açmaktadır (Nair vd., 2021). Toprak erozyonu, besin kaybını artırmakta ve çiftçiler için ekonomik kayıplara neden olabilmektedir (Novara vd., 2018). Şiddetli erozyona uğramış topraklarda toprak

verimliliğini ve su tutma kapasitesi azaldığından ürün verimi de düşmektedir (Buck vd., 1999). Yapılan bir çalışmada, her yıl çıplak topraklı bağlarda kaybedilen azot ve fosfor miktarının, bağın yıllık gelirinin sırasıyla %2.4 ve %1.2'sine karşılık geldiği tahmin edilmektedir (Martínez-Casasnovas ve Ramos, 2006). Ağaçlar, yıkanma, erozyon ve yüzey akıntısından kaynaklanan besin kayıplarını azaltarak tarımsal sistemde daha fazla besinin kalmasını sağlar (Udawatta ve Jose, 2021).

Tarımsal arazilerde rüzgâr hızını azaltmak ve tarım ürünlerini korumak için tesis edilen rüzgâr perdeleri, en önemli tarımsal ormancılık uygulamalarından biridir. Rüzgâr perdelerinin pek çok faydası vardır ve yüzyıllardır tarımsal ormancılığın önemli bir bileşeni olmuştur (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019; Patra, 2023). Rüzgâr perdeleri, ürünleri donlardan, sıcak, soğuk ve kuru rüzgârlardan korur. Toprağı korur, erozyonu azaltır/önler. Mikroklimayı iyileştirerek, hava ve toprak sıcaklıklarını dengeleyebilir ve verimliliği artırır (Johnson ve Beck, 1988; Auclair ve Dupraz, 1999; Buck vd., 1999; Batish vd., 2008; Patra, 2023). Gölge altında oluşan daha küçük sıcaklık dalgalanmaları, gündüzleri mahsullerin üzerindeki radyasyon yükünün azalmasına ve gece boyunca da aşırı ısı kaybını önler (Patra, 2023).

Rüzgâr, bitki büyümesini yavaşlatabilir ve bitkilere zarar verebilir. Rüzgâr perdesi, toprak erozyonunu önler ve su kaybını azaltmaya yardımcı olabilir (Brandle ve Kort, 1991; Batish vd., 2008; Collins, 2014). Dört tarafı ağaçlarla çevrili tarımsal ormancılık sistemlerinde hurma da kullanılmaktadır (Dagar ve Tewari, 2017). Rüzgâr perdeleri maksimum etki için hâkim rüzgâr yönüne dik olarak kurulmalıdır (Patra, 2023). Ayette belirtildiği şekilde, bahçenin etrafının hurma ağaçlarıyla çevrili olması, yıl boyunca esen rüzgârların her yönden etkili olduğunu göstermektedir. Bu sayede ürünlerin tamamı yıl boyunca korunmuş olmaktadır. Aksi takdirde, yalnızca hâkim rüzgâr yönüne dik olarak kurulan rüzgâr perdeleri, rüzgârı azaltmada etkili olabilirdi. Hafif rüzgârlar tozlaşmaya katkıda bulunurken, güçlü rüzgârlar tarımsal ürünlerde olumsuz etkilere yol açabilir. Kuvvetli rüzgârlar meyve bahçelerinde dalların kırılmasına, çiçeklerin ve olgunlaşmamış meyvelerin dökülmesine neden olabilir. Korunan bahçelerdeki büyüme ve verim, rüzgâra maruz kalan bahçelere göre daha iyidir. Şiddetli rüzgâr, hem terlemeyi hem de yüzey buharlaşmasını artırarak nem kaybını artırır. Bu nedenle, bir meyve bahçesini korumak için yüksek boylu rüzgâr perdesi tesis etmek gereklidir (Batish vd., 2008; Patra, 2023). Ayette belirtilen her iki bahçenin etrafının hurma ağaçlarıyla çevrili olması, rüzgârın ürünlere vereceği zararları engellediği anlaşılmaktadır (Tantâvî, ty.).

Rüzgâr erozyonunun en büyük zararı, bitki büyümesi için en elverişli ve en değerli üst toprak kaybına neden olmasıdır (Kidd ve Pimentel, 1992). Genellikle bir fırtına 15 t/ha toprak erozyonuna yol açmakta ve 1 mm'ye kadar toprak

kaybına neden olmaktadır (Buck vd., 1999). Sistemdeki palmyelerin koruma işlevi sayesinde bu değerli üst toprak tabakası korunmuş olacaktır. Palmyelerin uzun gövdeleri koruma alanını artırmaktadır. Genellikle rüzgârdan korunacak arazinin rüzgârlı tarafına üç sıra ağaç dikilmektedir. Koruma alanı, rüzgârın geldiği yönde ağaç boyunun 3-5 katı, rüzgâr perdesinin arka tarafında ise 15-20 katı mesafeye kadar uzanmaktadır (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019; Nair vd., 2021). Bu nedenle, seçilen türlerin güçlü kök yapısına sahip, uzun ömürlü, dik ve uzun boylu, rüzgâr ve kuraklığa dayanıklı, sert çevre koşullarına, hastalık ve zararlılara dirençli ve mümkün olduğunca az alan kaplaması gerekir (Patra, 2023). Rüzgâr perdesi tasarımında seçilen ağaçların uzun olması ve gelir imkânı da sunması önemlidir (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019).

Ağaçlar, yüksek rüzgâr veya kum hareketi yaşanan bölgelerde mikro iklim oluşturarak ürün verimini artırır (Ong vd., 2015; Gordon vd., 2018). Rüzgâr perdeleri, rüzgâr enerjisini %65 ile %87 arasında azaltarak, erozyonu %50'ye kadar düşürmektedir (Stocking, 1995). Rüzgâr perdelerinin rüzgâr hızını %28 ila %32 oranında azalttığı, hava nemini %6-12 oranında artırdığı, buharlaşmayı %15-20 oranında azalttığı ve toprak nemini %15 ila %25 oranında artırdığı bildirilmektedir. Başka bir çalışmada, ağaç altında kontrol grubuna kıyasla güneş radyasyonunda %43, maksimum ve minimum sıcaklıklarda ise sırasıyla 1-2.5 °C ve 1.1 °C'lik bir azalma gözlenmiştir. Bağıl nem %9 artmış, rüzgâr hızı ise %57 azalmıştır (Jose ve Gordon, 2008). Birçok ürün çeşidi üzerinde yapılan çalışmalarda, mikroklimatik etkilerin verimleri %10 ile %74 arasında artırdığı kanıtlanmıştır (Kidd ve Pimentel, 1992; Buck vd., 1999; Bayala vd., 2013; van Noordwijk vd., 2014). Rüzgâr hızının azaldığı bu alanlarda sıcaklık ve nem oranları genellikle açık alana göre daha yüksektir (Mosquera-Losada ve Prabhu, 2019). Rüzgâr perdesinin koruma alanındaki daha yüksek hava ve toprak sıcaklıkları, daha erken çimlenme ve daha hızlı büyüme sağlayarak vejetasyon dönemini uzatabilir (Brandle vd., 2004; Ong vd., 2015). Rüzgâr perdesi yoğun ve bir duvar gibi davranıyorsa, hava üstünden akar ve rüzgârın düşük basınç olduğu tarafında türbülansa neden olur. Bu bakımdan rüzgâr hızının en etkili azaltımı %40-60 geçirgenlikte elde edilir (Tyndall ve Colletti, 2007; Patra, 2023). Genel kural ise başarılı bir rüzgâr perdesinin rüzgâr hızını %60 ila %80 arasında azaltabilmesidir (Collins, 2014).

Ayette açıklandığı gibi, üzüm bağının etrafının hurma ağaçlarıyla çevrili olması, rüzgârın her yönden geldiğini ve ürünlere olan olumsuz etkilerin önlenmesi için bahçenin tamamının hurma ağaçlarıyla çevrili olduğunu göstermektedir. Ayette bahçedeki ürünlerin hiç azalmadan veriminin devam ettiği de vurgulanmaktadır. Bu teknik bilgiler doğrultusunda, bahçedeki ürünlerde ışık eksikliği nedeniyle gelişim geriliği olmadığı sonucuna varılabilir.



Bazı çalışmalarda rüzgâr perdelerinin, havada bulunan hastalık etmenlerinin yayılmasını önlediği ve bu suretle mahsul verimlerini artırdığı belirtilmektedir (Gottwald ve Timmer, 1995; Ssematimba vd., 2012; Jonges vd., 2015). Tarımsal ormancılık sistemlerindeki rüzgar perdeleri mahsullere zarar veren zararlılardan da koruma sağlar. Yararlı böcek yoğunluğunu artırarak monokültürlere göre daha az epidemik hastalığın ortaya çıkmasına neden olur (Batish vd., 2008). Ağaçlar, böcek hareketini engelleyerek ve zararlı türlerin doğal düşmanları için habitat sağlayarak tarımsal mücadeleye katkıda bulunur (Buck vd., 1999) (Şekil 6). Tasvir edilen bahçenin her yıl bol ürün vermesi, periyodisite göstermemesi; yetiştirme koşullarından, hastalık ve zararlılardan kaynaklanan bir ürün kaybının olmadığı sonucuna varılabilir.



Şekil 6. Tarla etrafında hurma ağaçları ile tesis edilen rüzgâr perdeleri (HTML 1)

### **c. Hurma ağaçları gölge oluşturarak ürünleri yazın güneşin zararlarından ve kışın donlardan koruma fonksiyonu vardır**

Hurma, koruma işlevi açısından eşsiz bir tarımsal ormancılık bitkisidir. Makul düzeyde sağladığı gölge ile ara ve alt tabakada yetiştirilen ürünleri koruma işlevi üstlenir. Hurmanın taç kısmının geçen ışık miktarı, özellikle kış buğdayının fotosentezi için yeterli olmaktadır. Yapılan araştırmalar, ışığın tarımsal ormancılık sistemlerinde fotosentez ve biyolojik aktivite üzerinde etkili olan en önemli faktör olduğunu göstermektedir. Işık alım derecesi taç yapısı, bitki yaşı ve yüksekliği, yaprak alanı ve açısı ile taç yapısı ışığı iletme ve yansıtma özelliklerini etkilemektedir (Brenner, 1996; Garrett ve McGraw, 2000). Çalışmalar; geniş bir alan, geç yaprak açılması, kuzey-güney yönlü ağaç sıraları ve hurmadaki gibi uzun ve düz gövdeler sayesinde buğdayın sabah ve öğleden sonra daha yüksek PAR (Photosynthetically Active Radiation- Fotosentetik **Aktif** Radyasyon: Işığın 400 nm–700 nmspektral aralığında yer alan bölümü) seviyelerine ulaşabildiğini ortaya koymaktadır (Batish vd., 2008). Rüzgârlardan, erken veya geç mevsim donlarından korunduğunda, birçok meyve ve sebze üretimi artış göstermektedir (Collins, 2014). Hurmanın yaprak şekli ve şemsiye biçimindeki yapraklanma modeli, yazın güneşten ve kışın donlardan korunma

sağlayan bir siper etkisi yaratmaktadır. Ayrıca, hurmanın taç yapısı dolu zararlarına karşı da koruma sağlamaktadır (Şekil 3).

Ağaçların taç yoğunluğu, ışığı keserek altındaki tarım ürünlerinin verimini etkiler; gölge yoğunluğu arttıkça verim düşer (Patra, 2023). Sıcaklık, tarımsal ürünler için kritik bir iklim eşiğidir. Bitkilerin gelişim aşamalarında meydana gelen yüksek veya düşük sıcaklıklar verimi önemli ölçüde azaltabilir. Bazı tarımsal ürünlerin generatif üreme sınırları dar olup, 30°C'yi aşan sıcaklıklar polen kısırlığına yol açarak meyve tutumunu azaltmaktadır (Porter ve Semenov, 2005).

Asma ve buğdayın hurma gölgesinde bulunması, güneş ışığını azaltarak sıcaklığın düşmesine olanak tanır. Gölgeleme ve malçlama, tarımsal alanlarda büyük sorun olan yabancı otlarla mücadelede kullanılan yöntemlerdir. Dökülen bağ yapraklarının malçlama etkisi ve toprak yüzeyindeki buğday sapları yabancı ot yoğunluğunu azaltan kültürel işlemler olarak kabul edilebilir. Ağaçların gölgesi yabancı otların türü, yoğunluğu ve bileşimini değiştirebilir ve yabancı ot popülasyonlarını azaltabilir (Liebman ve Staver, 2001; Sileshi vd., 2006). Özellikle ışık şartlarında, yabancı otlar bir sorun haline gelebilir (Buck vd., 1999). Ağaçların gölgelemesi, mevcut bitkilerde zararlı böceklerin (Stamps ve Linit, 1998) ve yabancı ot yoğunluğunun azalmasını sağlamaktadır (Jama vd., 1991; Patra, 2023). Yabancı otlar farklı ekim sistemlerinde %28 ile %100 arasında kayıplara yol açabilir. Çoğu yabancı ot kontrolü elle yapılmakta ve çiftçinin iş gücünün %20 ile %50'sini alabilmektedir. Gölgelek parsellerde malç kullanımı, tohumdan çoğalan yabancı otları (%94) ve vejetatif olarak gelişen yabancı otları (%88) kontrol ederken, tam güneş altında yaprakla malçlama yabancı otları kontrol edememektedir (Budelman, 1988). Diğer tarımsal ormancılık sistemlerinde, gölge isteği yüksek olan geleneksel kahve üretim sistemlerinde %40-80 oranındaki gölge, yabancı ot sorunlarını minimize edebilmektedir (Buck vd., 1999).

#### **d. Hurmanın bahçe kenarlarında olması, ürünler arasındaki kök rekabetini en aza indiren bir sistemdir**

Ağaçlar ile otsu bitkiler arasındaki etkileşim, hem toprak üstünde hem de altında gerçekleşir. Bu etkileşim tamamlayıcı veya rekabetçi olabilir. İdeal bir etkileşimde, türlerin sağladığı ürün miktarı, tek başlarına sağladıkları ürün miktarına yakın olmalıdır. Tarımsal ormancılık sistemlerinde olumlu etkileşimler, artan verimlilik, besin döngüsü sağlama, toprak ve su koruma, yabancı ot kontrolü ve mikroiklimin iyileştirilmesi gibi sonuçlar doğurur. Olumsuz etkileşimler ise ışık, besin ve su rekabeti, zararlılar ve hastalıklar ile allelopatik etkilerdir (Patra, 2023). Bir kök sisteminin genel yapısının, genç ince köklerin dağılımı ile bu kökler arasındaki mikorizasyon ve fizyolojik özelliklerin anlaşılması, tarımsal ormancılık sistemlerinde türler arasındaki olumsuz

rekabetin önlenmesine katkı sağlamalıdır (Auclair ve Dupraz, 1999). Birlikte büyüyen bitkilerin kök sistemleri, şiddetli rekabetten, birbirini destekleyici etkileşimlere kadar çeşitli şekillerde bulunabilir. Rekabetin meydana geldiği durumlarda her zaman sistem için olumsuz sonuçlar oluşmaz; aksine, toplam besin ve su kullanımı artabilir. Örneğin üst toprak katmanındaki kök rekabeti, özellikle ağaç türlerinde köklerin daha derinlere doğru büyümesini sağlayabilir; bu da alt topraktaki su ve besin kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını ve bitkilerin kuraklığa karşı direncini artırabilir (Eastham ve ark., 1990). Bitki köklerinin dikey ve yatay dağılımı, genetik faktörler, köklerin fiziksel ve biyolojik ortamı, bitkinin fenolojik özellikleri ve toprak yönetimi gibi unsurlardan etkilenmektedir (Buck vd., 1999). Tarımsal ormancılık sistemlerinde kullanılan türler arasında kök rekabeti önemli bir konudur. Üst toprakta rekabetin minimumda tutulmasının yanı sıra, toprak altındaki kök rekabetinin de asgariye indirilmesi ve mikorizal ilişkiler aracılığıyla türlerin birbirini desteklemesi gerekir. Ayrıca sistemdeki türlerin farklı toprak katmanlarını kullanması tercih edilmektedir. Ağaçların yüksek yüzeyel kök yoğunlukları ile tarımsal bitkilerle rekabet etmesi istenmez (Buck vd., 1999; Patra, 2023). Bazı durumlarda bitki türlerinin kökleri, farklı toprak katmanlarını kullandığı dikey katmanlı kök sistemleri oluşturur (Lyford ve Wilson, 1964). Bu durum, kök rekabetinin azalmasını sağladığı için birçok tarımsal ormancılık uygulamasında arzu edilmektedir ve toprak kaynaklarının daha verimli kullanılmasına olanak tanımaktadır (Auclair ve Dupraz, 1999).

