

# ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ

ALANINDA ULUSLARARASI ARAŞTIRMALAR

*Aralık 2022*

**EDİTÖRLER**

**PROF. DR. TANER AKAR**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ İLHAMİ TOZLU**

**SERÜVEN**  
YAYINEVİ

**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana**

**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi**

**Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2022**

**ISBN • 978-625-6399-16-7**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla

çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven

Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in

any way without permission.

**Serüven Yayınevi / Serüven Publishing**

**Türkiye Adres / Turkey Address:** Yalı Mahallesi İstikbal Caddesi No:6

Güzelbahçe / İZMİR

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.seruyenyayinevi.com

**e-mail:** seruyenyayinevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# **Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Uluslararası Araştırmalar**

Aralık 2022

Editör

Prof. Dr. Taner AKAR  
Dr. Öğr. Üyesi İlhami TOZLU



# İÇİNDEKİLER

## **Bölüm 1**

DOĞU KAYINI FİDANLARININ BAZI MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE AZOT BAĞLAYICI KIZILAĞAÇ İLE KOMBİNE EKİMİN ETKİLERİ

Ali BAYRAKTAR, Deniz GÜNEY ..... 1

## **Bölüm 2**

ÇELTİK-KEREVİT (PROCAMBARUS LEPTODACTYLUS) POLİKÜLTÜR YETİŞTİRİCİLİĞİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ  
Özden BARIM ÖZ, Sibel DOĞAN ..... 19

## **Bölüm 3**

SÜRDÜRÜLEBİLİR SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNİN KARBON AYAK İZİ

Gürkan DİKEN ..... 41

## **Bölüm 4**

COĞRAFI BILGI SİSTEMLERİ ORTAMINDA TAHIROVA TARIM İŞLETMESİ TOPRAKLARININ BAZI TOPRAK VE ARAZI ÖZELLİKLERİNİN HARİTALANDIRILMASI

Yavuz Şahin TURGUT, Yakup Kenan KOCA ..... 69

## **Bölüm 5**

TARIMDA GELECEK VE İNSAN: TARIM 5.0

Önder UYSAL ..... 91

## **Bölüm 6**

TARIMSAL ÜRETİMDE YABANCI OTLARIN KONTROLÜNDE HASSAS TARIM TEKNİKLERİNİN KULLANIMI

Songül GÜRSOY ..... 101

## **Bölüm 7**

MÜSİLAJ VE EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Gamze DOĞDU, Emine Erdem CİNGÖZ ..... 121

## **Bölüm 8**

### BALIKLARIN ESANSİYEL YAĞ ASİT İHTİYACI

Kenan KÖPRÜC, Sibel KÖPRÜCÜ..... 141

## **Bölüm 9**

### PINUS SYLVESTRIS L. FİDANLARINA İLİŞKİN BAZI MORFOLOJİK KARAKTERLERİN YÜKSELTİYE BAĞLI DEĞİŞİMİ

Deniz GÜNEY, Ali BAYRAKTAR..... 157

“

# Bölüm 1

**DOĞU KAYINI FİDANLARININ BAZI  
MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE AZOT BAĞLAYICI  
KIZILAĞAÇ İLE KOMBİNE EKİMİN  
ETKİLERİ**

*Ali BAYRAKTAR<sup>1</sup>*

*Deniz GÜNEY<sup>2</sup>*

”

- 
- 1 Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0002-8420-7089, alibayraktar@ktu.edu.tr  
2 Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0001-7222-6162, d\_guney@ktu.edu.tr

## GİRİŞ

Dünyadaki doğal dengenin önemli bir parçası olan ormanlar, ekonomik ve ekolojik yararları nedeniyle dünyanın en önemli doğal kaynaklarından biridir (Özel ve Ertekin, 2011). İnsanlık ve bir bütün olarak gezegen için birçok işleve sahip olan ormanlar; yakıt, gıda, temiz hava ve su, barınak, istihdam, peyzaj, dinlenme, ilaç, gelir kaynağı gibi maddi ve manevi birçok ekolojik, ekonomik ve sosyokültürel faydalar sunan doğal bir kaynaktır (OGM, 2015).

Dünya ormanlarında önemli bir yere sahip olan kayın (*Fagus L.*) cinsi, kuzey yarım kürenin ılıman bölgelerinde, Avrupa'da, Kuzey Amerika'da, Doğu ve Batı Asya'da yayılış göstermektedir (Fang ve Lechowicz, 2006). Tüm kayın türleri arasında Avrupa kayını (*Fagus sylvatica L.*) ve ona kıyasla daha yaygın olan doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), Türkiye'de doğal olarak yetişmektedir (Yaltırık ve Efe, 2000). Türkiye'nin kuzeyinde Demirköy'den Hopa'ya kadar Karadeniz bölgesinde ve yerel olarak Marmara bölgesinde, Amanos Dağları'nda, Adana-Pos ormanlarında ve Maraş-Andırın'da yaygın olarak yetişen türün en güney yayılışı Doğu Akdeniz Bölgesinde bulunan Hatay ilindeki relik popülasyonlardır (Yaltırık ve Efe, 2000; Yılmaz, 2018). Doğu kayını türünün optimal yayılış alanı yüksekliği 700-1300 metre arasında olsa da deniz seviyesinden 2100 m yükseltiye kadar oldukça geniş bir yükselti kademesi aralığında yayılış gösterebilmektedir (Şanlı, 1978; Kandemir ve Kaya, 2009; Yılmaz, 2018). Türkiye'nin asli orman ağacı türlerinden olup önemli miktarda yayılış gösteren doğu kayını, 1.630.196 hektarlık alanı normal kapalı, 269.733 hektarlık alanı da boşluklu kapalı olmak üzere toplam 1.899.929 hektarlık alan ile birlikte ülkemizde meşeler, kızılçam ve karaçam türlerinden sonra en çok yayılış gösteren dördüncü tür konumunda bulunmaktadır (OGM, 2015).

Türkiye'de sahip olduğu geniş doğal yayılış alanı içinde hem karışık hem de saf ormanlar kurabilen doğu kayını, çoğunlukla yayılış alanının üst sınırlarında *Picea orientalis*, *Pinus sylvestris*, *P. nigra* subsp. *pallasiana*, *Abies nordmanniana*, *A. bornmülleriana* ve *A. equi-trojani* gibi türlerle karışık ormanlar kurmaktadır. Bol tohum yıllarının geniş periyotlarda (3-5 yıl ara ile) meydana gelmesi, gençlikte yavaş büyümesi, erken ve geç donlardan, yakıcı-kurutucu sıcaklıklardan ve diri örtüden zarar görmesi gibi nedenlerden dolayı doğu kayını fidanlarının yetiştirilmesi ve ormanlarının gençleştirilmesinde zorlukların bulunması nedeniyle gençleştirme çalışmalarında oldukça dikkatli olunmalı ve gençleştirme başarısı ile büyüme üzerinde etkili olan tüm faktörlere ilişkin ayrıntılı incelemeler gerçekleştirilmelidir (Saatçioğlu, 1969; Atalay, 1992). Doğu kayını gençleştirme ve yetiştirme alanlarında, kayın fidanları gerek otsu, odunsu ve sarılıcı bitkiler ile gerekse de kök ve kütük sürgünleri ile yo-



ğün bir mücadele halindedir. İlk yıllarda bunlara müdahale edilmemesi durumunda gençlik büyüme gücünü çekebilir ya da çoğunlukla bu zararlı bitkiler tarafından boğulabilir (Anonim, 1985). Karadeniz orman mıntıklarında yaygın olarak bulunan doğu kayını türü, bu alanlarda ayı üzümü (*Vaccinium arctostaphylos*), ormangülleri (*Rhododendron* sp.), çobanpüskülü (*Ilex colchica*) ve karayemiş (*Prunus laurocerasus*) gibi diri örtü elemanlarıyla mücadele etmekte olup bu çalı türleri ormancılık çalışmalarında ciddi sorunlar oluşturmaktadır (Atay, 1982). Özellikle orman güllerinin oluşturduğu yoğun diri örtü tabakası, doğu kayınına doğal ve yapay gençleştirme çalışmaları için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu sorunun giderilebilmesi için orman gülleri tam alanda köklenerek saha temizliğinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Saatçioğlu, 1970; Tosun ve Gülcan, 1985; Eşen, 2000). Buradan hareketle, doğu kayını fidanlarının biyotik ya da abiyotik zararlılara karşı daha dayanıklı olabilmesi adına kaliteli fidanlarının üretilmesi önem arz etmektedir.

Kaliteli fidanların yetiştirilebilmesi için bitki besin maddesi ve su durumu açısından yeterli ortam koşullarının sağlanması gerekmektedir. Bitki gelişimi için hayati düzeyde önem taşıyan ve bitkilerin toprak altı ve üstü organları yardımıyla buldukları ortamdan aldığı elementlere “mutlak gerekli besin elementleri” adı verilmektedir (Kacar ve Katkat, 2018). Bu elementlerin sayısına ve sınıflandırılmasına ilişkin farklı görüşler bulunsa da (Bergmann, 1992; Marschner, 1995), her biri bitki büyümesi ve gelişmesinde önemli işlevlere sahiptir. Mutlak gerekli besin elementleri bitkilerdeki bulunış miktarlarına göre makro ve mikro elementler şeklinde sınıflandırılmaktadır (Bergmann, 1992; Kacar ve Katkat, 2018). Azot (N), karbon (C), oksijen (O), hidrojen (H), fosfor (P), kalsiyum (Ca), potasyum (K), magnezyum (Mg), kükürt (S) mutlak gerekli makro bitki besin elementleri arasında yer alırken, demir (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), bakır (Cu), bor (B), çinko (Zn), klor (Cl), nikel (Ni), sodyum (Na), kobalt (Co), vanadyum (V) ve silisyum (Si) ise mutlak gerekli mikro besin elementleri arasında yer almaktadır (Kacar ve Katkat, 2018). Mutlak gerekli besin elementlerinin noksanlığı durumunda bitki gelişimi gerilemekte, ürünler nicelik ve nitelik açısından olumsuz olarak etkilenmekte, kök, gövde ve yapraklarda bodur büyüme görülebilmekte ve çeşitli bitki organlarında kloroz ya da nekrozlar ortaya çıkabilmektedir (Bergmann, 1992; Kacar ve Katkat, 1998; Kacar ve Katkat, 2018).

Tüm canlıların hücrelerinde bulunan amino asitlerin, nükleik asitlerin ve diğer amino bileşiklerinin ve bunların oluşturduğu polimerlerin ana maddesi olan azot (Tecimen ve Sevgi, 2008), dünyada en çok bulunan elementlerden biri olsa da topraktan alınabilmesindeki zorluklar nedeniyle çoğu bitkinin büyümesi için önemli bir sınırlayıcı elementtir (Smil, 1999; Graham ve Vance, 2000). Bitkilerin yapısındaki elementlerin oran-

ları incelendiğinde, azotun karbon, hidrojen ve oksijene göre daha düşük oranda bulunduğu görülmektedir. Bitkilerin kuru ağırlıklarının yalnızca %1,5-%5'ini oluşturan azot çok düşük miktarlarda bulunsa da, azotun yapısına katıldığı organik bileşiklerin bitki yaşamındaki ve biyokimyasal olaylardaki etkin rolü nedeniyle bu element ana besin maddelerinden birisidir (Haynes, 1986).

Bitki büyümesi ve veriminde azot (N) en önemli besin elementidir. Canlılarda nükleik asitlerin, proteinlerin ve vitaminlerin yapısında %15, gaz halindeki formu ile de atmosferde %78 oranında bulunan azot, bitkiler tarafından gaz formunda kullanılamamaktadır. Azot, nitrit bakterileri tarafından nitrite, nitrite nitrat bakterileri tarafından nitrate dönüştürüldükten sonra bitkiler tarafından kullanılabilir hale gelmektedir (İmriz vd., 2014). Simbiyotik azot bağlanması çoğu orman topraklarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu işlem baklagil türleri ile *Rhizobium* cinsine ait bakteriler arasında ve *Actinomyces*'lerin bir cinsi olan *Frankia* tipi bakteriler ile baklagil olmayan bitkiler (*Alnus*, *Myrica*, *Hippophae*, *Elaeagnus*, *Shepherdia*, *Casuarina*, *Coriaria* ve *Ceanothus*) arasındaki bir ortak yaşam ilişkisinin sonucu olarak meydana gelmektedir (Pritchett ve Fisher, 1987; Tilki, 2002).

Biyolojik azot bağlanması ile orman ekosistemine genel olarak 100-400 kg/ha/yıl azot sağlanabilmektedir. Serbest yaşayan bakteriler <15 kg/ha/yıl, siyanobakteriler 7-80 kg/ha/yıl, baklagil olmayan türler ve *Frankia* cinsi bakterilerin simbiyotik yaşamı 2-362 kg/ha/yıl ve en yüksek olarak da *Rhizobium* ve baklagil işbirliği ile 24-584 kg/ha/yıl azot toprağa verilebilmektedir (Elkan, 1992; FAO, 1993). Köklerinde bulunan bakteriler vasıtasıyla azot bağlama yeteneğindeki bazı bitkiler ile azot eksikliğinin giderilmesi ve toprakların iyileştirilmesi başta Avrupa ülkeleri, Avustralya ve ABD olmak üzere bazı ülkelerin ormancılığında kullanılmaktadır. Azot bağlayıcı bakterilere sahip bitkiler, fakir toprakları ıslah etmekte ve bitki besin maddeleri bakımından zenginleştirmektedirler (Diagne vd., 2013; Stokdyk ve Herrman, 2014). Bu bitkiler ağaçlandırma çalışmalarında birlikte bulunduğu diğer türlerin gelişmesine de azot desteği sağlayarak katkı sağlamaktadırlar (Voigtlaender vd., 2012; Mortimer vd., 2015). Bazı türlerin azot bağlama miktarlarına ilişkin Tripp vd. (1979), Pritchett ve Fisher (1987) ve FAO (1993) tarafından yapılan çalışmalara atfen Tilki (2002), *Elaeagnus* sp., *Myrica gale*, *Alnus glutinosa*, *Wax myrtle*, *Hippophae* sp., *Casuarina equisetifolia*, *Robinia pseudoacacia* ve *Alnus rubra* taksonlarına ilişkin azot bağlama miktarlarının sırasıyla <15 kg/ha/yıl, 3-25 kg/ha/yıl, <56 kg/ha/yıl, <132 kg/ha/yıl, 2-180 kg/ha/yıl, 60-200 kg/ha/yıl, 100-200 kg/ha/yıl, 60-300 kg/ha/yıl olduğunu bildirmiştir.

Doğu kayını Türkiye ormancılığı için en önemli orman ağacı türlerinden birisi konumundadır. Türün morfolojik ve fizyolojik yaprak özel-

likleri (Güney vd., 2016a; Turfan vd., 2019), yaprak SPAD değeri ve fotosentetik pigment içerikleri (Bayraktar ve Atar, 2021, Bayraktar vd., 2021), dendroklimatolojisi (Köse ve Güner, 2012; Yaman vd., 2020), tohum şeker içeriği (Güney vd., 2013), tohum özellikleri ve çimlenme durumu (Yılmaz, 2008; Turfan vd., 2017), silvikültürü (Özel vd., 2010; Yılmaz, 2010), orijin denemeleri (Eyüboğlu vd., 1993; Tosun, 1993), vejetasyon dönemlerine bağlı bazı morfolojik varyasyonları (Güney vd., 2006), yaprak ve polen tanelerinin mikro-morfolojik özellikleri (Panahi vd., 2017), ekolojisi ve orman verimi (Kalıpsız, 1962), fidanlarının morfolojik ve fizyolojik değişimleri, kalite sınıflaması ve arazi performansı (Güney vd., 2016b; Gülseven vd., 2019; Güney vd., 2020), yapay yolla geliştirilmesi (Tosun ve Gülcan, 1985) ve odun anatomisi (Şanlı, 1978) konularına ilişkin çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ancak, azot bağlayıcı bitkiler ile kombine olarak yetiştirilen doğu kayını fidanlarına ilişkin detaylı çalışmalar bulunmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, azot bağlayıcı kızılgağaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) türü ile birlikte kombine yöntemle ekilen doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) türünün tohumlarından yetiştirilen fidanların birinci vejetasyon dönemi sonundaki bazı morfolojik ve fizyolojik parametrelerinin belirlenmesidir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada azot bağlayıcı bitkiler arasında yer alan kızılgağaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) türü ile doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) tohumları birlikte ekilerek çimlendirilmiş ve elde edilen fidanların büyüme performansları araştırılmıştır. Doğu kayını tohumları 2019 yılında Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içinde bulunan Maçka ilçesi Çatak mevkiindeki tohum meşçeresinde yer alan fenotipik açıdan kaliteli 20 farklı bireyden toplanmıştır. Tohumlar %96'lık etil alkolde yüzdürülerek dolu ve boş tohumların ayrılması sağlanmıştır.

Çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Serası'nın açık alan fidanlık koşullarında hazırlanan ekim yastıklarında gerçekleştirilmiştir. Ekim yastıkları 120 cm genişlik ve 50 cm toprak derinliği olacak şekilde hazırlanmış olup tohumlar çizgi ekimi yöntemiyle Aralık ayında ekilmiştir. Tohumlar ekilirken çizgiler arasında 10 cm aralık mesafe bırakılmıştır. Ekim işlemleri tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Üç ekim çizgisinin her birinde 30 adet tohum olacak şekilde üç tekrarlı olarak ekilen 270 adet doğu kayını tohumundan elde edilen bir yaşındaki fidanlar kontrol işlemini oluşturmaktadır. Yine, üç ekim çizgisinin her birinde 30 adet doğu kayını tohumu ve bu ekim çizgilerinin aralarındaki üç ekim çizgisinin her birinde de 30 adet kızılgağaç tohumu olacak şekilde üç tekrarlı olarak





Şekil 2. Doğu kayını tohumlarının ekimi, vejetasyon dönemi içinde büyümeye devam eden doğu kayını ve kızılağaç fidanları, yetiştirme ortamından sökülen bir yaşındaki doğu kayını fidanları (soldan sağa, sırasıyla)

Bir yaşındaki fidanlar üzerinde fidan boyu (FB), kök boğazı çapı (KBÇ), taze ve kuru gövde ağırlıkları (TGA ve KGA), taze ve kuru kök ağırlıkları (TKA ve KKA), fidan taze ağırlığı (FTA), fidan kuru ağırlığı (FKA), kök boyu (KB), kök sayısı (KS) değerleri ölçülmüştür. Fidan boyu kök boğazından terminal sürgünün ucuna kadar olan kısım olarak  $\pm 1$  mm ölçüm hassasiyeti olacak şekilde cetvel ile ölçülürken, kök boğazı çapı ise  $\pm 0,01$  mm ölçüm hassasiyeti olacak şekilde kök boğazından dijital kumpas ile ölçülmüştür. Yan dal sayısı fidanlarda oluşan yan dalların sayısını ifade etmektedir. Kök boğazından kesilen fidanlar gövde ve kök olarak ayrılmış olup taze gövde ve kök ağırlıkları hassas terazi yardımıyla  $\pm 0,001$  g hassasiyetle tartılmıştır. Fidanlar 24 saat süreyle  $102 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de etüvde kurutulduktan sonra kuru gövde ve kök ağırlıkları yine hassas terazi yardımıyla  $\pm 0,001$  g hassasiyetle tartılmıştır. Taze gövde ve kök ağırlıkları birlikte fidan taze ağırlığını ifade ederken, kuru gövde ve kök ağırlıkları da fidan kuru ağırlığına karşılık gelmektedir. Fidanlar üzerinde oluşan ana kök sayıları tespit edilmiş olup en uzun kök boyları da cetvel yardımıyla  $\pm 1$  mm olacak şekilde ölçülmüştür. Ölçülen morfolojik parametreler yardımıyla; kuru kök yüzdesi (KKY), gürbüzlük indisi (Gİ), katlılık indisi (Kİ) ve Dickson kalite indisi (DKİ) değerleri ölçülmüştür. Kuru kök ağırlığı fidan kuru ağırlığına bölündükten sonra 100 ile çarpılarak kuru kök yüzdesi elde edilmiştir (Ayan, 1999). Santimetre (cm) olarak ölçülen fidan boyu değeri milimetreye (mm) çevrildikten sonra kök boğazı çapına (mm) bölünerek gürbüzlük indisi (Aphalo ve Rikala, 2003) değeri belirlenmiştir. Kuru gövde ağırlığının kuru kök ağırlığına bölünmesi ile katlılık indisi (Ayan, 2002) ve fidan kuru ağırlığının gürbüzlük indisi ve katlılık indisi değerlerinin toplamına bölünmesi ile de Dickson kalite indisi (Dickson, 1960) değerleri tespit edilmiştir. KKY, Gİ, Kİ ve DKİ değerlerine ilişkin formüller aşağıda verilmiştir.

$$KKY(\%) = \frac{KKA \text{ (g)}}{FKA \text{ (g)}} \times 100$$

$$Gİ = \frac{FB \text{ (mm)}}{KBÇ \text{ (mm)}}$$

$$Kİ = \frac{KGA \text{ (g)}}{KKA \text{ (g)}}$$

$$DKİ = \frac{FKA \text{ (g)}}{(Gİ+Kİ)}$$

Öte yandan, kızılağaç fidanlarının köklerinde oluşan ve azot bağlamaya yarayan yumrucukların ağırlıkları (YA) da tespit edilmiştir. Çalışmada doğu kayını fidanlarından toplanan yaprak örnekleri ile fidanların yetiştirildiği ekim yastıklarından alınan toprak örnekleri Elementar Vario Micro Cube cihazında elementel analize tabi tutulmuştur. Yapraklar örnekleri 65±2°C sıcaklıkta 48 saat süreyle kurutulmuş ve öğütülerek toz haline getirilen yapraklar 5 mm'lik elekten geçirilmiştir. Toprak örnekleri de havanda öğütülerek 5 mm'lik elekten geçirildikten sonra hem yaprak hem de toprak örnekleri 1-2 mg aralığında tartılarak cihazın örnek haznesine yerleştirilmiş ve azot ile karbon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler SPSS 23.0 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçülen parametrelere ilişkin tanımlayıcı değerlere (minimum, maksimum ve ortalama) ek olarak, çalışmada yer alan iki işlem arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığını belirlemek için bağımsız örneklem t testi yapılmıştır.

## BULGULAR

Çalışma kapsamında işlemlere bağlı olarak bir yaşındaki doğu kayını fidanlarında ölçülen tüm morfolojik parametrelere ilişkin bağımsız örneklem t testi sonuçları ile minimum, maksimum ve ortalama değerler Tablo 1'de verilmiştir.

*Tablo 1. Doğu kayını fidanlarında elde edilen t testi sonuçları ile tanımlayıcı değerler*

Morfolojik Parametreler	İşlemler	Minimum	Maksimum	Ortalama ± Std. Sapma	<i>p</i>
FB (cm)	Kontrol	8,40	18,50	12,46±2,96	0,336
	Kn+Kz	9,60	24,20	13,51±3,42	
KBÇ (mm)	Kontrol	3,23	4,58	3,86±0,44	0,613
	Kn+Kz	2,88	5,53	3,97±0,71	
TGA (g)	Kontrol	0,74	2,26	1,29±0,47	0,442
	Kn+Kz	0,46	2,50	1,16±0,55	
KGA (g)	Kontrol	0,41	1,07	0,67±0,22	0,373
	Kn+Kz	0,26	1,34	0,58±0,28	

TKA (g)	Kontrol	1,35	4,28	2,29±0,79	0,868
	Kn+Kz	0,82	4,32	2,34±0,88	
KKA (g)	Kontrol	0,69	1,74	1,08±0,32	0,762
	Kn+Kz	0,34	1,95	1,05±0,39	
FTA (g)	Kontrol	2,15	6,54	3,58±1,23	0,842
	Kn+Kz	1,46	6,72	3,50±1,35	
FKA (g)	Kontrol	1,11	2,81	1,74±0,53	0,565
	Kn+Kz	0,67	3,16	1,63±0,63	
KB (cm)	Kontrol	15,30	36,30	27,21±5,61	0,156
	Kn+Kz	12,00	40,90	24,13±6,87	
KS (adet)	Kontrol	1,00	5,00	1,71±1,44	0,781
	Kn+Kz	1,00	9,00	1,89±2,08	
KKY (%)	Kontrol	57,52	68,70	62,32±3,43	0,267
	Kn+Kz	50,55	74,17	64,39±6,36	
Gİ (mm/mm)	Kontrol	26,01	46,02	32,05±5,58	0,324
	Kn+Kz	21,88	55,13	34,48±8,16	
Kİ	Kontrol	0,46	0,74	0,61±0,09	0,400
	Kn+Kz	0,35	0,98	0,57±0,17	
DKİ	Kontrol	0,04	0,08	0,05±0,01	0,298
	Kn+Kz	0,02	0,10	0,05±0,02	

Yapılan bağımsız örneklem t testi sonuçlarına göre, morfolojik parametrelerin hiç birinde kontrol ve Kn+Kz işlemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar meydana gelmemiştir. Ancak yine de Tablo 1 incelendiğinde, işlemler arasında minimum, maksimum ve ortalama değerler açısından bazı farklılıklar mevcuttur. Fidan boyu açısından Kn+Kz işleminde elde edilen minimum, maksimum ve ortalama değerlerin kontrol işleminden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kn+Kz işleminde 3,97 mm olarak tespit edilen ortalama kök boğazı çapı değeri kontrol işleminde 3,86 mm olarak elde edilmiştir. Yine Kn+Kz işleminde elde edilen ortalama yan dal sayısının kontrol işleminde elde edilenin iki katından daha fazla olduğu belirlenmiştir. Fidan taze ve kuru ağırlıklarına ilişkin sonuçlara göre, ortalama değerler açısından kontrol işleminde daha yüksek sonuçlar elde edilse de maksimum değerler açısından ise Kn+Kz işleminde daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Kök boyu bakımından kontrol işleminde daha yüksek ortalama sonuçlar (27,21 cm) olduğu belirlenirken, kök sayısı açısından Kn+Kz işleminde (1,89 adet) daha yüksek ortalama sonuçlar olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar kuru kök yüzdesi açısından ortalama değerler, işlemler arasında çok benzer olsa da Kn+Kz işleminde %64,39 olarak elde edilen değer kontrol işleminde %62,32 olarak elde edilmiştir. Gürbüzlük indisi açısından 34,48 ile Kn+Kz işleminde elde edilen ortalama değer, 32,05 ile kontrol işleminde elde edilen değerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Katlılık indisi sonuçları incelendiğinde, en yüksek ortalama sonuç kontrol işleminde 0,61 ile elde edilirken Kn+Kz işlemi de 0,57 ile buna çok yakın bir değer almıştır. Dickson kalite indisi bakımından kontrol ve Kn+Kz işleminde elde edilen ortalama değerlerin aynı

olduğu (0,05) tespit edilmiştir. Bu çalışmada tali tür konumunda olsa da bir yaşındaki kızılâğaç fidanlarında ölçülen tüm morfolojik parametrelere ilişkin minimum, maksimum ve ortalama değerler Tablo 2’de verilmiştir.

*Tablo 2. Kızılâğaç fidanlarına ilişkin tanımlayıcı değerler*

Morfolojik Parametreler	Minimum	Maksimum	Ortalama ± Std. Sapma
FB (cm)	7,30	20,00	12,36±3,72
KBÇ (mm)	2,00	5,00	3,79±0,87
TGA (g)	0,70	5,53	2,63±1,48
KGA (g)	0,29	2,11	1,00±0,55
TKA (g)	0,47	4,93	1,92±1,17
KKA (g)	0,26	1,72	0,84±0,43
FTA (g)	1,17	10,46	4,55±2,60
FKA (g)	0,56	3,68	1,84±0,95
KB (cm)	8,00	35,00	22,22±7,19
KS (adet)	1,00	6,00	3,20±1,51
YA (g)	0,03	0,27	0,11±0,07
KKY (%)	36,73	61,05	46,44±6,01
Gİ (mm/mm)	21,87	41,96	32,60±5,35
Kİ	0,64	1,72	1,19±0,28
DKİ	0,01	0,10	0,06±0,03

Kızılâğaç fidanlarının morfolojik özelliklerine ilişkin tablo incelendiğinde, fidan boyu değerlerinin 7,30 cm ile 20,00 cm arasında değiştiği ve ortalamasının 12,36 cm olduğu tespit edilmiştir. Kök boğazı çapına ilişkin ortalama değer 3,79 mm olurken, bu değer 2,00 mm ile 5,00 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Taze gövde ve kök ağırlıklarının toplamı olan fidan taze ağırlığı ile kuru gövde ve kök ağırlıklarının toplamı olan fidan kuru ağırlığına ilişkin ortalama değerler sırasıyla 4,55 g ve 1,84 g olarak elde edilmiştir. Kök boyu değerlerinin ortalama olarak 22,22 cm olduğu ve 8,00 cm ile 35,00 cm arasında değiştiği, kök sayısı değerlerinin ise ortalama olarak 3,20 adet olduğu ve 1,00 adet ile 6,00 adet arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kızılâğaç fidanlarının köklerinde oluşan ve azot bağlayan yumrucukların 0,03 g ile 0,27 g arasında değiştiği ve ortalama yumrucuk ağırlığının 0,11 g olduğu belirlenmiştir. Kuru kök yüzdesine ilişkin en düşük değer %36,73 olurken en yüksek değer ise %61,05 olup, bu parametreye ilişkin ortalama değer de %46,44 olmuştur. Gürbüzlük indisi değerleri açısından 32,60 olarak belirlenen ortalama değer 21,87 ile 41,96 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Katlılık indisi değerlerinin 0,64 ile 1,72 arasında değiştiği ve ortalamasının 1,19 olduğu belirlenmiştir. Dickson kalite indisi değerleri incelendiğinde ise en düşük değer 0,01, en yüksek değer 0,10 ve ortalamasının da 0,06 olduğu belirlenmiştir. Doğu kayını fidanlarının yapraklarına ve fidanların yetiştiği ekim yastıklarının-



dan alınan toprak örneklerine ilişkin elementel analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Yaprak ve toprak örneklerine ilişkin elementel analiz ve varyans analizi sonuçları

			Minimum	Maksimum	Ortalama $\pm$ Std. Sapma	<i>p</i>
Yaprak	N (%)	Kontrol	1,67	1,86	1,76 $\pm$ 0,13	0,848
		Kn+Kz	1,70	1,84	1,78 $\pm$ 0,07	
	C (%)	Kontrol	45,29	45,84	45,57 $\pm$ 0,39	0,451
		Kn+Kz	45,54	45,96	45,79 $\pm$ 0,22	
Toprak	N (%)	Kontrol	0,18	0,20	0,19 $\pm$ 0,02	0,647
		Kn+Kz	0,14	0,22	0,18 $\pm$ 0,04	
	C (%)	Kontrol	0,04	0,05	0,05 $\pm$ 0,01	0,030*
		Kn+Kz	0,02	0,03	0,02 $\pm$ 0,01	

\* %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır.

Yaprak ve toprak örneklerine ilişkin varyans analizi sonuçları incelendiğinde, yalnızca toprak örneklerinin karbon değerleri açısından işlemler arasında %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Yaprak örneklerine ilişkin kontrol ve Kn+Kz işlemlerinde ortalama azot değerleri sırasıyla %1,76 ve %1,78 olarak elde edilirken, ortalama karbon değerleri ise sırasıyla %45,57 ve %45,79 olarak elde edilmiştir. Toprak örneklerine ilişkin kontrol ve Kn+Kz işlemlerinde ortalama azot değerleri sırasıyla %0,19 ve %0,18 olarak belirlenirken, ortalama karbon değerleri ise sırasıyla %0,05 ve %0,02 olarak belirlenmiştir. Buradan hareketle, azot ve karbon değerleri açısından işlemler arasında fark olmasa da yaprak örneklerinde Kn+Kz işleminin, toprak örneklerinde ise kontrol işleminin daha yüksek sonuçlara sahip olduğu tespit edilmiştir.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada, azot bağlayıcı kızılâğaç türü ile birlikte kombine yöntemle ekilen doğu kayını türünün tohumlarından yetiştirilen fidanlara ilişkin birinci vejetasyon dönemi sonunda 14 farklı morfolojik parametre ile yaprak ve toprak örneklerine ilişkin iki farklı fizyolojik parametre ölçülmüştür. Doğü kayını fidanlarına ek olarak kızılâğaç türünün fidanlarında köklerinde bulunan ve azot bağlamaya yarayan yumrucukların ağırlıkları da tespit edilmiştir. Her ne kadar çalışmada ölçülen morfolojik parametrelere ilişkin işlemler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar meydana gelmemiş olsa da bazı farklılıklar oluşmuştur. Buna göre, en önemli morfolojik karakterlerden olduğu kabul edilen fidan boyu ve kök boğazı çapının ortalama değerleri kontrole (12,46 cm ve 3,86 mm) kıyasla Kn+Kz işleminde (13,51 cm ve 3,97 mm) daha yüksek olarak elde edilmiştir. Fi-

dan taze ve kuru ağırlıkları açısından kontrol işleminde elde edilen ortalama değerler sırasıyla 3,58 g ve 1,74 g olarak tespit edilmiş ve Kn+Kz işlemindeki (sırasıyla 3,50 g ve 1,63 g) değerlerden daha yüksek olarak ortaya çıkmıştır. Yine kök boyu açısından kontrol işleminde Kn+Kz işleme kıyasla daha yüksek sonuçlar elde edilmiş olup, kök sayısında ise tam tersi bir durum söz konusu olmuştur. Kuru kök yüzdesi ve gürbüzlük indisi açısından Kn+Kz işleminde, katlılık indisi açısından ise kontrol işleminde daha yüksek sonuçlar ortaya çıkmıştır. Gürbüzlük indisine ilişkin Yahyaoğlu ve Genç (2007) tarafından yapılan değerlendirme dikkate alındığında, çalışmada elde edilen sonuçlara göre hem kontrol işlemi (32,05) hem de Kn+Kz işlemi (34,48) kaliteli fidanlar sınıfında ( $G\bar{I} < 50$ ) yer almıştır. Katlılık indisi açısından, kontrol işleminde 0,61 olarak elde edilen ortalama değer, Kn+Kz işleminde 0,57 olarak elde edilmiştir. Fidan kalitesinin belirlenmesindeki en önemli indislerden biri olan Dickson kalite indisi değerlerine göre hem kontrol hem de Kn+Kz işleminde ortaya çıkan sonuca (0,05) göre her iki işlemde elde edilen fidanların benzer kalitede olduğu belirlenmiştir. Dickson kalite indisi için Aslan (1986) tarafından yapılan “DKİ değeri 1’e yaklaştıkça fidan kalitesi artar” değerlendirmesi dikkate alındığında, kontrol ve Kn+Kz işleminde elde edilen ortalama değerler aynı olduğundan bu iki işlemdeki fidan kalitelerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yaprak örneklerinin azot ve karbon ölçümleri ile toprak örneklerinin azot ölçümleri neticesinde kontrol ve Kn+Kz işlemlerinde ortalama değerler açısından birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Öte yandan, yaprak örneklerinde ölçülen azot ve karbon değerlerinin toprak örneklerinde ölçülenlere kıyasla çok daha yüksek sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Saf ve karışık halde yetiştirilen sakallı kızılgağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) ve doğu kayını (*Fagus orientalis*) fidanlarına ilişkin yapılan bir çalışmada, iki yaşındaki doğu kayını fidanları azot bağlayıcı bir yaşındaki sakallı kızılgağaç fidanları ile birlikte araziye dikilmiştir. Çalışma sonucunda dikimden iki yıl sonra karışık halde yetiştirilen doğu kayını fidanlarının, saf halde yetiştirilen doğu kayını fidanlarına göre daha iyi gelişim gösterdiği tespit edilmiştir (Güner vd., 2018). Güney vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris*) ile bazı azot bağlayıcı bitkilerin (*Alnus glutinosa*, *Robinia pseudoacacia*, *Vicia sativa*) kombine ekimi gerçekleştirilerek sarıçam fidanlarının gelişimi üzerine etkisi incelenmiştir. Bir yıllık büyüme dönemi sonunda *Pinus sylvestris* (kontrol) işleminde fidan boyu 3,36 cm olarak elde edilirken, *Pinus sylvestris*+*Vicia sativa*, *Pinus sylvestris*+*Alnus glutinosa* ve *Pinus sylvestris*+*Robinia pseudoacacia* ekim kombinasyonlarında sırasıyla 6,84 cm, 6,25 cm ve 5,53 cm değerleri elde edilmiş olup azot bağlayan bitkilerin fidan boyu üzerinde önemli oranda artış sağladığı belirlenmiştir. Yapılan

çalışmalara kıyasla çalışmamızda belirlenen kontrol ve  $K_n+K_z$  işlemlerinde özellikle morfolojik parametreler açısından literatürdeki çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Azot bağlayıcı bitkiler ile doğu kayını fidanlarının kombine yöntemle yetiştirilmesine yönelik çalışmalar sınırlı olsa da kayın fidanlarının yetiştirilmesinde gübre kullanımına ilişkin çalışmalar da mevcuttur. Doğru kayını fidanlarının morfolojik özellikleri üzerine dikim yoğunluğu ve vermikompost uygulamasının etkilerinin incelendiği bir çalışmada, 10 cm dikim yoğunluğu ile dikilen 1+0 yaşlı kayın fidanlarında kontrol işleminde fidan boyu 16 cm, kök boğazı çapı 4,98 mm ve fidan kuru ağırlığı 1,683 g olarak elde edilirken, vermikompost uygulanan fidanlarda bu değerler sırasıyla 18,5 cm, 6,07 mm ve 2,030 g olarak belirlenmiştir (Atik, 2013). Trabzon-Maçka orijinli doğu kayını tohumlarına uygulanan farklı oranlardaki biyohumusun (0,5 ml, 1 ml ve 2 ml), fidanların ilk yıldaki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, 0,5 ml'lik biyohumus içerisinde 12 ve 24 saat bekleyen tohumlardan yetiştirilen fidanların, gerek fidan boyu gerekse kök boğazı çapı bakımından en fazla büyümeyi yaptıkları belirlenmiştir (Güney vd., 2010).