Tarımsal ormancılıkta kullanılan ağaçların kök sistemleri, toprak ve ürünler üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Çürüyen köklerin dönüşümü, toprak karbon içeriğini artırır, besin maddelerinin tutulmasını sağlar ve sıkışmış toprak katmanlarının fiziksel olarak iyileşmesine katkıda bulunur. Derin köklü ağaçlar, alt katmanlardaki ulaşılması güç besin kaynaklarını kullanarak bitkilere tamamlayıcı bir destek sağlar (Auclair ve Dupraz, 1999). Topraktaki ince köklerin çürümesi, toprak özelliklerinin fiziksel ve kimyasal olarak iyileşmesine yardımcı olur (Gordon ve Jackson, 2000). Bu nedenle kök derinliği ve kök sistemlerinin dikey dağılımı tarımsal ormancılık için kritik öneme sahiptir. Kök derinliği, bitkilerin alt toprak suyu ve besin maddelerine erişimi belirleyerek, üst toprak katmanına olan bağımlılıklarını azaltır. Böylece daha yüzeyel köklü bitkilerin, besin pompalama ve hidrolik kaldırma yoluyla suya erişimi sağlanabilir (Emerman ve Dawson, 1996). Tarımsal sistemlerde yağışın yalnızca %5-30'unun yıllık mahsuller tarafından kullanıldığı göz önüne alındığında, ağaçlar hem mekansal hem de zamansal tamamlayıcılık ve rekabet fırsatları yaratmaktadır (Wallace, 2000; Ong vd., 2014). Ayetlerde tasvir edilen sistemde, verimi etkileyen bir kök rekabetinin yaşanmadığı, aksine, özellikle asma ve buğdayın bulunduğu tarımsal ormancılık sistemlerinde asma köklerinin daha derin kaynaklardan beslenmesini sağladığı bilinmektedir.

#### **e. Hurma ağaçları, bağ ve buğdayın organik madde sağlanmasına ve toprak neminin muhafazasına katkı sağlar**

Toprağın üst katmanları bitki besin maddeleri ve organik madde açısından en değerli tabakadır. Kur'an-ı Kerim'de tasvir edilen sistemde verimlilik açısından olumsuz bir durum mevcut değildir; verimliliğin sürekli ve bol olması herhangi bir toprak veya besin kaybı yaşanmadığını göstermektedir. Rüzgâr erozyonu, organik madde kaybını artırıp su tutma kapasitesini azalttığından bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Özellikle hurma ağaçları, rüzgâr erozyonunu engelleyerek, dökülen yapraklarıyla toprağı zenginleştirir ve su tutma kapasitesini artırır. Buğday hasat edildikten sonra toprakta kalan sap ve köklerin çürümesi, toprağın organik maddesine katkıda bulunur. Ayrıca buğday sapları ve kökleri, toprağın üst kısmını rüzgâr erozyonuna karşı koruma sağlar. Organik madde, bitkilere besin sağlama, besinleri tutma yeteneği ve toprak yapısını gevşetme açısından son derece önemlidir (Kidd ve Pimentel, 1992). Ağaçların ürettiği organik madde, toprak mikrobiyal aktivitesini %30'a kadar artırmaktadır (Young, 1989a). Yüksek organik madde içeriği aktif toprak faunası ve florası ile toprağın su tutma kapasitesini artırarak geçirgenliği iyileştirmektedir (Nair, 1987). Tarımsal ormancılık sistemlerinde, yüzey malç katmanı toprağı kinetik etkilerden koruyucu etkiye bir sahiptir (Riha ve McIntyre, 1999; Cerdà ve Rodrigo-Comino, 2018). Organik madde, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Tarımsal ormancılık uygulamalarının toprak organik maddesini %100 oranında artırabileceği (Young, 1989b) ve sadece %10'luk organik madde artışının, toprak erozyonunu %13-23 oranında azaltabildiği belirlenmiştir (Young, 1989c; Batish vd., 2008; Udawatta ve Jose, 2021). Bitki örtüsü olmadığında, sıcak ve güneşli günlerde ıslak toprak yüzeyinden günde 5 mm'ye kadar su buharlaşabilir (Buck vd., 1999). Toprak yüzeyinin malçlanması, bir örtü sağlarken aynı zamanda yüzey köklenmesini teşvik eder; bu örtü ve köklenme, toprak buharlaşmasını azaltır (Loomis ve Connor, 1992). Tarım-orman sistemleri organik maddeyi %100 oranında artırabilir ve ortalama her %1'lik organik madde artışı, toprakta mevcut su tutma kapasitesini %19 artırmaktadır (Young, 1989b; Minasny ve McBratney, 2015).

Ağaçlar, genellikle tarım bitkilerine kıyasla daha derin köklere ve daha fazla ince kök kütlesine sahip olduğundan, suyu tek yıllık bitkilerden daha etkili bir şekilde alabilir (Jose vd., 2000). İnce kökler genellikle toprağın 30 cm'lik üst kısmında yoğunlaşır ve en fazla su dalgalanması bu katmanda meydana gelir (Nissen vd., 1999; Gillespie vd., 2000) ve bu katmanda su ve besin rekabeti oldukça yoğundur (Lehmann vd., 1998). Bazı durumlarda ağaçlar ve tarım bitkileri, kök derinliği ve yoğunluklarındaki farklılıklar sayesinde toprak katmanlarındaki su rezervlerini farklı şekillerde kullanabilir (Wanvestraut vd., 2004).

Tarım ürünleri büyük miktarlarda suya ihtiyaç duyar (Kidd ve Pimentel, 1992). Tarımsal ormancılık sistemlerinde ağaçlar toprak nemini çeşitli mekanizmalarla korur. Ağaç gölgeleri, sıcaklık ve güneş ışığını azaltarak buharlaşmayı düşürür (Lin, 2007). Ağaç yapraklarının döküntüsü, malçlama etkisi yaratarak yüzey sıcaklığını ve toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşmayı azaltır, suyun toprağa sızmasını artırır (Riha ve McIntyre, 1999). Ayrıca ağaçlar yağmur damlalarının kinetik darbelerini azaltarak toprak yapısını korur (Lanyon vd., 2004) ve geleneksel tarım uygulamalarına kıyasla yağmur suyunu daha etkili toplar (Lott vd., 2002). Ağaçlar üzerinde tutulan su ile de su ekonomisine katkıda bulunur. Kökleriyle sıkışmış toprakları delerek ve çürüten kökler aracılığıyla kanallar oluşturarak gözenek miktarını ve su infiltrasyonunu artırır (Young, 1989a). Çürüten kökler, kemirgenler, karıncalar ve toprak solucanları tarafından oluşturulan ince boşluklar sayesinde suyun hızla yer altına sızmasını sağlar ve bu da topraktan olan buharlaşmayı en aza indirir (Buck vd., 1999). Ağaçlar hem organik madde hem de mikrobiyal aktiviteyi artırarak toprak yapısını iyileştirir; bu da suyu tutabilen mikro boşlukların oluşmasına katkıda bulunur (Lal, 1989). Genel olarak, tarımsal ormancılık sistemleri toprak nemini, su infiltrasyonunu ve su tutma kapasitesini önemli ölçüde artırabilir (Young, 1989b); bu durum, kuraklık direncinin artması ve sulama ihtiyacının azalmasını sağlar (Udawatta ve Jose, 2021). Bazı ürünler, kendinden sonraki ürünlerin su kullanım verimliliğini %20-30 oranında sinerjik olarak artırabilir (Anderson, 2005). Toprağın sürülmesi veya toprak yüzeyinde ürün kalıntılarının bırakılması, suyun korunmasına katkı sağlayan uygulamalardır (Lichtfouse, 2010). Sonbaharda ekim için toprağın işlenmesi daha fazla su depolanmasını sağlayan bir yöntemdir. Ayrıca, arpa veya buğday gibi ekinler kaldırıldıktan sonra kalan anız tabakası, toprak yüzeyini örterek su kaybını ve rüzgâr erozyonunu önler.

#### **f. Bahçenin temel unsurları üzüm bağları ve ekinlerdir; hurma ise bu modelin koruyucu unsurudur**

Rüzgâr hızının azaltılması, meyve, sebze ve ekin alanlarında oluşabilecek zararları engellemektedir. Özellikle çiçeklenme ve hasat dönemlerinde meydana gelen güçlü rüzgârlar, çiçeklerin zarar görmesine ve ürün tutumunun azalmasına yol açabilir. Olgunlaşmış ürünlerde ise rüzgârın neden olduğu zararlar, ürünlerin dökülmesi, dalların kırılması şeklinde olabilir. Hasat dönemine yakın zamanda meydana gelen rüzgâr, ekinleri yatırarak başakların kırılmasına ve yatmasına neden olur; bu da toprakla temas eden başakların çürümmesine ve ürün kaybına yol açabilir. Bahçenin etrafının hurma ağaçlarıyla çevrili olması, rüzgârdan kaynaklanan zararları azaltma konusunda etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ağaçların hem kış hem de yaz sıcaklıklarından koruma işlevi bu modelin önemli bir bileşenidir.

Bahçeden her yıl tam ürün alınması, türlerin tarımsal ormancılık sistemine tamamen uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca, meyve verimini etkileyen tozlaşma ve dölleme sorunlarının olmadığı anlaşılmaktadır. Aşırı rüzgârın çiçeklere verebileceği zarar tozlaşmayı engelleyebilir. Dünyadaki çiçekli bitkilerin %85'i tozlaşma için çoğunlukla böceklerle bağımlıdır (Ollerton et al. 2011). Çiçek açan ağaçlar nektar kaynakları ile arıları ve böcekleri çekerek tozlaşmada rol oynayabilir (Lagerlöf vd., 1992). Hurma ve üzümün şekerli olması, arı ve böcekleri çekerek birbirlerinin tozlaşmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Böcek polinasyonu, tarımsal üretim için kritik bir öneme sahiptir. Tarımsal ormancılık uygulamalarında ağaç-tarım kombinasyonlarının, böcek popülasyonu üzerinde olumlu etkileri olduğu ve polinatör çeşitliliğini artırdığı kanıtlanmıştır (Vandermeer, 1989; Altieri, 1991; Nair, 1993b; Gallai vd., 2009; Varah vd., 2013).

#### **g. Ekin tarlası her iki bahçenin ortasında konumlanmıştır**

Hurma, asma ve buğday gibi bitkilerin bir arada yetiştirildiği ara tarım sistemlerinde, ağaçların varlığı yerel mikroiklimi değiştirir. Kenarlarda bulunan ağaçlar, rüzgâr perdesi işlevi görerek havanın hareketini yavaşlatır ve genel olarak daha serin ve nemli bir ortam oluşturur (Batish vd., 2008). Ağaçların büyümesi uzun zaman aldığından, plantasyonun erken dönemlerinde rekabet genellikle daha düşüktür (Patra, 2023). Ağaç sıralarının oluşturduğu gölge, sıcaklığa duyarlı mahsullerin yetiştirilmesinde faydalı olabilir (Montagnini, 2017). Ağaçların kök sistemleri sıg, orta derin veya derin olabilir. Aynı toprak derinliğine sahip kök sistemleri, su ve besin maddeleri için rekabet eder ve birbirlerinin gelişimini etkileyebilir. İdeal olarak tarımsal ormancılık için seçilen ağaçların, tarımsal ürünlerle rekabeti en aza indiren derin kök sistemlerine sahip olması önemlidir (Collins, 2014). Etrafı hurma ağaçları ile çevrili üzüm bağları ve ortasında ekin olmak üzere tasvir edilen sistemde ürünlerde azalma olmaması, bu üç ürün arasında köklerin beslenme katmanlarındaki rekabetin verimi etkileyecek düzeyde olmadığını göstermektedir.

Ekin kavramı denildiğinde akla gelen ilk türler, arpa, buğday, yulaf ve çavdar gibi buğdaygillerdir. Bunun yanı sıra, “ekin” terimi, sebze veya bostan ekilen alanı da ifade edebilir. Ancak, ayette geçen "ekin" ifadesinin buğdaygillerden bir türü kastettiği güçlü bir ihtimaldir. Buğdaygillerden, hem insanlar için besin, hem de hayvan yemi olarak kullanılabilir. Örneğin, buğday veya arpadan insan gıdası olarak faydalanılırken, geriye kalan sapları hayvan beslemede kullanılabilir. Buğdaygillerin yaz ve kış türleri olmasına rağmen, Ayet'te bahsedilen tarımsal ormancılık sisteminde kullanılan türün kışlık türlerden olması muhtemeldir. Çünkü hurmanın yetiştiği yerlerin ekolojik koşulları, yaz aylarında meydana gelen kuraklık ve sıcaklık nedeniyle yazlık buğdaygillerin yetişmesini zorlaştırmaktadır.

Kur'an-ı Kerim'de işâret edilen tarımsal ormancılık sisteminden anlaşıldığı kadarıyla, buğday bahçenin orta kısmında yer almaktadır. Ayrıca kış döneminde bağlar vejetasyon döneminde olmadığı için buğday ile asmalar arasında kök ve besin rekabeti bulunmamaktadır. İlkbahar aylarında buğday olgunlaşma dönemine girdiğinden, kök rekabetinden etkilenmediği düşünülmektedir. Hasattan sonra toprağın üst kısmında bulunan buğday anızı ve kökleri, yaz döneminde malç görevi görür ve erozyonu ve su kaybını önler. Ayrıca yıl içerisinde çürüyen buğday kökleri, toprağı organik madde açısından zenginleştirmektedir.

**h. Her iki bahçenin verdiği ürünlerde azalma olmaması ve her yıl tam ürün vermesi, sistemin “kusursuz” işlediğini göstermektedir. Bahçelerin ortasında bulunan ırmak, doğal veya yapay sulama imkânı sunmaktadır**

Tarımsal ormancılık sistemlerinde başarı, olumsuz etkileşimlerin en aza indirilmesi ve olumlu etkileşimlerin maksimize edilmesi ile sağlanır (Thevathasan ve Gordon, 2004; Batish vd., 2008). Bitkilerin oluşturduğu kimyasalların, birbirlerinin büyümesini yavaşlatma, baskılama ve verimlerini etkileme durumuna allelopati denir (Rice, 1984; Patra, 2023). Bir kök sistemi, su ve besin alımı ile kimyasal (allelomatik) etkileşimleri aracılığıyla başka bir kök sisteminin gelişimini ve dağılımını kısıtlayabilir (Auclair ve Dupraz, 1999). Birçok çalışmada, ağaçların allelokimyasallar salgıladığı ve bitki büyümesini baskılayabileceği gösterilmiştir (Batish vd., 2008). Allelopatiyeye neden olan kimyasallara allelokimyasallar denir. Bu kimyasallar, bitkiler içinde ikincil metabolitler olarak sentezlenir ve taze veya çürüyen bitki parçalarının mikrobiyal ayrışması yoluyla ya da aromatik bitkilerin kök salgıları ile toprağı salınır (Rice, 1984). Bu kimyasallar ya toprakta birikir ya da toprak mikroorganizmaları tarafından dönüşüm veya detoksifikasyona uğrayabilir (Blum vd., 1999). Tarımsal ormancılık sistemlerinde, olumsuz veya antagonistik etkileşimler, rekabetçi ve allelopatik etkilerle sıkça karşılaşmaktadır. Özellikle eş zamanlı tarımsal ormancılık sistemlerinde, allelopatinin olumsuz etkileri ağaç-bitki-toprak etkileşimlerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır (Rao vd., 1998). Boyutları ve uzun ömürleri nedeniyle allelopatik özelliğı olan ağaçların olumsuz etkileri daha fazla olmaktadır. Yapraklar ve döküntülerin allelopatik etkisinin daha fazla olduğu bildirilmiştir (Rice, 1984; Rizvi vd., 1999).

Tarımsal ormancılık sistemlerinin kurulacağı toprakların, üzerindeki biyokütle ve ürünü yetiştirecek verimliliğı sahip olması gerekir. Aksi takdirde, sistemin işleyişi besin ve su yetersizliğı nedeniyle sağlıklı olmayacaktır. Bahçelerin ortasından geçen ırmak, alanın derin topraklı, verimli ve alüvyon karakterde olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tarımsal ormancılık sistemlerinde kullanılan türlerin birbirinin büyümesini ve verimini olumsuz etkilememesi önemlidir. Bahçenin her yıl tam ürün vermesi, kullanılan bitkiler arasında toprak

üstünde veya toprak altında kök rekabeti ve allelopati açısından olumsuz bir etkileşimin bulunmadığını göstermektedir. Tasvir edilen tarımsal ormancılık sisteminde, hurmanın, asmalardan dökülen yaprakların veya ekinlerden kalan artıkların birbirlerinin gelişimini olumsuz etkilemediği (allelopatik etki göstermediği) anlaşılmaktadır. Sistemin her yıl ve tam ürün vermesi, azalma olmaması türlerin yer üstü ve yer altı ilişkileri arasında olumsuz bir etkileşimin olmadığını vurgulamaktadır.