Özellikle kimyasal gübrelerin kullanımı hem maliyet hem de çevre kirliliği oluşturmakta ve ayrıca zamana bağlı olarak toprak yorgunluğuna sebep olabilmektedir. Ancak, simbiyotik yolla fiksasyonu sayesinde azotun bitkiler için kullanılabilir forma dönüştürülmesi ile azotlu gübre maliyetlerinin düşürülmesi ve kimyasal gübre kullanımı ile oluşan çevre kirliliğinin önlenmesi sağlanabilir. Ayrıca, diri örtü probleminin olduğu ya da rakım, iklim ve toprak özellikleri bakımından ekstrem koşullar nedeniyle kaliteli fidanların kullanılması gereken alanlarda azot bağlayıcı türler ile kombine ekim yapılarak elde edilecek daha kaliteli fidanları kullanmanın önemli bir avantaj olabileceği bildirilmektedir (Güney vd., 2019). Öte yandan, yapılan çalışma kapsamında bir yıllık fidanların bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri araştırılmış ve çalışmada belirlenen işlemler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar elde edilememiştir. Doğru kayını fidanlarının azot bağlayıcı türlerle kombine yöntemle yetiştirilmesinde farklı ekim sıklıkları, farklı türler ya da daha uzun deneme süresi neticesinde daha başarılı sonuçlar elde edilebilir.

## KAYNAKÇA

- Anonim. (1985). *Kayın El Kitabı*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, El Kitabı Dizisi: 1, Muhtelif Yayınlar Serisi: 42, Ankara, 88 s.
- Aphalo, P. and Rikala, R. (2003). Field Performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 25(93-108), Kluwer Academic Publishers. Printed in The Netherlands.
- Aslan, S. (1986). *Kazdağı göknarı (Abies eguitrojani Ascher et Sinten)'nın Fidanlık Tekniği Üzerine Çalışmalar*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayını, Teknik Bülten Serisi No:157, Ankara.
- Atalay, İ. (1992). *Kayın (Fagus orientalis Lipsky) Ormanlarının Ekolojisi ve Tohum Transferi Yönünden Bölgelere Ayrılması*. Orman Bakanlığı, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Yayın No: 5, Ankara, 209 s.
- Atay, İ. (1982). *Doğal Gençleştirme Yöntemleri-I*. İ.Ü. Orman Fak. Yay. No: 306, İstanbul.
- Atik, A. (2013). Effects of planting density and treatment with vermicompost on the morphological characteristics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky). *Compost Science & Utilization*, 21(2), 87-98.
- Ayan, S. (1999). *Tüplü doğu ladini (Picea orientalis Lipsky.) fidanlarının yetiştirme ortamları özelliklerinin tespiti ve üretim tekniğinin belirlenmesi* (Doktora Tezi). KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Ayan, S. (2002). *Determining the site condition features of Containerized-Oriental Spruce (Picea orientalis (L.) Link.) seedlings; and setting the production Techniques, Ministry of Forests, the Institution of Eastern Black Sea Forestry Research*. Ministry Publication Number: 179, Eastern Black Sea Forestry Studies (DKOA), Publication Number: 14, Technical Bulletin Publication Number: 11, Trabzon.
- Bayraktar, A. and Atar, F. (2021). Effects of different nanotechnological fertilizer applications on SPAD value in *Fagus orientalis* leaves. Paper presented at 4th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences, Ankara, 24-26 November.
- Bayraktar, A., Güney, D. ve Atar, F. (2021). *Farklı nanoteknolojik sıvı organo-mineral gübre dozlarının doğu kayını fidanlarının fotosentetik pigment içerikleri üzerine etkileri*. İçinde: Cengizler İ, Duman S (Editörler) Ziraat, orman ve su ürünlerinde araştırma ve değerlendirmeler – I. Gece Kitablığı, Ankara, pp 267-284.
- Bergmann, W. (1992). *Nutritional disorders of plants. Development, visual and analytical diagnosis*. pp. 1-741. Gustav Fischer Verlag Jena. Stuttgart.

- Diagne, N., Arumugam, K., Ngom, M., Nambiar-Veetil, M., Franche, C., Narayanan, K.K. and Laplaze, L. (2013). Use of *Frankia* and actinorhizal plants for degraded lands reclamation. *Hindawi Publishing Corporation, BioMed Research International*, 2013, 1-9.
- Dickson, A., Leaf, A.L. and Hosner, J.F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.
- Elkan, G.H. (1992). *Biological nitrogen systems in tropical ecosystems: An overview*. In: Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture (Ed: Mulongoy, K., Gueye, M., Spencer, D.S.C.), John Wiley & Sons, Chichester. UK, pp. 27-40.
- Eşen, D. (2000). *Ecology and Control of Rhododendron (Rhododendron ponticum L.) in Turkish Eastern Beech (Fagus orientalis Lipsky) Forests*. Doctora Thesis (unpublished). Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 111 p.
- Eyüboğlu, A.K., Atasoy, H. ve Küçük, M. (1993). *Doğu Karadeniz Bölgesinde doğu kayını (Fagus orientalis Lipsky) orijin denemelerinin dokuz yıllık sonuçları*. Ormançılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten No. 237, Ankara.
- Fang, J. and Lechowicz, M.J. (2006). Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world. *J Biogeogr*, 33, 1804-1819.
- FAO. (1993). *Technical handbook of symbiotic nitrogen fixation. Legume/Rhizobium*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Graham, P.H. and Vance, C.P. (2000). Nitrogen fixation in perspective: An overview of research and extension needs. *Field Crops Research*, 65, 93-106.
- Gülseven, O., Ayan, S., Özel, H.B. ve Yer, E.N. (2019). Farklı doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) popülasyonlarına ait fidanların morfolojik ve fizyolojik karakteristikleri. *Türkiye Ormançılık Dergisi*, 20(3), 180-186. <https://doi.org/10.18182/tjf.576898>
- Güner, S., Göktürk, A. ve Küçük, M. (2018). Saf ve karışık halde yetiştirilen sakallı kızılbaş (*Alnus glutinosa* Gearth. subsp. *barbata*) ve doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) fidanlarının kısa dönem biyokütle değerleri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 1-7.
- Güney, D., Bak, Z.D., Aydınoglu, F., Turna, İ. ve Ayaz, F.A. (2013). Effect of the geographical variation on the sugar composition of oriental beech (*Fagus orientalis Lipsky*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37, 221-230. <https://doi.org/10.3906/tar-1204-36>
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F. and Turna, I. (2020). Effects of root undercutting, fertilization and thinning on seedling growth and quality of oriental beech (*Fagus orientalis Lipsky*) seedlings. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2), 214-222.

- Güney, D., Kulaç, Ş., Turna, İ. and Yahyaoğlu, Z. (2010). Different biohumus effects on growth performance of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) seeds. I. Uluslararası Türk-Japon Çevre ve Ormancılık Sempozyumu, Trabzon, 04-06 Kasım.
- Güney, D., Seyis, E., Atar, F., Bayraktar, A. and Turna, İ. (2019). Effects of some nitrogen-fixing plants on seedling growth of scotch pine. *Turkish Journal of Forestry*, 20(4), 284-289.
- Güney, D., Turna, H., Turna, İ., Kulaç, Ş., Atar, F. and Filiz, E. (2016a). Variations within and among populations depending on some leaf characteristics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky). *Biological Diversity and Conservation*, 9, 1-9.
- Güney, D., Turna, İ. ve Kulaç, Ş. (2006). Doğu kayınında (*Fagus orientalis* Lipsky.) vejetasyon sürelerine bağlı olarak bazı morfolojik özelliklerin irdelenmesi. 18. Ulusal Biyoloji Kongresi, Adnan Menderes Üniversitesi, Nobel Yayın No. 959, Fen ve Biyoloji Dizisi: 35, Kuşadası/Aydın, 26-30 Haziran.
- Güney, D., Turna, İ., Bayraktar, A., Seyis, E. and Atar, E. (2016b). Comparison of differently originated oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) seedling growth in field. *Biological Diversity and Conservation*, 9, 10-18.
- Güney, D., Yahyaoğlu, Z., Turna, İ., Bayraktar, A. and Atar, F. (2019). Genetic diversity in *Picea orientalis* (L.) Link Populations in Different Turkey. *Šumarski list*, 143(11-12), 539-547. <https://doi.org/10.31298/sl.143.11-12.4>
- Haynes, R.J. (1986). *Uptake and assimilation of mineral nitrogen by plants*. In: Mineral Nitrogen in the plant-soil system. (Ed: Haynes, R.J.) Academic Press. London and Orlando, pp. 303-362.
- İmriz, G., Özdemir, F., Topal, İ., Ercan, B., Taş, M.N., Yakışır, E. ve Okur, O. (2014). Bitkisel üretimde bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri (PGPR)'ler ve etki mekanizmaları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 12(2), 1-19.
- Kacar, B. ve Katkat, A.V. (1998). *Bitki besleme*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No. 127, Vipaş Yayınları No. 3. Bursa: Özsan Matbaası. s. 1-595.
- Kacar, B. ve Katkat, A.V. (2018). *Gübreler ve gübreleme tekniği*. 6. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Kalıpsız, A. (1962). Growth and yield of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) stands. Publications of General Directorate of Forestry, Number 339, Istanbul, Turkey.
- Kandemir, G. and Kaya, Z. (2009). *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of Oriental beech (Fagus orientalis)*. Biodiversity International, Rome, Italy.

- Köse, N. and Güner, H.T. (2012). The effect of temperature and precipitation on the intra-annual radial growth of *Fagus orientalis* Lipsky in Artvin, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(4), 501-509.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. pp. 1-889. Academic Press Limited, New York.
- Mortimer, P.E., Gui, H., Xu, J., Zhang, C., Barrios, E. and Hyde, K.D. (2015). Alder trees enhance crop productivity and soil microbial biomass in tea plantations. *Applied Soil Ecology*, 96, 25-32.
- OGM. (2015). *Türkiye Orman Varlığı*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, OGM Matbaası, Ankara, 36 s.
- Özel, H.B. and Ertekin, M. (2011). Growth models in investigating oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) juvenilities growth performance in the Western Black Sea in Turkey (Devrek-Akçasu Case Study). *Romanian Biotechnological Letters*, 16(1), 5850-5857.
- Özel, H.B., Ertekin, M., Yılmaz, M. and Kırdar, E. (2010). Factors affecting the success of natural regeneration in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests in Turkey. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6, 149-160.
- Panahi, P., Jamzad, Z., Pourhashemi, M. and Hasaninejad, M. (2017). Morphological variation of *Fagus orientalis* Lipsky in the Hyrcanian forests of Iran. *Iranian Journal of Botany*, 23(1), 37-47. <https://doi.org/10.22092/ijb.2017.106702.1126>
- Pritchett, W.L. and Fisher, R.F. (1987). *Properties and management of forest soils*. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Saatçioğlu, F. (1969). *Silvikültürün biyolojik esasları ve prensipleri*. İ.Ü Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No: 1429, Orman Fakültesi Yayın No: 138, İstanbul, 323 s.
- Saatçioğlu, F. (1970). Belgrad ormanında kayının (*Fagus orientalis* Lipsky) büyük maktalı siper metodu ile tabii olarak gençleştirilmesi üzerine yapılan deney ve araştırmaların 10 yıllık (1959-1969) sonuçları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 20(2/A), 1-54.
- Smil, V. (1999). Nitrogen in crop production. *Glob Biogeol Cycl*, 13, 647-662.
- Stokdyk, J.P. and Herrman, K.S. (2014). Short-term impacts of *Frangula alnus* litter on forest soil properties. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225, 2000.
- Şanlı, İ. (1978). *Doğu kayını (Fagus orientalis Lipsky.)'nın Türkiye'de çeşitli yörelerde oluşan odunları üzerinde anatomik araştırmalar*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 2410/256, İstanbul.
- Tecimen, H.B. and Sevgi, O. (2008). Nitrogen transformations within forest soils by microorganisms. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1, 179-189.
- Tilki, F. (2002). Biyolojik azot bağlanması ormancılıktaki önemi ve kullanımı. *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, Seri B*, 52, 1.

- Tosun, S. (1993). *Batı Karadeniz Bölgesi'nde doğu kayını (Fagus orientalis Lipsky) orijin denemelerinin dokuz yıllık sonuçları*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten No: 236-237, Ankara, pp 37-63.
- Tosun, S., Gülcan, E. (1985). *Doğu kayınının (Fagus orientalis Lipsky) yapay yolla gençleştirilmesi üzerine araştırmalar*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No: 133, Ankara, 61 s.
- Tripp, L.N., Bezdick, D.F. and Heilman, P.L. (1979). Seasonal and diurnal patterns and rates of nitrogen fixation by young red alder. *Forest Science*, 25, 371-380.
- Turfan, N., Ayan, S., Nurten Yer, E. and Özel, H.B. (2019). Age-related changes of some chemical components in the leaves of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky). *South-East European Forestry*, 10(2), 117-124. <https://doi.org/10.15177/see-for.19-15>
- Turfan, N., Nurten Yer, E. and Ayan, S. (2017). The effect of magnetic field applications to chemical content of stratified seeds of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky). *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(7), 4606-4615.
- Voigtlaender, M., Laclau, J.P., de Moraes Gonçalves, J.L., de Cássia Piccolo, M., Moreira, M.Z., Nouvellon, Y., Ranger, J. and Bouillet, J.P. (2012). Introducing *Acacia mangium* trees in *Eucalyptus grandis* plantations: Consequences for soil organic matter stocks and nitrogen mineralization. *Plant and Soil*, 352(1-2), 99-111.
- Yahyaoğlu, Z. ve Genç, M. (2007). *Kalite sınıflaması çalışmaları ve Türkiye için öneriler; Fidan standardizasyonu (Standart fidan yetiştirmenin teknik ve biyolojik esasları)*. SDÜ Orman Fakültesi Yayın No: 75, Isparta.
- Yaltırık, F. ve Efe, A. (2000). *Dendroloji ders kitabı, Gymnospermae-Angiospermae*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, No: 4265/465, İstanbul.
- Yaman, B., Köse, N., Özel, H.B. and Şahan, E.A. (2020). The effect of climate on the radial growth of oriental beech. *Forestist*, 70(1), 53-59.
- Yılmaz, H. (2018). *Fagus L. İçinde: Türkiye'nin doğal-egzotik ağaç ve çalıları*; Akkemik, Ü. (Editör), pp 337-338, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Yılmaz, M. (2008). Three-year storage of oriental beechnuts (*Fagus orientalis* Lipsky). *Eur J Forest Res*, 127, 441-445. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0227-5>
- Yılmaz, M. (2010). Is there a future for the isolated oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests in southern Turkey? *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6, 111-114.



“

## **Bölüm 2**

### **ÇELTİK-KEREVİT (*PROCAMBARUS LEPTODACTYLUS*) POLİKÜLTÜR YETİŞTİRİCİLİĞİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ**

*Özden BARIM ÖZ<sup>1</sup>*

*Sibel DOĞAN<sup>2</sup>*

”

1 Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Balık Hastalıkları ABD, Elazığ/  
Türkiye, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4202-8402/> obarimoz@firat.edu.tr

2 Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Balık Hastalıkları ABD, Elazığ/  
Türkiye, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4569-5435/> sbarata@firat.edu.tr

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu yirminci yüzyılın ikinci yarısından sonra hızla artan dünya nüfusuyla beraber, doğada oluşturduğu kirliliği fark etmeye başlamıştır. Özellikle ormansızlaşma ve sanayi süreçleri, fosil yakıtların yakılması gibi çeşitli insan etkinlikleri ile sera gazlarının atmosfere salınması ve atmosferdeki birikimlerin hızlı artışına bağlı olarak atmosferin alt bölümlerindeki sıcaklık artışıyla küresel ısınma oluşturmuştur. Genel olarak, havzaların bulunduğu bölgelere bağlı olarak iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde yaratacağı önemli etkiler; yüzeysel su potansiyellerinde azalma veya artış, yağış rejimi, taşkınlar ve kuraklık, değişen bitki örtüsü ve arazi kullanımlarının sebep olduğu erozyon sorunları, kar suları ile beslenen akarsuların akış rejimlerinde farklılaşma, tarımsal su gereksinimlerinde artış şeklinde sıralanabilir. Küresel iklim değişikliği ile alakalı olan olağanüstü hava olayları, gıda ve temiz suya erişimde problemler, ekosistemin bozulması, kentsel altyapı ve yerleşim yerlerinde meydana gelen hasarlar, hastalık ve ölümlerin artması, öncelikle insanların yaşam kalitesini ve refahını riske altında bırakmaktadır. Küresel Gıda Krizleri raporunda, 2018 yılında yetersiz beslenme nedeniyle 53 ülkede 113 milyonu aşkın insanın hayatının tehlikede olduğu bildirilmiştir. İklim değişikliği sonucu azalan gıda üretimini arttırmak için kullanılan kimyasal maddeler hem su hem de çeltik tarlalarında dahil olmak üzere tüm tarımsal alanlarda sera gazı salınımını arttırmaktadır (Şahin ve Avcioğlu, 2016; Demirbaş ve Aydın, 2020; Karaman ve Gökalp, 2010; Hu vd., 2021).

2000 yılında 6,1 milyar, 2015 yılında 7,2 milyar, 2030 yılında ise 8,2 milyara ulaşması beklenen nüfustan dolayı bu çağda meydana gelen böyle bir komplike kirlilik gıda kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi konusunu ön plana çıkarmaktadır. Buna karşın gıda kaynaklarında azalmalar olduğu bilinmektedir. Araştırmalar, gıda üretiminin dünyada yılda %1,2 oranında artacağını, talebin ise %1,3 oranında artarak gıda açığının yaşanacağı gösterilmektedir (URL 1). Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla özellikle tarım ve hayvancılıkta kullanılan hormonlar ve pestisitler ürün miktarını arttırırken besin kalitesini düşürmektedir (Barım ve ark., 2009; Kim vd., 2019; Barım ve Karatepe, 2010; Hou vd., 2020; Uçkun ve Barım Öz, 2021 ).

Türkiye'nin bulunduğu coğrafyada kısıtlı su, toprak ve bitki kaynakları arasındaki kırılgan ve hassas denge, sürdürülebilir gıda üretimi için etkin stratejilerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Ayrıca stratejik öneme sahip toprak ve su kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesi, insan sağlığının, gıda güvenliğinin, toplumların refahının ve ekosistemlerin korunması açısından küresel boyutta da büyük önem arz etmektedir (URL 1). Son yıllarda yapılan çalışmalarda; polikültür yetiştiriciliğinin, su, alan ve besin geri dönüşümünün verimli kullanımını teşvik ettiği, sür-

dürülebilir gıda üretimi için geliştirilen önemli stratejik yöntemlerden biri olduğu belirlenmiştir. Bu yetiştiricilik şeklinde üretimi etkin bir şekilde artırmak için, beslenme davranışları, alışkanlıkları ve ekolojik ihtiyaçları bakımından farklılık gösteren iki veya daha fazla tür aynı ortamda yetiştirilir (Hisano vd., 2019; Fitzsimmons vd., 2017). Bu yöntem hem su ürünleri yetiştiricilik sektöründe üretim ve yetiştiriciliği yapılan türler arasında hem de tarımsal üretimi yapılan bitki türleri ile bazı bitki türleri ve akuatik canlılar arasında gerçekleştirilebilmektedir. Yapılan araştırmalarda özellikle Çin'in çeltik-kerevit polikültür yetiştiriciliği üzerine odaklandığı belirlenmiştir (Hou vd., 2020; Jin vd., 2020). Ülkemizde bu konuda yapılan araştırmalar özellikle tilapia (*Oreochromis niloticus*)-kırmızı bataklık kereviti (*Procambarus clarkii*) (URL 2), farklı sazan türleri (*Cyprinus carpio*, *Ctenopharyngodon idellus*) (Dikel vd., 2019), kerevit (*Pontastacus leptodactylus*)-çeltik (*Oryza sativa*) (Berber vd., 2019) polikültür yetiştiriciliğinin farklı boyutlarda incelenmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Kerevitin (tatlı su istakozu) sürdürülebilir gıda üretimi için çeltik ve ılık sularda yaşayan bazı balık türleriyle yapılan polikültür yetiştiriciliğinde oldukça uyumlu bir tür olduğu belirlenmiştir (Hou vd., 2020). Dünyada 737 tür ve alttür ile temsil edilen kerevitler; Arthropoda (eklembacaklılar) filumunun Crustacea (kabuklular) sınıfının Decapoda (onayaklılar) takımında toplanırlar (Kumlu, 1998; Berber vd., 2019). Yapılan genetik araştırma sonucunda, Türkiye'deki bu türün *Pontastacus leptodactylus* olduğu rapor edilmiştir (Akhan vd., 2014). Kerevitler dünyada avcılık ve yetiştiricilik yoluyla elde edilebilmektedir. Su ürünleri istatistik verilerine göre Türkiye'de yetiştiriciliği yapılamayan kerevitin avcılık yoluyla elde edilen miktarı 2020 yılında 1233 ton, 2021 yılında 1011 ton olduğu belirlenmiştir (URL 3).

Ülkemizde bulunan kerevit popülasyonları; 1985-1986 yıllarında kerevit vebası (*Aphanomyces astaci* Schikora)'nın sularımızda yaygınlaşması, pekçok ülkede sevilerek tüketilmesi sebebiyle, ekonomik değerinin her geçen gün artması, bilinçsiz avlanma ve sulardaki kirlenme nedeniyle hızla azalmaktadır. Avrupa ve Amerika'da lüks bir gıda maddesi olarak tüketilen kerevitin ülkemizde turistik lokantalar dışında yenilme alışkanlığının olmaması ve pahalı olmasından dolayı tüketimi oldukça azdır. Bundan dolayı üretimin hepsi hemen hemen Avrupa ve İskandinavya ülkelerine ihraç edilmekte ve ülkemiz için iyi bir gelir sağlanmaktadır (Barim, 2009). Ayrıca, *Pontastacus leptodactylus*'un Avrupa'nın diğer doğal kerevit türlerine göre mantar hastalığına karşı daha dayanıklı, büyüme ve üreme oranının daha yüksek olması, ortam şartlarına karşı hızlı uyum sağlaması ve lezzetinin Avrupa'da çok beğenilen kerevit türü olan *A. astacus*'a çok benzemesi onun diğer kerevit türlerinden ayıran özelliklerdir (Köksal vd., 1992; Barim vd., 2009; Barim ve Karatepe, 2010). Bu nedenle

kerevit yetiştiriciliğinin yapılması ve mevcut doğal stokların desteklenmesi büyük önem arz etmektedir. Ergin kerevitlerle doğal ortamın stoklanması ucuz ve teknik açıdan kolay olmakla birlikte, ergin istakozların çevreye uyumlarının zor olması ve yem seçme alışkanlıklarının da fazla olması gibi dezavantajları bulunmasının yanı sıra, hastalık taşıyabilmeleri açısından da sakıncalı görünmektedir. Bunlara ilave olarak doğal koşullarda genel olarak ilk yaz yavruların ölüm oranı %90'ı bulmaktadır. Bu nedenle, doğal sulara ergin dişi ve erkek, yumurtalı dişi ve yavruların yerine ilk yazını bitirmekte olan ya da bitirmiş olan bireylerin atılmasının uygun olduğu belirtilmektedir (Köksal vd., 1992; Berber ve Palaz, 2000). Ayrıca doğal koşullarda ölüm oranının yüksek olması, yapay koşullarda yavru üretimini gerekli kılarak, süreci hızlandırmıştır.

Uzakdoğu'daki milyonlarca insanın önemli temel besin maddelerinden biri olan pirinç, çeltiğin işlenmesi ile elde edilen, tropikal ve subtropikal bölgelerin doğal bitki ürünüdür. Temel olarak bol yağışlı ve sıcak bölgelerde yetişen çeltik, Kuzey Yarımküre'de ve Asya'da 41° - 42°'ye; Hokkaido Adası'nda 44°'ye; Avrupa'da ise İtalya'da ise 46°'nin paraleline kadar çıkabilmekte, Güney yarım küre'de Avustralya'nın 35° enlemine kadar dayanabilmektedir. Çeltiğin optimal büyüebilme şartları; büyüme devresinde 22° - 25°C, olgunlaşma döneminde 30° - 32°C'lik sıcaklık ile genel yetişme döneminde toplam 4000° - 5000'lik kaloriyi kapsamaktadır. Bütün bitkisel tarımda olduğu gibi çeltik tarımında da su ve toprak sıcaklığı çok önemlidir. Özellikle ekim döneminde su sıcaklığının ortalama 12°C; toprak sıcaklığının ise 12 °C'nin üzerinde olması verimi arttırmaktadır. Bu bitkinin tarımı için öncelikle arazi yapısının düz ya da düze yakın veya çok iyi düzlenmiş olması gerekir. Böylece çeltik tarımı için gereken sulamanın kolay ve rahatça yapılabilirdiği ova ve vadi tabanları oluşturulur. Çeltik bitkisi, toprak isteği bakımından seçici olmayıp; kumlu ve tınlılardan, yoğun killi ortamlara kadar hemen her çeşit toprakta yetişirilebilir. Ancak daha iyi verim almak için toprağın bitkisel açıdan besin maddelerince zengin, su geçirmeyen ve yumuşak olan killi bir yapıda olması gerekmektedir (Taşlıgil ve Şahin, 2011).

Dünya 2019/20 sezonunda 160,5 milyon hektar alandan, 495,9 milyon ton pirinç elde edildiği tahmin edilmektedir. 2019 yılı sonunda başlayıp dünyada hızla yayılan COVID-19 pandemisi sezona damga vurmuştur. Pirinç fiyatlarında tarihi rekorlar kırılmış olup, küresel ticarete daralma yaşanmıştır. Küresel ithalatın 40 milyon ton, ihracatın ise yaklaşık 43 milyon ton olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. Küresel tüketimin 488,9 milyon ton, yılsonu stoklarının ise 181,7 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (Taşlıgil ve Şahin, 2011).

Türkiye'de 2019/20 sezonunda, 126 bin 419 ha alandan, 600 bin ton pirinç elde edildiği tahmin edilmektedir. Söz konusu sezonda nüfus artışı

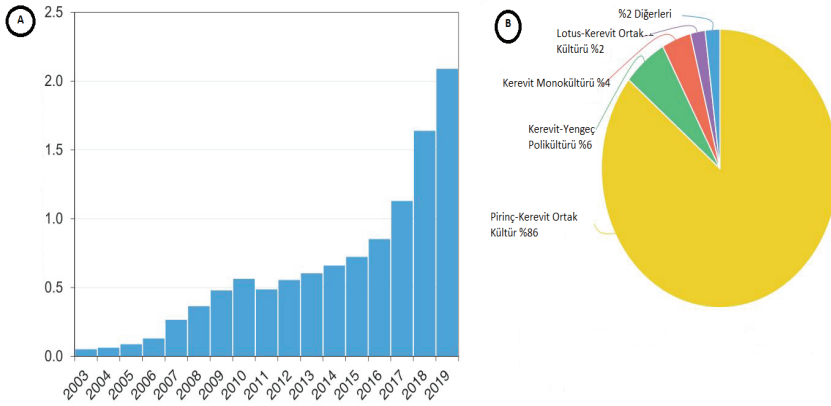
ve pandeminin yarattığı endişenin etkisiyle tüketimde artış yaşandığı tahmin edilmektedir. 2019/20 piyasa yılında çeltik ithalatının 178 bin tonu, yarı/tam değirmenden geçirilmiş pirinç ithalatının 114 bin tonu, kahverengi pirinç ithalatının ise 10 bin tonu aştığı düşünülmektedir. Aynı dönem için, çeltik üretici fiyatı ortalaması 3,53 TL/kg, pirinç tüketici fiyatı ortalaması ise 10,02 TL/kg'dır (Taşlıgil ve Şahin, 2011). Gerek dünyada gerekse ülkemizde artan nüfusa paralel olarak daha fazla miktarda pirinç elde edebilmek için çeltik ekim alanlarının genişletilmesi sonucunda sera gazı salınımı, dolayısıyla küresel ısınma artmaktadır (Şahin ve Avcioğlu, 2016; Tan vd., 2021).

Son yıllarda özellikle Çin'de su ve tarımsal arazilerin verimli kullanılması için yoğun bir şekilde çeltik-kerevit polikültür yetiştiriciliği (CKPY) yapılmaktadır (Hou vd., 2020; Jin vd., 2020). Çeltik dünyada geniş bir dağılım göstermekte ve çok çeşitli habitatlarda (bataklık, savan, ormanlık alan, sürekli yeşil ormanlar, tatlı su lagünleri, durgun sular, derin sular sığ sular ve yavaş hareket eden sular gibi) yetiştirilebilmektedir. Fakat su geçirgenliği az, organik maddece zengin topraklarda verimi daha yüksektir. Kerevitler ise yaşayan ve çürümüş bitkiler, tahıllar, algler, küçük omurgasızlardan küçük balık türleri gibi omurgalılara kadar geniş bir grup ile beslendiğinden dolayı; herbivor, detritivor, omnivor ve karnivor olarak tanımlanır (Berber vd., 2019). Bütün bu veriler incelendiğinde gerek pirinç gerekse kerevitin birbirine yakın ortam şartlarını istemesi, kerevitlerin geniş beslenme yelpazesine sahip olması, CKPY'nin çevre dostu, sürdürülebilir toprak ve su ilkesine cevap vermesi büyük avantajlar sağlamaktadır (Tan vd., 2021; Peng-li vd., 2022).

## 2. ÇELTİK-KEREVİT POLİKÜLTÜR YETİŞTİRİCİLİĞİ

Uluslararası Tahıl Konseyi, 2021 yılında küresel pirinç üretiminin 509 milyon ton olduğunu ve dünya pirinç ticaretinin de 51 milyon ton olarak gerçekleştiğini belirtmiştir. Çin'deki en büyük tahıl ürünü olan pirincin, 2020'de toplam yıllık ekim alanı 30,3 milyon hektar olarak dünyadaki pirinç ekim alanının %18,5'ini oluşturmakta ve Hindistan'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır (URL 4). Ayrıca, üretimi 2020'de dünya toplamının %26,7'sini oluşturmuş ve tüm pirinç üreten ülkeler arasında ilk sırada yer almıştır. Ülkemizde ise 2021 yılında çeltik ithalatı 73 bin 121 ton ve ihracatı 173 ton olarak gerçekleşmiştir. Pirinçte kendine yeterlilik oranı yüzde 80 civarında olan Türkiye'de kişi başına yıllık ortalama pirinç tüketimi 10 kilogram civarındadır. Türkiye'de çeltik tarımı ağırlıklı olarak Trakya bölgesinde yapılmakla birlikte Çanakkale'de de tarım arazisi kullanımı 2007 yılında 38488 dekar iken 2016 yılı itibarıyla 107464 dekara yükselmiştir (URL 5). Çeltik-kerevit polikültür yetiştiriciliği sonucunda Çin, dünyadaki toplam kerevit üretiminin %70'inden fazlasını sağlayarak en büyük kerevit üreticisi olmuştur (Şekil 1). Son 17 yılda, kerevit üretimini

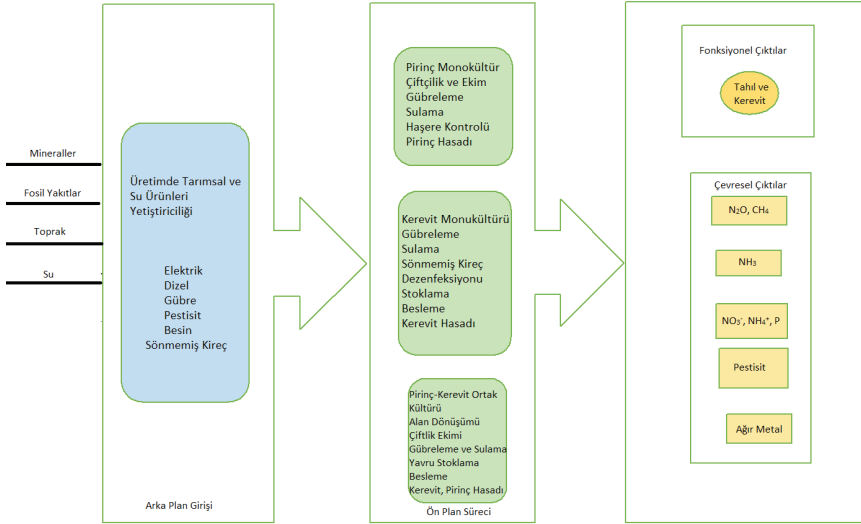
2003'te 0,1'den 21 kat arttırarak 2019 yılında 2,1 milyon ton'a ulaştırıp, en büyük kerevit ihracatı yapan ülke konumuna ulaşmıştır. En çok ithalat yapan üç ülke Birleşik Devletler, Danimarka ve Hollandadır. Bu ülkeler Çin'in kerevit ihracatının %76'sını oluşturan 128 milyon ABD doları ihracat değerine tabidir. Son yıllarda artan talebi karşılayabilmek için Çin'de çok sayıda çiftçi üretim sistemlerini çeltik tarlasından CKPY modeline çevirmiştir. Böylece 2019 sonunda yaklaşık olarak %86'sı çeltik tarlalarında olmak üzere kerevit yetiştiriciliğinin toplam alanı 1.29 milyon hektara ulaşmıştır (Xu vd., 2022).



Şekil 1. (A) Çin'de kerevit üretiminin (milyon ton) yıllara göre dağılımı, (B) 2003'den 2019'a kadar Çin'de kerevit üretimi (Xu vd., 2022).