#### **4. Sonuç ve Öneriler**

Artan nüfus, küresel ısınma ve iklim değişikliği doğal kaynakların daha etkili ve verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Kur'an-ı Kerim'de tasvir edilen bahçe modelinin, günümüz tarımsal ormancılık sistemleri için ideal bir model olduğu anlaşılmaktadır. Sistemde kullanılan türlerin tam bir uyum içinde, verim azalmadan ve her yıl ürün alınması kaynakların verimli kullanıldığının vurgulanması, gelecekte kurulacak sistemlere örnek teşkil etmektedir. Detaylı şekilde ele alındığı şekilde, tarımsal ormancılık sistemlerindeki bitkiler, sistemin işleyişini engelleyen değil, sinerji oluşturan türlerden seçilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Yapılacak çalışmalarla model bahçe olarak verilen türler arasındaki kök rekabeti ve mikorizal ilişkiler araştırılabilir. İklim değişikliğinin şiddetlenerek devam edeceği öngörüldüğünde, kurulacak tarımsal ormancılık sistemleri, doğal kaynaklardan sürdürülebilir faydalanma ve gıda güvenliği açısından sigorta niteliğinde olacaktır. Çalışma, aynı zamanda metodu ve sonuçları itibarıyla bilimsel tefsir yaklaşımının orijinal bir örneği olarak kabul edilebilir.



## Kaynaklar

- Abbâs, F. (2007). *Muhâdarât*. (1. Basım). Dârü'n-Nefâis.
- Abdülbâkî, M. (1988). *el-Mu'cemü'l-müfehres*. (2. Basım). Dârü'l-Hadis.
- Adetunji AT, Lewu FB, Mulidzi R, Ncube B (2017) The biological activities of  $\beta$ -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. *J Soil Sci Plant Nutr* 17:794–807
- Alavalapati, J. R. R., & Mercer, D. E. (2004). *Valuing agroforestry systems: Methods and applications*. Kluwer Academic Publishers.
- Allen, S., Jose, S., Nair, P. K. R., Brecke, B. J. and Nkedi-Kizza, P. 2004. Safety net role of tree roots: Experimental evidence from an alley cropping system. *Forest Ecology and Management* 192:395–407.
- Altieri MA, Ponti L, Nicholls CI, York A (2005) Designing biodiverse, pest-resilient vineyards through habitat management. *Practical Winery and Vineyard*. [https://agroecology.berkeley.edu/resources/Altieri\\_2005\\_Designing\\_biodiverse\\_pestresilient\\_vineyards.pdf](https://agroecology.berkeley.edu/resources/Altieri_2005_Designing_biodiverse_pestresilient_vineyards.pdf). Accessed 15 May 2025
- Altieri, M.A. 1991. Increasing biodiversity to improve pest management in agro-ecosystems. In *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*, ed. D.L. Hawksworth, 165–182. Wallingford, UK: CAB International.
- Âlûsî, Ş. M. (2015). *Rûhu'l-meânî*. (3. Basım). Müessesetü'r-Risâle.
- Amacher MC, O'Neill KP, Perry CH (2007) Soil Vital Signs: a New Soil Quality Index (SQI) for Assessing Forest Soil Health. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, Colorado: U.S. Department of Agriculture
- Anderson RL (2005) Are some crops synergistic to following crops? *Agron J* 97:7–10
- Auclair, D., & Dupraz, C. (1999). *Agroforestry for sustainable land-use: Fundamental research and modelling with emphasis on temperate and Mediterranean applications*. Reprinted from *Agroforestry Systems*, 43(1-3). Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Balick, M. J. and Beck, H. T., Eds., 1990, *Useful Palms of the World: A Synoptic Bibliography*, Columbia University Press, New York.
- Barrios E, Sileshi G, Shepherd K, Sinclair FL (2012) Agroforestry and soil health: linking trees, soil biota and ecosystem services. In: Wall DH (ed) *The Oxford handbook of soil ecology and ecosystem services*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp 315–330

- Batish, D. R., Kohli, R. K., Jose, S., & Singh, H. P. (2008). *Ecological basis of agroforestry*. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group.
- Bayala, J., Sanou, J., Bazie, P. and van Noordwijk, M. (2013) *Empirical Data Collection of Tree Effects on Temperature and Humidity at Crop Level*. CRP 7 Activity Report, World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya.
- Bayala, J., Sanou, J., Teklehaimanot, Z., Kalinganire, A. and Ouedraogo, S.J. (2014) Parklands for buffering climate risk and sustaining agricultural production in the Sahel of West Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6, 28–34.
- Beydâvî, N. (2001). *Envâru't-tenzîl ve esrâru't-te'vîl*. (1. Basım) Dâr Sadr.
- Blum, U., S.R. Shafer and M.E. Lehman. 1999. Evidence for inhibitory allelopathic interactions involving phenolic acids in field soils: concept vs. an experimental model. *Critical Reviews in Plant Sciences* 18:673–693.
- Bondada BR, Keller M (2012) Not All Shrivels Are Created Equal—Morpho-Anatomical and Compositional Characteristics Differ among Different Shivel Types That Develop during Ripening of Grape (*Vitis vinifera* L.) Berries. *Am J Plant Sci* 3:879–898
- Borrelli P, Robinson DA, Fleischer LR, Lugato E, Ballabio C, Alewell C, Meusburger K, Modugno S, Schutt B, Ferro V, Bagarello V, Van Oost K, Montanarella L, Panagos P (2013) An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nat Commun* 8:1–13
- Brandle, J. R., Hodges, L. and Wight, B. 2000. Windbreak practices. In: Garrett, E., Rietvald, W. and Fisher, R. (Eds), *North American Agroforestry: an Integrated Science and Practice*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Brandle, J.R. and J. Kort. 1991. WBECN: A windbreak evaluation model. 1. Comparisons of windbreak characteristics. In *Proceedings of Third International Windbreak and Agroforestry Symposium*, 129–131. Ontario, Ridgertown, Canada: Ridgertown College.
- Brandle, J.R., Hodges, L. and Zhou, X.H. (2004) Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforestry Systems* 61–62, 65–78.
- Brenner, A.J. 1996. Microclimatic modifications in agroforestry. In *Tree–Crop Interactions: A Physiological Approach*, ed. C.K. Ong and P. Huxley, 159–187. Wallingford, UK: CAB International
- Buck, L. E., Lassoie, J. P., & Fernandes, E. C. M. (1999). *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. CRC Press LLC. Washington, D.C.

- Budelman, A., (1988). The performance of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Flemingia macrophylla* and *Gliricidia sepium* in weed control. *Agrofor. Sys.* 6:137-145.
- Cannell, M. G. R., Van Noordwijk, M. and Ong, C. K. (1996). The central agroforestry hypothesis: The trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agrofor. Syst.* 34, 27–31. doi:10.1007/BF001229630
- Caporali F (2004) Agriculture and health. The challenge of organic farming. Editeam, Cento (FE), Italy
- Cerdà A, Rodrigo-Comino J (2018) Is the hillslope position relevant for runoff and soil loss activation under high rainfall conditions in vineyards? *Ecohydrol Hydrobiol* 255:1–14
- Collins, E. P. (2014). *Agroforestry: A practical guide to profitable farms and woodlands*. Nova Science Publishers, Inc.
- Dagar, J. C., & Tewari, V. P. (2017). *Agroforestry: Anecdotal to modern science*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Dagar, J. C., Gupta, S. R., & Teketay, D. (2020a). *Agroforestry for degraded landscapes: Recent advances and emerging challenges* (Vol. 2). Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Dagar, J. C., Gupta, S. R., & Teketay, D. (2020b). *Agroforestry for degraded landscapes: Recent advances and emerging challenges* (Vol. 1). Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Descheemaeker, K., Bunting, S. W., Bindraban, P., Muthuri, C., Molden, D., Beveridge, M., van Brakel, M., Herrero, M., Clement, F., Boelee, E. and Jarvis, D. I. (2013). Increasing water productivity in agriculture. In: E. Boelee (Ed.), *Managing Water and Agroecosystems for Food Security*. Book Series: Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series. Vol. 10, pp. 104–23. doi:10.1079/9781780640884.0000.
- Di Carlo P, Aruffo E, Brune WH (2019) Precipitation intensity under a warming climate is threatening some Italian premium wines. *Sci Total Environ* 685:508–513
- Dixon, R. K., (1995). Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry System*, 31, 99–116.
- Dokoozlian NK (2016) Grape berry growth and development. In: The grapevine. UC Davis, Davis, CA
- Dransfield J, Uhl NW, Asmussen CB, Baker WJ, Harley MM, Lewis CE (2008) Genera Palmarum—the evolution and classification of palms. Kew, UK, The Board of Trustees of Royal Botanic Gardens

- Dufourcq T, Lopez F, Vergnes M, Gontier L (2017) Use of proxy sensors to characterize spatial variability on agroforestry vineyards. Group of International Experts for Cooperation on Vitivinicultural Systems GiESCO. Conference Paper, 20th International GIESCO Symposium, Mendoza, Argentina
- Dunn GM, Martin SR (2008) Do temperature conditions at budburst affect flower number in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon? *Aust J Grape Wine Res* 6(2):116–124
- Dupraz C, Goma-Fortin N, Trambouze W, Kreiter S, Tixier MS, Gary C (2009) Vineyard agroforestry: a new concept for a sustainable vineyard production. In: Proceedings from the 2nd World Congress of Agroforestry (WCA2) August 2009, Ken, France. (hal-02758349)
- Eastham, J. and C.W. Rose. 1990. Tree=pasture interactions at a range of tree densities in an agroforestry experiment. I. Rooting patterns. *Australian Journal of Agricultural Research* 41:683–695.
- Emerman SHand Dawson TE (1996) Hydraulic lift and its influence on the water content of the rhizosphere: an example from sugar maple, *Acer saccharum*. *Oecologia* 108: 273-278
- Fabre E (2014) Des vignes entre champs et bois. Le cas de la marge pyrénéenne du vignoble languedocien (milieu XVIIIe-milieu XIXe siècle). In: Proceedings of the Bordeaux conference. Association for the History of Rural Societies, Caen, France, pp 373–386
- Fanish, S. A., & Priya, R. S., (2013). Review on benefits of agro forestry system. *International Journal of Education and Research*, 1(1), 1–12.
- Fernandez, M. E., Gyenge, J., Licata, J, Schlichter, T. and Bond, B. (2008). Belowground interactions for water between trees and grasses in a temperate semiarid agroforestry system. *Agrofor. Syst.* 74, 185–97. doi:10.1007/s10457-008-9119-4.
- Francis CA, Altieri MA, Nicholls CI (2004) Designing species-rich, pest-suppressive agroecosystems through habitat management. In: Rickerl D, Farnicis C (eds) *Agroecosystems analysis*. Madison, WI, pp 49–62
- Freeman BM, Kliever WM, Stern P (1982) Influence of windbreaks and climatic region on diurnal fluctuation of leaf water potential, stomatal conductance, and leaf temperature of grapevines. *Am J Enol Vitic* 33:233–236
- Gallai N, Salles JM, Settele J, Vaissière BE (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol Econ* 68(3):810–821

- Garcia L, Celette F, Gary C, Ripoché A, Valdés-Gómez H, Metay A (2018) Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: a review. *Agric Ecosyst Environ* 251:158–170
- García-Barrios, L. 2003. Plant–plant interactions in tropical agriculture. In *Tropical Agroecosystems*, ed. J. Vandermeer, 1–58. New York, NY: CRC Press.
- Garrett, H. E. G. (1997). *Agroforestry: An integrated land-use management system for production and farmland conservation*. [United States Department of Agriculture Soil Conservation Service [USDASCS] Report 68-3A7S-3-134]. Fort Collins, CO: USDA-SCS.
- Garrett, H.E. and R.L. McGraw. 2000. Alley cropping practices. In *North American Agroforestry: An Integrated Sand Practice*, ed. H.E. Garrett, W.J. Rietveld and R.F. Fisher, 149–188. Madison, WI: American Society of Agronomy
- Giller, K. 2001. *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*. 2nd edition. Wallingford, UK: CAB International.
- Gillespie, A. R., Jose, S., Mengel, D. B., Hoover, W. L., Pope, P. E., Seifert, J. R., Biehle, D. J., Stall, T. and Benjamin, T. 2000. Defining competition vectors in a temperate alleycropping system in the midwestern USA: I. Production physiology. *Agroforestry Systems* 48:25–40.
- Gordon, A. M., Newman, S. M., & Coleman, B. R. W. (2018). *Temperate agroforestry systems* (2nd ed.). CAB International.
- Gordon, W.S. and Jackson, R.B. (2000) Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology* 81, 275–280.
- Gosme M, Delmotte S, Grimaldi J, Trambouze W (2019) Diachronic study of the effect of growing trees on grapevine yield: 24 years of experience in the South of France. In: 4th World Congress on Agroforestry, INRA SYSTEM. Conference Paper, Montpellier, France
- Gottwald, T. R. and Timmer, L. W. 1995. The efficacy of windbreaks in reducing the spread of citrus canker caused by *Xanthomonas campestris* pv. citri. *Tropical Agriculture* 72, 194–201.
- Grimaldi J (2018) Impacts of agroforestry on microclimate for grape and wine production: assessment in Southern France. Dissertation, University of Toulouse, Toulouse, France
- Grimaldi J, Trambouze W, Dufourcq T, Vergnes M, Pelletier C, Helen F, Fieuzal R, Houet T, Bustillo V (2017) Can intercropped trees mitigate heat and drought effects on grapevines? A study of microclimate patterns in agroforestry vineyards, Southern France. In: Proceedings of the IUFRO Landscape Ecology Conference, 24–29 September 2017, Halle, Germany

- Grimaldi J, Wang Y, Gastellu-Etchegorry JP, Chavanon E, Lauret N, Guilleux J, Bustillo V, Houet T (2019) What are the impacts of tree shade on the absorption of light by grapevine in alley-cropped vineyards? In: Proceedings of the 4th World Congress on Agroforestry, 20–22 May 2019, Montpellier, France
- Hillbrand A, Borelli S, Conigliaro M, Olivie A (2017) Agroforestry for landscape restoration: FLRM-Forest and landscape restoration mechanism. <http://www.fao.org/3/b-i7374e.pdf>
- HTML 1.<https://www.gettyimages.com/photos/date-palm-plantations?page=5>
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M. (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York.
- Îcî, M. (2024). *Câmiü 'l-beyân fî tefsîri 'l-Kur'ân*. (1. Basım) Mektebetü İmam ez-Zehbî.
- Jama, B., A. Getahun and D.N. Ngugi. 1991. Shading effects of alley cropped *Leucaena leucocephala* on weed biomass and maize yield at Mtwapa, Coast Province, Kenya. *Agroforestry Systems* 13:1–11.
- Jawaid, M., Midani, M., & Khiari, R. (2023). *Proceedings of the 2nd World Conference on Byproducts of Palms and Their Applications*. Palma, Kuala Lumpur, Malaysia: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Jhariya, M. K., Bargali, S. S., & Raj, A., (2015). Possibilities and perspectives of agroforestry in Chhattisgarh. In: Miodrag, Z., (ed.), *Precious Forests - Precious Earth* (pp. 238–257). InTech E- Publishing Inc.
- Johnson, D., 1988. Palms as multipurpose cash and subsistence tree crops,” in *Multipurpose tree species for small-farm use*, Withington, D., MacDicken, K. G., Sastry, C. B., and Adamas, N. R., Eds., Winrock International, Arlington, VA.
- Johnson, R.J. and M.M. Beck. 1988. Influences of shelterbelts on wildlife management and biology. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22=23:301–335.
- Jones GV, Webb LB (2010) Climate change, viticulture, and wine: challenges and opportunities. *J Wine Res* 21:103–106
- Jonges, M., Van Leuken, J., Wouters, I., Koch, G., Meijer, A. and Koopmans, M. 2015. Windmediated spread of low-pathogenic avian influenza virus into the

- environment during outbreaks at commercial poultry farms. *PLoS ONE* 10(5), e0125401. doi:10.1371/journal.pone.0125401.
- Jose S, Holzmüller EJ, Gillespie AR (2009) Tree–crop interactions in temperate Agroforestry. In: Garrett HE (ed) *North American Agroforestry: an integrated science and practice*, 2nd edn. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp 57–74
- Jose, S., & Gordon, A. M. (2008). *Toward agroforestry design: An ecological approach*. Springer Science + Business Media B.V.
- Jose, S., A.R. Gillespie, J.R. Seifert and D.J. Biehle. 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 2. Competition for water. *Agroforestry Systems* 48:41–59.
- Kedaitiene, A., & Martinaviciene, R., (2005). *Rural Areas in Lithuania: Significant Development, 99th Seminar of the EAAE: The Future of Rural in Global Agri-Food System*. Copenhagen, Denmark.
- Kendall, H.W. and Pimentel, D., 1994, “Constraints on the expansion of the global food supply,” *Ambio*, 23, 198.
- Kidd, C. V., & Pimentel, D. (1992). Integrated resource management. In *Agroforestry for development*. Academic Press, Inc. San Diego, CA.
- Kumar, B. M., (2006). Agroforestry: The new old paradigm for Asian food security. *Journal of Tropical Agriculture*, 44(1–2), 1–14.
- Kyereh, D. (2017). Shade trees in cocoa agroforestry systems in Ghana: Influence on water and light availability in dry seasons. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 10(2), 1–7.
- Lagerlöf, J., Stark, J., and Svensson, B., 1992, “Margins of agricultural fields as habitat for pollinating insects,” *Ag. Ecosyst. Env.* 40, 117–124.
- Lal R (1989) Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: *V. Agrofor Syst* 8:217–238
- Lanyon DM, Cass A, Hansen D (2004) The effect of soil properties on vine performance. Technical Report, CSIRO Land and Water, South Australia
- Lavee S (2000) Grapevine (*Vitis Vinifera*) growth and performance in warm climates. In: Erez A (ed) *Temperate fruit crops in warm climates*. Bet Dagen, Israel, pp 343–366
- Lehmann, J., I. Peter, C. Steglich, G. Gebauer, B. Huwe and W. Zech. 1998. Below-ground interactions in dryland agroforestry. *Forest Ecology and Management* 111:157–169.