Birleşmiş Milletler çatısı altında yürütülmekte olan iklim değişikliğiyle mücadele çalışmaları müzakereleri sonucunda iklim değişikliğine sebep olan sera gazlarının olumsuz etkilerin azaltılmasını hatta mümkünse fırsata çevrilmesini hedefleyen uyum çalışmaları büyük önem kazanmıştır. TÜİK hesaplama verileri sonucunda ortaya çıkan sera gazı emisyon envanterine göre; 2013 yılında totalde sera gazı emisyonu CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak 459,1 milyon ton (Mt) olarak tahmin edilmektedir. Bu veri içerisinde %67,8 oranı ile en büyük pay enerji kaynaklı emisyonlarıdır. Enerji kaynaklı emisyonları, %15,7 ile endüstriyel işlemler, ürün kullanımını %5,7 ile tarımsal faaliyetler ve %5,7 ile atıklar olarak sıralanmaktadır. Türkiye'de sera gazları oluşumunda tarımın etkisi yoğun olarak CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gazlarında bulunmaktadır. Tarımsal faaliyetler atıkla beraber CH<sub>4</sub> salımında %46,5 ve N<sub>2</sub>O gazı salımında ise %79,4 etkili olmaktadır. Tarımsal uygulamalar arasında çeltik yetiştiriciliği de düşünüldüğünden fazla sera gazı salımına neden olmakta ve bununla beraber yüksek miktarlarda karbon ayak izine sahiptir. Çeltik üretimi tamamen sulu zeminlerde yapılmaktadır. Çeltik tarlalarında ortaya çıkan metan gazı (CH<sub>4</sub>) suyun

içerisindeki organik maddelerin oksijensiz ortamda ayrışması sonucu oluşmaktadır. Çeltik tarlalarının sulanması ile beraber organik maddelerin ayrışması, su içerisinde bulunan oksijeni tüketmektedir. Ortamda bulunan oksijen tükendiğinde metanojenik bakteriler  $CH_4$ 'ün açığa çıkmasını sağlamaktadır (Şekil 2) (Şahin ve Avcıoğlu, 2016). Yapılan çalışmalarda pirinç üretiminin su kaynaklarını boşa harcayarak çevresel yük oluşturduğunu, aşırı kimyasal gübre ve pestisit uygulamasıyla noktasal olmayan kaynak kirliliği ve sera gazı salınımına yol açtığını belirtmiştir. Bu nedenle çeltik üretim sistemlerinde verimliliği düşürmeden olumsuz etkileri en aza indirmek sürdürülebilirlik için önemlidir (Tan vd., 2021; Hou vd., 2020) tarafından yapılan derlemede; çeltik monokültür yetiştiriciliği (CMY) ile karşılaştırıldığında CKPY sisteminin  $CH_4$  emisyonlarını azalttığı, toprak verimliliğini arttırdığı, fauna ve flora çeşitliliği sağladığı bildirilmiştir. CKPY sistemine yem girdileri, kerevit verimini %31-71 oranında artırdığı ve çevreye salınan N girdilerinin oranını %71'den %41'e düşürdüğünü ifade etmiştir. Hu vd., (2021) tarafından yapılan çalışmada CKPY sisteminin toplam çevresel etki endeksinin CMY sisteminden daha yüksek olduğunu saptamışlardır.



Şekil 2. Çeltik monokültürü, kerevit monokültürü ve çeltik-kerevit polikültürü sistemlerinin yaşam döngüsü sınırı.

Temel prensip olarak CKPY sisteminde çeltik büyümesi kerevit için yiyecek ve barınak sağlarken, kerevit de toprağa ve suya oksijen sağlayıp bitkisel ve hayvansal organizmaları yiyerek çeltik için besin geri dönüşümünü kolaylaştırır. Böylece N ve P'ü azaltıp kaynak kirliliğini hafifletir,

CH<sub>4</sub> emisyonlarını azaltır, çiftçilerin gelirini arttırıp pirincin kalitesini yükseltir (Şekil 3). Bu nedenle pirinç ve kerevit simbiyotiktir (Hu vd., 2021). Peng-li vd., (2022) nitrojen yönetim stratejilerini araştırdıkları çalışmada; CMY, CKPY sistemlerinde dört seviyede azot konsantrasyonu gradyanı-0 kg Nha-1 (0 N), 75 kg Nha-1 (75 N), 150 kg Nha-1 (150 N) ve 225 kg Nha-1 (225 N) kullanarak, 8 ve 2 yıllık CKPY tarlalarında en yüksek pirinç veriminin 150N ve 75N kullanıldığında meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bu tür polikültür yetiştiricilikte kerevitin ortamda bulunma süresinin uzunluğu tarlada N ihtiyacını azalttığını saptamışlardır.

Xu vd., (2022) kerevit monokültür yetiştiriciliği (KMY) ve CMY'den CKPY dönüşümün ekonomik analizi sonucu CKPY'nin CMY (%462) ve KMY (%7) ile kıyaslandığında daha yüksek kar oranına sahip olduğunu, CKPY ile tahıl üretimine ilave olarak kerevit eti ürettikleri bu etinde yoğun tercih edildiğini belirlemişlerdir. Çünkü İki ürünün enerji içeriği (kerevitin 100 g yenilebilir kısmında 93 kilokalori, pirincin 100 g yenilebilir kısmında 346 kilokalori), protein (kerevitin 14,8, pirincin 7,9 g) içeriği pirincinkinden iki kat daha yüksektir ve EFA içeriği (kerevitin 0,16 g, pirincin 0,10 g, pirincinkinden 1,6 kez daha yüksektir) karşılaştırıldığında insanların sağlıklı beslenme diyetlerine kerevit etinin daha fazla tercih edildiği bir gerçektir. Ayrıca bu çalışmada, CKPY'nin KMY ve CMY göre hektar başına 1,2 ile 2,21 kat daha fazla besin sağladığını saptamışlardır. Araştırmacılar tarla emisyonlarının (örneğin, CH<sub>4</sub> ve NH<sub>3</sub>) sırasıyla küresel ısınma potansiyelini, karasal asitlenme potansiyelini ve tatlı su ötrofikasyon potansiyelini güçlü bir şekilde etkilediği CKPY'nin üre uygulaması, kerevit yem girdileri ve elektrik tüketiminin büyük çevresel yük sağladığını, bu yükün hektar başına verimliliği artırarak ve/veya gübre ve yem kullanım verimliliğini artırarak azaltılabileceğini, KMY ve CMY'nden CKPY'ne geçişin daha düşük çevresel maliyetle daha fazla besin sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Peng-li vd., (2022) ve Hou vd., (2021) bu araştırmacılarla benzer bulguları saptamalarına ilave olarak kerevit yem ve dışıklarının sonraki gübre uygulamasını azalttığından CKPY yapılan tarlalarda azotlu gübre kullanımının azaltılmasının pirinç verimini artırabileceğini ve tarımsal üretim için bir kazan-kazan modeli elde edilebileceğini tespit etmişlerdir.





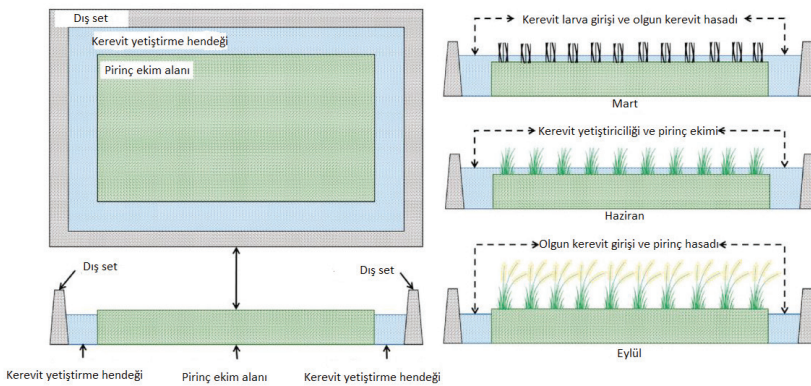
Şekil 3. Çeltik-kerevit polikültür yetiştiriciliği yapılan Çin'de bir örnekleme alanı (Hou vd., 2020).

Pirinç yetiştiriciliği yapan çoğu çiftçi, kerevit yem kalıntılarının verimli tarlalarda azotlu gübre uygulamasını azaltabileceğini düşünerek polikültür yetiştiriciliğine yönelmiştir. CKPY ve KM yetiştiriciliğinde ortalama yem miktarının  $2\ 273$  ve  $3\ 586\ \text{kg ha}^{-1}$ , %5 azot içeriğine göre ise, yem azot miktarı CKPY ve KM yetiştiriciliğinde  $114$  ve  $179\ \text{kg ha}^{-1}$  olduğu belirlenmiştir. Bazı çiftçiler, kerevit hasadı için her yıl Nisan ve Mayıs aylarında CKPY modelinde kerevitlere yem vermekte, ancak CM modelinde, Nisan ve Mayıs aylarındaki yeşillere ek olarak, kerevit verimini artırmak için Haziran ve Temmuz aylarında da büyük miktarlarda ortama yem yerleştirilmektedir (Pengli vd., 2022). Genel olarak pirinç yaz ve sonbaharda, özellikle orta mevsim pirincinde yetişen termofilik bir bitkidir. Su sıcaklığı  $15^{\circ}\text{C}$  olduğunda kerevit aktif hale gelir ve avlanarak büyüme hızlanır. Nisan ayının başından Mayıs ayının sonuna kadar, ortalama su sıcaklığı  $20$  ila  $25^{\circ}\text{C}$  arasındadır ve bu da kerevitlerin daha hızlı büyümesini teşvik eder (Huner 2002). Haziran ayında sıcaklıklar yükselmeye başladığında, kerevitler kazmaya, yuva yapmaya, çiftleşmeye ve üremeye başlar ve üremeleri Eylül ve Ekim aylarında zirveye ulaşır ve bu da zayıf büyüme yol açar (Arce ve Diéguez-Uribeondo 2015). Araştırmalar, yaz aylarında pirinç tarlalarında sıklıkla gözlemlenenler gibi yüksek su sıcaklıklarının kerevit gelişimini hızlandırdığını ve bunun da birçok kerevitin piyasa standardının altında bir boyutta olgunlaşmasına yol açtığını göstermiştir (Alcorlo et al. 2008). Bunun büyük miktarda insan ve malzeme kaynağını boşa harcadığı ve KM yetiştiriciliğinin maliyet-fayda oranını CKPY'ninkinden önemli ölçüde düşürdüğü bildirilmektedir. Yoğun KM sisteminde çiftçiler kerevit verimini artırmak için Haziran, Temmuz ve hatta Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında büyük miktarlarda yem uygulurlar. Çünkü kerevit verimi, sıcaklık ve üremenin etkisiyle Nisan ve Mayıs aylarına göre diğer aylarda çok daha düşük olur (Peng-li vd., 2022)

Çeltik-kerevit polikültür yetiştiriciliğinde açılan hendekler kerevit için barınak olarak kullanılmaktadır (Şekil 4). Xu vd., (2021) tarafından

yapılan çalışmada çeltik tarlalarında açılacak hendeklerin şekil ve yapısının genel olarak, L ve I şekilli olmasının kerevit verimi ve istikrarlı piriñç verimi ürettiğini, oysa dairesel ve U şeklinde hendeklerin piriñç ekim alanını sıkıştırdığını ve piriñç verimini azalttığını ileri sürmüştür. Bu polikültür yetiştiriciliğinde kerevit için oluşturulan hendekler çeltik tarlalarının bir kısmını işgal etmekte ve bu da piriñç veriminde düşüğe sebep olmaktadır. Yapılan çalışmada, CKPY sisteminin alansal dağılımının coğrafi ortamlar arasında farklı olduğu bulunmuştur. Düz göl alanlarında, düz arazi ve bol su kaynakları nedeniyle, çoğu CKPY alanı 2-3 ha iken, tepelik bölgelerde ortalama 0,5 ha olduğu saptanmıştır. Bu suretle farklı coğrafi ortamlarda hendek oranının piriñç verimine etkisi analiz edilmiş, çeltik tarlalarında (2 ha) hendek oranının %15 olduğu, bu oranın piriñç verimini düşürmediği, 2-8 hektarlık bir çeltik alanının ise optimal hendek oranının %10 olduğu saptanmıştır (Vromant vd., 2002).

Wu vd., (2012) düşük sulama dönemlerinde su canlıları için barınak sağlayan hendek ve gölet modelinin, azalan piriñç meşçere alanı nedeniyle piriñç verimini sınırlayabileceğini öne sürmüştür. Bununla birlikte, piriñç ekiminin, artan kenar bölgelerinden gelen etkileri güçlendirdiği ve böylece daha küçük piriñç meşçerelerinde verim kaybını telafi ederek pozitif bir kenar etkisine sahip olduğu belirlenmiştir. Mahsul topluluğunda, kenar çizgisi mahsul durumu, iç mahsullerin durumundan daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin ise, iç grupla karşılaştırıldığında, kenar grubun daha az karşılıklı gölgeleme, daha yeterli ışık, daha iyi havalandırma, daha geniş kök uzatma aralığı, daha güçlü kök sistemleri ve dolayısıyla daha yüksek bir absorpsiyon seviyesi ve daha gelişmiş olması olarak ifade edilmiştir (Peng-li vd., 2022).



Şekil 4. Çeltik-kerevit polikültür yetiştiriciliğinin şematik görünümü (Hua vd., 2021).

Yuana vd., (2020) CKPY'ni inceledikleri araştırmada; çeltik tarlalarında farklı yıllarda (10, 4-6 ve 1 yıllık) kerevit yetiştiriciliğinin bu tarlalardaki toprak kalitesini önemli ölçüde etkilediğini, en yüksek toprak kalite indeksinin 10 yıllık CKPY yapılan sistemlerde, en düşük ise geleneksel çeltik tarlalarında tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Hou vd., (2021) çeltik tarlalarında sazan, yengeç, kaplumbağaya göre kerevitlerin ortam şartlarına adaptasyonlarının ve beslenmelerinin daha kolay olmasından dolayı uyumlarının daha hızlı olduğu, ancak CKPY sistemlerinin sürdürülebilirliğini etkileyen ana faktörün emek, hizmet ve eğitim olduğu, hükümetin yüksek gelir, düşük çevre kirliliği baskısını sağlayabilmesi için üreticileri desteklemesi gerektiğini saptamıştır. Bunun için ise sistemli bir şekilde bu alanların kayıtlar altına alıp sınıflandırılması yapılmalıdır.

Yuana vd., (2020) tarafından yapılan faktör analizi araştırmasında Jianghan Ovası'ndaki CKPY sisteminde toprak kalitesini etkileyen baskın faktörün Mn(II) olduğunu ifade edilmiştir. Kögel-Knabner vd., (2010) toprağın sel gibi aşırı su dolumundan sonra oksijenin mikrobiyal solunum yoluyla tüketildiği için yetersiz hale geldiğini ve bunu Mn(V)'nin Mn(II)'ye indirgenmesi de dahil olmak üzere birçok redoksa bağımlı dönüşümün izlediğini gözlemlemiştir. Bu nedenle, pirinç-kerevit tarlalarında Mn(II) birikiminin toprak kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır ve Mn(II)'nin toprakta birikmesi pirinç zehirlenmesine yol açabileceği ve pirinç verimini azaltabileceği ileri sürülmüştür. Zemin değişkeni olarak Fe'de bu çalışmada incelenerek yüksek seviyede olduğu görülmüştür. Lima Faria vd., (2021) tarafından yapılan çalışmada *Poecilia reticulata* türü balıklarda nanopartikül etkinliğini azaltmak için balıklar demir oksit nanoparçacıkları ( $Fe_2O_3$ ) ve glifosatına maruz bırakıldıklarında karaciğer dokusunda, hücre ve doku tepkileri önemli olmasına rağmen, deneysel modelin esnekliğini gösteren durum faktörü ve hepatosomatik indekste bir değişiklik olmadığını belirlemişlerdir. Hedayati vd., (2022)'nin yaptıkları çalışmada, diyet *Lactobacillus casei*'nin sazan'da (*Cyprinus carpio*)  $Fe_2O_3$  nanopartiküllerine maruz kalma sonrası hiperemi ve atrofi gibi pek çok etkenin ortaya çıktığını belirlemişlerdir. Browning vd., (2021) ise manganez dioksit nano tabakalarının balık solungaç epitel hücrelerinde mitokondriyal toksisiteye neden olduğuna dair yapmış oldukları çalışmada ise hücresel solunum, bazal solunumu, maksimum solunumu ve solungaç hücrelerinin yedek solunum kapasitesini inhibe ettiğini, mitokondriyal işlev bozukluğunu ve hücresel solunum aktivitesinin azaldığını açıklamışlardır.

### 3. ÇELTİK-KEREVİT POLİKÜLTÜR YETİŞTİRİCİLİĞİNDE EĞİTİM DÜZEYİ

Tarımsal alanda yapılan çiftçiliği su ürünleri yetiştiriciliği ile birleştirerek oluşturulan sistem oldukça karmaşık ve daha fazla bilgi ve emek gerektirmektedir. Bu nedenle CKPY modeli, bilgili ve yetenekli tarım

üreticilerinin başarılı bir şekilde uygulamasıyla geliştirilebilir. Pengli vd., (2022) tarafından Çin’de yapılan araştırmada, CKPY, KMY ve çeltik buğday polikültür yetiştiriciliği yapan çiftçilerin sırasıyla ortaokul eğitimi alanların yüzdelerinin %66,67, 60,00 ve %16,70 lise eğitimi alanların yüzdelerinin %7,07, %20,00 ve 0 olduğunu belirlemiştir. Geleneksel pirinç ve buğdayın polikültür yetiştiriciliği ile karşılaştırıldığında CKPY modeli yüksek düzeyde bilgi gerektirmektedir. Çünkü yapılan çalışmalarda eğitimin işletmecilerin çiftliklerini daha iyi yönetmelerinde, karar verme yeteneklerinin geliştirmelerinde ve satın aldıkları malzemeler ve sattıkları ürünler için profesyonel yaklaşımlarla hem ödeme yaptıkları hem de ürünlerini fiyatlandırdıklarını, yerel ve dünya genelinde bilgilere ulaşmalarında kolaylık sağladığını tespit etmişlerdir (Lockheed vd., 1979).

Pirinç yetiştiriciliği yapanların yaş ortalamalarının, CKPY yapanların yaş ortalamalarından daha yüksek olması yaşlı çiftçilerin yeni teknolojik gelişmelere adepte olmada zorlandıklarını, pirinç yetiştiricilerinin çoğunun işinin tarım olduğunu ancak hayvancılık ve balık yetiştiriciliği gibi işlerle yarı zamanlı ilgilendiklerini belirten Seyoum (1998) CKPY ile elde edilen gelir artışına bağlı olarak çeltik tarlalarını kerevitlerle polikültür yetiştiriciliğine dönüştürme oranının günden güne arttığını belirtmiştir. Yapılan anket çalışmasında, kerevit yetiştiriciliği yapan işletmecilerin net gelirlerinin pirinç yetiştiriciliği yapan işletmelerden fazla olduğu, CKPY yapan işletmelerin ise net gelirlerinin her iki monokültür yetiştiriciliği yapan işletmelerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çeltik-kerevit polikültür yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı Çin’de bu yetiştiricilik modeline başlanılmasının sebeplerinden biri geleneksel olarak yapılan pirinç yetiştiriciliğinden elde edilen ekonomik gelirin düşük olmasıdır. Pirinç yetiştiriciliğinin yoğun yapıldığı Jianghan Ovası’ndaki insanların 2001’den 2009’a kadar %20-30’unun bu alandan göç ettiği, ancak CKPY modelinin yaygınlaştığı 2010’dan 2017’ye kadar bu oranın %5’e düştüğü belirlenmiştir (Zhang vd., 2019; Peng-li vd., 2022). Çin’de bunun gibi birçok kırsal alanlardan kentsel alanlara yoğun işgücü akışı ve tarımın terk edilmesi de yine bu ekonomik sebepten kaynaklanmıştır. Ayrıca CKPY modelinin ekonomik gelirinin, geleneksel pirinç çiftçiliği yöntemlerinden önemli ölçüde daha yüksek olması çok sayıda genç işçiyi pirinç üretimine yatırım yapmaya teşvik etmiştir.

#### **4. ÇELTİK-KEREVİT POLİKÜLTÜR YETİŞTİRİCİLİĞİNDE İNSAN SAĞLIĞI**

Ağır metal ve metaloid elementler, bitki ve hayvanlar tarafından çevresel olarak toprak ve sudan emilebilir. Demir (Fe) ve bakır (Cu) gibi bazı ağır metaller temel teşkil eder ve fazla miktarlarda nispeten toksiktir. Öte yandan, kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), krom (Cr) ve,arsenik (As) organiz-

malar için oldukça toksik olan esansiyel olmayan metaller veya metaloidlerdir (Kim vd., 2019). Bu ağır metaller ve metaloidler genellikle tatlı su hayvanlarında birikir. Balıklarda ve kerevitlerde, toksik elementler sudan solungaçlar yoluyla ve zeminden besin zincirine dahil olarak alınabilir (Suárez-Serrano vd., 2010). Özellikle kerevitlerin çevredeki toksik kirleticilerin mükemmel bir göstergesi olduğu bilinmektedir (Barim vd., 2009; Barim and Karatepe 2010; Anandkumar vd., 2020).

Son zamanlarda balık, pirinç ve kerevit gibi gıdalardaki toksik elementler tüketicilerin sağlığı ile ilişkilendirilmiştir. Cd, As ve Pb, özellikle organizmalarda birikebilen gıdalardaki toksik elementlerdir. Cd biyolojik olarak parçalanamaz; organizmalarda uzun süre birikir ve insanlarda uzun bir biyolojik yarı ömre sahiptir (Fowler, 2009). Cd'nin insan sağlığına zararlı olduğu sıklıkla bildirilmektedir (Zhang vd., 2020). Cd toksisitesi karaciğer, böbrek ve akciğer dahil olmak üzere birçok dokuya zarar verebilir. Organ hasarının derecesi, maruz kalma yolu, dozu ve süresi ile ilişkilidir (Nair vd., 2013). Pb, merkezi ve periferik sinir sistemlerine, hematopoietik sisteme, kardiyovasküler sisteme, böbreklere, karaciğere, erkek ve dişi üreme sistemlerine zarar veren birikimli bir zehirdir (Hsu ve Guo, 2002). Oldukça toksik bir kanserojendir ve birkaç farklı kimyasal formda ve oksidasyon durumunda bulunur (Hughes, 2002). Altı değerlikli krom (Cr), solunum sistemini, böbrekleri, karaciğeri ve cildi hedef alan bir insan kanserojenidir (Alexey vd., 2018)

Kerevitler Çin, Amerika ve Avrupa ülkeleri dahil olmak üzere farklı ülkelerden birçok tüketici tarafından tercih edilmektedir. (Clavero, 2016). Kerevitlerin As ve Cd gibi toksik elementlerin yoğunlaştığı detoks bezinin hepatopankreas olduğu bilinmektedir (Goretti vd., 2016; Gedik vd., 2017; Xiong vd., 2020). Tan vd., (2021) tarafından yapılan araştırmada hepatopankreasdaki Cd ( $3,54 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and As ( $3,51 \text{ mg kg}^{-1}$ ) düzeylerinin diğer dokulardan yüksek olduğu belirlenmiştir. İtalya ve Amerika Louisiana'da kerevit hepatopankreasında yapılan çalışmada da (Cd;  $28,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , As;  $3,42 \text{ mg kg}^{-1}$ ) benzer sonuçlar elde edilmiştir (Goretti vd., 2016; Gedik vd., 2017). Elde edilen bu verilere göre, kerevitlerin hepatopankreas tüketimi, tüketicilerin toksik elementlere maruz kalması ile sonuçlanacaktır (Huo vd., 2017; Zhang vd., 2020). Yapılan araştırmalarla toksik elementlerin insanlar için çok zararlı olduğu vücuttan atılmak için metabolize edilemediği bilinmektedir (Fowler, 2009; Shui vd., 2020). Bu nedenle, çok dikkat edilmelidir. Ancak yapılan bazı çalışmalarda da hepatopankreasın toksik olmadığı tespit edilmiştir. Muhtemelen bu çalışmalarda sağlık risk endeksleri (THQ ve CR)'nin kronik kontaminasyonu temel alınmıştır. Bu nedenle, karın kası ile karşılaştırıldığında hepatopankreasın besleyiciliğinin bol olmasına karşın tüketicinin bunu gıda olarak kullanmaması tavsiye edilir (Tan vd., 2021).

Kırmızı bataklık kerevitleri bentik tatlı su hayvanlarıdır. Ortamdaki tortular başlıca besin kaynaklarıdır (Alcorlo vd., 2004). Kırmızı bataklık kerevitleri besin zincirlerinden toksik elementleri alabilir ve bu elementlerin küçük bir kısmı kültür suyundan solungaçlar yoluyla emilebilir (Nagarajan vd., 2019; Anandkumar vd., 2020). Çeltik-kerevit polikültür yetiştiriciliğinde yaygın kullanılan kırmızı bataklık kerevitinin (*Procambarus clarkii*) gıda güvenliği kamuoyunda yaygın bir endişeye neden olmuştur. Ayrıca bu yeni kültür balıkçılığı sonunda kerevit dokularındaki toksik ağır metal ve metaloid dozlarının oranı ve etkinliği de endişe uyandırmaktadır. Tan vd., (2021) tarafından Çin'deki kerevit üretiminin %60'ından fazlasını oluşturan Hubei ve Hunan eyaletlerindeki on bir çiftlikde kerevitler ve kültür ortamındaki (tortu ve su) Cd, Pb, As ve Cr değerleri araştırılmıştır. Bu çalışmada kerevit tüketmenin insan sağlığı riskini değerlendirmek için tahmini günlük alım (EDI) risk modeli kullanılarak dört toksik elementin konsantrasyonunun karın kasında, dış iskelet ve hepatopankreastan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yenilebilir kısım olan karın kasındaki bu toksik elementlerin ulusal güvenlik eşiğini geçmediği saptanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, çeltik tarlalarındaki ortam şartlarının kerevitlerin karın kasında toksik element birikmesinde çok az etkiye sahip olduğu da sonuç olarak rapor edilmiştir. Kabuk değiştirme, kabuklu canlıların genel bir fizyolojik özelliğidir. Toksik elementler birkaç kabuk değiştirme işlemi ile uzaklaştırılabilir, bu da kırmızı bataklık kerevitlerinde, özellikle karın kaslarında birikimin azalmasına neden olur. Tan vd., (2021) yaptığı çalışmada kırmızı bataklık kerevitlerinden elde edilen sert kabukların, yeni oluşan kabuklarla karşılaştırıldığında benzer konsantrasyonlarda ağır metallere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kırmızı bataklık kerevitleri yaşamları boyunca yaklaşık on kez kabuk değiştirebilir (Li, 2006). Bu ayrıca kerevitlerin besin zincirindeki toksik elementleri yuttuğunu düşündürmektedir; kısmen kabuklarda birikmişler ve daha sonra birkaç kez kabuk değiştirerek atılmışlardır. Bu nedenle toksik elementler karın kasında daha az birirmektedir (Tan vd., 2021).

## 5. SONUÇ

Süregelen iklim değişikliğinin yaşandığı dünyamızda su, alan ve besin geri dönüşümünün verimli kullanımını sağlamak, sürdürülebilir gıda üretimi için stratejik yöntemler geliştirmek oldukça önemli bir yere sahiptir. Çünkü, küresel ısınma ile su kaynaklarının hacmi ve kalitesi azalmakta, toprakta nem kaybı ile kuraklık oluşmakta, buda tarımda üretimin düşmesine, suda ve karasal ortamda ekolojik dengenin bozulması bitkisel ve hayvansal organizmaların polulasyon yapılarının bozulmasına sebep olmaktadır. Bunun yanında hızla artan dünya nüfusuna karşılık, artan gıda azalımı toprak ve suyun etkin kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu anlamda CKPY ile kısıtlı su ve toprak kaynakları bulu-

nan dünyamızda çeltik tarlalarının verimi arttırılarak pirinç kalitesi yükseltilebilir, ikinci bir ürün elde edilerek çiftçilere ek gelir sağlanıp, doğal ortamdaki kerevit stokları desteklenebilir. Ayrıca, yapılan araştırmalar sonunda bu polikültür sistemi ile kerevitlerin  $CO_2$  'den 21 kat daha fazla ısı soğurabilen  $CH_4$  'ün emisyonları ve sera gazı salınımını, pirinç üretimi için gübre ve pestisit kullanımını azalttığından CKPY modelinin yaygınlaştırılması ile küresel ısınmanın da azalımı sağlanmış olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Akhan, S., Bektas, Y., Berber, S., Kalayci, G., 2014. Population structure and genetic analysis of narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus*) populations in Turkey, *Genetica*, 142: 381–395.
- Alcorlo, P., Geiger, W., and Otero, M., 2004. Feeding preferences and food selection of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in habitats differing in food item diversity. *Crustaceana*, 77, 435–453.
- Alcorlo, P., Geiger, W. and Otero, M., 2008. Reproductive biology and life cycle of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) in diverse aquatic habitats of South-Western Spain: Implications for population control. *Fundamental and Applied Limnology*, 173, 197–212.
- Alexey, A.T., Olga, P.A., Jan, A., Yordanka, G.G., Juliana, M.I., Geir, B., Margarita, G.S., Oksana, A.S., Huang, B.C., Lin, X., and Anatoly, V.S., 2018. Toxic mechanism of cadmium on life activities. *Journal of Environment and Occupational Medicine*, 35, 460–470.
- Anandkumar, A., Li, J., Prabakaran, K., Jia, Z. X., Leng, Z., Nagarajan, R., and Du, D. L., 2020. Accumulation of toxic elements in an invasive crayfish species (*Procambarus clarkii*) and its health risk assessment to humans. *Journal of Food Composition and Analysis*, 88, 103449. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103449>
- Arce, J.A., Diéguez-Uribeondo J., 2015. Structural damage caused by the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in rice fields of the Iberian Peninsula: A study case. *Fundamental and Applied Limnology*, 186, 259–269.
- Barim, Ö., Benzer, F., Erisir, M. and Dorucu, M., 2009. Oxidant and antioxidant status of tissues of freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch., 1823) from different stations in the Keban Dam Lake. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18: 6.
- Barim, Ö. and Karatepe, M. 2010. The effects of pollution on the vitamins a, e, c,  $\beta$  carotene contents and oxidative stress of the freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus*, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 138-142.
- Barim, O., 2009. The Effects of Dietary Vitamin E on the Oxidative Stress and Antioxidant Enzyme Activities in Their Tissues and Ovarian Egg Numbers of Freshwater Crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823), *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(6), 1190-1197 (2009).
- Berber, S., Kale, S. Bulut, M. and İzci, B., 2019. Tatlısu İstakozunun (*Pontastacus leptodactylus*) Çeltik (*Oryza sativa* L.) İle Birlikte Polikültür Yetiştiriciliğinde İdeal Stok Oranlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg* 22(6): 953-964.



- Berber, S. ve Palaz M., 2000. Tatlısu istakozunun (*Astacus leptodactylus salinus* Nord) gelişimi üzerine bir araştırma”, Su Ürünleri Sempozyumu, Sinop, 1-11.
- Browning, C.L., Green, A., Gray, E.P., Hurt, R. and Kanea, A.B., 2021. Manganese dioxide nanosheets induce mitochondrial toxicity in fish gill epithelial cells, *Nanotoxicology* 2021, VOL. 15, NO. 3, 400–417 <https://doi.org/10.1080/17435390.2021>.
- Clavero, M., 2016. Species substitutions driven by anthropogenic positive feedbacks: Spanish crayfish species as a case study. *Biological Conservation*, 193, 80–85.
- Demirbaş, M., Aydın, R., 2020. 21. Yüzyılın en büyük tehdidi: Küresel iklim değişikliği. *Ecological Life Sciences*. 15(4):163-179.
- Dikel, S., Özgüven, A. and Özşahinoğlu, I., 2019. Farklı sazan türlerinin kafes ve tank koşullarında polikültür amaçlı yetiştirme olanaklarının incelenmesi. *Journal of Advances in VetBio Science and Techniques*, 4(1), 1-8.
- Fowler, B.A., 2009. Monitoring of human populations for early markers of cadmium toxicity: A review. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238, 294–300.
- Fitzsimmons, K. M. and Shahkar, E., 2017. Tilapia-shrimp polyculture, In P. W. Perschbacher & R. R. Stickney (Eds.), *Tilapia in Intensive Co-culture* (1st ed., pp. 94–113). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118970652.ch7>
- Gedik, K., Kongchun, M., DeLaune, R., and Sonnier, J., 2017. Distribution of arsenic and other metals in crayfish tissues (*Procambarus clarkii*) under different production practices. *The Science of the Total Environment*, 574, 322–331.
- Goretti, E., Pallottini, M., Ricciarini, M.I., Selvaggi, R., and Cappelletti, D., 2016. Heavy metals bioaccumulation in selected tissues of red swamp crayfish: An easy tool for monitoring environmental contamination levels. *The Science of the Total Environment*, 559, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.169>
- Hedayati, S.A., Veisi, R.S., Hosseini Shekarabi, S.P., Naserabad, S.S., Bagheri, D. and Ghafarifarsani, H. 2022. “Effect of Dietary *Lactobacillus casei* on Physiometabolic Responses and Liver Histopathology in Common Carp (*Cyprinus carpio*) After Exposure to Iron Oxide Nanoparticles”. *Biological Trace Element Research*, 200:3346–3354.
- Hisano, H., Barbosa, P. T. L., Hayd, L. A. and Mattioli, C. C., 2019. Evaluation of Nile tilapia in monoculture and polyculture with giant freshwater prawn in biofloc technology system and in recirculation aquaculture system. *International Aquatic Research*, 11(4), 335–346.

- Hou, J., Styles, D., Caoe, Y. and Yeb, X., 2020. Pirinç-kerevit ortak kültür sistemlerinin sürdürülebilirliği: elde edilen kanıtların mini bir incelemesi Çin’deki Jianghan ovası. (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/jsfa.11019.
- Hou, J., Zhang, D. and Zhu, J., 2021. Nutrient accumulation from excessive nutrient surplus caused by shifting from rice monoculture to rice-crayfish rotation. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116367>.
- Hsu, P.C., and Guo, Y.L., 2002. Antioxidant nutrients and lead toxicity. *Toxicology*, 180, 33–44. Hughes, M. F. (2002). Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*, 133(1), 1–16.
- Hughes, M.F., 2002. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*, 133(1), 1–16.
- Hu, N., Liu, C., Chen, Q. and Zhu, L., 2021. Life cycle environmental impact assessment of rice-crayfish integrated system: A case study. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124440>.
- Huo, J.F., Dong, A.G., Yan, J.J., Wang, L., Ma, C.G., and Lee, S.C. 2017. Cadmium toxicokinetics in the freshwater turtle, *Chinemys reevesii*. *Chemosphere*, 182, 392–398.
- Huner, J.V., 2002. *Procambarus*. In: Holdich D M, ed., *Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science Publishers, Oxford UK. pp. 541–584.
- Jin, T., Ge, C., Gao, H., Zhang, H. and Sun, X., 2020. “Evaluation and Screening of Co-Culture Farming Models in Rice Field Based on Food Productivity”. *Sustainability*, 12: 2173; doi:10.3390/su12062173.
- Karaman, S. ve Gökalp, Z., 2010. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 3 (1): 59-66.
- Kim, J. J., Kim, Y. S. and Kumar, V., 2019. Heavy metal toxicity: An update of chelating therapeutic strategies. *Journal of Trace Elements in Medicine & Biology*, 54, 226–231. Li, L. P. (2006). Study on feeding habit, growth and burrowing behavior of *Procambarus clarkii*. Wuhan: Library of Huazhong Agricultural University.
- Kögel-Knabner, I., Amelung, W., Cao, Z., Fiedler, S., Frenzel, P., Jahn, R., Kalbitz, K., Kölbl, A. and Schloter, M., 2010. “Biogeochemistry of paddy soils”. *Geoderma* 157 (1–2), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.03.009>
- Köksal, G., Ölmez, M., Bekcan, S. ve Güler, A.S., 1992. Doğal suların restorasyonu için tatlısu istakozu (*astacus leptodactylus esch.*, 1823) yavru yetiştiriciliği, İstanbul Üniv. Su Ürünleri Dergisi 1, 1-16.
- Kumlu, M. 1998. “Karides, İstakoz ve Midye Yetiştiriciliği”, Çukurova Üniv. Su Ürün. Fak., Ders Kitabı No: 6, 340 s.

- Li, L.P., 2006. Study on feeding habit, growth and burrowing behavior of *Procambarus clarkii*. Wuhan: Library of Huazhong Agricultural University.
- Lima Faria, J.M., Guimarães, L.N., Oliveira Lima, C. and Sabóia-Morais, T., 2021. Recovery trend to co-exposure of iron oxide nanoparticles ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) and glyphosate in liver tissue of the fish *Poecilia reticulata*. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130993>
- Lockheed, M.E, Dean, T .J. and Lawrence, J.L., 1979. Farmer education and farm efficiency: A survey. ETS Research Report Series, 2, 1–79.
- Nagarajan, R., Anandkumar, A., Hussain, S.M., Jonathan, M.P., Ramkumar, M., Eswaramoorthi, S., Saptoro, A., and Chua, H.B., 2019. Chapter 12 - geochemical characterization of beach sediments of miri, NW borneo, SE asia: Implications on provenance, weathering intensity, and assessment of coastal environmental status. In M. Ramkumar, R. Arthur James, D. Menier, & K. Kumaraswamy (Eds.), *Coastal zone management* (pp. 279–330). Elsevier.
- Nair, A.R., Degheselle, O., Smeets, K., Van Kerkhove, E., and Cuypers, A., 2013. Cadmium induced pathologies: Where is the oxidative balance lost (or not)? *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 6116–6143. <https://doi.org/10.3390/ijms14036116>.
- Peng-li, Y., Jin-ping, W., Can, G., Zi-yuan, G., Yao, G. and Cou-gui, C., 2022. Sustainability of the rice–crayfish farming model in waterlogged land: A case study in Qianjiang County, Hubei Province, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(4): 1203–1214.
- Seyoum, E., 1998. Technical efficiency and productivity of maize producers in eastern Ethiopia: A study of farmers within and outside the Sasakawa-Global 2000 project. *Agricultural Economics*, 19, 341–348.
- Shui, Y.H., Xie, J.P., Zhou, Y., Li, J.P. and Gan, J.H., 2020. Molecular characterization of p38 MAPK and tissue-specific expression under cadmium stress in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *The Science of the Total Environment*, 720. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137325>. 137325.1-137325.11.
- Suárez-Serrano, A., Alcaraz, C., Ibañez, C., Trobajo, R. and Barata, C., 2010. *Procambarus clarkii* as a bioindicator of heavy metal pollution sources in the lower Ebro River and Delta. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(3), 280–286. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.11.001>.
- Şahin, G. ve Avcioglu, A.O., 2016. Tarımsal Üretimde Sera Gazları ve Karbon Ayak İzi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 12 (3), 157-162.
- Tan, Y., Peng, B., Wu, Y., Xiong, L., Sun, J., Peng, G. and Bai, X., 2021. Human health risk assessment of toxic heavy metal and metalloid intake via consumption of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) from rice-crayfish

co-culture fields in China, Food Control. <https://doi.org/10.1016/j.food-cont.2021.108181>

Taşlıgil, N., Şahin, G., 2011. Türkiye’de çeltik (*Oryza sativa L.*) yetiştiriciliği ve coğrafi dağılımı. Adıyaman Üniv. Sosyol Bilm. Ens. Dergisi. 4(6): 182-203.

Uçkun, A. and. Barım Öz, Ö., 2021. Evaluation of the acute toxic effect of azoxystrobin on non-target crayfish *Astacus leptodactylus* Eschscholtz 1823 by using oxidative stress enzymes ATPases and cholinesterase as biomarkers, *Drug and Chemical Toxicology*, vol. 44, no. 5, pp. 550–556, Jan. 2021.

URL-1. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/06/Tar%C4%B1m-da-Toprak-ve-Suyun-S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir-Kullan%C4%B1m%C4%B1-%C3%96zel-%C4%B0htisas-Komisyonu-Raporu.pdf> Erişim Tarihi: 20.09.2022.

URL-2. [https://iste.edu.tr/files/1921\\_files\\_1615130762.pdf](https://iste.edu.tr/files/1921_files_1615130762.pdf) Erişim Tarihi: 22.09.2022.

URL-3. <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Veri%20ve%20D%C3%B6k%C3%BCmanlar%C4%B1/Su-Urunleri-%C4%B0statistikleri-temmuz-2021-1.pdf> Erişim Tarihi: 20.09.2022.

URL-4. <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/778/celtik-uretimi-1-milyon-tona-ustlasti> Erişim Tarihi: 23.09.2022.

URL5. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/Yay%C4%B1n%20Ar%C5%9Fivi/2017-2022%20Yay%C4%B1n%20Ar%C5%9Fivi/Yay%C4%B1nno322.pdf> Erişim Tarihi: 24.09.2022.

Xiong, B., Xu, T., Li, R.P., Johnson, D., Ren, D., Liu, H.G., Xi, Y., and Huang, Y.P., 2020. Heavy metal accumulation and health risk assessment of crayfish collected from cultivated and uncultivated ponds in the Middle Reach of Yangtze River. *The Science of the Total Environment*, 739, 139963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139963>

Xu, Q., Liu, T., Guo, H., Dou, Z., Gao, H. and Zhang, H., 2021. Conversion from rice–wheat rotation to rice–crayfish coculture increases net ecosystem service values in Hung-tse Lake area, east China, *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128883>.

Xu, Q., Peng, X., Guo, H., Chea, Y., Dou, Z., Xing, Z., Hou, J., Styles, D., Gao, H. and Zhanga, H., 2022. Rice–crayfish coculture delivers more nutrition at a lower environmental cost, *Sustainable Production and Consumption*, 29:14–24.

Vromant, N., Duong, L.T. and Ollevier, F., 2002. Effect of fish on the yield and yield components of rice in integrated concurrent rice–fish systems. *The Journal of Agricultural Science*, 138, 63–71.

- Wu, X., Xie, J., Chen, X., Chen, J., Yang, X. X., Hong, X. K., Chen, Z.J., Chen, Y. and Tang, J.J., 2012. Edge effect of trench-pond pattern on rice grain and economic benefit in rice–fish coculture. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 18, 995–999.
- Yuana, P., Wanga, J., Lia, C., Xiaoa, Q., Liua, Q., Suna, Z., Wanga, J. and Cao, C., 2020. Soil quality indicators of integrated rice-crayfish farming in the Jiangnan Plain, China using a minimum data set. *Soil & Tillage Research*. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104732>
- Zhang, X.Z, Zhao, C.S., Dong, J.W. and Ge, Q.S., 2019. Spatio–temporal pattern of cropland abandonment in China from 1992 to 2017: A Meta-analysis. *Acta Geographica Sinica*, 74, 411–420.
- Zhang, Y., Li, Z.Y., Kholodkevich, S., Sharov, A., Chen, C., Feng, Y. J., Ren, N. Q., and Sun, K., 2020. Effects of cadmium on intestinal histology and microbiota in freshwater crayfish (*Procambarus clarkii*). *Chemosphere*, 242, 125105. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019>.



“

## Bölüm 3

**SÜRDÜRÜLEBİLİR SU ÜRÜNLERİ  
YETİŞTİRİCİLİĞİNİN KARBON AYAK İZİ**

*Gürkan DİKEN<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Doktor Öğretim Üyesi Gürkan Diken, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi & Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi ORCID: ID0000-0002-3386-3676

## Giriş

Tahmini 4,54 milyar yıl yaşında olan gezegenimiz, biyosferdeki yaşamı etkileyen doğal ve kozmik olaylardan kaynaklı felaket riskini artıran sera gazı emisyonlarının yüzey atmosferinde ısı birikimi olarak tanımlanan bitki ve hayvan türlenmesi ve yok olmasından sorumlu iklim değişikliği ya da hasarına neden olan, en sonuncusunun 66 milyon yıl önce yaşandığı 540 milyon yılda beş kitlesel yok oluş dönemi geçirmiştir (Feulner, 2009; Jain, 2014; Shahid ve Behnassi 2014; Barnosky, 2015; Srivastav, 2019; UN, 2021; Sudakow, 2022). Bir kitlesel yok oluş sürecinde, yeni türlerin evriminin devam etmediği ve tür kaybının en az %75 olduğu kabul edilir (Barnosky, 2015; Sudakow, 2022).

Yaklaşık 3,5 milyar yıl önce denizlerde şekillenmeye başlayan yaşam biçimlerinin kitlesel yok oluş süreçlerinin ardından insan ırkının yaklaşık 2 milyon yıl öncesinden tahmini 300 bin yıl öncesi ilk modern insan *Homo sapiens*'e evrilmiş olabileceğini açıklayan kanıtlar vardır (Altermann vd., 2006; Relethford, 2008; Payne vd., 2009; Galway-Witham ve Stringer, 2018). Milattan önce 10 bin yılında 2-6 milyon arasında olduğu tahmin edilen dünya nüfusunun, modern insanın yerleşik hayata geçişiyle hayvanların evcilleştirilmesi, tarımsal düzen, üretimdeki değişim ve artışa bağlı olarak milatlı yılların başında 190-252 milyon arasında olduğu tahmin edilmektedir (Roser vd., 2013; Livi-Bacci, 2017). Salgın hastalıklar, felaketler ve birçok savaş sonrası 1750 yılı Sanayi Devrimi başlangıcında 771 milyon, 1800 yılında 990 milyona ulaşan dünya nüfusunun yaşadığı iki büyük dünya savaşının ardından tarım, sanayi ve sağlık alanındaki ilerleme ve gelişmelere bağlı olarak 1950 yılında 2,5 milyara, 1989 yılında 5 milyara, 2022 yılı Kasım ayında 8 milyara ve 2050 yılında 9,7 milyara ulaşması beklenmektedir (Roser vd., 2013; Livi-Bacci, 2017; TUİK, 2022).

Gezegeneimizin 66 milyon yıl önceki beşinci yok oluş sürecinden, modern insan *Homo sapiens*'in avcı-toplayıcı toplumdan (toplum 1.0), 1784 yılında James Watt'ın buhar makinasını tasarımıyla başlayan sanayi toplumuna (toplum 3.0 & endüstri 1.0), ardından günümüz süper akıllı ve insan merkezli topluma (toplum 5.0 & endüstri 5.0) dönüşmesinde, sanayi toplumu süreci ile birlikte gömülü karbon kaynaklarının daha fazla kullanılmasıyla atmosferdeki sera gazı artışının küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olduğu antropojen (insan) kaynaklı küresel iklim değişikliği sürecinin Holosen Jeolojik devrinin bitimine atfedilen Antroposen Çağ, Holosen-Antroposen etkileşiminin bir başlangıcı olarak da görülmektedir (Crutzen ve Stoermer, 2000; Köse, 2018; Steffen, 2020; UN, 2021; Huang vd., 2022). İklim rejimi, iç dinamikler ile dış etkenlere bağlı olarak milyonlarca yıl içinde gelişen dinamik bir süreçtir (Srivastav, 2019). İklim değişikliği ya da küresel ısınma, hava koşullarının uzun süreli istatistiksel değişimi olarak dünya yüzeyi ortalama sıcaklığının yüz yıllık artışını ifa-



de eden bir terimdir (Haunschild vd., 2016). Bu etkilerin tanımlanmasında kullanılan küresel ısınma potansiyel değeri (global warming potential) GWP100 ise, sera gazı molekülü veya birim kütesindeki göreceli ısınma etkisinin 100 yıllık süreç zarfında karbondioksit göre ölçüldüğü ağırlık birimi değeridir. Bu değer, sera gazlarını karbon dioksit eşdeğerleri (CO<sub>2</sub>e) adı verilen tek bir emisyon ölççeğinde birleştirilir (Ritchie ve Roser, 2020). Bu tanım ve hesaplamalara yönelik olarak iklim değişikliği, 1750 yılından günümüze insan etkisine atfedilen uzun ömürlü sera gazları ozon, su buharı, yüzey albedo ve aerosoller gibi faktörlerden kaynaklı radyasyon dengesizliğidir (Srivastav, 2019). Antropojenik sera gazı konsantrasyonlarındaki artış, küresel sıcaklık ortalamalarındaki artışı tetikleyebilir (Wheeler ve Von Braun, 2013). Fosil yakıtların yakılmasının neden olduğu antropojenik iklim değişikliği etkilerinin biyolojik çeşitlilik kaybının hızı ve büyüklüğü, birçok türün evrimsel sürecinde yaşadığı tüm olumsuz koşullardan daha da yıkıcı bir şekilde, sonunun insan ırkına ulaşabileceği “6. Kitlese Yok Oluş” sürecinin başlangıcı olarak da ifade edilmektedir (Barnosky, 2015).

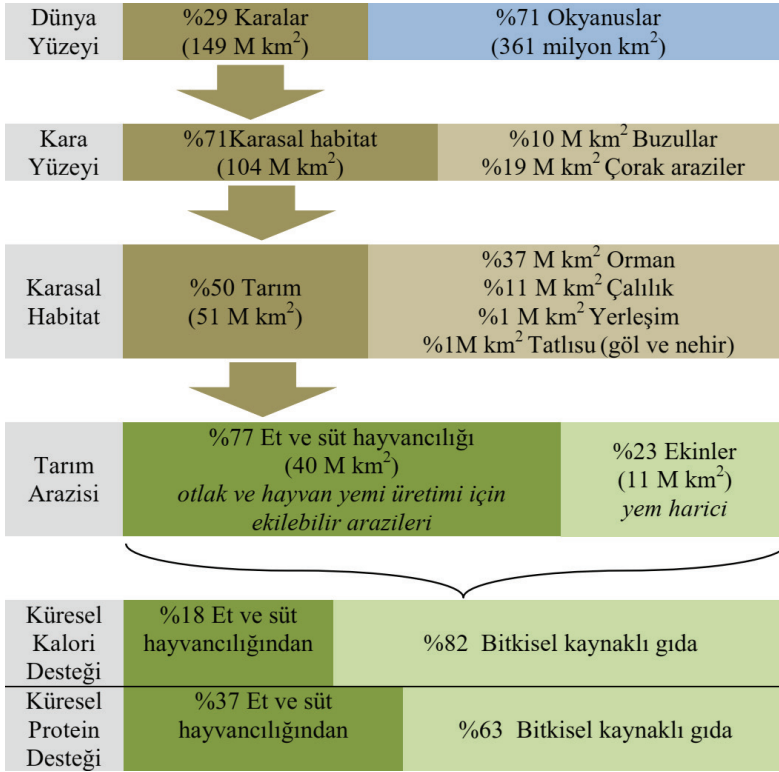
Küresel iklim değişikliğinin yarattığı stres etkilerinin azaltılmasında, 2050 yılına kadar iklim nötr ve dögüsel bir ekonomiye ulaşmak için endüstriyel seferberlik gerekmektedir (EC, 2022). Bu bakış açısıyla Avrupa endüstrisi, çözüm odaklı yaklaşımların daha kapsayıcı hale getirilmesinde dijital ve yeşil teknolojilerin daha fazla benimsendiği, daha dirençli tedarik zincirlerinin oluşturulduğu, aynı zamanda daha sürdürülebilir üretim yöntemlerine odaklanmıştır. Ekoloji merkezli post-kapitalist ekonominin unsuru olan yeşil ekonomiye geçişin gerçekleştirilmesinde yeşil mutabakat, Avrupa endüstrisinin liderliği ile gerçekleşecektir (EC, 2021). Bu tür toplumsal dönüşüm araştırmalarının politik gerçekliği; teknolojinin değerlendirilmesi, sorumlu araştırma ve yenilikler ve sürdürülebilirlik araştırmaları ile ele alınarak müzakere edilir. Gelecek adına toplumsal dönüşümün, toplumun ve ekonominin sürdürülebilirlik ve adaletle yönelik en önemli çağdaş vizyonlarından biri yeşil yeni mutabakat ölççeğidir (Schneider vd., 2022). Ekofeminist bir yaklaşıma dönüşen post-kapitalist yeşil yeni mutabakat politikaları, insan refahını ve üretici ihtiyaçlarını hedef alan merkezîyetçi bir yaklaşım sergilemektedir (Bauhardt, 2022). Endüstri 5.0 ve toplum 5.0 içeriğinde ele alınan yeşil akıllı üretim, endüstri ve toplumsal sorunların irdelenmesinde umut verici bir üretim paradigmasına dönüşmüştür (Huang vd., 2022).

### **Dünya Protein Talebi ve Sürdürülebilirlik**

Sanayi Devrimi ile birlikte enerji kullanılabilirliğinin arazi kullanılabilirliğine olan bağımlılığı aşarak nüfus artışının önündeki engel kalkmıştır (Livi-Bacci, 2017). Dünya nüfusunun 1960 yılında kırsalda yaşayan insan sayısı 2,01 milyar ve şehirde yaşayan insan sayısı 1,02 milyar iken,

2020 yılında şehirlerde yaşayan insan sayısı 4,12, kırsal alanlarda yaşayan insan sayısı 3,40 milyara yükselmiştir (Ritchie ve Roser, 2019a). Dünya nüfusundaki artış, yerleşik ve kırsal nüfustaki değişim, çiftlik hayvanları ve insan tüketimine yönelik ürünlerin arazi kullanım dağılımını etkilemiştir. Çiftlik hayvancılığının mera kullanımı ile hayvan yemi mahsul yetiştiriciliğinin arazi kullanımı toplamı, küresel tarım arazilerinin %77'sini oluşturur (Şekil 1). 2016 yılı kayıtlarına göre ziraat amaçlı alanların 3,28 milyar km<sup>2</sup>'si otlak, 1,59 km<sup>2</sup>'si ekilebilir alanlardır (Ritchie ve Roser, 2019b).






Yaklaşık 1 milyon yıl önce ateşi kullanamayan yiyeceğe bağlı ilkel bir insanın 2.000 kilokalori (kcal) olan enerji tüketimi, ateşin kullanımıyla 4.000 kcal'ye, evcil hayvanları kullanan ilkel tarım toplumu bir insan için 12.000 kcal'ye, 1850 ve 1870 yılları arası düşük teknolojiye sahip sanayi devrimi toplumu İngiltere, Almanya ve ABD gibi ülkelerdeki insan için 70.000 kcal'ye, teknolojinin gelişimi ile 1970 yılında ABD'deki bir insan için 230.000 kcal'ye ulaşmıştır (Cook, 1971). 1969-1971 yılları arasında 2.373 kcal olan kişi başı ortalama günlük diyet enerji ihtiyacı 2020 yılında 2.950 kcal olarak hesaplanmıştır (Alexandratos ve Bruinsma, 2012; FAO, 2021). 2050 yılına kadar 9,5 milyara ulaşacağı öngörülen Dünya nüfusunun toplam protein talebinde beklenen %40-75 oranındaki artışın %72'lik kısmının %70'inin gelişmekte olan ülkelerde olacağı tahmin edilmektedir (D'Abramo, 2021). OECD/FAO (2021) raporunda, 2030 yılına kadar dünya gıda talebinde beklenen değişim projeksiyonlarında protein ihtiyacının %4 oranındaki artışına bağlı olarak kişi başı günlük enerji ihtiyacının 3.025 kcal üzerinde olması muhtemeldir. Diyetler, çevre ve insan sağlığını birbirine bağlayan bir unsurdur. Gelir artışı ve kentleşmenin yarattığı geleneksel diyetlerden, endüstriyel ürünlere dayalı küresel diyetlere geçişi sağlayan bu beslenme eğilimleri 2050 yılına kadar kontrol edilemezse, gıda üretiminden ve küresel arazi kullanımından kaynaklanan dünya tarımsal sera gazı emisyonlarında tahmini %80 düzeyinde bir artış beklenmektedir (Tilman ve Clark, 2014). Dünya tarım arazilerinin kullanımının büyük kısmını oluşturan hayvancılık, dünya kalori ihtiyacının %18'ini ve dünya protein ihtiyacının %37'sini karşılamaktadır (Ritchie ve Roser, 2019b).



Şekil 1. Dünya gıda üretiminin arazi kullanımı (Ritchie ve Roser, 2019b'den uyarlanmıştır). M: milyon.

Diğer hayvansal üretim sistemlerine göre su ürünleri yetiştiriciliği yüksek bir verimliliğe sahiptir (D'Abramo, 2021). Örneğin, bir hektar araziden yılda bir tondan daha az sığır eti üretimine karşılık, aynı ölçülerdeki su alanında balık üretim miktarı 100 tonu geçebilir (Boyd vd., 2020). Ayrıca hayvansal protein kaynaklarına yönelik talep deniz ürünleri protein talebindeki artış ile uyumludur (D'Abramo, 2021). İlave olarak, eş değer miktarda tüketilen yem değerlerine göre somon ve diğer sucul canlıların üretilen proteini tutma yüzdesi yani protein üretimindeki verimliliği ve yenilebilir et miktarı sığır eti, domuz eti ve düşük oranda kümes hayvanlarından üstündür (Tidwell, 2012; Boyd vd., 2020) (Tablo 1). OECD/FAO (2021) raporuna göre, protein ihtiyacının sığır etinde %5,9, domuz etinde %13,1, kümes hayvanlarında %17,8 ve koyun etinde %15,7 oranında artacağı, aynı zamanda tüm proteinlerin %41'inin kanatlı etinden sağlanacağı tahmin edilmektedir. Buna karşılık %90 oranında gıda olarak tüketilmesi beklenen balık eti; protein, yağ asitleri ve mikro besin kaynağı olarak küresel diyetlerin anahtarı olacaktır (OECD/FAO, 2021). 2050 yılına kadar iki katını aşacak protein talebi ve Akdeniz veya pesetarian diyetin küresel etkisinden dolayı su ürünleri yetiştiriciliği 2010-2050 yılları arasında yıl-

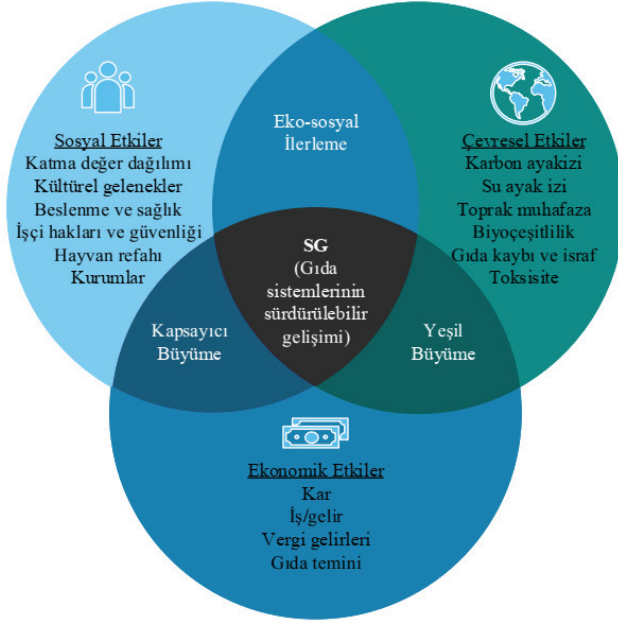
da %4,1 oranında büyümesi beklenmektedir (Tilman ve Clark, 2014).

Üretim verimliliği <sup>1</sup>				
Tutulan protein (%)	31	21	18	15
Tutulan enerji (%)	23	10	14	27
Yenilebilir ürün (%)	68	46	52	41
Yem değerlendirme oranı	1,1	2,2	3,0	4-10
Yenilenebilir et/100 kg yem (kg)	61	21	17	4-10
Tüketim (kg/k kişi) 	20,2 <sup>2*</sup>	14,9 <sup>3</sup>	10,8 <sup>3</sup>	6,4 <sup>3</sup> 1,8 <sup>3</sup>

Tablo 1. Dünya su ürünleri ve et tüketiminin üretim verimliliği (<sup>1</sup>Marine Harvest, 2017; <sup>2</sup>FAO, 2022b; <sup>3</sup>OECD, 2022). \*Suda yaşayan memeliler, timsahlar ve su bitkileri hariç.

Sürdürülebilirlik kavramı, gezegenimizin sınırlı kaynaklarından dolayı sınırsız büyümenin boyutlarını tanımlar (Boyd vd., 2020). Gıda üretiminde sürdürülebilirlik kavramı ise, ürün ve hizmetlerin çevresel koşullarının sürekliliğine zarar vermeyecek şekilde insan kullanımına ve yararlanılmasına nasıl izin verildiğini açıklayan öznel bir terimdir (FAO, 2014; Boyd vd., 2020). Sürdürülebilir gıda sistemleri yaşamı destekleyen ekonomik etkiye, toplumsal kabulü içeren sosyal etkiye, kaynakları tehlikeye atmadan gelecek kullanımını da içeren çevresel etkiye yönelik beslenmeyi sağlayan küresel gıda güvenliği hedefleriyle değerlendirilir (FAO, 2014; Boyd vd., 2020; D’Abramo, 2021; Tacon, 2022) (Şekil 2). Küresel gıda güvenliğinin sağlanmasında sürdürülebilir tarımsal büyümenin kritik bir önemi vardır (NRC, 2015). Ekonomik maliyetlerin azalmasına bağlı olarak sürdürülebilirliğin artması, dolayısıyla faaliyetlerin kalıcılığını etkileyecektir (Flos ve Reig, 2017). Birleşmiş Milletler tarafından ele alınan küresel boyutta sürdürülebilir kalkınma, yoksulluğun giderilmesi ve 2030 yılına kadar insanlığın barış ve refah içinde yaşamasını hedef alan evrensel bir eylem çağrısıdır. Sürdürülebilir kalkınma üzerinde iklim değişikliği etkilerini de içeren sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğin dengelemesini amaçlayan hedefler 17 madde altında değerlendirilir (UNDP, 2015) (Tablo 2). Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından Uluslararası Balıkçılık ve Su Ürünleri Yılı olarak ilan edilen 2022 yılının, artan dünya nüfusuna yeterli ve sağlıklı gıdanın sağlanması amacıyla küçük ölçekli balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinin; uzun ömürlü bir şekilde biyoçeşitliliğin sürdürülebilir kullanımının hedefleri doğrultusunda çevresel sürdürülebilirlik (14-6), kapsayıcı değer zincirlerini destekleyen ekonomik sürdürülebilirlik (10-12), güvenli sosyal yapılanma ve refah düzeyini artırmaya yönelik sosyal sürdürülebilirlik (1-10), kolaylaştırıcı politika ortamlarının oluşturulması ve güçlendirilmesine yönelik etkin katılımı sağlayan hükümet politikaları (10-16), kadın ve erkek eşitliğine yönelik cinsiyet eşitliği ve adaletin sağlanması (5-10), sağlıklı beslenmeye yönelik sürdürülebilir gıda güvenliği ve beslenme (2) ve çevresel bozul-

ma, şok, afetler ve iklim değişikliğine karşı hazırlıklı olma ve uyum sağlama kapasitesini artıran esnekliğin sağlanması (13) yönünde global hedefler barındırmaktadır (FAO/IYAFSA, 2022). İklim değişikliği iklimden çevreye, üretken alana, ekonomik ve sosyal boyutlara dönüşen bir etki yaratır. İklim değişikliğinin potansiyel etkilerinin yaratmış olduğu stres iletimi, sistemin güvenlik açıklarına bağlı olarak artabilen veya azaltılabilen kırılganlık, gıda güvenliği ve beslenme üzerinde bir etkiye dönüşebilir (Gitz vd., 2016). Biyoekonominin sürdürülebilir kalkınma paydaşlarından biri olan su ürünleri yetiştiriciliği, artan dünya nüfusunun beslenmesinde önemli bir beklentiye sahiptir (Boyd vd., 2020).

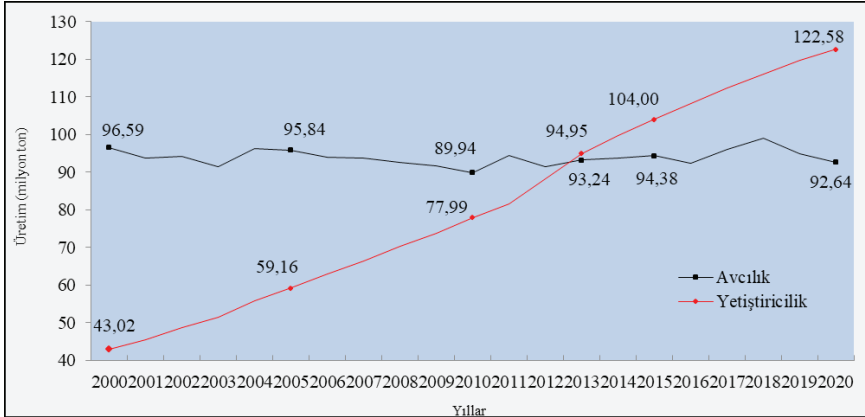


Şekil 2. Sürdürülebilir gıda sistemleri (FAO, 2014'den uyarlanmıştır).

1. Yoksulluğun giderilmesi	+	Yoksul ve savunmasız toplumların iklimsel olaylara, ekonomik, sosyal ve çevresel şoklara ve afetlere maruz kalma direncinin artırılması ve kırılganlıklarının azaltılmasıyla yoksulluğun giderilmesi
2. Açlığın giderilmesi	+	Açlığın sona erdirilmesi, yeterli ve besleyici gıdanın, sürdürülebilir tarımın ve dayanıklı tarım uygulamalarının hayata geçirilmesi
3. Sağlık ve esenlik	+	Küresel sağlık önceliklerine dayalı sağlıklı yaşam ve esenliği sağlanması
4. Kaliteli eğitim		Kapsayıcı ve kaliteli eğitim, ücretsiz öğrenme fırsatı, yüksek öğretime evrensel erişimin sağlanması, cinsiyet ve maddi eşitsizliklerin giderilmesi
5. Cinsiyet eşitliği	+	Kadın ve kızlara yönelik cinsiyet eşitliğinin sağlanması
6. Temiz su ve sanitasyon	+	Güvenli ve uygun fiyata içme suyunun ve sanitasyonun sağlanması ve yönetilmesi
7. Uygun fiyatlı ve temiz enerji		Uygun fiyatlı, temiz ve verimli enerji için altyapı yatırım ve teknolojilerin geliştirilmesi

8. İnsana yaraşır iş ve ekonomik büyüme	+	Ekonomik büyümeyi, üretkenlik seviyelerini ve teknolojik yeniliği teşvik edecek şekilde insana yaraşır işi teşvik eden tam ve üretken istihdamın yaratılması
9. Sanayi, yenilikçilik ve altyapı	+	Ekonomik büyüme ve kalkınma altyapı ve inovasyon yatırımları, teknolojik ilerleme yönünde bilgi ve bilgiye erişimi sağlamak, yenilikçiliği ve girişimciliği teşvik etmek
10. Eşitsizliklerin azaltılması	+	Ülkeler arasında ve bölgesel bazda eşitsizliğin azaltılmasında gelir düzeyi düşük yapı ve toplumları güçlendirmek ve ekonomik açıdan herkesin dahil edilmesi için politikalar üretilmesi
11. Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar	+	Şehir ve topluma yönelik altyapı, güvenli ve uygun konutlar, iş fırsatlarının, kentsel planlama ve yönetimin iyileştirilmesi
12. Sorumlu tüketim ve üretim	+	Ekonomik büyüme ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında mal ve kaynakların üretim ve tüketiminin ekolojik ayak izinin değiştirilmesi
13. İklim eylemi		İklim değişikliği ve düşük karbonlu kalkınmaya yönelik eylem planları
14. Su altındaki yaşam	+	Okyanus, deniz ve kaynaklarının toplum yararına kullanılması ve iklim değişikliği etkilerinin dengelenmesi adına yönetilmesi
15. Karasal yaşamı	+	Küresel gıda, su güvenliği, iklim değişikliğine uyum yönünde doğal yaşam alanlarının ve biyolojik çeşitliliğin kaybını azaltmak için ekosistemlerin sürdürülebilirliğine yönelik önlemler
16. Barış, adalet ve güçlü kurumlar		Hukukun üstünlüğüne dayalı barış, istikrar, insan hakları ve etkin yönetim adına etkili, hesap verebilir ve kapsayıcı kurumların inşa edilmesi
17. Hedefler için ortaklıklar		Güçlü küresel ortaklıklar ve işbirliklerinin oluşturulduğu evrensel, kurallara dayalı ve hakkaniyetli bir ticaret sistemine ulaşmaya yön veren sivil toplum kuruluşları

Tablo 2. Sürdürülebilir kalkınmanın hedefleri (UNDP, 2022 ve IPCC 2022'den uyarlanmıştır). İkinci sütunun renk hücreleri sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasındaki ilişkileri gösterir. “+” pozitif bağlantı ilişkisini, boş hücreler ise bir bağlantı olmadığını ya da bağlantıya dair hiçbir kanıt olmadığını veya sınırlı kanıt olduğunu ifade eder.



Şekil 3. Su bitkilerinin de dahil edildiği Dünya su ürünleri üretimi (FAO, 2022a).

## Dünya Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Potansiyel Durumu

Küresel gıda ve beslenme güvenliğine önemli ölçüde katkıda bulunan su ürünleri yetiştiriciliğinin artan dünya talebi karşısında genişlemesi muhtemeldir (Zhang vd., 2022). 2000-2020 yılları arasında Dünya su ürünleri üretiminin, avcılık miktarı ortalama 93,90 milyon ton ile sabit değerde kalırken, sürekli artış eğiliminde olan yetiştiricilik miktarı ise %184,96 oranında artarak, 2013 yılı itibariyle de Dünya su ürünleri üretimi yetiştiricilik kaynaklı bir ürüne dönüşmüştür (Şekil 3) (FAO, 2022a). Dünya çapında en çok ticareti yapılan gıda ürünlerinden balık ve balık ürünlerinin 2030 yılı üretim payının %35 olacağı tahmin edilmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliği somon, levrek balığı, çipura, karides gibi yüksek değerli türlerinin yanı sıra tilapia, yayın balığı ve sazan balığı gibi daha düşük değerli türlerle de uluslararası gıda balık ticaretinin artan payına katkıda bulunacaktır (OECD/FAO, 2021).

2000-2022 yıllarında dünya ortalama kg değeri 1 USD altında kalan su bitkileri ekonomik olarak en düşük yetiştiricilik grubudur (FAO, 2022a) (Tablo 3). İçsuların deniz kabuklu türlerinin 25,65 USD/kg ve denizel alanların deniz ortamlarında yetiştirilen türlerinin 16,74 USD/kg dünya ortalama değerleri dünya su ürünleri yetiştiriciliğinin en ekonomik türlerini oluşturmaktadır. Üretimi en fazla yapılan tatlı su balıklarının denizel alanlarının acısu ortamında yetiştirilen türleri 1,35 USD/kg ve içsuların tatlısu ortamında yetiştirilen türleri 1,68 USD/kg dünya ortalama değerine sahiptir. İçsuların denizel kaynaklı ortamında yetiştirilen diadrom balıkların 22,00 USD/kg dünya ortalama değeri ekonomik açıdan en yüksek gruplarını oluşturur. Deniz balıklarının en düşük 2,89 USD/kg dünya ortalama değerini içsuların tatlısu ortamında yetiştirilen türleri, en yüksek 4,58 USD/kg dünya ortalama değerini denizel alanların deniz ortamında yetiştirilen türleri oluşturmaktadır. Yumuşakça gruplarının en düşük içsulara yetiştirilen türlerin 1,20 USD/kg değeri ve en yüksek deniz alanlarının acısu türlerinin 3,08 USD/kg değeri su bitkilerinden sonra ekonomik açıdan en düşük yetiştiricilik grubunu oluşturur (FAO, 2022a).

## Sürdürülebilir Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Karbon Ayak İzi

Sanayi Devrimi ile birlikte kömür ve petrol türevlerinin kullanımının özellikle II. Dünya Savaşı sonrasındaki artışı, Dünya'nın enerji dengesinde önemli ve geri döndürülemez değişikliklere neden olmuştur (Srivastav, 2019). Avrupa Birliği Konseyi'nin iklim ve enerji politikaları çerçevesi direktifleri kapsamında, Avrupa Komisyonu 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını %40 oranında azaltmayı hedefleyen düşük karbonlu kaynakların kullanıldığı teknoloji, enerji, ekonomi ve finans alanlarında köklü değişiklikleri gerektiren ekonomik bir modellemeyi hedeflemektedir (ABTD, 2020). Paris İklim Anlaşması ile küresel iklim değişikliğiyle

mücadelede sera gazı emisyonlarının etkisinde olan küresel ısınmayı Sanaıy Devrimi öncesindeki 2,0 °C'nin altında tutularak 1,5 °C ile sınırlandırılması ve okyanuslarda dahil tüm ekosistemlerin güvenceye alınması amaçlanmıştır (Mazlum, 2019; ABTD, 2020).