- Lelle MA, Gold MA (1994) Agroforestry systems for temperate climates: lessons from Rome Italy. *Forest Conserv History* 38(3):118–126
- Lichtfouse, E. (2010). *Biodiversity, biofuels, agroforestry and conservation agriculture*. Springer Science+Business Media B.V.
- Liebman, M. and C. Staver. 2001. Crop diversification for weed management. In *Ecological Management of Agricultural Weeds*, ed. M. Liebman, C.L. Mohler and C.P. Staver, 322–374. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- Lin, B.B. (2007) Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 144, 85–94.
- Loomis, R. S. and Connor, D. J., 1992, *Crop ecology: productivity and management in Ag. Syst.*, Cambridge
- Lott JE, Khan AA, Ong CK, Black CR (1995) Sap flow measurements of lateral tree roots in agroforestry systems. *Tree Physiol* 16:95–1001
- Lott, J.E., A.A.H. Khan, C.R. Black and C.K. Ong. 2002. Water use in a *Grevillea robusta*-maize overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya. *Forest Ecology and Management* 85:1–15.
- Lowenfels, J., & Lewis, W., (2010). *Teaming with Microbes: The Organic Gardener's Guide to the Soil Food Web* (p. 220). timber Press, Portland.
- Lyford WH and Wilson BF (1964) Development of the root system of *Acer rubrum* L. *Harvard Forestry Paper* 10: 1-17
- Martínez-Casasnovas JA, Ramos MC (2006) The cost of soil erosion in vineyard fields in Penedès–Anoia Region (NE Spain). *Catena* 68:194–199
- Maundu, P., Tengnas, **B.**, **Muema, N.**, & **Birnie, A.** (2005). *Useful trees and shrubs for Kenya*. Principal illustrators: World Agroforestry Centre—Eastern and Central Africa Regional Programme.
- McCarthy MG, Cirami RM, McCloud P (1983) Vine and fruit responses to supplementary irrigation and canopy management. *South African J Enol Vitic* 4:67–76
- Mediapro, J. F. (2024). *The benefits of date palm leaves (Phoenix dactylifera) from Jannah Firdaus Paradise for body health & spiritual healing*. Cyber Sakura Flower Labs.
- Minasny B, McBratney AB (2015) Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *Eur J Soil Sci* 69:39–47



- Montagnini F (2015) Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. In: Montagnini F, Somarriba E, Murgueitio E, Fassola H, Eibl B (eds) *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Serie técnica informe técnico No. 402, CATIE, Turrialba, Editorial CIPAV, Cali, pp 269–297
- Montagnini F (2020) The contribution of agroforestry to restoration and conservation: biodiversity islands in degraded landscapes. In: Dagar JC, Gupta SR, Teketay D (eds) *Agroforestry for degraded landscapes: recent advances and emerging challenges*, vol 1. Springer, Singapore, pp 445–479. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4136-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4136-0_15)
- Montagnini, F. (2017). *Integrating landscapes: Agroforestry for biodiversity conservation and food sovereignty*. Springer International Publishing AG.
- Montagnini, F. (2024). *Integrating landscapes: Agroforestry for biodiversity conservation and food sovereignty* (2nd ed.). Springer Nature Switzerland.
- Morlat R, Remoué M, Pinet P (1984) Influence de la densité de plantation et du mode d'entretien du sol sur l'enracinement d'un peuplement de vigne planté en sol favorable. *Agronomie* 4:485–491
- Mosquera-Losada, M. R., & Prabhu, R. (2019). *Agroforestry for sustainable agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing.
- Nair PK (1993a) Component interactions. In: Nair PK (author) *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 243–258
- Nair PKR (2007) Perspective The coming of age of agroforestry. *J Sci Food Agric* 87:1613–1619
- Nair, P. K. R. (1987). "Soil Productivity under Agroforestry." In *Agroforestry: Realities, Possibilities, and Potentials*, edited by H. L. Gholz, p. 47. Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff in cooperation with ICRAF.
- Nair, P. K. R. 2008. *An Introduction to Agroforestry*. Springer (India) Pvt. Ltd., New Delhi.
- Nair, P. K. R., & Garrity, D. (Eds.). (2012). *Agroforestry: The future of global land use*. Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Nair, P. K.R, Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2021). *An introduction to agroforestry: Four decades of scientific developments* (2nd ed.). Springer Nature Switzerland AG.
- Nair, P.K.R. 1993b. *An Introduction to Agroforestry*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Nair, P.K.R. 1998. Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. *Agroforestry Systems* 38:223–245.
- Ndjiondjop, M.N., Cisse, F., Futakuchi, K., Lorieux, M., Manneh, B., Bocco, R. and Fatondji, B. (2010) Effect of drought on rice (*Oryza* spp.) genotypes according to their drought tolerance level. In: *Second Africa Rice Congress: Innovation and Partnerships to Realize Africa's Rice Potential*, Bamako, Mali, 22–26 March 2010.
- Nelliat EV, Bavappa KVA, Nair PKR (1974) Multi-storied cropping C new dimension of multiple cropping in coconut plantations. *World Crops* 26:262–266
- Nicholls CI, Ponti L, Altieri MA (2008) Enhancing plant diversity for improved insect pest management in Northern California organic vineyards. *Acta Horti* 785:263–278
- Nicolopoulou-Stamati P, Maipas S, Kotampasi C, Stamatis P, Hens L (2016) Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Front Public Health* 4:148
- Nissen, T.M., D.J. Midmore and M.L. Cabrera. 1999. Aboveground and belowground competition between intercropped cabbage and young *Eucalyptus torelliana*. *Agroforestry Systems* 46:83–93.
- Novara A, Pisciotta A, Minacapilli M, Maltese A, Capodici F, Cerdà A, Gristina L (2018) The impact of soil erosion on soil fertility and vine vigor. A multidisciplinary approach based on field, laboratory and remote sensing approaches. *Sci Total Environ* 622-623:474–480
- Nuberg, I.K. and Bennell, M. (2009) Trees protecting dryland crops and soil. In: Nuberg, I., George, B. And Reid, R. (eds) *Agroforestry for Natural Resource Management*. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.
- Ollerton J, Winfree R, Tarrant S (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120:321–326
- Olwig, M. F., Bosselmann, A. S., & Owusu, K. (2024). *Agroforestry as climate change adaptation: The case of cocoa farming in Ghana*. Springer Nature Switzerland AG.
- Ong, C. K., Black, C. R., & Wilson, J. (2015). *Tree–crop interactions: Agroforestry in a changing climate* (2nd ed.). CAB International.
- Ong, C., Black, C.R., Wilson, J., Muthuri, C., Bayala, J. and Jackson, N.A. (2014) Agroforestry: hydrological impacts. In: van Alfen, N. (ed.) *Encyclopaedia of Agriculture and Food Systems*, vol. 1, 2nd edn. Elsevier, San Diego, pp. 244–252.

- Pachauri RK, Meyer L (2015) Climate Change 2014 Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, World Meteorological Organization (WMO). Report, Geneva, Switzerland
- Pagay V, Collins C (2017) Effects of timing and intensity of elevated temperatures on reproductive development of field-grown Shiraz grapevines. *OENO One* 51(4)
- Parrotta, J. A., Dey de Pryck, J., Darko, O. B., Padoch, C., Powell, B. and Sandbrook, C. (2015), 'The historical, environmental and socio-economic context of forests and tree-based systems for food security and nutrition', in Vira, B., Wildburger, C. and Mansourian, S. (Eds), *Forests, Trees and Landscapes for Food Security and Nutrition. A Global Assessment Report*, pp. 51–85, <https://www.researchgate.net/publication/276950253> (Last accessed on 12 May 2025).
- Patra, A. K. (2023). *Introductory agroforestry*. CRC Press.
- Pedersen, H. B. and Balslev, H., 1990, "Ecuadorian palms for agroforestry," *AAU Reports*, 23, 1.
- Pimentel D (2006) Soil erosion: a food and environmental threat. *Environ Dev Sustain* 8:119–137
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S, Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., and Blair, R. D., 1995, "Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits," *Science*, 267, 1117.
- Pool RM, Dunst RM, Lakso AN (1990) Comparison of sod, mulch, cultivation, and herbicide floor management practices for grape production in nonirrigated vineyards. *J Am Soc Hortic Sci* 115:872–877
- Porter, J.R. and Semenov, M.A. (2005) Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360, 2021–2035.
- Raj, A., Jhariya, M. K., & Bargali, S. S., (2016). Bund based agroforestry using *Eucalyptus* Species: A review. *Current Agriculture Research Journal*, 4(2), 148–158.
- Raj, A., Jhariya, M. K., Yadav, D. K., & Banerjee, A. (2020). *Climate change and agroforestry systems: Adaptation and mitigation strategies*. Apple Academic Press, Inc.
- Rancâne S, Makovskis K, Lazdia D, Daugaviete M, Gtmane I, Brziš P (2014) Analysis of economical, social and environmental aspects of agroforestry systems of trees and perennial herbaceous plants. *Agron Res* 12(2):589–602

- Rao, M.R., P.K.R. Nair and C.K. Ong. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38:3–50.
- Rathore, A. K., Jhariya, M. K., Jain, R., & Kumar, S., (2014). Agriculture: Cause, victim as well as mitigator of climate change. *Eco. Env. & Cons.*, 20(3), 995–1000.
- Râzi, F. (1981) *Mefâtîhu'l-gayb*. Dâru'l-Fikr.
- Republic of South Africa. (2016). Production Guideline for Wheat. Agriculture, forestry & fisheries Department: Agriculture, Forestry and Fisheries
- Reynolds PE, Simpson J, Thevathasan NV, Gordon AM (2007) Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. *Ecol Eng* 29:362–371
- Rice, E.L. 1984. Allelopathy. 2nd ed. Orlando, FL: Academic Press.
- Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., & Mosquera-Losada, M. R. (2009). *Agroforestry in Europe: Current status and future prospects*. Springer Science + Business Media.
- Riha SJ, McIntyre BD (1999) Water management with hedgerow agroforestry systems. In: Buck LE, Lassoie JP, EDM F (eds) *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. Lewis Publishers, pp 47–67
- Ripley, B.S., Gilbert, M.E., Ibrahim, D.G. and Osborne, C.P. (2007) Drought constraints on C4 photosynthesis: stomatal and metabolic limitations in C3 and C4 subspecies of *Alloteropsis semialata*. *Journal of Experimental Botany* 58, 1351–1363.
- Rizvi, S.J.H., M. Tahir, V. Rizvi, R.K. Kohli and A. Ansari. 1999. Allelopathic interactions in agroforestry systems. *Critical Reviews of Plant Sciences* 18:773–796.
- Rowe, E. C., Hairiah, K., Giller, K. E., van Noordwijk, M. and Cadish, G. (1999). Testing the safety-net role of hedge row tree roots by <sup>15</sup>N placement at different soil depths. *Agrofor. Syst.* 43, 81–93. doi:10.1023/A:1022123020738.
- Saj, S., Durot, C., Mvondo Sakouma, K., Tayo Gamo, K. and Avana-Tientcheu, M. L. (2017), 'Contribution of associated trees to long-term species conservation, carbon storage and sustainability: A functional analysis of tree communities in cacao plantations of Central Cameroon', *International Journal of Agricultural Sustainability* 15(3), 282–302.
- Sanchez PA, Shepherd KD, Soule MJ, Place FM, Buresh RJ, Izac AN, Mokunye AU, Kwesiga FR, Ndiritu CG, Woomer PL (1997) An investment in natural

- resource capital. In: Buresh RJ, Sanchez PA, Calhoun F (eds) Soil fertility replenishment in Africa, Special Publication No. 51. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp 1–46
- Scialabba, N. E. H., (2007). Organic agriculture and food security. In: *Food and Agriculture Organization Paper* (p. 25). Rome: FAO.
- Semenov, M.S. and Porter, J.R. (1995) Climatic variability and the modelling of crop yields. *Agricultural and Forest Meteorology* 73, 265–283.
- Seobi T, Anderson SH, Udawatta RP, Gantzer C (2005) Influence of grass and agroforestry buffer strips on soil hydraulic properties for an Albaqualf. *Soil Sci Soc Am J* 69:893–901
- Sileshi GW, Mafongoya PL, Akinnifesi FK, Phiri E, Chirwa P, Beedy T, Makumba W, Nyamadzawo G, Njoloma J, Wuta M, Nyamugafata P, Jiri O (2014) Fertilizer trees. *Encyclopedia of agriculture and food systems*, vol 1. Elsevier, San Diego, pp 222–234
- Sileshi, G., E. Kuntashula and P.L. Mafongoya. 2006. Legume improved fallows reduce weed problems in maize in eastern Zambia. *Zambia Journal of Agriculture* 8:6–12.
- Sivakumar MVK (2007) Interactions between climate and desertification. *Agric For Meteorol* 142:143–155
- Smart DR, Carlisle E, Goebel M, Núñez BA (2005) Transverse hydraulic redistribution by a grapevine. *Plant Cell Environ* 28:157–166
- Smart DR, Schwass E, Lakso A, Morano L (2006) Grapevine rooting patterns: a comprehensive analysis and a review. *Am J Enol Vitic* 57:89–104
- Speth, J. G., 1994, *Towards an Effective and Operational International Convention of Desertification*, United Nations, International Convention of Desertification, Int. Negotiating Comm., New York.
- Ssematimba, A., Hagensaaers, T. J. and de Jong, M. C. M. 2012. Modelling the wind-borne spread of highly pathogenic avian influenza virus between farms. *PLoS ONE* 7(2), e31114. doi: 10.1371/journal.pone.0031114.
- Stamps, W.T. and M.J. Linit. 1998. Plant diversity and arthropod communities: implications for temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 39:73–89.
- Stephenson AG (1981) Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annu Rev Ecol Syst* 12:253–279
- Steppler HA, Lundgren BO (1988) Agroforestry: now and in the future. *Outlook Agric* 17(4):146–152

- Stewart BA, Koohafkan P, Ramamoorthy K (2006) Dryland agriculture defined and its importance to the world. In: Peterson GA, Unger PW, Payne WA (eds) Dryland agriculture. American Society of Agronomy Monograph 23, 2nd edn. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp 1–26
- Stocking, M., 1995, “Soil erosion and land degradation,” in *Environmental Science for Env. Mgt.*, O’Riordan, T., Ed., Longman Scientific & Technical, Essex, England, copublished with John Wiley & Sons, New York, 223.
- Sun H, Tang Y, Xie J (2008) Contour hedgerow intercropping in the mountains of China: a review. *Agrofor Syst* 73(1):65–76
- Tantâvi, M. (ty.) *et-Tefsîrû’l-vasîl li’l-Kur’âni’l-Kerim*. Dâru’s-Seâde.
- Thevathasan, N.V. and A.M. Gordon. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 61:257–268.
- Thomazini A, Mendonça ES, Cardoso IM, Garbin ML (2015) SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil. *Geoderma Reg* 5:15–24
- Trambouze W, Gouttesoulard D, Saubion C (2017) Agroforesterie viticole: 20 ans de complantation arbres/vignes, pour quels résultats agronomiques? Report. RMT Agroforesteries Chambre D’ Agriculture Hérault, Paris, France
- Tyndall, J. and Colletti, J. P. 2007. Air quality and shelterbelts: odor mitigation and livestock production a literature review. Forestry Publications Paper 1. Available at: [http://lib.dr.iastate.edu/for\\_pubs/1](http://lib.dr.iastate.edu/for_pubs/1).
- Udawatta RP, Anderson SH, Kremer RJ (2020) Soil benefits of agroforestry. In: Garrett HE, Jose S, Gold M (eds) North American Agroforestry: an integrated science and practice, 3rd edn. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America (ASA-CSSA-SSSA), Madison, WI
- Udawatta RP, Gantzer CJ, Reinbott TM, Wright RL, Pierce RA II (2016) Yield differences influenced by distance from riparian buffers and CRP. *Agron J* 108:647–655
- Udawatta, R. P., & Jose, S. (2021). *Agroforestry and ecosystem services*. Springer Nature.
- Uhl, N. W. and Dransfield, J. D., 1987, *Genera Palmarum, A Classification of Palms Based on the Work of Harold E. Moore, Jr.*, L. H. Bailey Hortorium and The International Palm Society, Lawrence, KS. University Press, Cambridge, U.K.

- Umrani, R., & Jain, C.K. (2010). *Agroforestry systems and practices*. Oxford Book Company. Mehra Offset Press. Delhi.
- Van Lerberghe, P. (2017). Planning an agroforestry project. *Agroforestry Best Practice Leaflets*. Agforward Research Project. <https://www.agforward.eu/index.php/en/best-practices-leaflet.shtml>.
- Van Noordwijk, M., Bayala, J., Hairiah, K., Lusiana, B., Muthuri, C., Khasanah, N. and Mulia, R. (2014) Agroforestry solutions for buffering climate variability and adapting to change. In: Fuhrer, J. and Gregory, P.J. (eds) *Climate Change Impact and Adaptation in Agricultural Systems*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 216–232.
- Van Noordwijk, M., Coe, R. and Sinclair, F. (2016). Central hypotheses for the third agroforestry paradigm within a common definition', Working paper 233, World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program, Bogor, Indonesia. doi:10.5716/WP16079.PDF (Last accessed on 22 December 2017).
- Vandermeer, J. 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Varah A, Jones H, Smith J, Potts SG (2013) Enhanced biodiversity and pollination in UK agroforestry systems. *J Sci Food Agric* 93(9):2073–2075
- Wallace, J.S. (2000) Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82, 105–119.
- Wanvestraut, R., S. Jose, P.K.R. Nair and B.J. Brecke. 2004. Competition for water in a pecan-cotton alley cropping system. *Agroforestry Systems* 60:167–179.
- Wilson H, Miles AF, Daane KM, Altieri MA (2017) Vineyard proximity to riparian habitat influences Western grape leafhopper (*Erythroneura elegantula* Osborn) populations. *Agric Ecosyst Environ* 211:43–50
- Wolz, K. J., Branham, B. E. and DeLucia, E. H. (2018). Reduced nitrogen losses after conversion of row crop agriculture to alley cropping with mixed fruit and nut trees. *Agric. Ecosyst. Environ.* 258, 172–81. doi:10.1016/j.agee.2018.02.024.
- Wood PJ (1990) The scope and potential of agroforestry. *Outlook Agric* 19(3):141–146
- Young A (1989a) Effects of trees on soils. In: Young A (author) *Agroforestry for soil conservation*. CAB International, Wallingford, UK, pp 93–103
- Young A (1989b) Soil organic matter. In: Young A (author) *Agroforestry for soil conservation*. CAB International, Wallingford, UK, pp 105–128

- Young A (1989c) Trends in soil-conservation research and policy. In: Young A (author) Agroforestry for soil conservation. CAB International, Wallingford, UK, pp 17–52
- Zomer R, Bossio D, Trabucco A, van Noordwijk M, Xu J (2022) Global carbon sequestration potential of agroforestry and increased tree cover on agricultural land. *Circ Agric Syst* 2:3. <https://doi.org/10.48130/CAS-2022>
- Zomer RJ, Neufeldt H, Xu JC, Ahrends A, Bossio D, Trabucco A, Noordwijk M, Wang M (2016) Global tree cover and biomass carbon on agricultural land: the contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Sci Rep* 6:29987. <https://doi.org/10.1038/srep29987>
- Zomer, R.J., Trabucco, A., Coe, R., Place, F. van Noordwijk, M. and Xu, Z. (2014) *Trees on Farm: an Update and Re-analysis of Agroforestry's Global Extent and Socio-ecological Characteristics*. Working Paper 179. ICRAF, Nairobi, Kenya.







## **BÖLÜM 10**

# Kuzey Ege Denizi'nden Avlanan Sardalya Balığı'nın (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) Boy-Ağırlık İlişkisi

Özgür Cengiz<sup>1</sup>

## Giriş

Küçük pelajik balıklar, planktondan daha üst düzey yırtıcılara kadar enerji aktarımını sağlayarak orta trofik basamaklarda yer alır (Peck ve ark., 2021). Bu türler, önemli ticari balıkçılıkların temelini oluşturur ve biyokütlelerindeki değişimler hem ekosistem yapısını hem de balıkçılık verimini doğrudan etkiler (Rooper ve ark., 2024). Ayrıca ekosistem dayanıklılığını ve trofik bağlantıları sürdürmede önemli rol oynarlar (Ouled-Cheikh ve ark., 2022). Bu nedenle, denizel kaynakların sürdürülebilir yönetimi ile ekosistemlerin çevresel ve insan kaynaklı değişimlere verdiği tepkilerin değerlendirilmesinde vazgeçilmez bir öneme sahiptirler. Bu türler arasında yer alan sardalya balığı (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) hem zooplankton tüketicisi olarak birincil üretimin enerji akışını düzenlemekte hem de çok sayıda balık, deniz kuşu ve deniz memelisi için önemli bir av kaynağı oluşturarak trofik bağlantının sürekliliğini sağlamaktadır. Bu nedenle, sardalya balığının popülasyon dinamiğine yönelik çalışmalar, yalnızca pelajik ekosistemlerin yapısal ve işlevsel özelliklerini değil, aynı zamanda üst trofik düzeylerdeki yırtıcı toplulukların sürdürülebilirliğini de doğrudan etkilemektedir (Albo-Puigserver ve ark., 2016).

*Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), genel olarak güney Fas'tan Manş Denizi'ne kadar, ayrıca Azor Adaları'ndan Doğu Akdeniz ve Karadeniz'e kadar uzanan geniş bir dağılım gösteren pelajik bir balık türüdür (Parrish ve ark., 1989). Ülkemiz sularında 2021-2022 yılları arasında sardalya av miktarının yıllık ortalama 17.000 tona ulaşması, türün yüksek ticari öneme sahip olduğunu göstermekte olup özellikle gırgır balıkçılığı tarafından avlanmaktadır (TÜİK, 2023). Ege Denizi'nde sardalyanın ortalama yıllık av oranının %52 olduğu bildirilmiştir (Cihangir ve Tıraşın, 1990). Türk balıkçılığındaki ticari önemi nedeniyle, bu tür üzerine biyoloji, popülasyon özellikleri, büyüme parametreleri, beslenme, mortalite oranları ve biyokütle gibi çeşitli konularda çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir (Erdoğan ve ark., 2025).

Sardalya balığının boy-ağırlık ilişkisine yönelik çalışmalar bulunmasına rağmen, bu ilişkiler çevresel koşullar, besin bolluğu, balıkçılık baskısı gibi

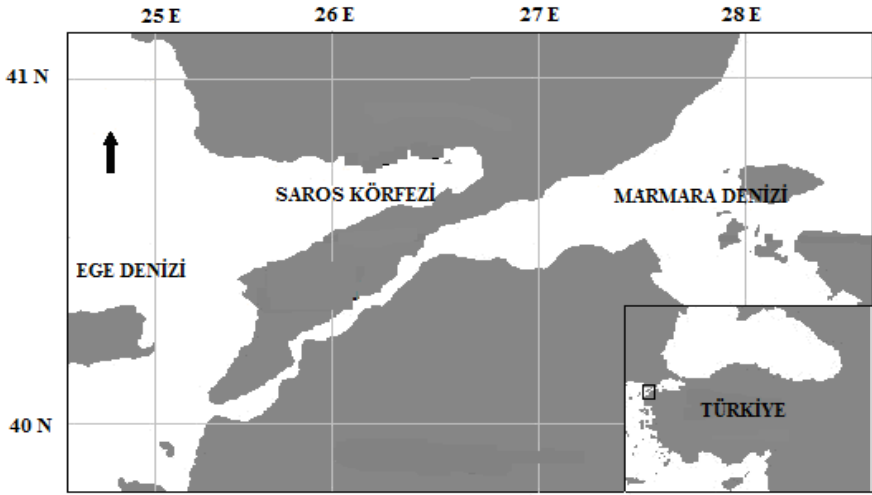
---

<sup>1</sup> Prof. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Van, Türkiye  
Orcid:0000-0003-1863-3482

faktörlere bağı olarak zamansal ve bölgesel ölçekte önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Bu parametrelerin belirli aralıklarla yeniden değerlendirilmesi popülasyonun güncel büyüme durumunun ortaya konulması açısından önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Saros Körfezi'nde avlanan sardalya balığının boy-ağırlık ilişkisi verilerini yeniden ele almak ve elde edilen parametreleri önceki çalışmalarla kıyaslamaktır.

### Materyal ve Yöntem

Ege Denizi'nin kuzeydoğusunda yer alan Saros Körfezi, güneyde Gelibolu Yarımadası ile kuzeyde Trakya kıyıları arasında uzanan ve yaklaşık 60 km boyunca içeriye sokulan üçgen biçimli bir körfezdır (Şekil 1)



Şekil 1. Saros Körfezi

Körfez, başta Meriç ve Kavak nehirleri olmak üzere çeşitli akarsuların taşıdığı sürekli tatlısu ve sediment girdileri nedeniyle besleyici elementler açısından zenginleşmekte ve bu durum bölgenin biyolojik üretkenliğini artırmaktadır. Ayrıca, boğazlar sistemi aracılığıyla taşınan daha soğuk ve düşük tuzluluklu Karadeniz sularının etkisi, körfezin hidrografik yapısını ve besin tuzu dağılımını önemli ölçüde şekillendirmektedir. Saros Körfezi'nin içinde bulunduğu Kuzey Ege Denizi, Güney Ege'ye kıyasla daha geniş bir kıta sahanlığına, çoğunlukla çamurlu ve kumlu düz bir dip yapısına ve daha yüksek besleyici element konsantrasyonlarına sahiptir. Bu çevresel özellikler, fitoplankton ve zooplankton üretiminin artmasına, dolayısıyla trofik düzeyler boyunca besin arzının yükselmesine ve daha yüksek balık stoklarının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenlerle Saros Körfezi, hem tür çeşitliliği bakımından zengin hem de bölgesel balıkçılık açısından önemli bir üretken denizel alan niteliğindedir (Cengiz, 2011).

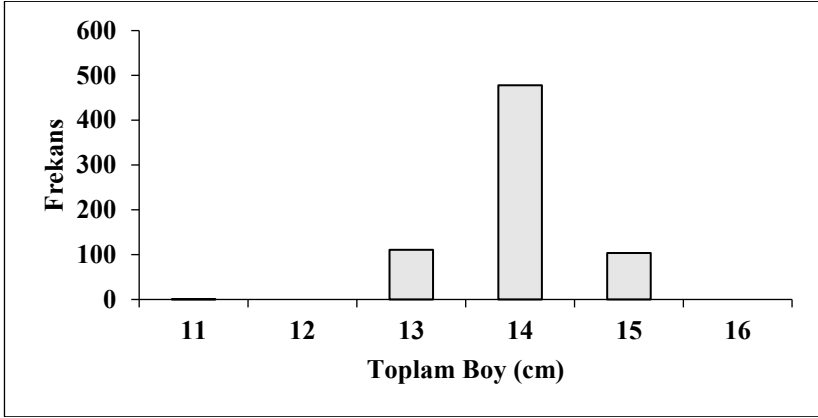
Balık örnekleri Temmuz 2014 - Haziran 2015 tarihleri arasında, Saros Körfezi'nde avlanan balıkçılardan ve körfez'den Çanakkale Balık Haline gelen balıklardan aylık olarak rasgele örnekleme yöntemi ile temin edilmiştir. Örnekler, laboratuara soğuk muhafaza koşullarında getirilmiştir. Laboratuara getirilen örneklerin toplam boyu ve toplam ağırlığı alınmıştır. Balıkların boy ölçümleri için  $\pm 1$  mm hassasiyetli boy ölçüm tahtası, vücut ağırlıklarının tartımı için  $\pm 0,01$  g hassasiyete sahip terazi kullanılmıştır. Balıklar ventralden disekte edilerek makroskopik olarak cinsiyetleri belirlenmiştir. Dişi ve erkek bireyler arasındaki oran Khi-kare testi ile dişi ve erkek bireylerin boy ve ağırlık ortalamaları arasındaki istatistiksel açıdan önem kontrolü Student's t testi ile saptanmıştır. Boy-ağırlık ilişkisinin belirlenmesinde Ricker (1975)'in  $W = aL^b$  eşitliğinden faydalanılmıştır ve dişi, erkek ve toplam bireyler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu denklemde W, gram cinsinden balığın ağırlığı; L, toplam boy (cm); a ve b büyüme ifade eden sabitlerdir.

### Bulgular ve Tartışma

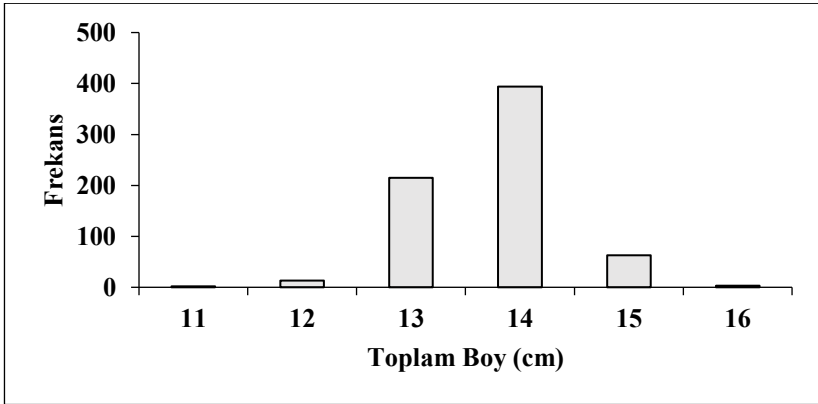
Temmuz 2014, Haziran 2015 tarihleri arasında toplam 4878 adet sardalya balığının boy ve ağırlık ölçümü yapılmıştır. Minimum ve maksimum boy ve ağırlık değerleri, sırasıyla, 11.0 cm (9.9 g) ve 15.8 cm. (29.95 g)'dir. En küçük birey Ekim 2014 de, en büyük birey ise Nisan 2015'de örneklenmiştir. Stoku oluşturan bireylerin ortalama boyu ve ağırlığı, sırasıyla,  $13.4 \pm 0.6$  cm. ve  $19.11 \pm 2.42$  g olarak bulunmuştur. İncelenen 1398 adet *S. pilchardus* bireyinin 701 (%50.1) adedinin dişi, 697 (%49.9) adedinin erkek olduğu tespit edilmiş, dişi: erkek oranı 1: 0.99 hesaplanmıştır. Dişi ve erkek bireylerin sayıları arasındaki fark önemli bulunmamıştır. ( $\chi^2$ ;  $P > 0.05$ ) (Tablo 1)

**Tablo 1.** Sardalya balığının (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) cinsiyetlere göre boy-ağırlık değerleri (N=Birey Sayısı, S.S=Standart Sapma, ♀=dişiler, ♂=erkekler,  $\Sigma$ =toplam bireyler)