Atmosferdeki uzun vadeli değişimler olarak tanımlanan iklim değişikliğindeki artışın en büyük etkisini insan kaynaklı fosil yakıtlar oluşturur (UN, 2021). Fosil yakıtların yanmasıyla üretilen sera gazı emisyonları, dünyaya ulaşan güneş ısısını hapsederek sıcaklıkları yükselten bir battaniye gibi dünya yüzeyine doğru yayılarak alt atmosferin sıcaklığını artırdığından yıkıcı bir şekilde iklim hasarına neden olur (Shahid ve Behnassi, 2014; UN, 2021). Atmosferdeki kızılötesi radyasyonu emen ve iklim değişikliğine neden olan sera gazları; su buharı, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), azot oksit (N<sub>2</sub>O), hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler) ve kükürt heksaflorür (SF<sub>6</sub>) içerir (Shahid ve Behnassi, 2014). Gıda üretim sektörleri ve üretilen protein miktarına göre sera gazı emisyonlarında farklılıklar olması ve farklı sera gazlarının farklı küresel ısınma potansiyelinden dolayı karşılaştırmalar genellikle CO<sub>2</sub>e üzerinden yapılır (Jones vd., 2022). Tüketiciye sunulma şekli önemli olan karbon ayak izi sonuçları, yaygın olarak ürün başına CO<sub>2</sub>e ölçü birimi olarak değerlendirilir (Weidema vd., 2018). CO<sub>2</sub> kaynaklı karbon ayak izi bir ürünün potansiyel iklim etkilerinin toplamıdır (ISO, 2006a,b; Shahid ve Behnassi, 2014). Potansiyel iklim etkisi ya da küresel ısınma potansiyeli tüm emisyon ve etkilere dayalı olarak sisteme giren malzeme girdilerinden kaynaklanan CO<sub>2</sub>e'ye göre hesaplanır (IPCC, 2007; Liu vd., 2016). Karbon ayak izi, enerji tasarrufu yapmak ve enerji modellerinin değerlendirilmesinde uygulama süreçlerinin hangi aşamalarına dikkat edilmesi gerektiğini tanımlamanın kolay ve açık bir yoludur (Flos ve Reig, 2017).

Temmuz 2022 yılında küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 1880-1920 yıllarının dönem ortalamasının 1,15 °C üzerindedir (CO<sub>2</sub> Earth, 2022). Yıllık fosil yakıt emisyonları 34,8 Gigaton (Gt) CO<sub>2</sub> (%89) ve yıllık arazi kullanım değişikliğinden kaynaklanan emisyonlar 4,1 Gt CO<sub>2</sub> (%11) olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda %3'lük (1 Gt CO<sub>2</sub>/yıl) küresel karbon bütçe dengesizlik oranı dikkate alındığında 2011 yılından 2020 yılına kadarki süreçte yıllık küresel emisyonların %55'i vejetasyon ve toprak (11,2 GtCO<sub>2</sub>, %29) ile okyanusların (10,2 GtCO<sub>2</sub>, %26) karasal biyofoller tarafından emilirken, kalanı atmosferde (18,6 GtCO<sub>2</sub>, %48) birikmiştir (CO<sub>2</sub> Earth, 2022). Atmosferdeki küresel ortalama CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 1750 yılında 277 ppm iken, on yıl öncesi 2012 yılında 391,81 ppm'e ve 2020 yılında %49 oranında bir artışla 414 ppm'e yükselmiştir. 15 Kasım 2021 tarihli 417,02 ppm atmosferik CO<sub>2</sub> değeri, Haziran ayı 2020, 2021 ve 2022 yıllarında 416,60, 418,94 ve 420,99 ppm olarak hesaplanmıştır (CO<sub>2</sub> Earth, 2022). 2035 yılında CO<sub>2</sub> değerinin 550 ppm'ye ulaşması ve küresel








sıcaklık ortalamasını 2 °C'den fazla artması beklenmektedir (Shahid ve Behnassi, 2014).

Sera gazı emisyonları başlıca enerji, sanayi, ulaşım, tarım ve arazi kullanımından kaynaklanır (UN, 2021). Su ürünleri yetiştiriciliğinde fosil yakıt kullanımı ve mevcut üretim sistemleri, küresel iklim değişikliğinin farklı seviyelerdeki karbon ayak izine katkıda bulunur (Boyd vd., 2019; D'Abramo vd., 2021). Su ürünleri yetiştiriciliğinin karbon ayak izi ve ürünlerin yaşam döngü analizinin mavi büyüme ile ilişkili iklim değişikliğine katkısı ve azaltma/iyileştirme stratejilerinin belirlenmesi en az ekonomik karlılık kadar dikkat çekici yeni bir paradigmaya yönelik önemli tematik konular arasına girmiştir (Crutzen ve Stoermer, 2000; Pernet ve Browman, 2021). Su ürünleri yetiştiriciliğinin karbon ayak izi sığır ve domuz yetiştiriciliğinden düşük, kümes hayvancılığına benzer ya da daha düşüktür (Sonesson vd., 2010) (Tablo 4). Çiftlik sığır etinin kilogram başına karbon ayak izi 1 kg somondan kaynaklanan değerden %90 daha fazladır (Marine Harvest, 2017). Düşük karbon ayak izine sahip su ürünleri yetiştiriciliği, sürdürülebilirlik anlamında potansiyel bir üretim alanıdır (Angel vd., 2019). Sistem ve tür farklılığına dayalı faaliyet ve potansiyel etkileri son derece çeşitli ve karmaşık bir sektör olan su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel performansının değerlendirilmesi zordur (Boyd vd., 2007; Macleod vd., 2021). Uygulamalara bağlı olarak su ürünleri yetiştiriciliğinin karbon ayak izi geliştirilebilir potansiyele sahiptir (Cochrane vd., 2009). Su ürünleri yetiştiriciliğindeki operasyonel değişimler ve yoğun yetiştiricilik sistemleri üretim verimliliğini artırırken, protein ve gıda güvenliğine yönelik küresel talebin karşılanmasında çevresel ve sürdürülebilirlik açısından sera gazı emisyonlarını azaltan karbon ayak izi bir değerlendirme kriterine dönüşmüştür (Boyd vd., 2020). Su ürünleri yetiştiriciliğinin yem, elektrik ve yakıt kullanımı gibi enerji kaynakları, taşıma yöntemleri, ürün çeşitliliği ve dağıtımı gibi yaşam döngüsü faktörlerindeki farklılıklara dayanan üretimdeki çeşitlilik nedeniyle karbon ayak izi değerleriyle ilgili veri yetersizliğinden, aynı zamanda karbon ayak izi hesaplamalarında da standart bir metodolojinin olmayışından bahsedilebilir (Lutz vd., 2021). Yıllık 8,1 Gt CO<sub>2</sub>e değere sahip hayvancılık üretiminin toplam antropojenik emisyonlarındaki payı %14,5 oranındadır. Bu emisyonların %43,4'ünü CH<sub>4</sub>, %29,3'ünü NO<sub>2</sub> ve %26,6'nı CO<sub>2</sub> oluşturur (Gerber vd., 2013). Enerji kullanımı, ikmal zincirleri ve tüketim faaliyetlerinden kaynaklanan çiftlik çıkışı gıda üretiminin %21-37 oranındaki toplam antropojenik emisyon değerinin mahsul üretimiyle hayvancılığa katkısı yaklaşık %10 düzeyindedir (Rosenzweig vd., 2020). Su ürünleri yetiştiriciliğinin fosil yakıt kökenli enerji kullanımının küresel gıda sistemindeki oranının %1 düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir (Hargreaves vd., 2019). Toplam sera gazı emisyonlarına ilişkin kesin veriler içermeyen su ürünleri sektörü farklı

kültür sistemlerine yönelik veriler içermektedir (Raul vd., 2020) (Tablo 5). Emisyonların çoğu, su ürünleri üretiminde %31 oranında en büyük paya sahip Doğu Asya ve Güney Asya bölgelerinden gelmektedir (MacLeod vd., 2021). 2008 yılı 291,2 megaton (Mt) CO<sub>2</sub>e toplam iklim değişikliği değerinin, %132 oranında artarak 2030 yılında 674,6 Mt CO<sub>2</sub>e değerine ulaşacağı tahmin edilmiştir. Bu tahminlerde 2010 yılı su ürünleri yetiştiriciliğinin sera gazı emisyon değeri 385 Mt CO<sub>2</sub>e'dir (Hall vd., 2011). 2009 yılı emisyonlarının 9,30 x 10<sup>10</sup> g CO<sub>2</sub>e olduğu, 2030 yılına kadar 3,83x10<sup>11</sup> g CO<sub>2</sub>e'e yükseleceği ve antropojenik NO<sub>2</sub> emisyon değerinin %5,72'sini oluşturacağı tahmin edilmektedir (Raul vd., 2020). 2017 yılı su ürünleri yetiştiriciliğinin %93'ünü oluşturan 245 Mt CO<sub>2</sub>e sera gazı emisyonlarına, kalan %7'lik kısmının da ilave edilmesiyle bu miktarın 263 Mt CO<sub>2</sub>e olacağı tahmin edilmiştir. 2017 yılı toplam antropojenik emisyonlarının 53,5 Gt CO<sub>2</sub>e tahmini değerine göre, su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin toplam emisyonlardaki oranı yaklaşık %0,49 (263Mt/53,5Gt) olarak hesaplanmıştır (MacLeod vd., 2020). Genel balıkçılık karbon ayak zizi değeri Tyedmers vd. (2005)'e göre 1,7 kg CO<sub>2</sub>e/kg, Boyd vd. (2013)'e göre 1-3 kg CO<sub>2</sub>e/kg'dir. Deniz ürünleri iklim dostu, yüksek proteinli bir gıda kaynağı olarak karada yetiştirilen eşdeğer ürünlere göre daha düşük sera gazı emisyonu değerine sahiptir (Jones vd., 2022). Deniz ürünleri balıkçılığının karbon ayak izi değeri ise 1-86 kg CO<sub>2</sub>e/kg arasında değişmektedir (Nijdam vd., 2018) (Tablo 5). Parker vd. (2018) tarafından Dünya balıkçılığının yakıt kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi değeri 2,2 kg CO<sub>2</sub>e/kg olarak bildirilmiştir. Sürdürülebilir deniz ürünleri yetiştiriciliği düşük sera gazı emisyonlarını korumanın bir anahtarıdır. Aynı zamanda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına imkan tanıyan su ürünleri yetiştiriciliği çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğin geliştirilmesine katkıda bulunan iklim dostu uygulamalara sahiptir (Jones vd., 2022). Su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilir gıda sistemleri kriterlerine göre küresel iklim değişikliği karbon ayak izi (CO<sub>2</sub>e) ortalama değeri (Şekil 2) dikkate alındığında makroalg/deniz yosunu yetiştiriciliğinin diğer sektörler nazaran sürdürülebilirliğin daha yüksek bir gıda kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır (FAO, 2014; Boyd vd., 2020; D'Abramo, 2021; Jones vd., 2022; Tacon, 2022) (Tablo 5). Yine besinlerini doğal ortamlardan sağlayan bivalvia çift çenetlilerin küresel karbon ayak izi düşük yetiştiricilik sektörüdür. Farklı senaryolara göre midye yetiştiriciliğinin et içeriğine bağlı 1 kg yenilebilir midyenin sera gazı emisyonu 0,12-0,95 kg CO<sub>2</sub>e'dir (Frösel, 2019; Runesson, 2021). Ancak istiridye yetiştiriciliğinin karbon ayak izi değeri çift çenetlilerinin küresel karbon ayak izi ortalama değerine yakın veya oldukça yüksek seviyelerdedir (Fry, 2012).

Sucul		Yıllar						
Grup/Alan/Ortam		2000	2005	2010	2013	2015	2020	
Su bitkileri	İç su	Acısu	1,00	0,10				
		Tatlısu	307,00	53.157,00	93.757,60	74.956,13	81.520,53	64.490,31
	Deniz		629,35	19.863,40	58.857,78	70.609,51	74.826,90	95.704,46
		Acısu	22.375,00	49.628,00	522.334,00	980.378,00	1.163.983,98	1.463.836,46
			20.850,72	7.774,83	168.394,01	141.002,07	90.539,17	121.058,05
		Deniz	10.572.883,00	14.728.469,80	19.558.233,75	26.938.304,00	29.828.017,82	33.549.251,19
Kabuklular	İç su	Acısu	4.524.974,02	5.652.074,55	8.633.259,87	11.227.670,64	10.309.064,17	16.323.868,43
		Tatlısu		511,00			27,00	50,00
	Deniz			2.499,82			364,90	200,00
		Acısu	430.890,00	1.285.677,16	2.234.810,00	2.359.938,12	2.611.514,81	4.477.096,54
			1.751.660,00	5.195.220,15	14.870.338,66	21.773.880,16	25.064.570,89	41.609.792,02
		Deniz						55,00
Diadrom balıklar	İç su	Acısu					1.328,32	
		Tatlısu	1.262.348,00	2.494.734,00	3.245.699,34	3.867.975,37	4.505.771,31	6.757.038,29
	Deniz		7.675.547,12	9.752.055,37	15.050.827,95	22.831.820,16	25.718.244,50	39.795.708,89
		Acısu	204,00	125,00	1.281,35	2.237,00	1.637,88	2.776,74
			1.922,73	1.877,65	26.195,89	39.178,32	31.560,59	73.521,71
		Deniz	53,00	39,00	10,22		18,13	5.598,35
Tatlısu balıkları	İç su	Acısu	249,43	174,00	49,56		120,68	22.301,07
		Tatlısu	620.905,00	697.726,00	922.251,27	1.061.966,94	1.097.940,12	1.336.251,26
	Deniz		2.032.644,12	2.472.863,10	4.104.903,24	5.030.992,11	4.996.749,10	6.417.910,28
		Acısu	441.000,00	527.737,00	708.887,94	902.079,64	955.839,09	1.102.049,90
			738.075,62	603.192,33	1.150.426,76	1.649.699,21	1.495.469,22	1.887.782,41
		Deniz	1.188.947,00	1.640.330,00	1.972.516,71	2.623.134,15	2.887.589,36	3.403.249,59
Deniz balıkları	İç su	Acısu	3.758.435,42	6.420.964,37	10.749.890,31	15.523.942,07	14.182.791,11	18.750.908,58
		Tatlısu	205.724,00	332.750,00	612.621,41	732.307,21	833.049,83	915.640,42
	Deniz		356.285,37	379.984,69	860.690,29	1.150.299,91	1.325.003,03	1.512.271,11
		Acısu	17.323.162,00	23.188.032,12	31.441.800,04	37.119.054,83	40.505.339,63	46.769.086,08
			17.943.446,67	23.864.352,81	55.240.848,67	81.714.596,77	89.657.879,32	101.555.534,42
		Deniz	56.617,00	152.996,00	228.343,50	276.899,46	347.273,37	444.600,42
Yumuşakçalar	İç su	Acısu	103.195,99	191.855,60	330.566,66	386.833,93	456.649,61	562.969,86
		Tatlısu	44,00		28,70	78,30	129,01	141,85
	Deniz		211,67		74,94	215,90	309,66	320,55
		Acısu	10.056,00	4.193,00	16.282,39	12.278,35	14.344,10	32.592,67
			69.448,51	16.687,79	55.011,91	42.302,13	84.911,83	128.227,00
		Deniz	4.821,00	10.827,00	34.405,00	42.778,34	61.336,00	61.133,14
Yumuşakçalar	İç su	Acısu	18.037,93	25.864,87	101.070,12	127.658,39	165.562,02	177.532,48
		Tatlısu	151.640,00	338.083,00	422.066,62	532.456,23	521.946,70	798.083,36
	Deniz		533.549,82	1.318.952,64	1.854.205,88	2.353.929,37	2.419.126,92	3.063.176,11
		Acısu	810.402,00	1.094.751,70	1.393.521,20	1.629.424,14	1.846.398,94	2.592.508,01
			3.602.218,98	4.400.358,66	6.981.539,51	8.563.978,78	8.959.373,71	11.972.698,74
		Deniz	10.254,00	190.728,00	265.879,00	259.435,53	259.516,20	192.671,31
Yumuşakçalar	İç su	Acısu	14.107,15	105.555,10	270.305,69	335.527,69	370.749,62	288.560,87
		Tatlısu	128.842,00	107.972,00	99.124,72	85.574,06	105.518,51	83.923,87
	Deniz	Acısu	248.025,90	343.000,67	251.139,06	330.908,52	278.498,85	352.527,72
		Deniz	9.618.468,00	11.814.539,00	13.363.256,45	14.584.450,46	15.482.944,97	17.463.930,80
		8.449.896,94	9.742.324,31	15.744.893,55	24.386.632,56	25.753.210,89	29.151.021,05	

Tablo 3. Dünya su ürünleri yetiştiriciliği (FAO, 2022a). İlk satır miktarı (ton), ikinci satır değeri (000 USD) ifade eder. Çeşitli muhtelif sucul canlılar, balinalar, foklar ve diğer suda yaşayan memeli türleri dahil edilmemiştir.

					Kaynaklar
<i>kg yenilebilir üretim değeri</i>					
1,8-3,3	1,5-7	3-6	16-40		FEAP (2022)
3-15	2-6	4-11	9-129	10-150	Nijman vd. (2012)
2-7 (4)	3-4	4-8	12-16		Boyd vd. (2013)
	2,7	5,9	30		Marine Harvest (2017)
	1,8	3,2	14,5	18,5	Nemry vd. (2001)
3,28					MacLeod vd. (2020)
<i>100 g protein üretim değeri</i>					
3,5&10 <sup>1</sup>	4,3	6,5	25	20	Ritchie (2020)
0,9-3,5/1,9-9 <sup>2</sup>	0,5	1-1,5	15-28/5-11 <sup>3</sup>	6-14 <sup>4</sup>	Poore ve Nemecek (2018)
0,4-7,5	1-3	2-5,5	4,5-64	5,1-75	Nijman vd. (2012)
~1.2 <sup>5</sup> -3 <sup>6</sup>	~1,0	~1,0			Tilman ve Clark (2014)*
	3,5 <sup>7</sup>	5,5	29,5		FAO (2017)

Tablo 4. Gıda kaynaklı su ürünleri ve hayvan yetiştiriciliğinin karbon ayak izi (kg CO<sub>2</sub>e) genel değerleri. \*Yaklaşık değerler, <sup>1</sup>karides, <sup>2</sup>kabuklular, <sup>3</sup>süt inekçiliği, <sup>4</sup>kuzu ve koyun eti, <sup>5</sup>kapalı devre sistem olmayan üretim, <sup>6</sup>kapalı devre üretim, <sup>7</sup>yumurta tavuğu.

Besinlerini doğal ortamdan sağlayan primer üretici makroalgler ve doğal gıdalarla beslenen çift çenetlilerin yem emisyonlarının olmamasından dolayı düşük karbon ayak izi değerlerine sahiptirler (MacLeod vd., 2020, 2021; Jones vd., 2022). Deniz makroalg ve çift çenetli yetiştiriciliğinin karbon bütçesinin büyük miktarını yatırım ve nakliyeye dayalı lojistik kısmı oluşturmaktadır. Karides ve kabukluların ortalama 6,59 kg CO<sub>2</sub>e/kg üretim değeri, balık yetiştiriciliğinin ortalama 3,27 kg CO<sub>2</sub>e/kg üretim değerinden oldukça yüksektir. Ancak deniz balıklarının 5,18 kg CO<sub>2</sub>e/kg üretim değeri, karides ve kabuklu yetiştiriciliği değerine yakındır (MacLeod vd., 2020). Çin'de pirinç-balık simbiyoz sistemlerinden elde edilen ürün değerine göre; küçük çiftlikler büyük ölçekli operasyonlardan daha yüksek karbon emisyonu üretirler (Cui vd., 2020). Tür bazlı balık yetiştiriciliğinin karbon ayak izi değeri büyük ölçüde türün beslenme özelliklerine bağlı olarak yemin bir başka deyişle yem yapımında kullanılan ham maddelerin karbon ayak izi, nakliye kaynaklı karbon ayak izi, yatırımın bütçe değerini ortaya koyan sistem farklılıklarının karbon ayak izi ve yetiştiricilik sistemine dayalı enerji kaynaklı karbon ayak izi ayrıca proje kapasitesi ve proje kapasitesinin yıllar içinde değişen yetiştiricilik değerindeki üretim miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir (Henriksson vd., 2015; Diken vd., 2022; Diken yayınlanmamış a,b; Diken vd., yayınlanmamış) (Tablo 5). Örneğin gökkuşuğu alabalığı yetiştiriciliğinin karbon ayak izi proje üretim kapasitesinin üç yıllık üretim miktarındaki değişimine bağlı olarak üretim artışıyla azalmıştır (Diken vd., 2022; Diken vd., yayınlanmamış). Benzer olarak büyük çiftliklere göre pangasius yetiştiriciliğinin karbon ayak izi küçük ölçekli aile şirketlerinde daha

fazladır (Henriksson vd., 2015). Sonuç olarak yoğun üretim artan üretim verimliliğinden dolayı genellikle daha düşük karbon ayak izi değerine sahiptir (Lutz vd., 2021). Yetiştiriciliği yapılan sazan balığı, yayın balığı ve tilapia gibi tatlı su balıkların omnivor veya otçul olması, yemlerinde nispeten düşük seviyelerde protein ve balık ununa ihtiyaç duyması, kolay üremesi, düşük çözünmüş oksijen seviyelerine, besin atıklarına karşı yüksek toleransları, nispeten düşük maliyetli teknolojiler kullanılarak yetiştirilmeleri nedeniyle düşük ve orta gelirli tüketiciler için erişilebilir küresel gıda ve beslenme güvenliğine hakim ancak yeterince takdir edilmeyen bir katkı sağlar (MacLeod vd., 2020).

Balık ve kabuklu deniz ürünlerinin enterik fermantasyon yoluyla CH<sub>4</sub> üretememeleri, doğrudan amonyak salgılamaları, daha yüksek üreme yeteneği ve yem değerlendirme oranlarına sahip olmaları, yüzme ve aerodinamik yapılarından dolayı hareket için daha az enerjiye ihtiyaç duymaları ve soğukkanlı olmaları su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin domuz ve piliç gibi geviş getiren monogastrik türlerden daha düşük bir emisyonu sahip olmalarını sağlamaktadır (MacLeod vd., 2020; 2021). Nispeten düşük karbon ayak izi değerlerine sahip su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği açısından yem ham maddelerinin kullanımını içeren yem güvenliğine ihtiyaç vardır (Hognes vd., 2011; D'Abramo, 2021). Yem üretiminde enerjinin azaltılması, yem değerlendirme oranının iyileştirilmesi, yem ham madde çeşitliliğinin artırılması, yem değişim oranlarına bağlı olarak yenilebilir porsiyon büyüklüğü olan türlerin seçilmesi, üretim verimliliğinin artırılan yönetim uygulamaları, su ürünleri yetiştiriciliğinde enerji tasarrufu ile birlikte karbon ayak izi değerlerinin azaltılmasına olanak sağlayacaktır (Flos ve Reig, 2007). Genelde su ürünleri yetiştiriciliğinin çiftlik çıkışı değerlerinin verildiği karbon ayak izi bütçelerinde nakliyenin de bir payı olmasına karşın (Flos ve Reig, 2017; Diken vd., 2022; Diken yayınlanmamış a,b), markette satışı yapılan su ürünleri yetiştiriciliği ürünü için artan taşımacılık payının öneminden bahsedilebilir. Örneğin 1 kg Atlantik somonunun ABD'deki kapalı devre yetiştiriciliğinin karbon ayak izi değeri 7,01 kg CO<sub>2</sub>e iken, Norveç'teki açık deniz ağ kafes yetiştiriciliğinin bu değeri 3,39 kg CO<sub>2</sub>e olmasına karşın, her iki ürünün Kuzey Amerika'daki bir şehirde tüketicilere sunulan market değeri ise ABD'de üretilen ürün için 7,41 ve Norveç'te üretilip hava taşımacılığı ile getirilen ürün için 15,22 kg CO<sub>2</sub>e'dir (Liu vd., 2016). Denizaşırı taşımacılığın yüksek değerine sahip hava taşımacılığı değerinin azaltılmasında, deniz taşımacılığına geçişin CO<sub>2</sub> emisyonlarını %94 oranında azaltabileceğinden bahsedilmektedir (Hogan, 2022).

Sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği; makroekonomik uygulanabilirlik, yasal ve düzenleyici boyutlar, şeffaf ve hesap verebilme potansiyeli, sosyal ve bölgesel kapsayıcılık, eşitlik ve arazi kullanımı değişikliğine

dayalı bilgi boşluklarına sahiptir (IPCC, 2022). Su ürünleri yetiştiriciliği emisyonlarının doğru olarak hesaplanabilmesi için yem şirketleri ve üreticilerden alınan birincil verileri içeren ampirik çalışmalar önemlidir (MacLeod vd., 2020). Kamu bilinci ve kurumsal konumlanmanın oluşturulması kapsamında; su ürünleri endüstrisinin iklim değişikliğiyle mücadelesine yönelik karbon emisyonlarını azaltma hedefleri, öncelikli olarak somon çiftliklerinde yem, ulaşım ve operasyonlardaki yenilik planlamalarını içerir (Hogan, 2021). Sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğinin karbon ayak izini azaltma yönünde bir yem fabrikası yem kalitesinden ödün vermeden ve fiyat artışı yaratmadan düşük emisyonlu yem ham maddelerinin kullanıldığı düşük emisyonlu yem üretimi yatırım planlamalarına ve sertifikasyon girişimlerine başlamıştır (HatcheryFeedManagement, 2021). Yine bir başka özel sektör somon yetiştiriciliğinin yem taşımacılığına dayalı karbon ayak izi, yemin lojistik ve üretim maliyetlerinin azaltılması perspektifine yönelik olarak sürdürülebilir yem üretimi için çiftliğe özel yem üretim tesisi planlamıştır (HatcheryInternationalPersonel, 2021). Aynı özel şirket sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda bir sera gazı olan metanın protein bazlı çözeltilere dönüştürülmesini sağlayan ham madde üretimi çalışmalarını da sürdürmektedir (HatcheryInternationalPersonel, 2022). Yine aynı özel şirket standart diyetlerden %10 daha düşük karbon ayak izine sahip yem formülasyonu üzerinde çalışmaktadır (EFA news, 2020). 2021 yılında yaklaşık 2 milyon ton su ürünleri yem üretimine sahip özel bir şirket, deniz ürünleri çiftlik yetiştiriciliğinin karbon ayak izini 2030 yılına kadar %30 oranında azaltarak yılda 2 milyar kg CO<sub>2</sub> tasarrufu yapmayı planlamaktadır (Cargill, 2022).

Su ürünleri yetiştiriciliğinin karbon ayak izi hesaplanmasında standardizasyon gerekliliğine bağlı olarak kg ürün üretiminin kg CO<sub>2</sub> emisyonu kullanılmalıdır (Lutz vd., 2021; Diken vd., 2022). Yerel ve ulusal bazda su ürünleri yetiştiriciliğinin, tür ve sistem farklılıklarını ortaya koyan, tür bazlı (türe özgü) yetiştiricilik sistemleri (sisteme özgü) üretiminin (tür&sistem özgü) karbon ayak izi değerlerinin belirlenmesi, büyük oranda tahminlere dayalı su ürünleri yetiştiriciliğinin karbon ayak izi değeri/değerlerinin daha doğru yaklaşımlarla belirlenmesini sağlayacaktır. Saha operasyonlarıyla belirlenen hasat edilmiş ürünün yaş ağırlığının karbon ayak izi değeri yenilebilir gıda bazlı olarak ve yenilebilir gıdanın protein ve kalori değerlerine göre de hesaplanması su ürünleri yetiştiriciliğinin dünya gıda protein talebi ve günlük diyet kcal ihtiyacı karşısındaki gıda güvenliğinin belirlenmesine yönelik sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi ve projeksiyonların ortaya konulmasını sağlayacaktır. Sera gazı emisyonlarının küresel ve bölgesel modellerinin yanı sıra gıda ve iklim politikalarının ulusal ve uluslararası düzeyde elde edilen verileri, balıkçılık politikalarının iklim değişikliğine uyum sağlamaya yönelik stratejiler

ve karar verme modellerinin geliştirilmesine yardımcı olacaktır (Parker vd., 2018; OECD/FAO, 2021).

Grup/tür adı	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Kaynak
<b>Dünya genel değerleri</b>		
<i>Deniz yosunu/makroalg</i>		
<i>Çiftlik üretimi</i>	0,02 (0,01-0,03)	Jones vd. (2022)
<i>Çiftlik üretimi ve nakliye</i>	0,23	Jones vd. (2022)
<i>Bivalvia, çifti çenetliler</i>		
<i>Hasat yaş ağırlık-ortalama</i>	1,87-0,39	Jones vd. (2022)
<i>Hasat ve nakliye dahil yaş ağırlık</i>	2,74	Jones vd. (2022)
<i>Çiftlik üretimi</i>	1,14	MacLeod vd. (2020)
<i>Balık</i>		
Genel üretim	3,27	MacLeod vd. (2020)
Hint sazani	2,92	MacLeod vd. (2020)
Yayın balığı	3,05	MacLeod vd. (2020)
Salmon	3,17	MacLeod vd. (2020)
Sazangiller	3,25	MacLeod vd. (2020)
Tatlısu balıkları	3,47	MacLeod vd. (2020)
Tilapia	3,70	MacLeod vd. (2020)
Deniz balıkları	5,18	MacLeod vd. (2020)
<i>Crustacea, kabuklular</i>		
Karides ve kabuklular	6,59	MacLeod vd. (2020)
<b>Balık</b>		
Gökkuşluğu alabalığı ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ), ağ kafes	1,13 (1,09-1,22)	Diken vd. (2022)
Gökkuşluğu alabalığı, beton havuz	1,78 (1,64-2)	Diken yayınlanmamış a
*Gökkuşluğu alabalığı, ağ kafes havza değeri	1,48 (1,09-1,92)	Diken yayınlanmamış b
Gökkuşluğu alabalığı, raceway-su giriş çıkışlı	2,75	Aubin vd. (2009)
Gökkuşluğu alabalığı, genel porsiyon boy	1,85	Papatryphon vd. (2004)
Gökkuşluğu alabalığı, genel büyük boy	2,49	Papatryphon vd. (2004)
Atlantik salmon ( <i>Salmo salar</i> ), genel	2,9	Marine Harvest (2017)
Atlantik salmon, genel	2,16	Pelletier vd. (2009)
Atlantik salmon, deniz floating bag	1,90	Ayer ve Tyedmers (2009)
Atlantik salmon, deniz ağ kafes	2,07	Ayer ve Tyedmers (2009)
Atlantik salmon, kara tabanlı akansu	2,77	Ayer ve Tyedmers (2009)
Atlantic salmon, ikame yem beslemeleri	2,1 (1,2-2,7)	Pelletier ve Tyedmers (2007)
Levrek balığı, kapalı devre sistem	4	Hagos (2012)
Levrek balığı, kafes	3,60	Aubin vd. (2009)
Kalkan balığı, kapalı devre sistem	6,02	Aubin vd. (2009)
Asya levreği ( <i>Lates calcarifer</i> ), gölet yetiştiriciliği	0,022-0,03	Srinivasa vd. (2016)
Asya levreği, kapalı devre sistem	2	Hagos (2012)
Asya levreği, kafes	2	Hagos (2012)

<i>Hindistan büyük sazanı</i>	1,84	Robb vd. (2017)
<i>Nil tilapia</i>	1,58	Robb vd. (2017)
<i>Tilapia, kapalı devres sistem</i>	5	Hagos (2012)
<i>Endonezya tilapiası (Oreochromis niloticus), göl tabanlı kültür</i>	1,52	Pelletier ve Tyedmers (2010)
<i>Endonezya tilapiası, havuz tabanlı kültür</i>	2,10	Pelletier ve Tyedmers (2010)
<i>Çizgili yayın balığı</i>	1,37	Robb vd. (2017)
<i>Pangasius sp., büyük çiftlik üretimi</i>	5,91	Henriksson vd. (2015)
<i>Pangasius sp., küçük çiftlik üretimi</i>	6,73	Henriksson vd. (2015)
<i>Cobia, kafes</i>	8	Hagos (2012)
<b>Crustacea, kabuklular</b>		
<i>Karides (Penaeus monodon), gölet yetiştiriciliği</i>	0,04	Srinivasa vd. (2016)
<i>Karides (P. vannamei) gölet yetiştiriciliği</i>	0,042	Srinivasa vd. (2016)
<b>Bivalvia, çift çenetliler</b>		
<i>Midye</i>	0,95	Runesson (2021)
<i>Midye</i>	0,12-0,46	Frösell (2019)
<i>Midye (Mytilus edulis)</i>	0,01-0,03	Aubin vd. (2018)
<i>Midye, hasat-yenilebilir ürün</i>	0,25-0,61	Fry (2012)
<i>Midye (Mytilus galloprovincialis)</i>	0,47	Iribarren vd. (2010)
<i>İstridye, hasat-yenilebilir ürün</i>	1,28-8,8	Fry (2012)
<b>Polikültür</b>		
<b>**Pirinç-balık simbiyoz kültür sistemi (büyük çiftlik)</b>	5.917	Cui vd. (2020)
<b>**Pirinç-balık simbiyoz kültür sistemi (küçük çiftlik)</b>	6.510,80	Cui vd. (2020)

Tablo 5: Gıda kaynaklı su ürünleri yetiştiriciliği grup ve türlerinin karbon ayak izi değerleri. \*Yem ve taşımacılık, \*\*kg CO<sub>2</sub>e/hm<sup>2</sup>.



## KAYNAKLAR

- ABTD. (2020). Avrupa Birliği Türkiye Delegasyonu. Geleceğe dair: Paris iklim anlaşması. (Erişim tarihi: 16 Kasım 2022). [https://www.avrupa.info.tr/sites/default/files/2016-08/brochure\\_4\\_v2.pdf](https://www.avrupa.info.tr/sites/default/files/2016-08/brochure_4_v2.pdf)
- Altermann, W., Kazmierczak, J., Oren, A., & Wright, D.T. (2006). Cyanobacterial calcification and its rock-building potential during 3.5 billion years of Earth history. *Geobiology*, 4(3), 147-166.
- Alexandratos, N. & J. Bruinsma. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.
- Angel, D.L, Jokumsen, A. & Lembo, G. (2019). Aquaculture Production Systems and Environmental Interactions. In: *Organic aquaculture impacts and future developments*, G. Lembo, E. Mente (eds), Springer, Cham, pp 103-118.
- Aubin, J., Papatryphon, E., Van der Werf, H.M.G., & Chatzifotis, S. (2009). Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of Cleaner production*, 17(3), 354-361.
- Aubin, J., Fontaine, C., Callier, M., & Roque d'orbcastel, E. (2018). Blue mussel (*Mytilus edulis*) bouchot culture in Mont-St Michel Bay: potential mitigation effects on climate change and eutrophication. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(5), 1030-1041.
- Ayer, N.W., & Tyedmers, P.H. (2009). Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner production*, 17(3), 362-373.
- Barnosky, A.D. (2015). Transforming the global energy system is required to avoid the sixth mass extinction. *MRS Energy & Sustainability*, 2.
- Bauhardt, C. (2022). Ecofeminist Political Economy: Critical Reflections on the Green New Deal. In *Post-Capitalist Futures* (pp. 87-95). Palgrave Macmillan, Singapore.
- Boyd, C.E., Tucker, C., McNevin, A., Bostick, K., & Clay, J. (2007). Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries science*, 15(4), 327-360.
- Boyd, C.E. (2013). Assessing the carbon footprint of aquaculture. (Erişim tarihi: 05.11. 2022). <https://www.globalseafood.org/advocate/assessing-carbon-footprint-of-aquaculture/?headlessPrint=AAAAPIA9c8r7gs82oWZBA>
- Boyd, C.E., McNevin, A.A. & Tucker, C.S. (2019). Resource use and the environment. In: *Aquaculture farming aquatic animals and plants*, 93–112. Lucas J. S., Southgate, P. C. & Tucker, C. S. (eds), 2016 p. West Sussex, John Wiley & Sons Ltd.,

- Boyd, C.E., D'Abramo, L.R., Glencross, B.D., Huyben, D.C., Juarez, L.M., Lockwood, G.S., ... & Valenti, W.C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633.
- Braje, T.J. (2015). Earth systems, human agency, and the Anthropocene: Planet Earth in the human age. *Journal of Archaeological Research*, 23(4), 369-396.
- Cargill. (2022). Sustainability Reporting Cargill Aqua Nutrition Sustainability Report 2021. (Erişim tarihi: 20(Kasım 2022)). <https://www.cargill.com/sustainability/aquaculture/aquaculture-sustainability-reporting>
- Cochrane, K., De Young, C., Soto, D. & Bahri, T. (2009). Climate change implications for fisheries and aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No 530, Rome.
- Cook, E. (1971). The flow of energy in an industrial society. *Scientific American*, 225(3), 134-147.
- CO2 Earth. (2022). CO2 Earth webpage. (Erişim tarihi: 09 Kasım 2022). <https://www.co2.earth/co2-for-print>
- Crutzen, P.J., & Stoermer, E.F. (2000). The 'Anthropocene.' *Global Change Newsletter*, 41: 17-18.
- Cui, W.C., Jiao, W.J., Min, Q.W., Sun, Y.H., Liu, M.C., & Wu, M.F. (2020). Environmental impact differences in Qingtian Rice-fish Culture System at different management scales in the context of land transfer: An empirical study with the carbon footprint method. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 31(12), 4125-4133.
- D'Abramo, L. R. (2021). Sustainable aquafeed and aquaculture production systems as impacted by challenges of global food security and climate change. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(6), 1162-1167.
- Diken, G., Köknaroglu, H., & Can, İ. (2022). Small-scale rainbow trout cage farm in the inland waters of Turkey is sustainable in terms of carbon footprint (kg CO<sub>2</sub>e). *Acta Aquatica Turcica*, 18(1), 131-145.
- Diken, G. (yayınlanmamış a). Sustainability of Karacaören-I Dam Lake rainbow trout cage farming (Türkiye) in terms of cultural energy and carbon footprint expended on compound diet and transportation.
- Diken, G. (yayınlanmamış b). Carbon footprint (kg CO<sub>2</sub>e) expended in the aquaculture: Assessment of concrete pond rainbow trout farming from Türkiye.
- Diken, G., Köknaroglu, H., & Bahrioğlu, E. (yayınlanmamış). Cultural energy use and energy use efficiency of European seabass (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758) reared in earthen ponds up to portion size.
- EFA news. (2022). European Food Agency. Feed4Future carbon neutral offering now available for Skretting customers. (Erişim tarihi: 23 Kasım 2022).