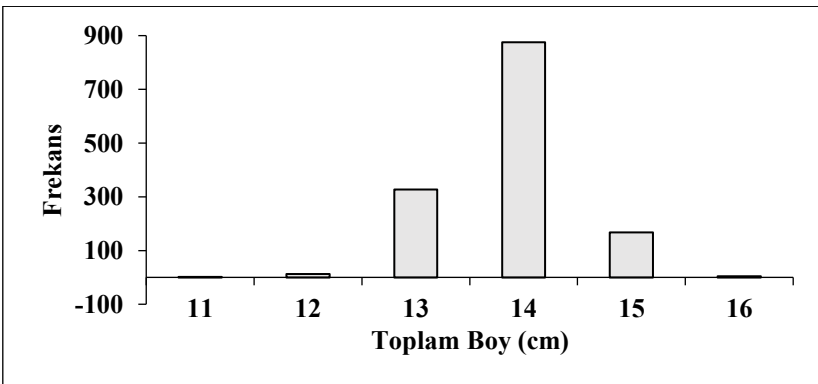
| Cinsiyet | N    | L <sub>ort</sub> | Min-Mak   | S.S  | W <sub>ort</sub> | Min-Mak     | S.S  |
|----------|------|------------------|-----------|------|------------------|-------------|------|
| ♀        | 701  | 13.5             | 12.2-15.1 | 0.49 | 19.40            | 13.20-27.09 | 2.18 |
| ♂        | 697  | 13.3             | 11.0-15.5 | 0.59 | 18.90            | 12.49-26.81 | 2.58 |
| ♀+ ♂     | 1398 | 13.4             | 11.0-15.5 | 0.56 | 19.15            | 12.49-27.09 | 2.58 |
| $\Sigma$ | 4878 | 13.4             | 11.0-15.8 | 0.61 | 19.11            | 11.90-28.00 | 2.55 |



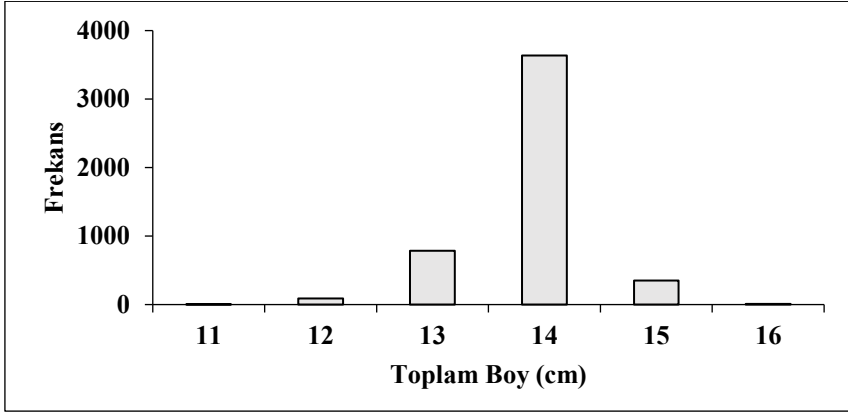
Şekil 2. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) dişi bireylerin boy dağılımı



Şekil 3. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) erkek bireylerin boy dağılımı

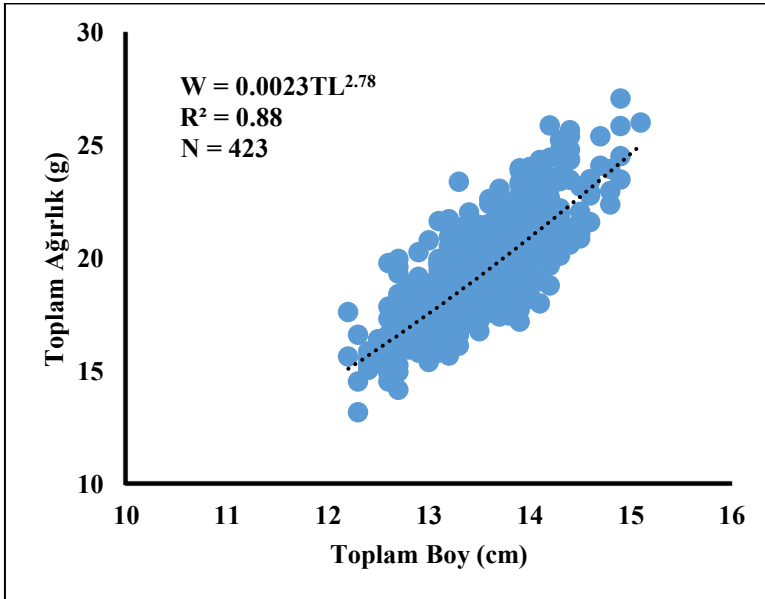


Şekil 4. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) dişi-erkek bireylerin boy dağılımı

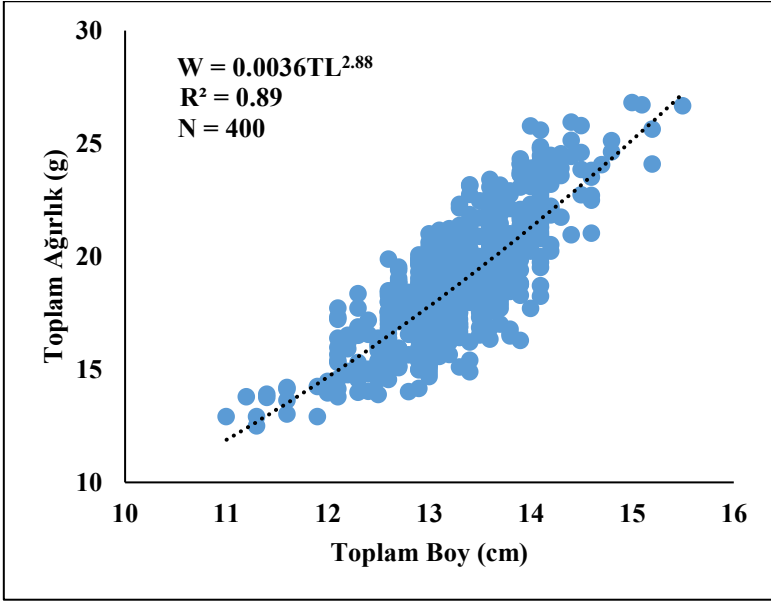


Şekil 5. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) tüm bireylerin boy dağılımı

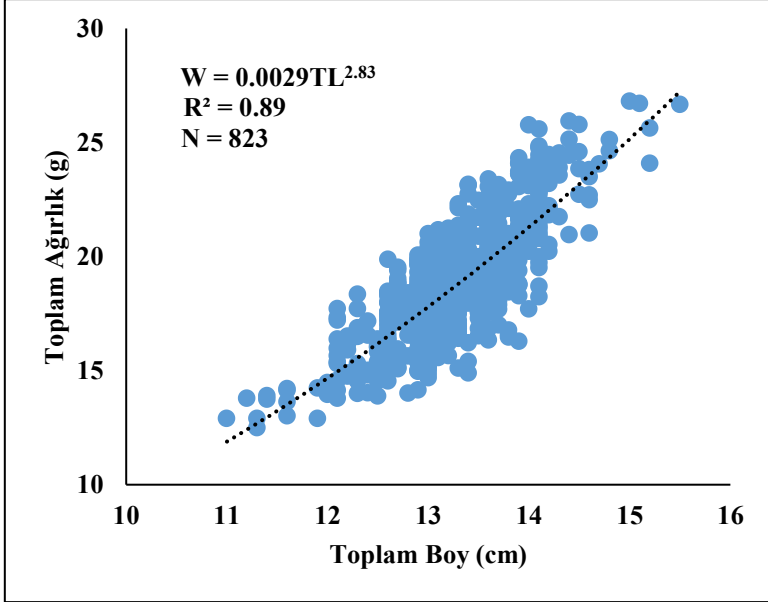
Sardalya balığının, (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792), toplam boy (TL) ve toplam ağırlık (W) arasındaki ilişki  $W = aTL^b$  ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır. Dişi bireyler için boy-ağırlık ilişkisi  $W = 0.0023 \cdot TL^{2.78}$  (Şekil 6), erkek bireyler için boy-ağırlık ilişkisi  $W = 0.0036 \cdot TL^{2.88}$  (Şekil 7), dişi-erkek bireyler için boy ağırlık ilişkisi  $W = 0.0029 \cdot TL^{2.83}$  (Şekil 8) ve tüm bireyler için  $W = 0.0083 \cdot TL^{2.92}$  (Şekil 9) olarak hesaplanmıştır. Sardalya balığını dişi, erkek, dişi-erkek ve tüm bireyleri için negatif allometrik büyüme gösterdiği tespit edilmiştir. T-testi dişi, erkek, dişi-erkek ve tüm bireylerin b değerleri arasında fark olmadığını göstermiştir ( $P > 0,05$ ).



Şekil 6. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) dişi bireylerin boy-ağırlık ilişkisi

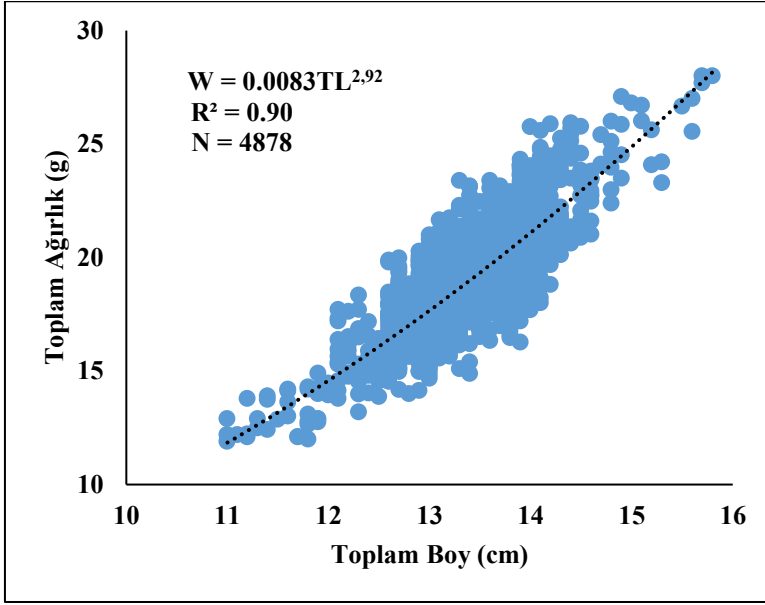


Şekil 7. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) erkek bireylerin boy-ağırlık ilişkisi



Şekil 8. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) dişi-erkek bireylerin boy-ağırlık ilişkisi





Şekil 9. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) tüm bireylerin boy-ağırlık ilişkisi

## Sonuç

Mevcut çalışma ile geçmiş bazı çalışmalar arasında sardalya balığının (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) boy aralığı ve boy-ağırlık ilişkilerinin kıyaslanması, kısaca, Tablo 2’de gösteriliyor.

**Tablo 2.** Mevcut çalışma ile önceki bazı çalışmalar arasında sardalya balığının (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) boy aralığı ve boy-ağırlık ilişkilerinin kıyaslanması

| Yazar(lar)                     | Bölge           | Cinsiyet | Birey Sayısı | Boy Aralığı (cm) | a      | b    |
|--------------------------------|-----------------|----------|--------------|------------------|--------|------|
| Mater ve Bayhan (1999)         | İzmir Körfezi   | D+E      | 364          | -                | 0.0045 | 3.39 |
| Karakayış ve Togulga (2000)    | İzmir Körfezi   | D+E      | 332          | 9.3 – 14.3       | 0.0062 | 3.21 |
| Voulgaridou ve Stergiou (2003) | Doğu Akdeniz    | -        | 51246        | -                | 0.0050 | 3.15 |
| Mustac ve Sinovčić (2007)      | Adriatik Denizi | D+E      | 1292         | 13.0 – 19.0      | 0.0261 | 2.55 |
| Silva ve ark. (2008)           | Ege Denizi      | D+E      | 60           | 11.0 – 16.0      | -      | -    |
| Erdoğan ve ark. (2010)         | Edremit Körfezi | D        | 285          | -                | 0.0274 | 2.64 |
|                                |                 | E        | 218          | -                | 0.0435 | 2.45 |

|               |                        |     |      |             |            |          |
|---------------|------------------------|-----|------|-------------|------------|----------|
| Cengiz (2013) | Gelibolu<br>Yarımadası | D+E | 146  | 11.6 – 16.1 | 0.005<br>5 | 3.1<br>2 |
|               |                        | D   | 701  | 12.2 – 15.1 | 0.002<br>3 | 2.7<br>8 |
| Bu çalışma    | Saros Bay              | E   | 697  | 11.0 – 15.5 | 0.003<br>6 | 2.8<br>8 |
|               |                        | D+E | 1398 | 11.0 – 15.5 | 0.002<br>9 | 2.8<br>3 |

Birçok araştırmacı (Özaydın ve ark., 2000; İlkayaz ve ark., 2010; Cengiz 2013, gibi) farklı balık türleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda boy ve ağırlık aralıklarını etkileyen faktörlerin örnekleme yöntemi ve zamanı, bölgeler arasında görülen sıcaklık varyasyonları, beslenme faaliyetleri, örneklemede kullanılan farklı av araçları ve bu av araçlarının seçicilik özellikleri olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde boy-ağırlık ilişkisi balıkların cinsiyetine, gonad gelişimine, midelerinin doluluğuna, üreme ve beslenme faaliyetlerine, çevresel faktörlerdeki yıllık değişimlere, mevsimsel farklılıklara, türlerin korunmasına yönelik alınan önlemlere (Froese, 2006), örnekleme süresine, çalışmaya yapılan bölgeye, habitata, yakalanan birey sayısına ve bireylerin boy ve ağırlık aralıklarına (Moutopoulos ve Stergiou, 2002), farklı av araçlarına (Kapiris ve Klaoudaos, 2011) bağlıdır. Sonuç olarak, bu veriler Akdeniz Havzasının farklı bölgelerinde gerçekleştirilecek olan sonraki balıkçılık çalışmalarında benzer parametreleri karşılaştırmak için kullanılabilir. Bu çalışmanın sonuçları, sardalya balığının stok durumunu belirlemek için gerekli bilimsel desteği sağlamak suretiyle türün korunmasına ve yönetimine yardımcı olacaktır.

### Teşekkür

Bu çalışma ÇOMÜ BAP FBA-2015-375 numaralı proje'nin desteğiyle gerçekleştirilmiştir ve yazar projeye çok az bir katkı sağlayan Uğur Özekinci ve Alkan Öztekin'e teşekkür eder.

## Kaynakça

- Albo-Puigserver, M., Navarro, J., Coll, M., Layman, C. A., & Palomera, I. (2016). Trophic structure of pelagic species in the northwestern Mediterranean Sea. *Journal of Sea Research*, 117: 27-35.
- Cengiz, Ö. (2011). Saroz Körfezi'ndeki (Kuzey Ege Denizi) benekli pisi balığının (*Lepidorhombus boscii* Risso, 1810) populasyon parametrelerinin belirlenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 82 s.
- Cengiz, Ö., 2013. Length-weight relationships of 22 fish species from the Gallipoli Peninsula and Dardanelles (northeastern Mediterranean, Turkey). *Turkish Journal of Zoology*, 37: 419-422.
- Erdoğan, Z., Torcu-Koç, H., Gicili, S. & Ulunchir, G. (2010) Age, Growth and Mortality of European Pilchard, *Sardina pilchardus* in Edremit Bay (Northern Aegean Sea, Turkey). *Cybium*, 34: 185-193
- Erdoğan, Z., Torcu Koç. H., & Anbaroğlu, T. (2025). Length-weight and length-length relationships and condition factor of European pilchard, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in Edremit Bay (North-Aegean Sea, Türkiye). *Acta Biologica Turcica*, 38(1), kswg20250102-10p.
- Froese, R. (2006). Cubelaw, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 241-253.
- İlkyaz, A.T., Metin, G., Soykan, O., Kınacıgil, H.T. (2010). Age, growth and sexual development of solenette, *Buglossidium luteum* (Risso, 1810), in the central Aegean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 26: 436-440.
- Kapiris, K. & Klaoudatos, D. (2011). Length-weight relationships for 21 fish species caught in the Argolikos Gulf (central Aegean Sea, eastern Mediterranean). *Turkish Journal of Zoology*, 35: 717-723.
- Karakayış, M., & Toğulga, M. (2000). Study on the biology of the sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) in the Izmir Bay (Aegean Sea). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17 (3-4), 59-69.
- Mater, S., & Bayhan, B. (1999). Growth Aspects of sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) spreading in Izmir Bay (Aegean Sea). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16 (3-4), 257-267.
- Moutopoulos, D. K. & Stergiou, K. I. (2002). Length-weight and length-length relationships of fish species from the Aegean Sea (Greece). *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 200-203.

- Mustac, B. & Sinovčić, G. (2007). Morphometric and meristic characteristics of the sardine, *Sardina pilchardus* (Walb., 1792), in the Middle Eastern Adriatic Sea. Rapp. Comm. Int. Mer. Medit., 38: 549.
- Ouled-Cheikh, J., Giménez, J., Albo-Puigserver, M., Navarro, J., FernándezCorredor, E., Bellido, E., Grazia Pennino, M. & Coll M. (2022). Trophic importance of small pelagic fish to marine predators of the Mediterranean Sea. Marine Ecology Progress Series, 696: 169-184.
- Özaydın, O., Bilecenoğlu, M., Kaya, M. 2000. Age and growth of the Curled Picarel *Centracanthus cirrus* Rafinesque, 1810 (Osteichthyes: Centracanthidae) in Northern Cyprus, Eastern Mediterranean Sea. Acta Adriatica, 41: 35-42
- Parrish, R. H., Serra, R., & Grant, W. S. (1989). The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 46: 2019-2036
- Peck, M. A., Alheit, J., Bertrand, A., Catalán, I. A., Garrido, S., Moyano, M., Rykaczewski, R. R., Takasuka, A. & van der Lingen, C. D. (2021). Small pelagic fish in the new millennium: a bottom-up view of global research effort. Progress in Oceanography, 191:102494.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 191: 1-382.
- Rooper, C. N., Boldt, J. L., Uriarte, A., Hansen, C., Ward, T., & Gaichas, S. (2024). Small pelagic fish: new frontiers in science and sustainable management. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 81(8): 984-989.
- Silva, A., Carrera, P., Mass, J., Uriarte, A., Santos, M. B., Oliveira, P. B., Soares, E., Porteiro, C. & Stratoudakis, Y. (2008). Geographic variability of sardine growth across the northeastern Atlantic and the Mediterranean Sea. Fisheries Research, 90: 56-69.
- TÜİK. (2023). Fisheries Statistics. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr>.
- Voulgaridou, P. & Stergiou, K. I. (2003). Trends in various parameters of sardine. Scientia Marina, 67 (Suppl. 1): 269-280.





## **BÖLÜM 11**

# Organik Sebze Yetiştiriciliğinde Hassas Tarım Uygulamaları

*Yılmaz Sesli<sup>1</sup>*

## Giriş

Küresel ölçekte artan nüfus, iklim değişikliğine bağlı üretim riskleri, su kaynaklarının azalması ve tarım arazilerinin baskı altında kalması, tarımsal üretimde sürdürülebilirlik arayışını hızlandırmıştır. Bu süreçte organik tarım; çevreyi koruyan, biyolojik çeşitliliği destekleyen ve insan sağlığı açısından güvenilir ürün arzını hedefleyen bir üretim modeli olarak önemli bir alternatif haline gelmiştir. FAO raporlarında organik tarım alanlarının ve organik ürün pazarının son yıllarda önemli ölçüde büyüdüğü, organik sebze üretiminin ise tüketici talebinin yüksek olması nedeniyle stratejik bir alan olarak öne çıktığı belirtilmektedir (FAO, 2021).

Sebzeler, insan beslenmesinde vitamin, mineral ve antioksidan içerikleri bakımından kritik öneme sahiptir. Ayrıca taze tüketim oranının yüksek olması nedeniyle tüketiciler organik sebze ürünlerine daha fazla ilgi göstermektedir. Ancak organik sebzeçilikte üretim süreci konvansiyonel üretime göre daha karmaşık ve risklidir. Sentetik pestisitlerin kullanımının yasak olması, zararlı ve hastalık yönetimini zorlaştırmakta; mineral gübrelerin kullanılmaması ise bitki besleme yönetiminde daha yüksek hassasiyet gerektirmektedir (Lampkin, 2002).

Bu noktada hassas tarım teknolojileri, organik sebzeçilikte üretim süreçlerini daha kontrollü hale getiren bir araç olarak değerlendirilmektedir. Hassas tarım, tarımsal alanlarda değişkenliği ölçerek girdilerin optimum düzeyde kullanılmasını sağlayan bir yönetim sistemidir (Gebbers ve Adamchuk, 2010). Bu sistemler özellikle organik üretimde kısıtlı girdilerin daha etkin kullanılmasını, su yönetiminin optimize edilmesini ve hastalık riskinin erken dönemde tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır (Mulla, 2013).

Organik sebzeçilik, çevre dostu üretim yaklaşımı, insan sağlığını önceleyen üretim modeli ve agroekosistem bütünlüğünü koruma hedefi nedeniyle günümüzde hızla yaygınlaşan bir tarımsal üretim sistemidir. Ancak organik sebze yetiştiriciliğinde sentetik gübre ve pestisitlerin kullanılmaması, üretimde daha yüksek yönetim becerisi ve daha fazla işçilik gerektirmektedir. Özellikle su yönetimi, organik gübrelerin etkin kullanımı, hastalık ve zararlı baskısının

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü. Karaman  
ORCID: 0000-0002-3150-2180

azaltılması, yabancı ot kontrolü ve kalite standardının korunması organik sebzeçilikte temel sorun alanlarıdır. Bu bağlamda, üretim alanındaki mekânsal ve zamansal değişkenliği belirleyerek girdi kullanımını optimize etmeyi amaçlayan hassas tarım uygulamaları organik üretim sistemleri için önemli bir yenilik alanı oluşturmaktadır.

Hassas tarım; sensörler, meteoroloji istasyonları, uzaktan algılama (uydu ve drone), coğrafi bilgi sistemleri (CBS), değişken oranlı uygulamalar ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi teknolojiler aracılığıyla tarımsal yönetimde karar destek mekanizmalarını güçlendirmektedir. Organik sebzeçilikte hassas tarım uygulamalarının temel katkısı yalnızca verimi artırmak değil; aynı zamanda kaynak kullanım etkinliğini artırarak su, enerji ve organik girdilerin israfını azaltmak, çevresel etkileri sınırlandırmak ve ürün kalitesini iyileştirmektir. Bu bölümde organik sebzeçilikte hassas tarım teknolojileri, uygulama alanları, Türkiye’deki potansiyel ve gelecekte yapay zekâ destekli sistemlerin olası etkileri literatür temelli ve uygulama odaklı bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Organik sebzeçilikte hassas tarımın yaygınlaşması, hem sürdürülebilir üretim hedefleriyle uyumlu hem de çiftçilerin ekonomik sürdürülebilirliğini destekleyen bir yenilik alanıdır. Bu kitap bölümünde, organik sebzeçilikte hassas tarım uygulamalarının teorik temeli, teknolojik bileşenleri, sulama-besleme-hastalık yönetimi gibi uygulama alanları, Türkiye koşullarında adaptasyon potansiyeli ve gelecekte yapay zekâ destekli sistemlerin rolü bütüncül biçimde değerlendirilmiştir.

### **Organik Sebzeçilikte Üretim Dinamikleri ve Yönetim Zorlukları**

Organik sebzeçilik, üretim girdilerinin sınırlandırıldığı ve agroekosistem temelli bir yönetim anlayışının benimsendiği bir üretim modelidir. Bu sistemde bitki besleme, hastalık-zararlı yönetimi ve yabancı ot kontrolü gibi unsurlar entegre biçimde ele alınmalıdır. Bununla birlikte organik sebzeçilikte üretim süreçlerini zorlaştıran bazı temel dinamikler bulunmaktadır.

1.Toprak sağlığı ve organik madde yönetimi organik tarımda toprak sağlığı, üretim sisteminin merkezinde yer almaktadır. Toprağın organik madde içeriği, mikrobiyal aktivitesi ve biyolojik çeşitliliği, bitkilerin besin elementi alımını ve stres toleransını doğrudan etkilemektedir. Organik sebzeçilikte kompost, çiftlik gübresi ve yeşil gübreleme gibi uygulamalarla toprak organik maddesi artırılmaya çalışılır. Ancak organik gübrelerin mineralizasyonu çevresel faktörlere bağlı olarak değiştiğinden bitkinin ihtiyaç duyduğu besin maddesi arzı her zaman dengeli olmayabilir (Drinkwater ve Snapp, 2007).

2.Besin elementi arzındaki zamansal değişkenlik organik sebze üretiminde bitkiler özellikle azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) elementlerine



yüksek düzeyde ihtiyaç duyar. Fakat organik kaynaklı gübrelerde bu elementlerin bitkiye sunulma hızı sıcaklık, nem ve mikrobiyal aktiviteye bağlıdır. Bu nedenle özellikle hızlı büyüyen marul, ıspanak ve roka gibi yapraklı sebzelerde azot eksikliği görülebilmekte ve verim kaybı oluşabilmektedir (Seufert ve ark., 2012).

3. Sebze türleri, kök sistemlerinin çoğunlukla yüzeysel olması nedeniyle su stresine oldukça duyarlıdır. Su eksikliği, yapraklı sebzelerde kalite kaybına; domates, biber ve patlıcan gibi türlerde ise çiçek dökümüne ve meyve tutumunda azalmaya neden olabilmektedir. Türkiye'nin birçok bölgesinde su kaynaklarının sınırlı olması, organik sebze üretiminde sulama yönetimini daha kritik hale getirmektedir (Tilman ve ark., 2002).

4. Hastalık ve zararlı baskısı, organik sebzecilikte sentetik pestisitlerin kullanılmaması, biyolojik mücadele ve kültürel önlemlerin önemini artırmaktadır. Ancak hastalık ve zararlıların erken teşhis edilmemesi durumunda kayıplar hızlı şekilde artabilmektedir. Özellikle mildiyö, külleme, botrytis gibi fungal hastalıklar ile beyazsinek, trips ve yaprak biti gibi zararlılar organik sebze üretiminde ekonomik kayıplara yol açabilmektedir (Lampkin, 2002). Hastalık riskinin meteorolojik verilerle tahmin edilmesi bu nedenle büyük önem taşır (Campbell ve Madden, 1990).

5. Organik tarımda herbisitlerin kullanılmaması, yabancı ot kontrolünü üretimin en pahalı kalemlerinden biri haline getirmektedir. Yabancı otların sebze türleriyle rekabeti, özellikle erken gelişme döneminde verimi ciddi biçimde düşürebilmektedir. Bu nedenle mekanik çapalama, malçlama ve solarizasyon gibi yöntemler uygulanmaktadır. Ancak bu uygulamalar yüksek işçilik ve enerji maliyeti doğurabilmektedir (Bongiovanni ve Lowenberg-DeBoer, 2004).

Bu yönetim zorlukları organik sebzecilikte üretim sürecinin daha hassas yönetilmesini gerektirmekte ve hassas tarım teknolojilerinin önemini artırmaktadır.

### **Hassas Tarım Kavramı ve Organik Sebzecilikte Rolü**

Hassas tarım, tarımsal üretim alanlarında mekânsal ve zamansal değişkenliğin belirlenmesi ve bu değişkenliğe uygun yönetim kararlarının alınması temeline dayanan modern bir üretim yaklaşımıdır. Hassas tarımın temel felsefesi “doğru uygulama, doğru zamanda, doğru yerde ve doğru miktarda” prensibidir (Gebbers ve Adamchuk, 2010).

Hassas tarım uygulamalarında üç temel aşama bulunmaktadır: (i) veri toplama,

(ii) veri analizi ve karar verme,

(iii) uygulama ve geri bildirim.

Veri toplama aşamasında toprak, bitki ve iklim parametreleri sensörler veya uzaktan algılama sistemleri ile izlenmektedir. Veri analizi aşamasında elde edilen veriler CBS veya karar destek yazılımları ile işlenerek yönetim bölgeleri oluşturulmakta ve uygulama planları geliştirilmektedir. Son aşamada ise değişken oranlı gübreleme, hedefli sulama veya hastalık yönetimi gibi uygulamalar gerçekleştirilmektedir (Mulla, 2013).

Organik sebzecilikte hassas tarımın rolü yalnızca verim artışı değildir. Bu sistemler aynı zamanda organik üretimin temel prensipleri olan çevresel koruma ve kaynakların etkin kullanımına katkı sağlamaktadır. Örneğin sensör tabanlı sulama sistemleri ile su tüketimi azaltılabilmekte, organik gübre uygulamalarında aşırı kullanımın önüne geçilerek çevre kirliliği riski düşürülebilmektedir (Tilman ve ark., 2002).

Ayrıca organik tarımda sınırlı sayıda mücadele seçeneği bulunduğu için hastalık ve zararlıların erken teşhisi büyük önem taşır. Uzaktan algılama ve meteorolojik tahmin sistemleri ile riskli alanlar erken dönemde belirlenerek biyolojik mücadele uygulamaları zamanında yapılabilir (Campbell ve Madden, 1990). Bu nedenle hassas tarım uygulamaları organik sebzecilikte sürdürülebilirliği artıran stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir.

### **Organik Sebzecilikte Kullanılan Hassas Tarım Teknolojileri**

Organik sebzecilikte hassas tarım uygulamalarının başarısı kullanılan teknolojik araçlara bağlıdır. Bu araçlar genel olarak sensör sistemleri, uzaktan algılama teknolojileri, veri işleme altyapıları ve otomasyon uygulamaları olarak sınıflandırılabilir.

#### **1.Toprak sensörleri ve toprak analiz haritaları;**

Toprak nem sensörleri, organik sebzecilikte sulama yönetiminde en yaygın kullanılan araçlardan biridir. Bu sensörler, kök bölgesindeki nem seviyesini ölçerek sulama zamanlamasının optimize edilmesine yardımcı olur (Jones, 2004). Ayrıca toprak pH sensörleri ve elektriksel iletkenlik (EC) ölçüm cihazları, tuzluluk ve besin elementi dengesizliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Toprak örnekleme ve laboratuvar analizleri ile elde edilen veriler CBS ortamında haritalanarak yönetim bölgeleri oluşturulabilmektedir.

#### **2.Bitki sensörleri ve gelişim izleme ;**

Bitki gelişiminin izlenmesi amacıyla SPAD klorofil sensörleri, yaprak sıcaklığı sensörleri ve bitki su stres indeksleri kullanılmaktadır. SPAD sensörleri yaprak klorofil içeriğini ölçerek bitkinin azot durumunu değerlendirebilir (Drinkwater ve Snapp, 2007). Yaprak sıcaklığı ölçümleri ise su stresinin erken belirlenmesine katkı sunar.

3. Meteoroloji istasyonları ve hastalık erken uyarı sistemleri; Meteorolojik istasyonlar; sıcaklık, bağıl nem, yağış, rüzgâr hızı ve yaprak ıslaklığı süresi gibi parametreleri ölçerek organik üretimde hastalık tahmin modellerinin temelini oluşturmaktadır. Özellikle mildiyö ve külleme gibi hastalıklarda yaprak ıslaklığı süresi kritik bir parametredir (Campbell ve Madden, 1990). Bu veriler sayesinde organik üretimde bakırlı preparatlar veya biyolojik ajanların uygulanacağı zaman daha doğru şekilde belirlenebilir.

#### **4.Drone ve uydu tabanlı uzaktan algılama;**

Uzaktan algılama, organik sebze tarlalarında stres bölgelerinin belirlenmesinde önemli bir araçtır. NDVI gibi bitki indeksleri, bitki gelişimi ve sağlığı hakkında bilgi sağlamaktadır (Rouse ve ark. 1974). Drone görüntüleri, yüksek çözünürlükleri sayesinde küçük ölçekli sebze alanlarında detaylı analiz yapılmasına olanak tanır. Mulla (2013), uzaktan algılamanın hassas tarımda en hızlı gelişen teknolojilerden biri olduğunu vurgulamıştır.

#### **5.CBS ve karar destek sistemleri;**

CBS tabanlı sistemler, toprak özellikleri, bitki gelişimi ve iklim verilerinin mekânsal analizini sağlar. Organik sebzecilikte CBS ile oluşturulan yönetim bölgeleri, organik gübreleme ve sulama planlarının optimize edilmesine katkı sunmaktadır (Bongiovanni ve Lowenberg-DeBoer, 2004).

#### **6.IoT tabanlı akıllı tarım sistemleri;**

IoT teknolojisi, sensörlerden gelen verilerin internet üzerinden anlık olarak izlenmesini sağlar. Bu sistemler, özellikle organik seracılıkta sulama otomasyonu, sıcaklık-nem kontrolü ve enerji yönetimi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Hassas tarımın benimsenmesinde IoT altyapısının belirleyici olduğu bildirilmektedir (Aubert ve ark., 2012).

Bu teknolojiler organik sebzecilikte hem üretim risklerini azaltmakta hem de sürdürülebilir üretim hedeflerini desteklemektedir.

#### **Organik Sebzecilikte Hassas Sulama Yönetimi**

Su yönetimi, organik sebzecilikte verim ve kaliteyi doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Sulama yönetimindeki hatalar, hem bitki gelişimini sınırlar hem de hastalık riskini artırabilir. Hassas sulama uygulamaları, suyun en uygun zamanda ve en uygun miktarda verilmesini sağlayarak üretim süreçlerini iyileştirmektedir.