<https://www.efanews.eu/item/13516-feed4future-carbon-neutral-offering-now-available-for-skretting-customers.html>

- EU. (2021). European Commission. Industry 5.0: Towards more sustainable, resilient and human-centric industry. (Erişim tarihi: 04.12.2022). [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-01-07\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-01-07_en)
- EU. (2022). Industry and the Green Deal. (Erişim tarihi: 04.12.2022). [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/industry-and-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/industry-and-green-deal_en)
- FAO. (2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Developing sustainable food value chains – Guiding principles. Rome 69p.
- FAO. (2017). Livestock solutions for climate change. (Erişim tarihi: 15 Kasım 2022). <https://www.fao.org/3/i8098en/i8098en.pdf>
- FAO. (2021). World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>
- FAO. (2022a). Fisheries and Aquaculture Statistical Query Panel. (Erişim tarihi: 22 Ekim 2022). [https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/aquaculture/aquaculture\\_quantity](https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/aquaculture/aquaculture_quantity)
- FAO. (2022b). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FAO/IYAFA. (2022). Uluslararası geleneksel balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği Yılı. International year of artisanal fisheries and aquaculture 2022 global action plan. (Erişim tarihi: 23 Kasım 2022). <https://www.fao.org/3/cb4875en/cb4875en.pdf>
- FEAP. (2022). The key role of aquaculture for safe and healthy food. (Erişim tarihi: 14 Kasım 2022). [https://feap.info/wp-content/uploads/2020/09/20190829\\_feap\\_depliant.pdf](https://feap.info/wp-content/uploads/2020/09/20190829_feap_depliant.pdf)
- Feulner, G. (2009). Climate modelling of mass-extinction events: a review. *International Journal of Astrobiology*, 8(3), 207-212.
- Flos, R. & Reig, L. (2017). Improving energy efficiency in fisheries and aquaculture. *Aquaculture Europe* 42(2), 29-34.
- Frösell, M. (2019). Mussel farming using various techniques evaluated using Life Cycle Assessment (LCA).
- Fry, J. (2012). Carbon Footprint of Scottish Suspended Mussels and Intertidal Oysters. Scottish Aquaculture Research Forum. Report no. SARF078.
- Galway-Witham, J., & Stringer, C. (2018). How did Homo sapiens evolve?. *Science*, 360(6395), 1296-1298.

- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Fal-cucci, A. & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome, 115p.
- Gitz, V., Meybeck, A., Lipper, L., Young, C. D., & Braatz, S. (2016). Climate change and food security: risks and responses. Rome, 98p.
- Hagos, K. W. (2012). Survey of resource use efficiency and estimation of carbon and water footprints in fish farming systems using life cycle analysis. Dis-sertation, University of Rhode Island Kingston.
- Hall, S.J.A., Delaporte, M.J. Phillips, M. Beveridge & M. O’Keefe. (2011). Blue Frontiers: Managing the Environmental Costs of Aquaculture. The World-Fish Center, Penang, Malaysia.
- Hargreaves, J., Brummett, R. & Tucker, C. S. (2019). The future of aquaculture, 617–636. In: *Aquaculture farming aquatic animals and plants*, Lucas, J. S., Southgate, P. C., Tucker, C.S. (eds), 2016 p. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- HatcheryFeedManagement. (2021). Aller Aqua starts labeling carbon emission equivalents on its feeds. (Erişim tarihi: 25 Nisan 2022) <https://hatcheryfm.com/hfm-article/1678/Aller-Aqua-starts-labeling-carbon-emission-equivalents-on-its-feeds/>
- HatcheryInternationalStaff. (2021). Skretting and Atlantic Sapphire partner on local feed supply venture. (Erişim tarihi: 25 Nisan 2022) <https://www.hatcheryinternational.com/skretting-and-atlantic-sapphire-partner-on-local-feed-supply-venture/>
- HatcheryInternationalStaff. (2022). String Bio and Skretting Australia to seek novel fish feed ingredients. (Erişim Tarihi: 22 Ekim 2022) String Bio and Skretting Australia to seek novel fish feed ingredients. [https://www.hatcheryinternational.com/string-bio-and-skretting-australia-to-seek-novel-fish-feed-ingredients/?custnum=&CUSTNUM;&title=&\\*URL ENCODE\(&TITLE;\)&utm\\_source=&PUB\\_CODE;&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=&\\*URL ENCODE\({{\\*JobID}}\)&oly\\_enc\\_id=1138E5753801B5V](https://www.hatcheryinternational.com/string-bio-and-skretting-australia-to-seek-novel-fish-feed-ingredients/?custnum=&CUSTNUM;&title=&*URL ENCODE(&TITLE;)&utm_source=&PUB_CODE;&utm_medium=email&utm_campaign=&*URL ENCODE({{*JobID}})&oly_enc_id=1138E5753801B5V)
- Haunschild, R., Bornmann, L., & Marx, W. (2016). Climate change research in view of bibliometrics. *PloS one*, 11(7), e0160393.
- Henriksson, P.J., Heijungs, R., Dao, H. M., Phan, L.T., de Snoo, G. R., & Guinée, J.B. (2015). Product carbon footprints and their uncertainties in comparative decision contexts. *PloS one*, 10(3), e0121221.
- Hogan, H. (2021). Aquaculture, feed companies embark on a carbon-cutting journey. (Erişim tarihi: 20 Kasım 2022). [https://www.globalseafood.org/advocate/aquaculture-feed-companies-embark-on-a-carbon-cutting-journey/?utm\\_campaign=The%20Advocate&utm\\_content=192198490&utm\\_medium=social&utm\\_source=twitter&hss\\_channel=tw-784429172](https://www.globalseafood.org/advocate/aquaculture-feed-companies-embark-on-a-carbon-cutting-journey/?utm_campaign=The%20Advocate&utm_content=192198490&utm_medium=social&utm_source=twitter&hss_channel=tw-784429172)

- Hognes, E.S., Ziegler, F. & Sund, V. (2011). Carbon footprint and area use of farmed Norwegian salmon (SINTEF Fisheries and Aquaculture Report: A22673). [https://www.researchgate.net/publication/301772479\\_Carbon\\_footprint\\_and\\_area\\_use\\_of\\_farmed\\_Norwegian\\_salmon](https://www.researchgate.net/publication/301772479_Carbon_footprint_and_area_use_of_farmed_Norwegian_salmon) (accessed 11 September 2022)
- Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D., & Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 424-428.
- IPCC. (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Group I. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds), Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 pp.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010). Revisiting the life cycle assessment of mussels from a sectorial perspective. *Journal of Cleaner Production*, 18(2), 101-111.
- ISO. (2006a). International Organization for Standardization ISO 14040:2006(E). Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework. ISO, Geneva, Switzerland.
- ISO. (2006b). Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines. ISO, Geneva, Switzerland.
- Jain, S. (2014). The Geological Timescale. In *Fundamentals of Physical Geology* (pp. 95-125). Springer, New Delhi.
- Jones, A.R., Alleway, H.K., McAfee, D., Reis-Santos, P., Theuerkauf, S.J., & Jones, R.C. (2022). Climate-friendly seafood: the potential for emissions reduction and carbon capture in marine aquaculture. *BioScience*, 72(2), 123-143.
- Köse, İ (2018). İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye'nin Paris Anlaşması'ni İmza Süreci. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9(1), 55-81.
- Liu, Y., Rosten, T.W., Henriksen, K., Hognes, E.S., Summerfelt, S. & Vinci, B. (2016). Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater. *Aquacultural Engineering*, 71, 1-12.
- Livi-Bacci, M. (2017). A concise history of world population. John Wiley & Sons.

- Lutz, C.G. (2021). Assessing the carbon footprint of aquaculture. (Erişim tarihi: 25 Nisan 2021). <https://thefishsite.com/articles/assessing-the-carbon-footprint-of-aquaculture>
- MacLeod, M.J., Hasan, M.R., Robb, D.H. & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific reports*, 10(1), 1-8.
- MacLeod, M.J., Hasan, M.R., Robb, D.H. & Mamun-Ur-Rashid, M. (2021). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. (Erişim tarihi: 17 Kasım 2022). <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/quantifying-greenhouse-gas-emissions-from-global-aquaculture/>
- Marine Harvest. (2017). Salmon Farming Industry Handbook 2016.
- Mazlum, S.C. (2019). TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, iklim değişikliği alanında ortak çabaların desteklenmesi projesi (iklimİN), iklim değişikliği eğitim modülleri serisi 2, küresel iklim politikaları. (Erişim tarihi: 03 Ocak 2020). <http://www.iklimin.org/moduller/kureselpolitikalarmodulu.pdf>
- Nemry, F., Theunis, J., Brechet, T. & Lopez, P. (2001). Greenhouse gas emissions reduction and material flows. Institute Wallan, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, Belgium.
- Nijdam, D., Rood, T., & Westhoek, H. (2012). The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food policy*, 37(6), 760-770.
- NRC. (2015). National Research Council. Critical role of animal science research in food security and sustainability. National Academies Press.
- OECD/FAO. (2021). OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. (Erişim tarihi: 07 Kasım 2022). <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb5332en>
- Papatryphon, E., Petit, J., Van der Werf, H.M.G., Kaushik, S.J., & Saint-Pée-sur-Nivelle, F. (2004). Life Cycle Assessment of trout farming in France: a farm level approach. *DIAS report*, 71.
- Parker, R.W., Blanchard, J.L., Gardner, C., Green, B.S., Hartmann, K., Tyedmers, P.H., & Watson, R.A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333-337.
- Payne, J.L., Boyer, A.G., Brown, J.H., Finnegan, S., Kowalewski, M., Krause Jr, R.A., ... & Wang, S.C. (2009). Two-phase increase in the maximum size of life over 3.5 billion years reflects biological innovation and environmental opportunity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(1), 24-27.
- Pelletier, N. & Tyedmers, P. (2007). Feeding farmed salmon: is organic better? *Aquaculture*, 272(1-4), 399-416.
- Pelletier, N., Tyedmers, P., Sonesson, U., Scholz, A., Zeigler, F., Flysjo, A., Kruse, S., Cancino, B., & Silverman, H. (2009). Not all salmon are created

- equal: life cycle assessment (LCA) of global salmon farming systems. *Environ. Sci. Technol.* 43(23), 8730–8736.
- Pelletier, N., & Tyedmers, P. (2010). Life cycle assessment of frozen tilapia filets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems. *Journal of Industrial Ecology*, 14(3), 467-481.
- Pernet, F. & Browman, H.I. (2021). The future is now: Marine aquaculture in the anthropocene. *ICES Journal of Marine Science*, 78(1), 315–322.
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.
- Raul, C., Pattanaik, S.S. & Prakash, S. (2020). Greenhouse Gas Emissions from Aquaculture Systems. *World aquaculture*, 57-61.
- Relethford, J.H. (2008). Genetic evidence and the modern human origins debate. *Heredity*, 100(6), 555-563.
- Ritchie, H. (2020). Less meat is nearly always better than sustainable meat, to reduce your carbon footprint. (Erişim tarihi: 06 Kasım 2022). <https://ourworldindata.org/less-meat-or-sustainable-meat>
- Ritchie, H., & Roser, P. (2019a). Urbanization. (Erişim tarihi: 07 Kasım 2022). <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
- Ritchie, H., & Roser, P. (2019b). Land Use. (Erişim tarihi: 07 Kasım 2022). <https://ourworldindata.org/land-use>
- Ritchie, H. (2020). Less meat is nearly always better than sustainable meat, to reduce your carbon footprint. (Erişim tarihi: 06 Kasım 2022). <https://ourworldindata.org/less-meat-or-sustainable-meat>
- Ritchie, H., & Roser, P. (2020). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. (Erişim tarihi: 06 Kasım 2022). <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
- Robb, D.H., MacLeod, M., Hasan, M.R., & Soto, D. (2017). Greenhouse gas emissions from aquaculture: a life cycle assessment of three Asian systems. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (609).
- Rosenzweig C., Mbow, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E.T., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T., Tubiello, F.N., Xu, Y., Contreras, E.M. & Portugal-Pereira, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nature Food*, 1(2), 94-97.
- Roser, M., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., & Rodés-Guirao, L. (2013). World population growth. *Our world in data*. <https://ourworldindata.org/urbanization>
- Runesson, E. (2021). Compilation of life cycle assessments of cultivated blue mussels.
- Schneider, C., Wilke, N., & Lösch, A. (2022). Contested visions for transformation—the visions of the green new deal and the politics of technology

- assessment, responsible research and innovation, and sustainability research. *Sustainability*, 14(3), 1505.
- Shahid, S.A. & Behnassi, M. (2014). Climate change impacts in the Arab Region: review of adaptation and mitigation potential and practices 15-38pp. In: *Vulnerability of Agriculture, Water and Fisheries to Climate Change: Toward Sustainable Adaptation Strategies*, Behnassi, M., Ramachandran, G., Muteng'e M.S., Shelat, K.N. (eds), 336p. Springer; Dordrecht, Nederland.
- Sonesson, U., Davis, J., & Ziegler, F. (2010). Food production and emissions of greenhouse gases: an overview of the climate impact of different product groups.
- Srivastav, A. (2019). A Glimpse of Natural Climatic History. In *The Science and Impact of Climate Change* (pp. 21-37). Springer, Singapore.
- Srinivasa Rao, Ch., Prabhakar, M., Maheswari, M., Srinivasa Rao, M., Sharma, K.L., Srinivas, K., Prasad, J.V.N.S., Rama Rao, C.A., Vanaja, M., Ramana, D.B.V., Gopinath, K.A., Subba Rao, A.V.M., Rejani, R., Bhaskar, S., Sikka A.K. & Alagusundaram, K. (2016). National Innovations in Climate Resilient Agriculture (NICRA), Research Highlights 2015-16. Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad, India.
- Steffen, W. (2020). The “Anthropocene” by Paul J. Crutzen and Eugene F. Stoermer. *The International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) Newsletter No.41*, 17-18p.
- Sudakow, I., Myers, C., Petrovskii, S., Sumrall, C.D., & Witts, J. (2022). Knowledge gaps and missing links in understanding mass extinctions: Can mathematical modeling help? *Physics of Life Reviews*.
- Tacon, A.G., Metian, M., & McNevin, A.A. (2022). Future Feeds: Suggested guidelines for sustainable development. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2), 271-279.
- Tidwell, J.H. (2012). Functions and characteristics of all aquaculture systems. In J. H. Tidwell (ed), *Aquaculture production systems* (pp. 51–63). Oxford, England: Wiley-Blackwell.
- Tilman, D., & Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518-522.
- Tyedmers, P., Watson, R. & Pauly, D. (2005). Fueling global fishing fleets. *Ambio* 34(8), 635–638.
- TUİK. (2022). Türkiye İstatistik Kurumu. Dünya nüfus günü, 2022. Erişim: 06 Temmuz 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dunya-Nufus-Gunu-2022-45552>
- UN. (2021). United Nations. Climate Action, What Is Climate Change? (Erişim: 14 Ağustos 2021). <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>



- UNDP. (2015). United Nations Development Programme. *Sustainable development goals*. Geneva. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- Weidema, B.P., Thrane, M., Christensen, P., Schmidt, J. & Løkke, S. (2008). Carbon footprint: a catalyst for life cycle assessment? *Journal of industrial Ecology*, 12(1), 3-6.
- Wheeler, T., & Von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508-513.
- Zhang, W., Belton, B., Edwards, P., Henriksson, P.J., Little, D. C., Newton, R., & Troell, M. (2022). Aquaculture will continue to depend more on land than sea. *Nature*, 603(7900), E2-E4.



“

## Bölüm 4

**COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ  
ORTAMINDA TAHİROVA TARIM  
İŞLETMESİ TOPRAKLARININ BAZI  
TOPRAK VE ARAZİ ÖZELLİKLERİNİN  
HARİTALANDIRILMASI**

*Yavuz Şahin TURGUT<sup>1</sup>*

*Yakup Kenan KOCA<sup>2</sup>*

”

---

1 Yavuz Şahin Turgut, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana, Türkiye, ysturgut@cu.edu.tr, OrcID 0000-0002-8566-6375

2 Yakup Kenan Koca, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana, Türkiye ykkoca@cu.edu.tr, OrcID 0000-0001-9285-1416

## 1. Giriş

Stratejik önemdeki tohum ve damızlıkta öncü, tarıma dayalı sanayi için bitkisel ve hayvansal üretim yapan, gen kaynaklarını koruyan, kaliteyle rekabeti artıran, dinamizmi ve güvenilirliği yüksek bir kuruluş olma misyonu ile hareket eden Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün (TİGEM) 09.04.2000 tarihli ve 24015 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren ana statüsündeki kuruluş amacı, tarım ve tarıma dayalı sanayinin ihtiyacı olan her türlü mal ve hizmetleri üretmek olarak tanımlanmıştır. TİGEM, daha önceden yine Devlete bağlı Hara ve İnekhaneler ile Devlet Üretim Çiftliklerinin 1984 yılında tek çatı altında birleştirilmesi ile kurulmuştur. Böylece imkânların, bilgi ve tecrübenin birleştirilerek hizmetin geliştirilmesi ve genişletilmesi amacıyla kurulmuş olan TİGEM, kamuda tarım ve hayvancılık konularında faaliyet gösteren işletmeleri bir çatı altında toplamış bulunmaktadır (Anonim, 2019).

TİGEM'in taşra teşkilatını oluşturan 37 işletme müdürlüğünün 20 tanesi 2013 yılından itibaren uzun dönemlik kiraya verilmiştir. Uzun dönemlik kiraya verilen işletmelerden biri olan Tahirova Tarım İşletmesi'nde önceki yıllarda tarımsal üretimde buğday, arpa, çeltik, mısır, baklagil ve sebze üretimi ön plana çıkarken (Doğaner, 1992; İnan ve Yaşar, 2015) son yıllarda bahçe tarımında şeftali, nektarin, elma, armut, erik ve kirazın daha fazla yer aldığı görülmüştür.

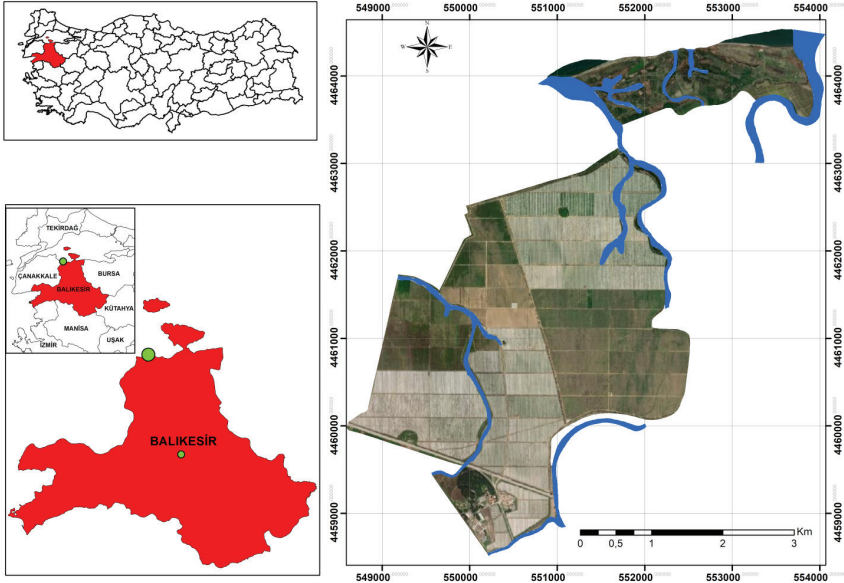
Söz konusu işletme topraklarının özelliklerinin belirlendiği ilk ve tek çalışmalardan birisi de Tahirova Tarım İşletmesi Topraklarının Etüd ve Haritalanması çalışmasıdır. Çalışma TİGEM ve Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü önderliğinde yapılan bir toprak etüd çalışmasının raporudur (Anonim, 1986). Raporda işletme topraklarının ve arazi varlığının önemli özellikleri detaylı yöntemlerle incelenmiştir. Ancak dönemin imkanlarından dolayı bu çalışma sayısal ortama aktarılamamıştır.

Bir alan içerisindeki toprakların karakteristiklerini tanımlama, standart bir sınıflama sistemine göre toprakları sınıflandırma, bir harita üzerinde toprak çeşitlerinin sınırlarını gösterme ve toprakların davranışları hakkında tahmin yapma olarak tanımlanan (Dinç ve Şenol, 2009) toprak etüd ve haritalama çalışmaları, toprakların önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, arazilerin değerlendirilmesi ve haritalanması çalışmalarının bir bütünüdür. tarımsal yönden artan ihtiyacın yanı sıra diğer kullanımlar içinde artan arazi talepleri özellikle tarım arazileri üzerinde olan baskıyı arttırmakta, bu durum ise üretkenliğin ve bioçeşitliliğin azalmasına hatta yok olmasına neden olmaktadır (Dengiz ve ark., 2010; Aydın ve Dengiz, 2020). Tahirova Tarım İşletmesi raporunun hazırlandığı dönem de dahil olmak üzere, toprak etüdlерinde önceki yıllarda daha

çok hava fotoğrafı ve topoğrafik harita kullanılmış ve raporlar basılı halde kullanıcılara sunulmuştur. 1990 yılı ve sonrasında yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte uydu görüntüleri daha fazla kullanılmaya başlayan kartografik materyallerden olmuştur. Teknolojik gelişmeler ile birlikte daha fazla kullanım alanında sahip olmaya başlayan coğrafi bilgi sistemleri (CBS) toprak etüdlerinde de kullanılmaya başlanmış ve basılı haritalar yerini dijital haritalara bırakmıştır. Bu çalışmanın yapıldığı dönemin teknolojik imkânları ve koşulları göz önüne alındığında, güncel koordinat bilgilerinin olmaması, basılı haritalardaki ölçek kaymaları ve sapmalar, alana yönelik bir takım sayısal değerlendirme eksiklikleri bu çalışmayı gerekli kılmıştır. Bu nedenle çalışma, daha önceden basılı halde olan Tahirova Tarım İşletmesi raporunda bulunan kimi arazi ve toprak özelliklerini CBS ortamında değerlendirmek ve veritabanı oluşturularak çeşitli tematik haritalar üretmeyi amaçlamaktadır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Balıkesir ili Gönen ilçesi sınırları içerisinde bulunan Tahirova tarım işletmesinin kuzeyinde Marmara Denizi yer alır. İşletme arazisinin doğusunda Gönen Deresi, güneyinde Gönen-Biga karayolu, güneybatısında ise Çiftçeşmeler yolu bulunmaktadır (4460000 E - 548000 N; 4464000 E - 554000 N:WGS84 UTM Zone 35N). İşletme Gönen ilçesine yaklaşık 28 km uzaklıkta konumlandırılmıştır (Şekil 1). İşletme yaklaşık 10.000 da arazi üzerine kurulmuş olup, mevcutta ağırlıklı olarak çok yıllık dikili bahçe tarımı (şeftali, nektarin, elma, armut, erik ve kiraz) yapılmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

Çalışma alanı uzun yıllar (1929-2021) iklim verilerine dikkate alındığında, yıllık ortalama yağışın 599.4 mm olduğu görülmektedir. Yağışlar genellikle Kasım-Şubat ayları arasında yağmur şeklinde gerçekleşmektedir. En yağışlı ay 88.0 mm ortalama ile Ocak ayıdır. En düşük yağış ise 4.6 mm ile Ağustos ayına aittir. Gönen ilçesinde genellikle Akdeniz iklimi hakimdir. Ortalama sıcaklık değerleri en düşük 4.7 °C ile Ocak ayına, en yüksek ortalama sıcaklık değeri ise 25.6 °C ile Temmuz ayına aittir. Yıllık ortalama sıcaklık 14.8°C'dir (Çizelge 1). Aydeniz, Erinç ve Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre yarı nemli bir yapıya sahiptir (Anonim, 2022). Çalışma alanı toprak nem rejimi *Xeric*, sıcaklık rejimi ise *Thermic*'tir.

Çizelge 1. Balıkesir ili 1929-2021 yılı arası iklim verileri ortalamaları.

	Oca.	Şub	Mar	Nis.	May.	Haz	Tem.	Ağu	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	Yıllık
OS	4.7	6.2	9.0	12.7	17.9	22.6	25.6	25.5	21.2	15.9	10.2	6.1	14.8
OEYS	9.0	11.3	15.3	19.8	25.5	30.1	32.6	32.6	28.7	22.6	16.5	10.6	21.2
OEDS	0.9	1.8	3.4	6.3	10.5	15.0	18.0	18.5	14.2	10.0	5.2	2.4	8.9
AYTM	88.0	73.2	65.3	53.6	36.8	35.0	10.0	4.6	29.8	50.7	73.0	79.4	599.4

OS: Ortalama sıcaklık (°C); OEYS: Ortalama en yüksek sıcaklık (°C); OEDS: Ortalama en düşük sıcaklık (°C); AYTM: Aylık toplam yağış miktarı (mm)

İşletmenin güneyinde yer alan yüksek arazilerin etekleri ve kuzeye doğru yayılan taban araziler işletmede bulunan iki ana fizyografik ünitedir. Çok az bölümde ise koluviyaller yer almaktadır. Sahil kıyısında bulunan araziler ise eski kıyı kumulları olarak tanımlanmıştır.

İşletme arazilerinin önemli bir kısmı Holosen yaşlı pekişmemiş arazilerden oluşmaktadır. İşletmenin güneyinde jeomorfolojik güçler tarafından taşınarak depolanmış taşlı, çakıllı ve killi genç koluviyal araziler de bulunmaktadır.

İşletmede 9 toprak serisi belirlenmiştir. Bu serilerden Çamlık, Turplu ve Çifteçeşmeler Vertisol, Şabanada Inceptisol, Gönen, Tatlıhazmak, Şaplı, Tahirova ve Kulübeada serileri ise Entisol olarak tanımlanmıştır.

Büro ortamında gerçekleştirilen bu çalışmada, daha önceden detaylı toprak etüdüleri yapılan işletme arazisine ait haritalar Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamına aktarılmış, çeşitli tematik haritalar üretilmiştir. Bu amaçla basılı harita şeklinde bulunan temel toprak haritası, scannerde taratıldıktan sonra CBS ortamında Google Earth yardımı ile coğrafi düzeltmesi yapılmıştır. Manuel olarak toprak sınırları ve diğer haritalama birimleri sayısallaştırılmış, veri tabanı (attribute) oluşturulmuş ve haritalar üretilmiştir. Bu aşamanın tümünde ArcGIS 10.4 yazılımından yararlanılmıştır. Ayrıca, toprak profillerinin analitik değerlerinin görselleştirmeleri açık kaynak yazılımlı R programında "aqp" paketi kullanılarak yapılmıştır (RCORETEAM,2022)

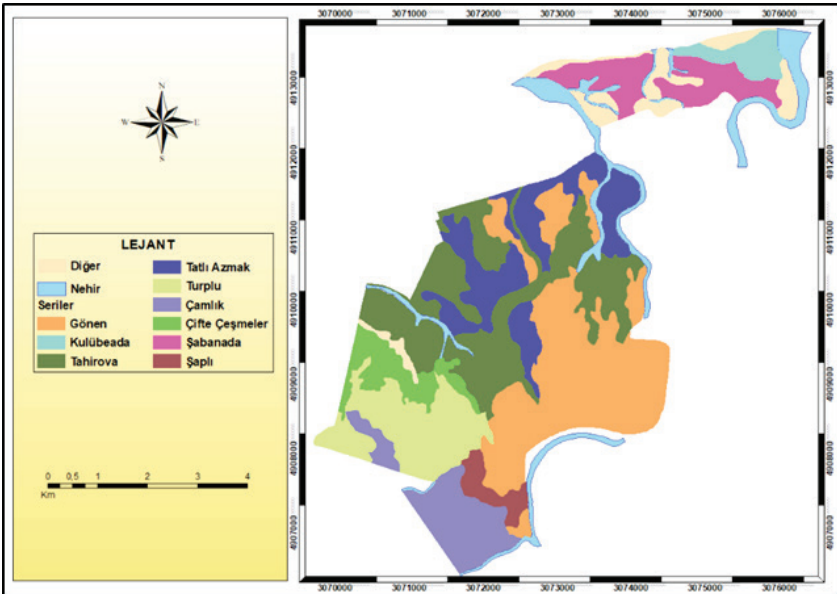
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Toprak serileri

İşletme arazileri içinde 9 farklı toprak serisi tanımlanmıştır. Bu seriler; Çamlık, Turplu, Çifte Çeşmeler, Şabanada, Gönen, Tatlıazmak, Şaplı, Tahirova, Kulübeada olarak isimlendirilmişlerdir. Bu seriler içerisinde 2551 da ile Gönen seri toprakları en fazla yayılım göstermektedir. Bunu 2134 da ile Tahirova serisi izlemektedir. En az alan kaplayan Şaplı serisi ise 211 da arazide yayılım göstermektedir (Çizelge 2). CBS ortamında hazırlanan seri haritası ise Şekil 2’de yer almaktadır.

Çizelge 2. İşletmede tanımlanan seriler ve toplam alanları

Seri Adı	Toplam Alan (da)	Alan (%)
Gönen	2551	26
Tahirova	2134	21
Tatlı Azmak	1251	13
Turplu	1064	11
Çamlık	755	8
Şabanada	712	7
Çifte Çeşmeler	454	5
Kulübeada	281	3
Şaplı	211	2
Diğer	550	6
<b>Toplam Alan</b>	<b>9967</b>	<b>100</b>



Şekil 2. İşletmede yer alan serilerin dağılım haritası

Çalışma alanında en fazla yayılım gösteren Gönen serisi toprakları düz-düze yakın topoğrafyalarda bulunmaktadır ve dalgalı rölyefe sahiptir. Profilleri orta kaba tekstürlüdür. Derinlikle birlikte bünye kumlu killi tın olmaktadır. Genç olmaları nedeniyle zayıf bir ochric epipedonları bulunmaktadır ve strüktür gelişimi bulunmamaktadır. Tüm profilleri kireçsizdir. pH düzeyleri profil boyunca 6.3-7.0 arasında değişmektedir. Gönen serisinin ardından en fazla yayılım gösteren Tahirova serisi toprakları ise Gönen serisi topraklarına benzerlik göstermektedir. Her ikisi de genç topraklardır. Buna karşın Tahirova serisi killi tın tekstür ve az kireçli olması ile Gönen serisinden ayrılmaktadır. Her iki seri Alüviyal topraklardan meydana gelmiştir.

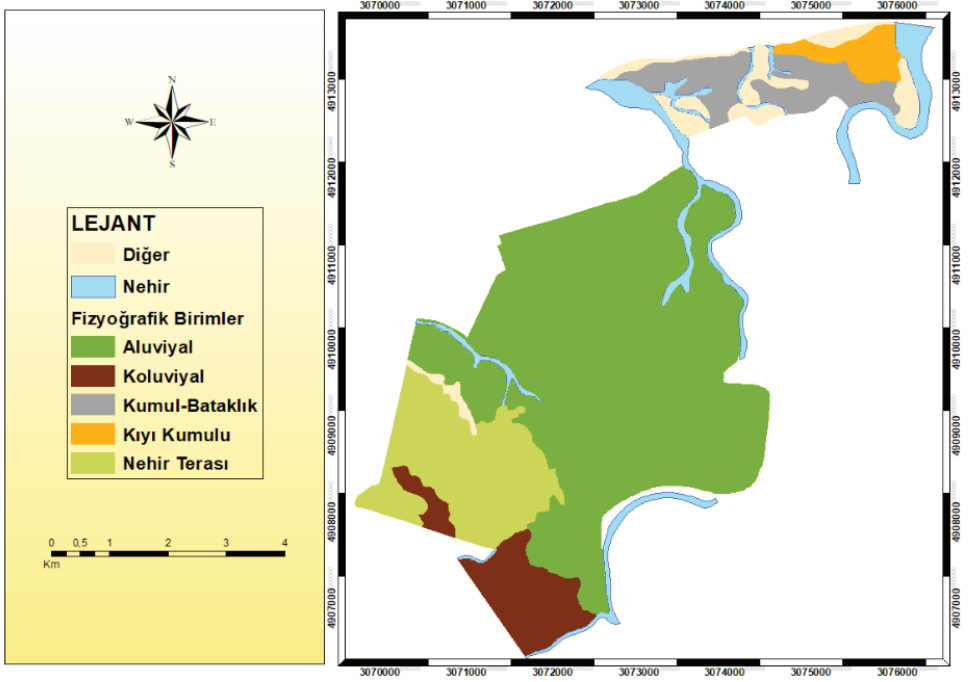
### 3.2. Fizyografik üniteler

İşletmede 5 farklı fizyografik ünite tanımlanmıştır. Bunlar Aluviyaller, Nehir terasları, Koluviyaller, Kıyı Kumulları ve Kumul-Bataklık üniteleridir. Bu üniteler içerisinde en fazla yer kaplayan Aluviyallerdir. İşletmenin %62'sinde yayılım gösteren bu fizyografya 6149 da arazide tanımlanmıştır. En az alan kaplayan araziler ise kıyı kumullarıdır. 281 da arazide yayılım gösteren bu fizyografik ünite işletmenin yalnızca %3'ünü oluşturmaktadır (Çizelge 3). CBS ortamında oluşturulmuş fizyografik birim haritası ise Şekil 3'de yer almaktadır.