1.Sensör destekli sulama planlaması; Toprak nem sensörleri ile sulama zamanlaması optimize edilerek su kayıpları azaltılabilir. Özellikle damla sulama sistemleri ile entegre edilen sensör tabanlı sulama otomasyonları, su kullanım

verimliliğini artırmaktadır (Jones, 2004). Bu yaklaşım Türkiye’de organik seracılık işletmelerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır.

2.Termal görüntüleme ile su stresi tespiti; Bitkiler su stresine girdiğinde stomalar kapanır ve transpirasyon azalır. Bu durum yaprak sıcaklığının yükselmesine neden olur. Termal kameralar ile bitki sıcaklık haritaları çıkarılarak stres bölgeleri belirlenebilir (Mulla, 2013). Organik üretimde bu tür yöntemler, erken müdahale ile kalite kaybını önlemede etkilidir.

3.Bitki indeksleri ile sulama kararlarının desteklenmesi; Drone ve uydu görüntülerinden elde edilen NDVI, NDWI gibi indeksler, bitkinin su durumunu dolaylı olarak değerlendirebilir. Özellikle geniş alanlarda sulama planlamasında bu indekslerin kullanılması su tüketimini azaltabilir.

4.Sulama suyu kalitesi ve tuzluluk izleme; Organik sebzeçilikte sulama suyunun tuzluluk düzeyi bitki gelişimini sınırlayan önemli bir faktördür. EC sensörleri ile sulama suyunun kalitesi izlenerek tuzluluk riski erken dönemde belirlenebilir. Bu uygulama özellikle seralarda tuzluluk birikiminin önlenmesi açısından önemlidir.

Sonuç olarak sensör tabanlı ve uzaktan algılama destekli sulama yönetimi, organik sebzeçilikte su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına katkı sağlamaktadır (Tilman ve ark., 2002).

### **Organik Sebzeçilikte Hassas Gübreleme ve Besleme Stratejileri**

Organik sebzeçilikte bitki besleme, kompost, çiftlik gübresi, organomineral gübreler ve yeşil gübreleme gibi yöntemlerle sağlanmaktadır. Ancak organik gübrelerin besin elementi içeriği değişken olduğundan uygulama stratejilerinin doğru belirlenmesi önemlidir.

1. Yönetim bölgelerine dayalı değişken oranlı kompost uygulaması, toprak analizleri ve CBS tabanlı haritalar ile organik madde düzeyi düşük alanlar belirlenerek kompost uygulaması değişken oranlı şekilde yapılabilir. Bu uygulama hem maliyetleri azaltır hem de besin elementi dengesini iyileştirir (Bongiovanni ve Lowenberg-DeBoer, 2004).

2.Klorofil sensörleri ile azot yönetimi; SPAD sensörleri, bitkinin azot durumunu hızlı şekilde belirleyerek organik azot kaynaklarının ne zaman uygulanması gerektiğine dair bilgi sağlayabilir. Drinkwater ve Snapp (2007), organik sistemlerde azot mineralizasyonunun değişkenliği nedeniyle bu tür sensörlerin karar destek açısından önemli olduğunu bildirmiştir.

3.Kompost çayı ve biyolojik gübrelerin izlenmesi; Organik üretimde kompost çayı ve mikrobiyal gübreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu uygulamaların etkisi çevresel koşullara bağlıdır. Bu nedenle toprak sıcaklık ve

nem sensörleri ile mikrobiyal aktivite için uygun koşulların izlenmesi, uygulama etkinliğini artırabilir.

4.Yaprak analizi ve dijital izleme; Organik sebze üretiminde yaprak analizleri, bitkinin besin elementi durumunu belirlemede önemli bir yöntemdir. Bu analizlerin sonuçları dijital sistemlerde kayıt altına alınarak yıllar arası karşılaştırma yapılabilir ve besleme stratejileri daha bilimsel temele oturtulabilir.

Organik sebzecilikte hassas gübreleme uygulamaları, hem çevresel kirlilik riskini azaltmakta hem de bitki beslemede verimlilik sağlamaktadır (Seufert ve ark., 2012).

### **Organik Sebzecilikte Hastalık ve Zararlı Yönetiminde Hassas Tarım**

Organik sebzecilikte hastalık ve zararlı yönetimi, kimyasal seçeneklerin kısıtlı olması nedeniyle üretimin en kritik aşamalarından biridir. Hassas tarım teknolojileri bu süreçte erken teşhis ve hedefli müdahale açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

1.Meteorolojik tabanlı hastalık tahmin modelleri; Bitki hastalıklarının gelişimi sıcaklık, nem ve yaprak ıslaklığı süresi gibi meteorolojik faktörlere bağlıdır. Campbell ve Madden (1990), bitki hastalık epidemiolojisinde çevresel parametrelerin belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Organik üretimde meteorolojik istasyon verileri ile hastalık riski önceden tahmin edilerek koruyucu uygulamalar zamanında yapılabilir.

2.Uzaktan algılama ile hastalık odaklarının belirlenmesi; Drone görüntüleri, bitki örtüsündeki renk değişimlerini ve gelişim geriliğini tespit ederek hastalık odaklarının erken dönemde belirlenmesine yardımcı olur. Mulla (2013), uzaktan algılama teknolojilerinin bitki sağlığını izleme açısından önemli bir potansiyel taşıdığını bildirmiştir.

3.Akıllı tuzak sistemleri ve IoT tabanlı zararlı izleme; Feromon tuzakları, organik sebzecilikte zararlı popülasyonunu izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. IoT tabanlı sistemlerle entegre edilen akıllı tuzaklar, zararlı yoğunluğunu otomatik raporlayarak biyolojik mücadele uygulamalarının zamanlamasını iyileştirebilir (Aubert ve ark., 2012).

4. Yapay zekâ destekli hastalık tanı sistemleri; Son yıllarda yapay zekâ ve görüntü işleme teknolojileri ile hastalık teşhis sistemleri geliştirilmektedir. Bitki yaprak görüntülerinden hastalık belirtilerinin otomatik tanınması, organik üretimde hızlı karar verme açısından önemli bir gelişme olarak değerlendirilmektedir.

Bu teknolojiler organik sebzeçilikte hastalık ve zararlı yönetiminde hem maliyetleri azaltmakta hem de verim kayıplarını önlemeye katkı sağlamaktadır (Lampkin, 2002).

## **8. Organik Sebzeçilikte Hassas Yabancı Ot Yönetimi**

Yabancı otlar, organik sebzeçilikte üretim maliyetlerini artıran en önemli faktörlerden biridir. Hassas tarım uygulamaları yabancı ot yönetiminde hedefli uygulama imkânı sunmaktadır.

1. Drone tabanlı yabancı ot haritalama; Drone görüntüleri ve görüntü işleme algoritmaları kullanılarak yabancı ot yoğunluğu haritalanabilir. Bu sayede mekanik mücadele yalnızca yoğun alanlarda uygulanarak işçilik maliyetleri düşürülebilir (Mulla, 2013).

2. GPS destekli mekanik çapalama sistemleri; GPS destekli otomatik çapalama makineleri, sıra aralarında daha hassas çalışarak kültür bitkisine zarar vermeden yabancı otları kontrol edebilir. Bu uygulamalar organik tarımda mekanik mücadelenin etkinliğini artırmaktadır (Gebbers ve Adamchuk, 2010).

3. Robotik yabancı ot kontrol sistemleri Robotik sistemler, görüntü işleme ile yabancı otları tanıyıp mekanik veya lazerle yok edilmektedir. Bu uygulamalar özellikle işçilik maliyetlerinin yüksek olduğu bölgelerde organik tarım için geleceğin önemli teknolojileri arasında görülmektedir.

Sonuç olarak hassas yabancı ot yönetimi, organik sebzeçilikte ekonomik sürdürülebilirliği artıran önemli bir uygulama alanıdır (Bongiovanni ve Lowenberg-DeBoer, 2004).

## **Organik Sebzeçilikte Veri Yönetimi ve Karar Destek Mekanizmaları**

Hassas tarım uygulamalarının etkinliği, veri yönetimi ve karar destek sistemlerinin başarısına bağlıdır. Organik sebzeçilikte veri kaynakları; toprak sensörleri, meteoroloji istasyonları, drone/uydu görüntüleri, yaprak analiz sonuçları ve saha gözlemleridir.

1. Büyük veri ve veri entegrasyonu organik sebzeçilikte farklı kaynaklardan elde edilen verilerin tek bir platformda birleştirilmesi, üretim yönetimini daha sistematik hale getirmektedir. IoT tabanlı sistemler sayesinde veriler anlık olarak toplanmakta ve analiz edilmektedir (Aubert ve ark., 2012).

2. Karar destek sistemleri, çiftçilere sulama zamanı, hastalık riski ve gübreleme stratejileri konusunda öneriler sunabilmektedir. Bu sistemlerin organik üretime özgü algoritmalarla geliştirilmesi, organik tarımda teknoloji kullanımının yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır (Mulla, 2013).

3.Dijital kayıt sistemleri ve izlenebilirlik organik üretimde sertifikasyon süreçleri nedeniyle kayıt tutma zorunluluğu bulunmaktadır. Hassas tarım tabanlı dijital kayıt sistemleri, izlenebilirliği artırarak sertifikasyon süreçlerini kolaylaştırabilir. Ayrıca ürünün üretim sürecine dair dijital verilerin tüketiciye sunulması, organik ürünlere olan güveni artırabilir.

Bu bağlamda hassas tarım teknolojileri yalnızca üretim sürecini optimize etmekle kalmayıp organik ürünlerin pazarlama ve izlenebilirlik süreçlerine de katkı sağlamaktadır.

### **Türkiye’de Organik Sebzecilikte Hassas Tarım Uygulama Potansiyeli**

Türkiye, organik tarım açısından önemli bir üretim potansiyeline sahiptir ve organik sebze üretimi özellikle Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak hassas tarım teknolojilerinin organik sebzecilikte yaygınlaşması bazı sınırlılıklar nedeniyle yavaş ilerlemektedir.

1. İşletme ölçeği ve yatırım maliyeti; Türkiye’de organik sebze işletmelerinin önemli bir kısmı küçük ölçeklidir. Hassas tarım teknolojilerinin yüksek yatırım maliyeti, bu işletmelerin teknolojiye erişimini sınırlamaktadır. Aubert et al. (2012), hassas tarım teknolojilerinin benimsenmesinde ekonomik kapasite ve eğitim düzeyinin belirleyici olduğunu bildirmiştir.

2. Organik seracılıkta teknoloji kullanımı; Antalya, Mersin ve Muğla gibi bölgelerde organik seracılık faaliyetleri yoğunlaşmıştır. Bu işletmelerde sulama otomasyonu, iklim kontrol sistemleri ve meteoroloji istasyonlarının kullanımı artmaktadır. Özellikle damla sulama sistemleri ile entegre edilen sensör tabanlı sulama yönetimi, su tasarrufu açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

3. Eğitim ve yayım faaliyetlerinin önemi; Hassas tarım uygulamalarının organik sebzecilikte yaygınlaşması için çiftçi eğitimlerinin artırılması gereklidir. Üniversiteler, tarım il müdürlükleri ve kooperatiflerin iş birliğiyle yürütülecek eğitim programları, teknoloji adaptasyonunu hızlandıracaktır.

Türkiye’de organik sebzecilikte hassas tarımın yaygınlaştırılması, hem sürdürülebilir tarım hedefleri hem de rekabet gücü açısından stratejik önem taşımaktadır.

### **Organik Sebzecilikte Hassas Tarımın Avantajları**

Organik sebzecilikte hassas tarım uygulamalarının sağladığı avantajlar çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda değerlendirilebilir.

1.Su ve enerji tasarrufu; Sensör tabanlı sulama sistemleri ile su tüketimi azaltılabilir. Bu durum enerji maliyetlerini de düşürerek ekonomik avantaj sağlar (Jones, 2004).

2. Organik girdilerin etkin kullanımı; Organik gübrelerin değişken oranlı uygulanması, hem maliyetleri azaltır hem de besin elementi kayıplarını sınırlar. Böylece çevresel kirlilik riski düşer (Bongiovanni ve Lowenberg-DeBoer, 2004).

3. Hastalık ve zararlı yönetiminde etkinlik; Erken uyarı sistemleri ile hastalık ve zararlı riskleri daha erken belirlenebilir. Bu sayede biyolojik mücadele uygulamalarında başarı artar (Campbell ve Madden, 1990).

4. Ürün kalitesi ve pazar değeri; Organik sebzelerde kalite standartlarının korunması, tüketici güvenliğini artırır. Hassas tarım uygulamaları, kalite kaybını azaltarak pazarlanabilir ürün oranını artırabilir (Seufert et al., 2012).

Genel olarak hassas tarım, organik sebzecilikte sürdürülebilir üretimi destekleyen önemli bir yenilik alanıdır (Gebbers ve Adamchuk, 2010; Tilman ve ark., 2002).

### **Sınırlılıklar ve Karşılaşılan Problemler**

Organik sebzecilikte hassas tarım uygulamalarının yaygınlaşmasında bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Öncelikle sensör, drone ve IoT altyapılarının maliyeti yüksektir. Ayrıca veri analizinde uzmanlık ihtiyacı, teknolojinin etkin kullanımını sınırlandırmaktadır (Aubert ve ark., 2012).

Küçük işletme yapısı, teknolojinin ekonomik ölçek oluşturmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte organik üretime özgü karar destek modellerinin yeterince gelişmemiş olması, uygulama başarısını sınırlayan bir diğer faktördür (Mulla, 2013). Ayrıca organik tarımda kullanılan biyolojik girdilerin etkinliği çevresel faktörlere bağılı olduğundan, hassas tarım uygulamalarının bölgesel adaptasyon çalışmalarıyla desteklenmesi gerekmektedir.

### **Gelecek Perspektifi: Yapay Zeka, Robotik ve Akıllı Organik Sebzecilik**

Hassas tarım teknolojileri, yapay zekâ ve robotik sistemlerle birleştiğinde organik sebzecilikte yeni bir dönüşüm sürecinin başlaması beklenmektedir. Yapay zekâ algoritmaları sensör ve görüntü verilerini analiz ederek sulama, gübreleme ve hastalık yönetimi konusunda otomatik öneriler sunabilir. Robotik yabancı ot kontrol sistemleri ve otonom tarım makineleri, organik sebzecilikte işçilik maliyetlerini azaltarak ekonomik sürdürülebilirliği artırabilir. Uzaktan algılama teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte hastalık ve stres tespiti daha erken yapılabilecek, biyolojik mücadele uygulamaları daha hedefli hale gelecektir (Mulla, 2013).

Bu gelişmeler organik sebzecilikte hem çevresel hem ekonomik sürdürülebilirliği güçlendirecek ve organik üretimin yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır (Gebbers ve Adamchuk, 2010).



## **Sonuç ve Öneriler**

Organik sebzeçilikte sürdürülebilir üretim hedefleri doğrultusunda su, besin elementi ve bitki koruma yönetimi büyük önem taşımaktadır. Organik üretimde kimyasal girdilerin kısıtlı olması, üretim süreçlerinin daha hassas yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Hassas tarım uygulamaları; sensör teknolojileri, meteoroloji istasyonları, uzaktan algılama, CBS ve IoT tabanlı sistemler aracılığıyla organik sebzeçilikte kaynak kullanımını optimize etmektedir (Gebbers ve Adamchuk, 2010; Mulla, 2013).

Türkiye’de organik sebzeçilikte hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılması için ekonomik destek mekanizmalarının geliştirilmesi, çiftçi eğitimlerinin artırılması ve organik üretime özgü karar destek modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu süreçte üniversite-sanayi-kamu iş birlikleri kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak hassas tarım teknolojileri, organik sebzeçilikte verimlilik ve kaliteyi artıran, çevresel etkileri azaltan ve sürdürülebilir tarım hedeflerini güçlendiren stratejik bir araçtır.

## Kaynakça

- Aubert, B. A., Schroeder, A., Grimaudo, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems*, 54(1), 510–520.
- Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5, 359–387.
- Campbell, C. L., Madden, L. V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons.
- Drinkwater, L. E., Snapp, S. S. (2007). Nutrients in agroecosystems: Rethinking the management paradigm. *Advances in Agronomy*, 92, 163–186.
- FAO. (2021). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture*. Food and Agriculture Organization.
- Gebbers, R., Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828–831.
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436.
- Lampkin, N. (2002). *Organic farming*. Old Pond Publishing.
- Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Third Earth Resources Technology Satellite Symposium* (pp. 309–317). NASA.
- Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485, 229–232.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671–677.