*Çizelge 3. İşletmede yer alan fizyografik üniteler ve toplam alanları*

Fizyografik Üniteler	Toplam Alan (da)	Alan (%)
Aluviyal	6149	62
Nehir terası	1519	15
Koluviyal	755	7
Kumul-Bataklık	712	7
Kıyı Kumulları	281	3
Diğer	550	6
Toplam Alan	9967	100





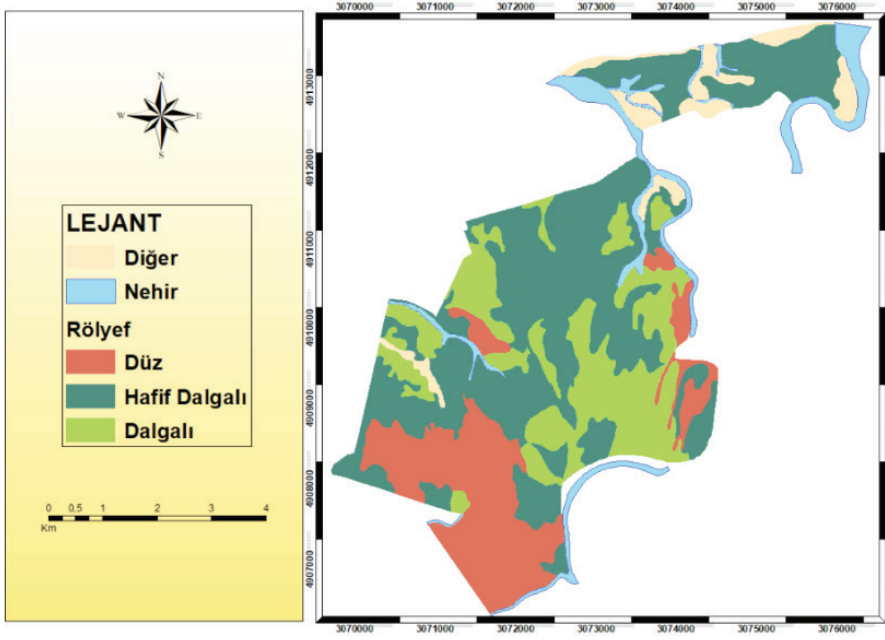
Şekil 3. İşletmede yer alan fizyografik ünitelerin dağılım haritası.

### 3.3. Rölyef

Düz-düze yakın arazilerde hemen hemen tüm tarımsal uygulamalarda az veya çok sınırlamalar getiren bir arazi özelliği de yüzey dalgalanması veya rölyeftir. Bu dalgalanmalar kısa mesafelerde arazi topoğrafyasında yükselme ve alçalma şeklinde kendini göstermektedir. Tahirova tarım işletmesinde de yüzey topoğrafyasında kısmen dalgalanmalar mevcuttur. Tüm işletmenin yarısında hafif dalgalı rölyef mevcuttur. 4965 da arazide görülen rölyefteki hafif dalgalanma, özellikle sulamada dikkat edilmesi gereken hususlardan birisidir. 2272 da alan kaplayan dalgalı rölyefe sahip arazilerde ise mutlaka tesviye yapılmalıdır. İşletme arazisi rölyef sınıfları ve kapladıkları alan Çizelge 4'te, CBS ortamında oluşturulmuş harita ise Şekil 4'te yer almaktadır.

Çizelge 4. İşletme arazisi rölyef durumları ve toplam alanları

Rölyef	Toplam Alan (da)	Alan (%)
Hafif dalgalı	4965	50
Dalgalı	2272	22
Düz	2179	22
Diğer	550	6
Toplam Alan	9967	100



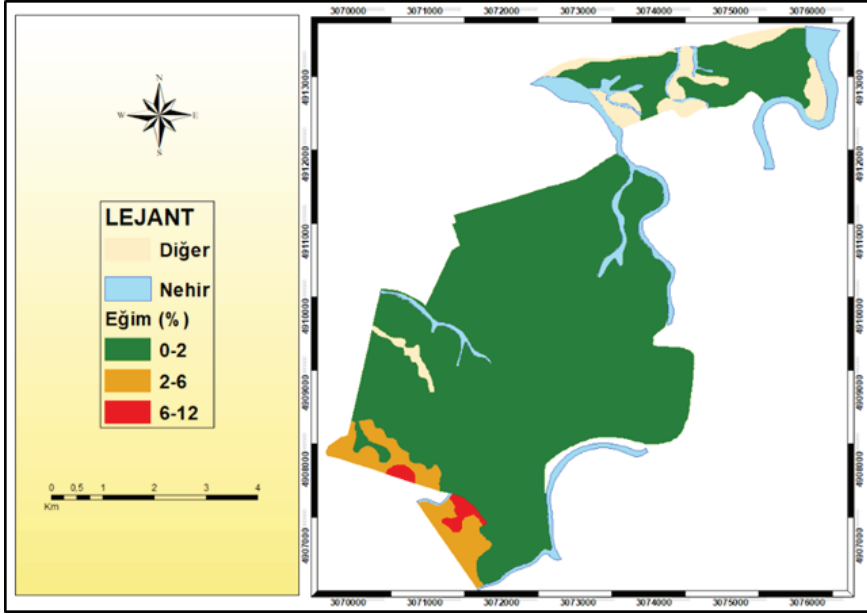
Şekil 4. İşletme arazisi rölyef sınıfları haritası

### 3.4. Eğim

İşletmenin önemli bir kısmı düz – düze yakın aluviyal tabanlı arazilerden oluşmaktadır. Bu nedenle, işletme topraklarının belirli lokal bölgeleri dışında neredeyse tamamı % 0-2 eğim derecesine sahiptir. CBS ortamında üretilen harita (Şekil 5) ve yapılan veri tabanı sorgulamalarında işletme alanının %88'i (8819 da) 0-2 arası düz-düze yakın arazilerden oluştuğu görülmüştür. İşletme sınırları içerisinde bulunan hafif eğimli araziler %5 (499 da) ve orta eğimli araziler ise yalnızca %1 (99 da) alan kaplamaktadır (Çizelge 5). Eğimli araziler genellikle işletmenin güneybatısında yer almaktadır ve koluviyaller olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 5. İşletme arazisi eğim düzeyleri ve toplam alanları

Eğim (%)	Toplam Alan (da)	Alan (%)
0-2	8819	88
2-6	499	5
6-12	99	1
Diğer	550	6
Toplam Alan	9967	100



Şekil 5. İşletme arazisi eğim sınıfları haritası

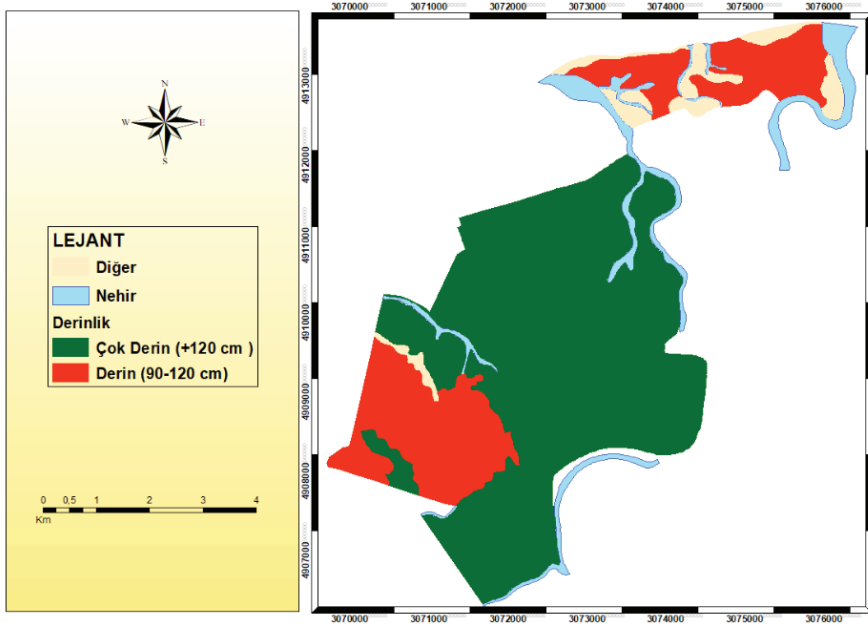
### 3.5. Toprak derinliği

Toprağın su depolama kapasitesi ve etkili köklenme derinliği esas olarak toprak derinliği ile ilgilidir. Toprak erozyonu nedeniyle toprak bzulması, engebeli alanlarda toprak kalitesi ve üretkenliği için ciddi bir tehdittir. Toprak erozyonunun üretkenlik üzerindeki etkileri, büyük ölçüde üst toprağın kalınlığına, kalitesine ve alt toprağın doğasına bağlıdır. Kalın üst toprağa ve mükemmel alt toprak özelliklerine sahip derin toprakların üretkenliği erozyondan neredeyse hiç etkilenmeyebilir. Bununla birlikte, engebeli toprakların çoğu sığdır veya alt toprakta petrocalcic horizon veya ana kaya gibi verimi olumsuz etkileyen bazı istenmeyen özelliklere sahiptir. Her iki durumda da, üst toprak incelidikçe ve istenmeyen alt toprak işleme yoluyla üst toprağa karıştığı için verimlilik düşecektir. Toprak derinliği, bitki üretkenliğini ve dolayısıyla çiftlik gelirini büyük ölçüde etkiler. Toprak derinliği, bitkilerin su ve besin ihtiyaçlarını karşıladığı kök boşluğunu ve toprağın hacmini tanımlar (Kosmas ve ark.,1999). İşletmeye ait oluşturulan harita ve CBS ortamında yapılan sorgulamalar sonucunda işletme topraklarının derin (90-120 cm) ve çok derin (120 cm +) topraklardan oluştuğu belirlenmiştir. İşletme arazilerinin %25'i (2513 da) derin ve %69'u (6904 da) çok derin topraklardan oluşmaktadır (Çizelge 6). Bu durum, işletmeye ait toprakların önemli bir bölümünün Aluviyal karakterli ve derin topraklardan oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, işletme arazisinin Marmara Denizi'ne yakın oluşu ve işletme sınırları içerisinde

akan Tatlıazmak Nehrinin zaman içerisinde taşıyıp biriktirdiği materyaller derin ve alüviyal toprakların oluşumuna katkıda bulunmuştur. İşletmenin sonucu üretilen derinlik haritası Şekil 6'da yer almaktadır.

Çizelge 6. İşletme arazisi toprak derinliği ve toplam alanları

Toprak Derinliği(%)	Toplam Alan (da)	Alan (%)
Çok derin(+120 cm)	6904	69
Derin (90-120 cm)	2513	25
Diğer	550	6
Toplam Alan	9967	100



Şekil 6. İşletme arazisi toprak derinlik sınıfları haritası

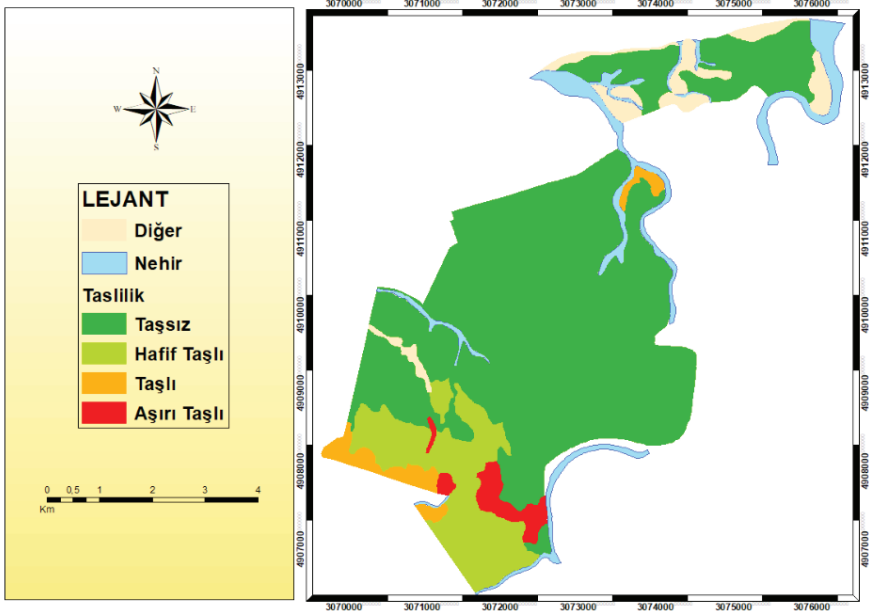
### 3.6. Yüzeş Taşlılığı

Yüzeş taşlılığı, bir alanın tarımsal verimliliğini planlarken özellikle önemlidir, çünkü yüksek yüzeş taşlılığı hem toprak hazırlığı hem de ekim için bazı sıkıntılara neden olabilir (Saksa ve ark. 2018). Toprak taşlılığı hakkında bilgi sahibi olmak, ağaç büyümesi, ayrışma ve hidrolojik modeller geliştirilmesine de yardımcı olabilir (Panagos ve ark., 2014, Melander,2019). İşletme arazisi topraklarında çeşitli düzeylerde yüzeş taşlılığı bulunmaktadır. Düz-düze yakın arazilerde önemli düzeyde bir taşlılık bulunmaz iken, kolüviyal araziler ve kolüviyallerin uzantısı olan arazilerde çeşitli düzeylerde yüzeş taşlılığına rastlanmaktadır. İşletmenin güneyinde, bulunan yüksek arazilerden yerçekimi ve yüzeş akışı ile taşınmış getirilen materyaller yer yer taş ve çakılığa sebep olmaktadır. Bu taş ve

çakıllar yakın mesafeden taşındığından dolayı genellikle yuvarlaklaşmamışlardır. Boyutları 1-6 cm arasında değişen bu taş ve çakıllar aşırı düzeyde olduklarında, toprak işlemede kimi sorunlara da sebep olmaktadır. İşletme arazisinin 7485 da (%75) yüzey taşlılığı bulunmamaktadır. Buna karşın 1366 da hafif taşlı, 306 da taşlı ve 259 da aşırı taşlı olarak tanımlanmıştır (Çizelge 7). CBS ortamında elde edilen yüzey taşlılığı haritası Şekil 7’de verilmiştir. Taşlılığın işletmenin güney batısındaki arazilerde orta ve aşırı düzeyde olduğu görülmektedir.

Çizelge 7. İşletme topraklarında yüzey taşlılığı ve toplam alanları

Yüzey Taşlılığı	Toplam Alan (da)	Alan (%)
Taşsız	7485	75
Hafif Taşlı	1366	14
Taşlı	306	3
Aşırı Taşlı	259	3
Diğer	550	6
Toplam Alan	9967	100



Şekil 7. İşletme arazisi topraklarında yüzey taşlılık sınıfları haritası

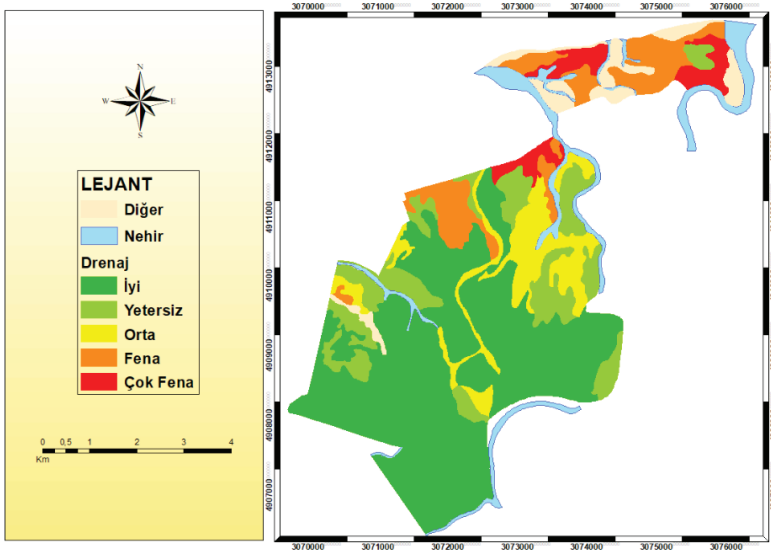
### 3.7. Drenaj

Toprak drenajı, bir alanda hangi bitki türlerinin en iyi şekilde büyüdüğünü belirleyebilir. Birçok tarım toprağı, üretimi iyileştirmek veya sürdürmek veya su kaynaklarını yönetmek için iyi drenaja ihtiyaç duyar. Yetersiz

drenaj (su tutan alanlara neden olur) genellikle toprak rengi incelenerek belirlenebilir. Daha uzun doygunluk dönemlerinin ve dolayısıyla azaltıcı koşulların hakim olduğu bölgelerde, küçük alanları işgal eden ve rengi toprak matrisinden farklı olan benekler olabilir (Sameh ve ark.,2017). İşletme arazileri deniz seviyesinden çok az yükselerek yamaç arazilere ulaşmaktadır. İşletme içerisinde aluviyal taban araziler de bulunmaktadır. Deniz seviyesinden çok az yükseltiye sahip olması ve yamaç arazilerden yüzey ve yüzey altı şeklinde gelen sular, işletmedeki taban arazilerde drenaj probleminin oluşmasına yol açmaktadır. CBS ortamında yapılan sorgulamalar, arazilerin yaklaşık %47'sinde (4118 da.) çeşitli düzeylerde drenaj problemi olduğunu göstermektedir. Drenaj problemi olmayan araziler ise işletmenin %53'ünü (5299 da.) oluşturmaktadır (Çizelge 8). CBS ortamında hazırlanan drenaj haritasında ise işletmenin kuzeyinde denize yakın bölgelerde ciddi seviyelerde drenaj problemi olduğu görülmektedir. Aluviyal taban arazilerde ise orta düzeyde drenaj problemi bulunmaktadır (Şekil 8).

Çizelge 8. İşletme arazilerinde drenaj sınıfları ve toplam alanları

Drenaj Sınıfı	Toplam Alan (da)	Alan (%)
İyi	5299	53
Yetersiz	1535	15
Orta	1064	11
Fena	1033	10
Çok fena	485	5
Diğer	550	6
Toplam Alan	9967	100



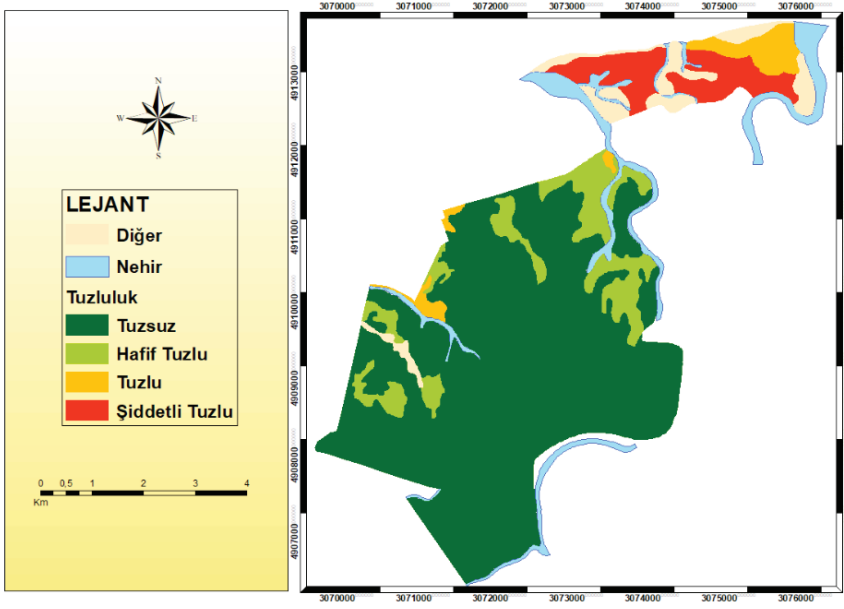
Şekil 8. İşletme arazilerinin drenaj sınıfları ve CBS ortamında oluşturulan haritası

### 3.8. Tuzluluk

Tuzluluk, kültür bitkilerinin üretkenliğini sınırlayan en acımasız çevresel faktörlerden biridir çünkü kültür bitkilerinin çoğu, topraktaki yüksek tuz konsantrasyonlarının neden olduğu tuzluluğa duyarlıdır ve bundan etkilenen arazi alanı her geçen gün artmaktadır. Tüm önemli mahsuller için, ortalama verim yalnızca bir kısımdır - rekor verimin %20 ila %50'si arasında bir yerde; Bu kayıplar çoğunlukla kuraklık ve yüksek toprak tuzluluğundan, küresel iklim değişikliği nedeniyle birçok bölgede kötüleşecek olan çevresel koşullardan kaynaklanmaktadır (Shrivastava,2015). Toprak tuzluluğu, sulama açısından önemli bir sorun yaratırken, aynı zamanda topraktan besin elementi alımını da olumsuz etkilemektedir. Bitkilerin tuzluluğa toleransları çok farklı olsa da, tuzluluğun az veya çok olması, verimde kayıplara sebebiyet vermektedir. İşletmede yer alan toprakların önemli bir kısmında tuzluluk problemi bulunmamaktadır. Ancak özellikle işletmenin kuzey tarafındaki denize yakın arazilerde tuzlu ve şiddetli tuzlu araziler yer almaktadır. CBS ortamında yapılan sorgulamalarda işletmenin %73'ünde (7255 da.) tuzluluk problemi olmadığı görülmektedir. İşletme topraklarının %11'i hafif tuzlu, %4'ü tuzlu ve %7'si şiddetli tuzlu sınıfında yer almaktadır (Çizelge 9). CBS ile üretilen tuzluluk haritasında ise tuzlu alanların işletmenin özellikle kuzey kısmındaki arazilerde şiddetli düzeyde olduğu görülmektedir (Şekil 9).

*Çizelge 9. İşletme topraklarında tuzluluk seviyeleri ve toplam alanları*

Toprak Tuzluluğu	Toplam Alan (da)	Alan (%)
Tuzsuz	7255	73
Hafif tuzlu	1052	11
Şiddetli tuzlu	712	7
Tuzlu	397	4
Diğer	550	6
Toplam Alan	9967	100

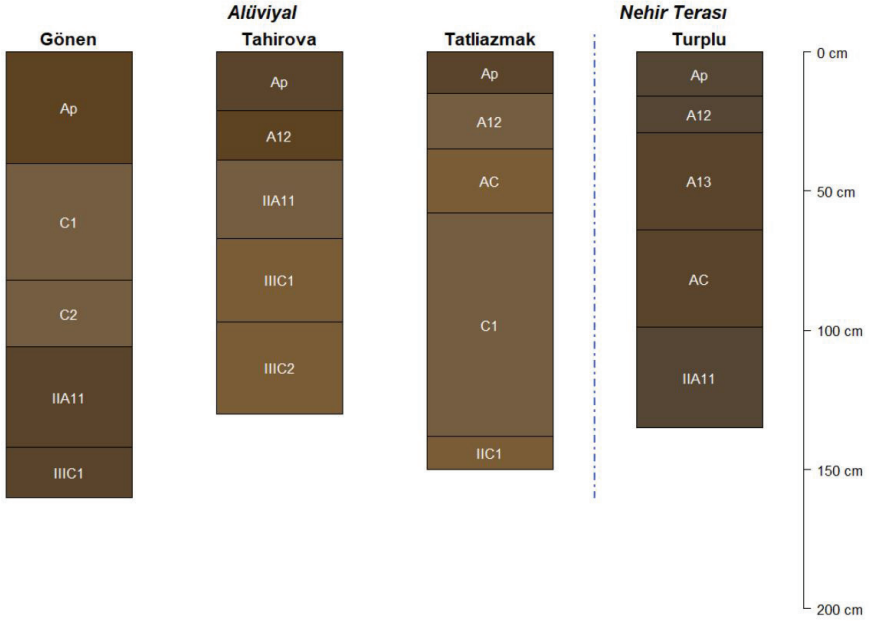


Şekil 9. İşletme topraklarında tuzluluk sınıfları ve CBS ortamında oluşturulan haritası

### 3.9. Bazı Önemli Serilerin Toprak Özellikleri ve Analitik Verilerinin Değerlendirilmesi

Tahirova tarım işletmesi sınırları içerisinde 9 farklı seri tanımlanmıştır. Bu serilerden en çok alan kaplayan 4 serinin bazı toprak özellikleri tanımlanmıştır. Şekil 10'da bu serilerin profil derinlikleri, Munsell renk skalasına göre belirlenen kuru toprak renkleri, horizon isimleri ve fizyografik birimleri gösterilmiştir.

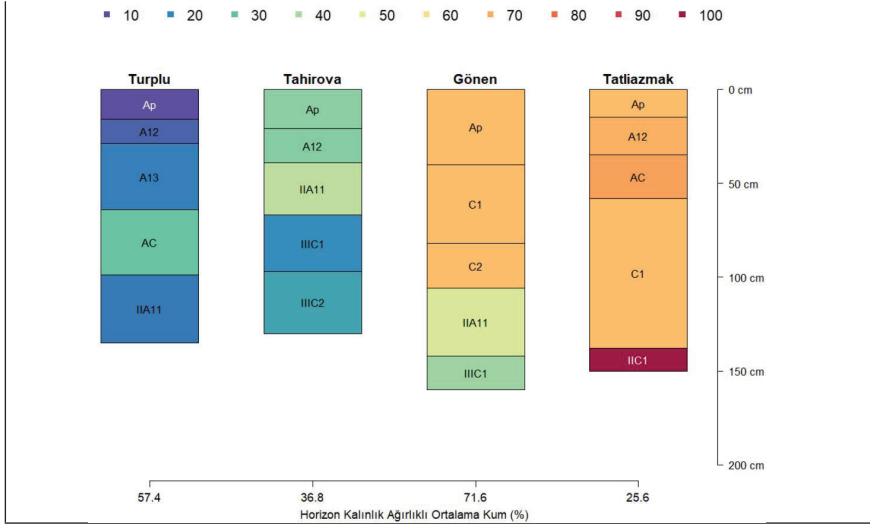




Şekil 10. Bazı serilerin önemli toprak özelliklerinin şematik gösterimi

Fizyografik üniteleri bakımından, Gönen, Tahirova ve Tatlıazmak serileri Alüviyal ve Turplu serisi ise Nehir Terası olarak tanımlanmıştır (Şekil 10). Tüm serilerin yüzeylerinde Ap horizonu bulunmakla birlikte, olgunluğun bir göstergesi olan B horizonuna rastlanılmamaktadır. Yüzeyde koyu olan toprak rengi yüzey altında ana materyalinde etkisiyle daha açık bir renge sahiptir. Diğer serilerden farklı olarak Gönen ve Turplu serilerinin A horizonlarının (100 - 120 cm) üzerine taşınarak getirilen diğer materyallerin depolanmasıyla gömülü halde olduğu görülmektedir. Ayrıca, ilgili seriler profilleri boyunca kil, silt ve kum içeriklerine göre sınıflandırılmıştır (Şekil 11).

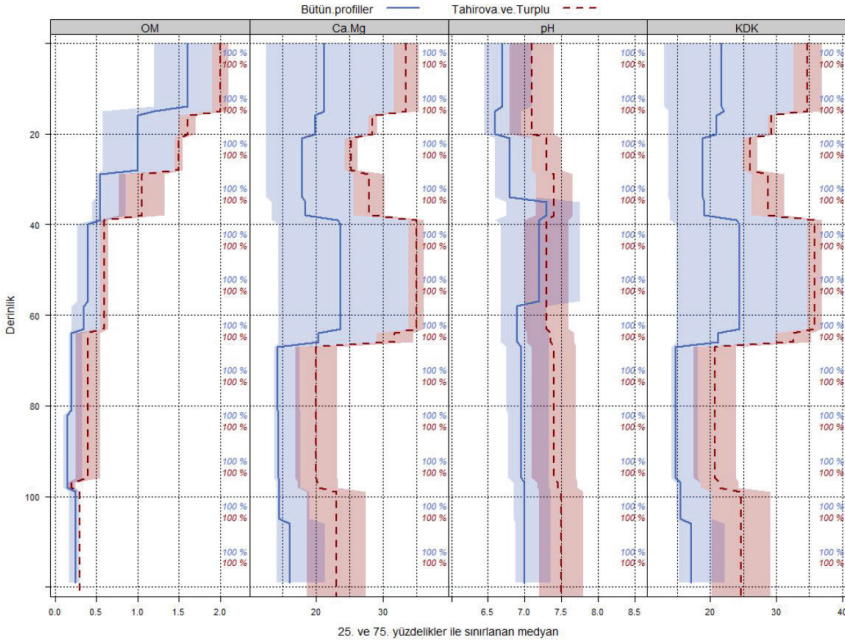




Şekil 11. Serilerin (n:4) horizon kalınlıklarına göre ağırlıklı kil, silt ve kum ortalamaları

Bu sınıflamalar, horizon kalınlıklarına göre oluşturulan ortalama kum, silt, kil miktarları dikkate alınarak yapılmıştır. Buna göre kil içerikleri bakımından, profilleri boyunca en yüksek kil içeriğine sahip seri Turplu (% 52.4) en düşük kil içeriğine sahip serinin ise Tahirova serisi (% 14.2) olduğu görülmektedir. Seriler içerisinde en yüksek silt içeriğine sahip seri % 31.4 ile Gönen, en düşük ise % 14.2 ile Turplu serisine aittir. Kum içeriklerine göre, en yüksek % 71.6 ile Gönen, en düşük % 25.6 ile Tatlıazmak serisidir.

Serilerin diğer önemli bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, 25. ve 75. yüzdeler ile sınırlanan medyan değerlerine göre profil boyunca verilmiştir (Şekil 12). Mavi ile gösterilen sürekli çizgiler, bütün serilerin profil boyunca derinlikle beraber değişimlerini gösterirken, kırmızı kesikli çizgiler ise Tahirova ve Turplu serilerinin derinlikle beraber profil boyunca değişimlerini göstermektedir.



Tahirova ve Turplu serilerinin seçilmesinin nedeni, tüm profil boyunca değişen toprak özelliklerinin diğer seriler üzerindeki etkisini belirlemektir. Buna göre serilerin tümü için organik madde (OM) derinlikle arttıkça, giderek azalmıştır. Serilerin pH değerlerinde ise profil boyunca ciddi bir değişim söz konusu değildir ve 6.5-7.0 arasında değişmektedir. Ancak, yaklaşık 40 ve 60 cm derinlikleri arasında pH değerinin 7.0'nin biraz üzerine çıktığı görülmektedir. Bu durumun, yağış veya diğer faktörlerin etkisiyle yıkanan  $\text{CaCO}_3$  ve diğer sekonder minerallerden kaynaklandığı düşünülebilir. Katyon değişim kapasitesi (KDK) ve  $\text{Ca}^{+3}\text{-Mg}^{+2}$  profil boyunca benzerlik göstermektedir. Yaklaşık 40 ve 60 cm derinliklerinde hızla artan KDK (25 me/100g), 60 cm den sonra (10 me/100 g) azalmıştır. Öte yandan, Tahirova ve Turplu serilerinin pH, KDK ve OM değerleri bütün profilde görülen değerlerden bir miktar daha yüksektir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Tahirova tarım işletmesinin önemli toprak/arazi özelliklerinin ele alındığı bu çalışmada, temel olarak işletmenin tarımsal potansiyeli ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. İşletme arazisinin kuzey bölgesindeki araziler hariç işletmede önemli bir tarımsal sorun bulunmamaktadır. Kuzey bölgesindeki arazilerde toprak derinliği, drenaj ve tuzluluk problemi tarımsal üretimi engelleyecek düzeylere varmaktadır. Nitekim bu araziler VI., VII. ve VIII. sınıf araziler olarak tanımlanmıştır.

İşletmede 5 farklı fizyografik üniteye yayılım gösteren 9 seri bulunmaktadır. Bu serilerden en fazla yayılım alanına sahip olan Gönen ve Tahirova serileri Aluviyal olarak tanımlanmıştır. Her iki seri de oldukça genç topraklardır. İşletmenin güneyindeki çok küçük bir alan haricinde, arazilerde eğim sorunu bulunmamaktadır. İşletme toprakları derin ve çok derin olup, tarımsal üretime yönelik herhangi bir engel teşkil etmemektedir. Koluviyal arazilerde taşlılık kısmen bir sorun oluşturmaktadır, nitekim koluviyal olarak tanımlanan arazilerde yer yer taşlılık sorunu da bulunmaktadır. İşletmenin kuzeyindeki denize kıyısı olan arazilerde de önemli düzeyde drenaj ve tuzluluk problemleri bulunmaktadır.

Çukurova Üniversitesi tarafından yapılan işletme arazisinin detaylı toprak etüdü ve elde edilen haritaların CBS ortamında sayısallaştırılması ile toprak özellikleri bu çalışma ile sayısal olarak elde edilmiştir. O günün şartları ile basılı halde bulunan detaylı etüd raporu ve haritası bu çalışma ile sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Belirtilen tüm özellikler ve sınıflar bu çalışmanın bulgular kısmında detaylı bir şekilde verilmiştir. Aynı zamanda oluşturulan haritalar ile kullanıcılara yorumlama kolaylığı da sağlanmıştır. Konu uzmanı olmayan kişilerin mevcut üretilen haritalara bakarak birçok çıkarımda bulunabileceği muhtemeldir. Bu ve buna benzer çalışmalar ile Türkiye'nin en önemli arazilerine sahip olan TİGEM'e bağlı işletmelerin zamansal olarak topraklarındaki değişimlerin izlenmesi, yeni arazi çalışmaları ile mevcut durumun eski dönem verileriyle karşılaştırılması, buna uygun yönetim ve üretim stratejilerinin geliştirilmesi ve sayısal ortamda değerlendirilerek sürekli izlenmesi ve güncellenmesi, yapılması gerekli olan en önemli çalışmalar içerisinde yer almaktadır.

## KAYNAKÇA

- Anonim. (1986) Tahirova Tarım İşletmesi Topraklarının Detaylı Toprak Etüd ve Haritalaması. Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara. (Erişim Tarihi:07.11.1986).
- Anonim. (2019) Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2019 Yılı İdare Faaliyet Raporu. (Erişim Tarihi:24.05.2019).
- Anonim. (2022) Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler. İnternet erişim: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?k=A&m=CANAKKALE>. (Erişim Tarihi:10.09.2022).
- Aydın, A. ve Dengiz, O. (2020) Sürdürülebilir Arazi Yönetimi için Arazi Değerlendirmesi Çalışması; Samsun-Kavak İlçesinde Örnek Bir Çalışma. Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg., 34(1), 1-17.
- Dengiz, O., Ozcan, H., Köksal, E.S., Baskan, O., Kosker, Y. (2010) Sustainable natural resource management and environmental assessment in The Salt Lake (Tuz Golu) Specially Protected Area. Environmental Monitoring and Assessment, 161: 327-342.
- Doğaner, S. (1992) Türkiye’de Tarım İşletmeleri ve Faaliyetleri. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi, Sayı:3, İstanbul.
- Dylan B., Pierre R., Andrew B. (2022). aqp: Algorithms for Quantitative Pedology. R package version 1.41. <https://CRAN.R-project.org/package=aqp>
- İnan, H. ve Yaşar, O. (2015) Tarım İşletmelerinin Sosyo-Ekonomik Etkilerine Yönelik Bir İnceleme: Tahirova Tarım İşletmesi. Marmara Coğrafya Dergisi (32), ISSN:1303-2429.
- Kosmas,C., Kirkby,M., Geeson,N. (1999). Manual on: Key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development, EUR 18882, 87 p.
- Melander L., Ritala R., Strandström M. (2019). Classifying soil stoniness based on the excavator boom vibration data in mounding operations. Silva Fennica vol. 53 no. 2 article id 10068. <https://doi.org/10.14214/sf.10068>.
- Panagos P., Meusburger K., Ballabio C., Borrelli P., Alewell C. (2014). Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. Science of the Total Environment 479–480(1): 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Saksa T., Miina J., Haatainen H., Kärkkäinen K. (2018). Quality of spot mounding performed by continuously advancing mounders. Silva Fennica 52(2) article 9933. <https://doi.org/10.14214/sf.9933>.

Sameh K.A., Antonio J., Luuk F., Jonathan D.P., Miriam M.R., Martine P., María A.R., Soad E.A., Diego R. (2017). Modeling Agricultural Suitability Along Soil Transects Under Current Conditions and Improved Scenario of Soil Factors, Chapter 7., Elsevier, Pages 193-219, ISBN 9780128052006, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805200-6.00007-4.2017>.

Shrivastava P., Kumar R., (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi J Biol Sci. 123-31. doi: 10.1016/j.sjbs.2014.12.001. Epub 2014 Dec 9. PMID: 25737642; PMCID: PMC4336437.





“

## Bölüm 5

**TARIMDA GELECEK VE İNSAN:  
TARIM 5.0**

*Önder UYSAL<sup>1</sup>*

”

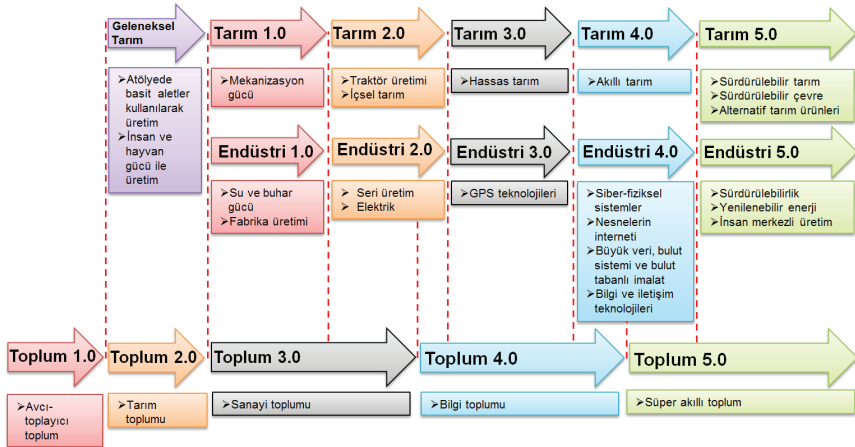
---

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Üyesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.  
onderuysal@isparta.edu.tr, ORCID 

## Giriş

TARIM, dünyadaki birincil endüstri olmakla birlikte, sosyal istikrar ve ekonomik kalkınmada önemli bir rol oynamaktadır. Tarımda ilk atılım ekim için kullanılan çapa, orak ve dirgen gibi el yapımı tarım aletlerinin kullanımı ile 19. yüzyılın sonuna kadar devam etmiştir. Bu süreçte yoğun işgücü ve buna karşılık düşük verim ile üretim gerçekleştirilmiştir. Tarımsal işlemler, insan zihninin kontrol işlevleri veya yargı ile ilgili olarak güç veya enerjiye ihtiyaç duydukları görece yoğunluğa göre gruplandırılabilir. Arazi hazırlama, taşıma, öğütme ve harmanlama gibi işlemler yoğun güç gerektirirken, örneğin ayıklama, eleme ve meyve hasadı gibi işlemler yoğun kontrol gerektiren işlemlerdir. Traktör kullanımı İkinci Dünya Savaşı'nın ardından başlarken ve çiftçilik, tesviye, ekim, kimyasal uygulamalar, hasat, harman ve nakliye gibi kültürel tarım uygulamaları ise tarım makinelerinin kullanımında ve çiftlik üretkenliğinde devrim yaratmıştır.

Çiftlik makineleri kullanımını genellikle çiftlik büyüklüğü belirlemektedir. Çiftliklerde kullanılan makineler, sadece makine sahibinin çiftliğinde çalışarak aynı zamanda diğer çiftçilere özel kiralama hizmeti sağlayarak yoğun bir şekilde kullanıldığı zaman kârlı bir sermaye aracı olarak değerlendirilmektedir. Tarımsal mekanizasyon, genellikle emeğin yerine sermayenin ikame edilmesini olarak değerlendirilmekte ve üretim maliyetlerini düşürme fırsatları sunmaktadır. Toplum dönüşümü ile tarım ve endüstrideki gelişim Şekil 1.'de görülmektedir. Endüstrideki ilerlemeler sonucu teknoloji bağımlı toplum ve tarım gelişimini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 1. Toplum dönüşümü ile tarım ve endüstri gelişimi

## Tarım 5.0'ın gelişim evreleri:

- **Geleneksel tarım (Tarım 1.0 öncesi):** Yaklaşık olarak M.Ö. 10.000'de ilk tarım köylerinin kurulmasıyla başladığı bilinmektedir. Bu dönemde temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılık olan Neolitik köylerde, tarımsal üretimin sadece insan ve hayvan gücüne dayalı olduğu ve el aletlerinin yoğun olarak kullandığı ifade edilmektedir (Aytan, 2021). 1784 yılı öncesine kadar uzanan bu dönemin, ana sorununu düşük işletme verimliliği oluşturmaktadır.

- **Tarım 1.0:** Tarım makinelerinin yaygın olmadığı, buna karşın Çiftçilerin ekim için çapa, orak ve dirgen gibi yerel araçları ile hayvan gücü kullanarak emek yoğun bir üretimin olduğu ve tarımsal üretimin nüfusu doyurabilmesi için nüfusun 1/3'ü tarımda çalıştığı bilinmektedir (Kılavuz ve Erdem, 2019; Liu vd., 2020; Kaya, 2019; Yaman vd., 2021; Şahin, 2022; Ağızan vd., 2022). İlk aşaması 1784 yılında su ve buhar gücünün kullanılmasıyla tarımsal mekanizasyonun başlangıcı (1784 ile 1870 yıllar arası) olarak bilinmektedir. Düşük verimliliğe sahip emek yoğun üretimin gerçekleştirildiği bu çağda, üretimin doğa ve iklim koşullarına bağlı olduğu ve tarımsal üretim nüfusu doyurabilse de nüfusun üçte biri gibi büyük bir çoğunluğunun küçük aile çiftlikleri olarak tarlada çalıştığı bilinmektedir (Yaman vd., 2021).

- **Tarım 2.0:** 1950'lerin sonlarına doğru su ve buhar gücüne ilave olarak elektrik enerjisinin de kaynaklar arasına eklenmesiyle seri üretimin görülmeye başladığı ve "Yeşil Devrim" olarak ta bilinen bu dönemde, sentetik pestisitlerin, suni gübrelerin, hibrid tohumların, modern sulama sistemlerinin geliştirildiği, küçük aile çiftliklerinin yerini büyük işletmeler gördüğü ve daha gelişmiş tarım makinelerinin kullanılmaya başlanması sonucu verim ve kârlılık oranı da önceki döneme kıyasla arttığı ifade edilmektedir (Kaya, 2019; Yaman vd., 2021; Çakır ve İşlek, 2021). Ayrıca bu dönem, mekanize tarım çağı (20. yüzyıl) olarak ta bilinmektedir. Bu tarım döneminde, genetik ve ıslah çalışmalarının yanında tarımsal mekanizasyonun yaygınlaşmasıyla verimlilik artışı yaşanmış olsa da, yoğun kimyasal girdi ile üretim maliyetlerinde artış ve ekolojik çevre tahribatı ile doğal kaynakların aşırı kullanılması, tarımda sürdürülemez bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Ağızan vd., 2022).

- **Tarım 3.0:** Küresel konumlama sistemi (GPS) teknolojilerinin 1990'lı yıllarda askeri amaç dışında kullanıma açılması, manuel yönlendirme uygulamaları, hasat makinelerine uygulanan hassas tarımda değişken oran uygulama sistemleriyle tarım arazilerinin heterojen gübrenmesi ve ilaçlanması ile birlikte izlenmesi ve takibinin sağlanması sonucu "Hassas Tarım" olarak da bilinen bu dönem ortaya çıkmıştır. Endüstri 3.0 çağında gömülü sistemlerin, yazılım mühendisliğinin ve iletişim teknolo-

jilerinin ilerlemesi, üretim ekipmanlarının otomasyon kabiliyetini daha da geliştirilmesi sonucunda etkin kaynak kullanımı gerçekleştirilerek, üretim maliyetleri azaltılırken ürünlerde verim artışı gerçekleştirilmiştir (Ahmad ve Nabi, 2021). 1992 ile 2017 yıllarını kapsayan bu dönemin temel sorun ise, insana bağımlı kültüvasyon uygulamalarının gerçekleştirilirken, fosil kökenli yakıtların tüketimine yoğun bir şekilde devam edilerek, sürdürülebilir tarım ve çevrenin arka plana bırakılması olarak vurgulanmaktadır (Kılavuz ve Erdem, 2019; Çakır ve İşlek, 2021; Liu vd., 2020).

- **Tarım 4.0:** 2010’lu yılların başından itibaren, “yeşil tarım, hassas tarım, dijital tarım veya akıllı tarım” olarak ta ifade edilen bu dönemde, endüstri 4.0 ile tarımın entegrasyonu, çevresel ayak izinin azaltılması (verimli sulama, değişken oranlarda tarım ilacı ve gübre uygulamaları), tarımsal robotların modern çiftliğe girmesi, zorlu koşullarda yapılan zahmetli çiftçilik işini hafifletilmesiyle bütün bir çiftliği ele alacak şekilde bütünsel bir bakış açısı kazanılarak tarımda otonom teknolojiler ile kapsamlı bir veri elde etme süreci başlamış ve verilerin analizi ile bunların sonuçlarına göre de tarımsal işletmecilik kararlarının verilmesi sonucu tarımsal üretimde verimin ekonomik bir şekilde artması sağlanmıştır (Ağızan vd., 2022; Kirmikil ve Ertaş, 2020). Akıllı tarım çağı başlangıcı olarak bilinen bu tarım döneminde esas olarak modern bilgi teknolojisinin hem tarıma hizmet etmek hem de onu akıllıca geliştirmek için kullanılmasıyla tarımda inovatif yaklaşımlar belirlenmektedir (Kaya, 2019). Gerçek zamanlı çiftlik yönetimi, yüksek derecede otomasyon ve veriye dayalı akıllı karar verme ile böyle bir endüstriyel tarım ekosistemi, üretkenliği, tarımsal gıda tedarik zinciri verimliliğini, gıda güvenliğini ve doğal kaynakların kullanımını büyük ölçüde geliştirecektir. Bu dönemde temel sorun, tarım sistemlerinin doğasının tanınmayacak kadar değişeceği öngörülmektedir (Fielke vd., 2019). Bu değişimler ise çiftlik işinin doğasını, veri sahipliğini, güven eksikliğini, güç dengesizliklerini, tarımda sektördeki istihdamı, gözetim kapitalizmini ve otonom tarım araçlarının güvenlik sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Çiftlik işinin değişen doğası ile deneysel bilginin marjinalleşmesine ve çiftçi ile peyzaj arasında bir kopukluğa neden olabileceği vurgulanmaktadır. Bu durum, keyif ve iş tatmini kaybına yol açabilir ve sektörde yaygın olan mevcut yüksek düzeydeki ruh sağlığı sorunlarını şiddetlendirebileceği düşünülmektedir (Lobley vd., 2018). Değişen çiftlik iş akışlarının sonuçlarında, birçok çiftçinin (özellikle küçük çiftçilerin) sektörden ayrılmasına yol açabilir. Veri sahipliği, güven eksikliği ve güç dengesizlikleri ise yeni teknolojiler tarafından önemli miktarda veri toplanacak, ancak bu verilerin mülkiyeti ve nasıl kullanılacağı ve saklanacağı endişe kaynağı olmaya devam etmektedir (Regan, 2019; Wiseman vd., 2019). Ticari makineler tarafından üretilen veriler, ürünlerle çiftçileri hedeflemek ve zaten güçlü şirketlerin elindeki değerli karar alma bilgilerini

pekiştirmek için de kullanılabilmesi, güven eksikliğine neden olmaktadır (Bronson, 2019; Jakku vd., 2019; Lioutas, vd., 2019; Regan, 2019). Tarım 4.0'a dahil olan gelişmekte olan ülkelerin, tarım işletmelerini yöneten yabancı yatırımcıların veya gıdayı ithal eden daha zengin ülkelerin elde ettiği faydaları alamama riski de söz konusu olmaktadır (D'Odorico ve Rulli, 2013). İstihdam açısından ise, bu tarım teknolojisi devrimi şüphesiz istihdam yaratacaktır, ancak birçok mevcut tarım işçisi (Nally, 2016; Rotz vd., 2019) ve çiftlik danışmanları için (Eastwood vd., 2019) kaygılar ortaya çıkmaktadır. Gözetim kapitalizmi açısından ise, hem çiftçiler hem de halk için, güçlü şirketlerin onları izleme, tahmin etme ve kontrol etme arayışına girdiği bu süreç neticesinde işlerinin ve özel yaşamlarının görüntülerini yakalayan insansız hava araçlarıyla ilgili endişeler ortaya çıkmaktadır. Son olarak, otonom tarım araçlarının güvenliğini çevreleyen kamuoyu endişesi de olabilir (Rose vd., 2021; Zuboff, 2019). Yukarıda bahsedilen konulara dikkat edilmemesi durumunda, Tarım 4.0'ın çözdüğünden daha fazla sosyal sorun yaratabileceği düşünülmektedir (Schot ve Steinmueller, 2018).

- **Tarım 5.0:** Toplum odaklı (sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir çevre ve yeşil enerjiyi birlikte kapsayan) insansız teknoloji çağı olarak ta bilinmektedir. Yakın geleceğimizi kapsayan bu tarım döneminde: (1) Daha küçük arazilerde ve daha az girdilerle daha fazla gıda üretilmesi; (2) Toplumsal cinsiyet eşitliği, pazarlara erişim ve düşük maliyetli araçlara odaklanmakla birlikte dünyanın bazı bölgelerinde gıda güvenliğini teşvik etmek; (3) Gıda israfıyla mücadele ve gıda dağıtım zincirinin takip etmek; (4) Besi hayvanı üretmek yerine yüksek proteinli bitki bazlı seçeneklerle birlikte geleneksel tarım ürünlerinin dışında kalan yüksek proteinli böcek ve alg bazlı tarımsal ürünlerin üretilmesi, hedeflenmektedir (Fraser ve Campbell, 2019).

## Tarım 5.0

Toplum, endüstri ve tarım kavramlarının birleştirilmesiyle farklı kavramlar arasındaki ortaklıkları ve farklılıklardan yola çıkarak Tarım 5.0'ın yeniliğini ve değerini daha doğru ifade edilebilir. Bu bağlamda, insan özneliliğini ve zekasını, tarımsal üretimdeki makinelerin verimliliği, yapay zekası ve hassasiyetiyle birleştirilmesiyle bir simbiyotik ekosistem çağı olarak düşünülebilir. Çünkü Endüstri 5.0, makinelerdeki insan zekası ve yapay zeka arasındaki karşılıklı bilişsel koordinasyon becerisine daha fazla vurgu yapılmaktadır (Leng vd., 2022). Önümüzdeki on yıl için arazi ekipmanı üreticileri Tarım 5.0'a geçişte önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir. İçinde bulunduğumuz yüzyılda tarımsal üretimde sorunların üstesinden gelmek için bilgi yönetiminin tam potansiyelini gösterebilen modern ve sürdürülebilir bir tarıma adım atıldığı görülmektedir

(Siddharth vd., 2021). Pandemi nedeniyle son yıllardaki tarımsal üretim, gıda ve beslenme yeterliliğinin sürdürülebilirliğinin, şehir merkezlerine yakın noktalardaki dikey tarım tesislerinin ve yeşil enerji kaynaklarının benimsendiği bir dönem olarak değerlendirilmektedir (Ragazou vd., 2022). Tarım 5.0'ın en az aşağıdaki dört özelliği kapsamalı gerekmektedir (Fraser ve Campbell, 2019).

1) Daha az toprakta ve daha az girdiyle daha fazla gıda üretilmesi gerekmektedir. Tarımın çevresel ayak izini azaltırken çiftçilerin daha üretken olmalarını sağlayacak teknolojilerin uygulanması önemli görülmektedir.

2) Dijital Tarım Devrimi teknolojilerinin her derde deva olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle cinsiyet eşitliği, pazarlara erişim ve düşük maliyetli araçlara odaklanmak, dünyanın bazı bölgelerinde gıda güvenliğini teşvik etmede daha etkili olabilir. Bu nedenle, Tarım 5.0'a yalnızca teknoloji odaklı bir yaklaşım, gıda ve çiftçilik sistemlerinin sosyal ve politik yönlerini ele almak için eşit derecede önemli başka stratejiler eşlik etmedikçe sürdürülebilir bir sistem olamayacağı öngörülmektedir.

3) Gıda israfını ve gıda dağıtımını ele alması gereken bir konu olduğu değerlendirilmektedir. Her konuyu çözmenin zor olduğu düşünülmektedir. Bazı yerlerde, gıda israfı çoğunlukla verimsiz depolama uygulamalarının bir sonucu olarak çiftlikte meydana gelmektedir. Dünyanın daha zengin bölgelerinde gıda israfı, marketler, restoranlar ve evlerden kaynaklanan bir sorun olduğu bilinmektedir.

4) Geleceği nasıl besleyeceğinizle ilgili herhangi bir değerlendirme, beslenme seçimlerinin dünyamız üzerindeki etkisinin anlaşılmasını içermesi gerekmektedir. Özellikle, besi hayvanı üretmek için bitki bazlı kaynaklardan elde edilen eşdeğer miktardaki besine göre çok daha fazla kaynağa ihtiyaç duyulduğu iyi bilinmektedir. Hayvancılığın çevresel etkisine ilişkin veriler, tüketicilerden gezegen sağlığı üzerindeki etkimizi azaltmak için temel bir strateji olarak "bitkiye dayalı" diyetleri benimsemelerini ve canlı hayvan tüketimini sınırlamalarını isteyen yaygın bir harekete yol açmaktadır. Aynı zamanda, yüksek profilli bitki bazlı seçeneklerle birlikte hücresel, böcek ve alg bazlı tarımın yükselişi, tüketiciler için az yer kaplayan yeni gıda alternatifleri olarak görülmektedir.

Dünyanın protein alımının çoğunluğu henüz bitkilerle gerçekleşmektedir. Bu durum ise, artan küresel nüfus ile birlikte çok miktarda ekilebilir toprak, yetiştirilebilmeleri için yüksek hacimlerde su kaynağı ve verimli olabilmeleri için yüksek miktarlarda herbisit ve fungusit kullanımını beraberinde getirmektedir (Yuan vd., 2011). Tarım arazilerini işgal etmeden yetiştirilebilen mikroalglerden, *Spirulina* sp., *Chlorella* sp., *C. Reinhardtii*, *Haematococcus* sp. ve *Dunaliella* sp. suşları sağlık takviyesi olarak

Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç İdaresi tarafından “genel olarak güvenli” (GRAS) bileşik olarak kabul edilmektedir (Potts vd., 2012). Tarım 5.0’da alternatif ürün olarak değerlendirilen mikroalglerden elde edilebilen proteinler, karbonhidratlar ve lipitler gibi birçok endüstriyel gıda pazarında yer almaya başlamıştır. Mikroalg proteini ise, sürdürülebilir tarımsal üretim için umut verici bir kaynak olarak değerlendirilmektedir (Yuan vd., 2011). Tarım 5.0, yetiştirme uygulamalarının güncellenmesiyle daha efektif alg üretilebilmesi, biyoenerjinin özelleştirilmesi yoluyla biyoyakıt ihtiyacını değiştirebilmesi, pazarı dönüştürebilmesi ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerini gerçekleştirmesi alg ekonomisi üzerinde de olumlu etkiye sahip olduğu değerlendirilmektedir (ElFar vd., 2021).

## Sonuç

Tarımsal faaliyetler, toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %30’una neden olurken, mavi su ayakzinde de artışa neden olmaktadır. Gezegenin sağlığını korurken daha fazla gıda üretmenin zorluğuna ek olarak, diğer önemli faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Tarım 5.0 içerisinde yer alan alternatif gıdaların tüketilmesi ile daha az ekilebilir araziye ihtiyacı ortaya çıkmakta ve bu durumun, biyoçeşitlilik ve sıfır karbon kavramı için daha fazla alan anlamına geleceği öngörülmektedir. Tarım 5.0 teknoloji odaklı bir devrim değil, belirli bir amaç doğrultusunda teknolojik dönüşümü yönlendiren değer odaklı bir girişim olarak değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tarım 5.0, sürdürülebilir tarım, sera gazı, sıfır karbon, yeşil enerji, dijital tarım devrimi.

## KAYNAKÇA

1. Aytan, O. A. (2021). Hareketli Avcı-Toplayıcı Grupların Yaşam Biçimiyle Yerleşik Çiftçi Toplulukların Yaşam Biçim Arasındaki İnsan-Mekan İlişkisinin Mukayesesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 979-1012.
2. Kılavuz, E., & Erdem, İ. (2019). Dünyada tarım 4.0 uygulamaları ve Türk tarımının dönüşümü. *Social Sciences*, 14(4), 133-157.
3. Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322-4334.
4. Kaya, M. (2019). Ağrı'nın Kalkınması İçin Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Önerisi. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (75), 130-156.
5. Saygılı, F., Kaya, A.A., Çalışkan, E.T., & Kozal, Ö.E. (2018). Türk Tarımının Global Entegrasyonu ve Tarım 4.0. İzmir Ticaret Borsası, Yayın No: 98, İzmir.
6. Yaman, H., Sungur, O., & Dulupçu, M.A. (2021). Dünyada Tarım ve Hayvancılığın Dönüşümü: Teknolojiye Dayalı Uygulamalar ve Devrimler. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 27(2), 123-133.
7. Şahin, H. (2022). Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Robotik Uygulamalar ve Otonom Sistemler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2), 68-83.
8. Çakır, A., & İşlek, F. (2021). Bölüm 7 Türkiye'nin Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Potansiyeli. *Türkiye'de Organik Tarım ve Agro-Ekolojik Gelişmeler*, 155.
9. Ağızan, K., Bayramoğlu, Z., & Ağızan, S. (2022). Advantages of Smart Agricultural Technologies to Agricultural Enterprises Management. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(9), 1697-1706.
10. Ahmad, L., & Nabi, F. (2021). Smart Intelligent Precision Agriculture. In *Agriculture 5.0: Artificial Intelligence, IoT, and Machine Learning* (pp. 25-34). CRC Press. Ahmad, L., & Nabi, F. (2021). *Agriculture 5.0: Artificial Intelligence, IoT and Machine Learning*.
11. Kirmikil, M., ERTAŞ, B. (2020). A Tarım 4.0 ile Sürdürülebilir Bir Gelecek. *Icontech International Journal*, 4(1), 1-12.
12. Fraser, E. D., & Campbell, M. (2019). Agriculture 5.0: reconciling production with planetary health. *One Earth*, 1(3), 278-280.
13. Leng, J., Sha, W., Wang, B., Zheng, P., Zhuang, C., Liu, Q., ... & Wang, L. (2022). Industry 5.0: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 279-295.
14. Fielke, S.J., Garrard, R., Jakku, E., Fleming, A., Wiseman, L., Taylor, B.M., 2019. Conceptualising the DAIS: implications of the 'Digitalisation of



- Agricultural Innovation Systems' on technology and policy at multiple levels. *Njas – Wageningen J. Life Sci.* 90–91 100296.
15. Lobley, M., Winter, M., Wheeler, R., 2018. *The Changing World of Farming in Brexit UK-Perspectives on Rural Policy and Planning*. CRC Press, Routledge, pp. 1–246.
  16. Regan, Á., 2019. ('Smart farming' in Ireland: a risk perception study with key governance actors. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 90–91 100292.
  17. Wiseman, L., Sanderson, J., Zhang, A., Jakku, E., 2019. Farmers and their data: an examination of farmers' reluctance to share their data through the lens of the laws impacting smart farming. *NJAS- Wageningen J. Life Sc.* 90–91 100301.
  18. Bronson, K., 2019. Looking through a responsible innovation lens at uneven engagements with digital farming. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 90-91, 100294.
  19. Jakku, E., Taylor, B.R., Fleming, A., Mason, C., Fielke, S., Sounness, C., Torburn, P., 2019. If they don't tell us what they do with it, why would we trust them?" Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 90–91 100285.
  20. Lioutas, E.D., Charatsari, C., La Rocca, G., De Rosa, M., 2019. Key questions on the use of big data in farming: an activity theory approach. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 90–91 100297.
  21. D'Odorico, P., Rulli, M.C., 2013. The fourth food revolution. *Nat. Geosci.* 6, 417–418.
  22. Nally, D., 2016. Against food security: on forms of care and fields of violence. *Glob. Soc.* 30, 558–582.
  23. Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., et al., 2019. Automated pastures and the digital divide: how agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *J. Rural Stud.* 68, 112–122.
  24. Eastwood, C., Ayre, M., Nettle, R., Dela Rue, B., 2019. Making sense in the cloud: farm advisory services in a smart farming future. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 90–91 100298.
  25. Rose, D.C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., & Chivers, C.A., 2021. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land use policy*, 100, 104933.
  26. Zuboff, S., 2019. *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight For a Human Future at the New Frontier of Power*. Profile Books Ltd., London, UK.
  27. Schot, J., Steinmueller, W.E., 2018. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Res. Policy* 47 (9), 1554–1567.

28. Siddharth, D., Saini, D.K., & Kumar, A., 2021. Precision Agriculture With Technologies for Smart Farming Towards Agriculture 5.0. Unmanned Aerial Vehicles for Internet of Things (IoT) Concepts, Techniques, and Applications, 247-276.
29. Ragazou, K., Garefalakis, A., Zafeiriou, E., & Passas, I., 2022. Agriculture 5.0: A New Strategic Management Mode for a Cut Cost and an Energy Efficient Agriculture Sector. *Energies*, 15(9), 3113.
30. Yuan, Shi X, Zhang D, Qiu Y, Guo R, Wang L. Biogas production and microcystin biodegradation in anaerobic digestion of blue algae. *Energy Environ Sci* 2011;4(4): 1511. <https://doi.org/10.1039/c0ee00452a>.
31. Potts, Du J, Paul M, May P, Beitle R, Hestekin J. The production of butanol from Jamaica bay macro algae. *Environ Prog Sustain Energy* 2012;31(1):29–36. <https://doi.org/10.1002/ep.10606>
32. ElFar, O. A., Chang, C. K., Leong, H. Y., Peter, A. P., Chew, K. W., & Show, P. L., 2021. Prospects of Industry 5.0 in algae: Customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation. *Energy Conversion and Management: X*, 10, 100048.

“

## Bölüm 6

**TARIMSAL ÜRETİMDE YABANCI  
OTLARIN KONTROLÜNDE HASSAS  
TARIM TEKNİKLERİNİN KULLANIMI**

*Songül GÜRSOY<sup>1</sup>*

”

---

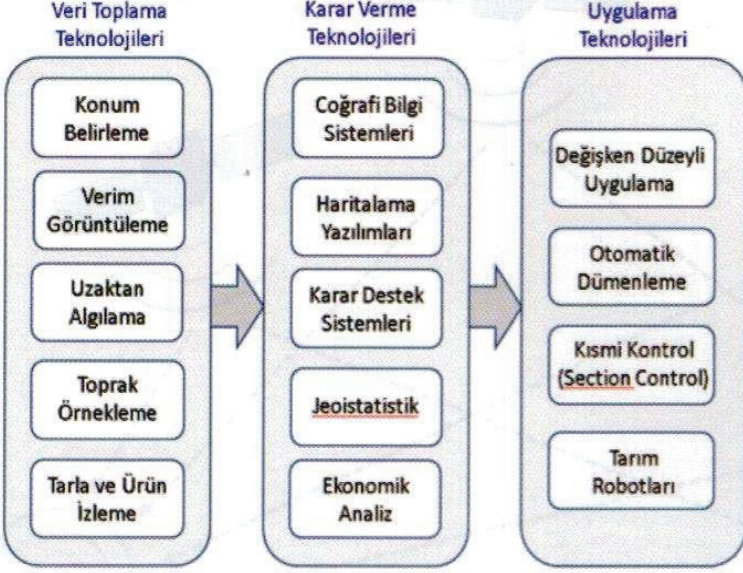
<sup>1</sup> Prof. Dr., Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, e-mail: songulgursoy@hotmail.com  
Orcid: 0000- 0002-6145-0684

## 1. Giriş

Tarımsal üretimde verim ve kaliteyi kısıtlayan en önemli etmenler arasında yabancı otlar gelmektedir. Yabancı ot mücadelesinin yapılmadığı tarım alanlarındaki ürün kayıp oranının %40-100 arasında olabileceği ifade edilmektedir (Gürsoy ve Özaslan, 2014; Gürsoy vd., 2014; Özaslan vd., 2015). Yabancı otlarla mücadelede farklı yöntemler kullanılmasına rağmen, günümüzde çapalama ve kimyasal mücadele yöntemleri yabancı otların kontrolünde en yaygın kullanılan yöntemler olarak bilinmektedir. Bu yöntemlerden kimyasal tarım ilaçları, yabancı ot mücadelesinde hızlı ve kesin çözüm olarak tarımsal üretimde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat kimyasal ilaçların yoğun ve bilinçsiz kullanılması insan ve çevre sağlığına önemli ölçüde zarar vermektedir. Bu nedenlerden dolayı tarımsal üretimde yabancı ot veya zararlılarla mücadelede kimyasal ilaçların kullanımının azaltılmasına yönelik yapılan araştırmalar son yıllarda oldukça önem kazanmıştır (Gerhards vd., 1997; Horrigan vd., 2002; Gürsoy ve Özaslan, 2021). Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte tarımsal üretimde etkinliği yüksek, ekonomik ve çevreye en az zarar veren yöntemler olarak bilinen hassas uygulamalı tarım tekniklerinin kullanılarak tarımsal üretimde pahalı girdilerden biri olan herbisitler ile sadece yabancı otların yoğun olduğu alanlar hedef alınarak ilaçlamanın yapılmasıyla kimyasal ilaçların çevreye olan etkilerinin en düşük düzeye indirilmesi mümkün olmaktadır (Lima ve Mendes, 2020).

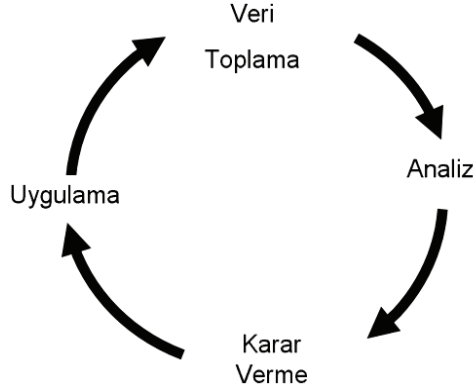
Son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde tarımsal üretimde kullanılmaya başlanan hassas uygulamalı tarım teknolojileri, tarım alanlarındaki toprak, bitki ve ürünlerin mekânsal özelliklerindeki değişkenliklerin belirlenmesi ve analizi sonucunda sadece gereksinim duyulan alana ve gerekli miktarda uygulama yapan değişken oranlı girdi uygulamalarına dayalı tarımsal üretim sistemi olarak tanımlanmaktadır (Güler ve Kara, 2005). Hassas uygulamalı tarım teknolojilerini, tarımsal üretimde girdileri azaltarak, girdilerin üretimdeki etkinliğini artırması yönünden sürdürülebilir tarımsal üretimin geliştirilmesi açısından tekrardan organize edilen bir sistem yaklaşımı olarak ta ifade edebiliriz. Hassas uygulamalı tarım, genellikle uygulamaların gerçekleştirilmesi esnasında kullanılan teknolojilerin isimleriyle “GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) tarımı”, “Reçeteli Tarım”, ”Alana Özgü Tarım”, “Yerine Göre Tarım”, “Akıllı Tarım”, ”Değişken Oranlı Girdi Uygulamalı Tarım”, “Robotik Tarım” olarak ta adlandırılmaktadır (Öğüt, 2013). Hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanımının temel amacı, tarımsal üretimde girdileri gerektiği zamanda ve miktarda kullanarak kaynakların daha ekonomik kullanımı ile çevreye verilen zararın en düşük seviyeye indirilmesini sağlamaktır. Bu yöntem; küresel konum belirleme sistemi (Global Positioning System, GPS), coğrafi bilgi sistemi (CBS), daha küçük bilgisayar bileşenleri, uzaktan algı-

lama (UA), otomatik kontrol, sensör teknolojileri, elektronik ölçümler, ileri düzeydeki dijital veri işleme yöntemleri, özel yazılımlar, haritalama, mekanizasyon araçları, telekomünikasyon gibi teknolojinin birçok alanını bünyesinde barındırmaktadır (Öğüt, 2013). Keskin vd. (2018) hassas uygulamalı tarım teknolojilerini, genel olarak Veri toplama, Karar verme ve Uygulama olmak üzere üç başlık altında incelenebileceğini ifade etmektedirler (Şekil 1).



Şekil 1. Hassas Uygulamalı Tarımın Temel Aşamaları (Keskin vd. 2018)

Güler ve Kara (2005) ise hassas tarım döngüsünü Şekil 2’de gördüğü gibi açıklamışlardır. Bu döngüdeki hassas tarım uygulamalarının temel aşamaları, tarım alanlarında toprak ve bitki özelliklerine yönelik verilerin toplanması, bu verilerin analiz edilerek yapılacak olan uygulamalara karar verilmesi, karar verilen uygulama şekline göre değişken oranlı girdi uygulamalarının gerçekleştirilmesi olarak ifade edilmiştir.



**Şekil 2.** Hassas Uygulamalı Tarım Döngüsü (Güler ve Kara, 2005)

Hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin sağlayacağı yararları ise aşağıdaki başlıklar altında olduğu gibi ifade edilmiştir (Keskin vd., 2018)

- Agronomik (ürün verim ve kalitesinde artış),
- Teknik (tarımsal işlemlerin zamanında ve daha etkin bir şekilde yapılması),
- Ekonomik (girdi kullanımında meydana gelen düşüşün masrafları azaltmasından dolayı kârlılığın artırılması),
- Çevre koruma (kimyasal girdilerin kullanımındaki düşüşler ile çevre kirliliğinin önlenmesi),
- Ürün kalitesi (tarımsal işlemlerin zamanında ve uygun miktarda girdi ile yapılmasından dolayı ürün kalitesinde artış),
- Çalışma verimliliği (otomatik dümenleme gibi teknolojiler yapacak işi kolaylaştırdığı için çalışma verimliliğinin artması)

Günümüzde teknoloji kullanımında meydana gelen gelişmeler, tarımsal üretimde etkili olan hem zamansal hem de konumsal özellikteki değişkenleri çok daha geniş bir şekilde ele alıp yorumlama yeteneğinin gelişimine katkı sağlamıştır. Örneğin, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile küresel konumlama sistemleri (KKS), yabancı otların arazi üzerindeki dağılımlarını ve bu dağılımların haritalanmasına katkı sağlamıştır. Bu yolla hazırlanan dağılım haritaları kullanılarak, alana özgü ilaç uygulama haritalarının geliştirilmesi mümkün olmuştur (Türker, 2005).

Bu çalışmada, son yıllarda yapılan çalışmalar gözönünde bulundurularak hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin yabancı ot kontrolünde kullanımlarının mevcut durumu ve gelişim sürecinin genel durumu hakkında bilgi verilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle tarımsal üretimde kullanılan yabancı ot kontrol yöntemleri kısaca anlatılmış ve sonrasında

yabancı ot kontrolünde kullanılan hassas uygulamalı tarım teknolojileri hakkında bilgi verilerek, hassas uygulamalı tarım teknolojileri adaptasyonunu engelleyen temel faktörler irdelenmiştir.

## 2. Yabancı Otları Kontrol Etmede Kullanılan Başlıca Yöntemler

Yabancı otları kontrol etmede kullanılan yöntemler genel olarak 4 ana bölüm altında incelenmektedir (Tepe, 2014) .

1. Kültürel kontrol yöntemleri
2. Fiziksel kontrol yöntemleri
3. Biyolojik kontrol yöntemleri
4. Kimyasal kontrol yöntemleri

Kültürel uygulamalar; tarım alanlarının yabancı ot tohumlarıyla bu-  
laşmasının önlenmesine yönelik uygulamalar (temiz tohum kullanmak,  
biçerdöver artıklarının tarlada bırakılmaması, hayvan yemi olarak kulla-  
nılan dane, kuru ot ve diğer yemlerin yabancı ot tohumu içermemesi, çift-  
lik gübrelerinin yeterli derecede fermente edilmesi, çiftlik ekipmanları-  
nın temizliğine dikkat edilmesi vb.) ve sağlıklı kültür bitkisi yetiştirmeye  
(uygun kültür bitkisi çeşidi seçimi, toprak özelliklerinin düzeltilmesi ve  
uygun gübreleme, tohum yatağının iyi hazırlanması, uygun ekim yönte-  
minin seçimi, ekim zamanının ayarlanması, münavebe (ekim nöbeti) uy-  
gulanması, rakip kültür bitkisi yetiştirme vb.) yönelik uygulamalar olmak  
üzere iki temel grup altında incelenmektedir.

Fiziksel yabancı ot kontrol yöntemleri, çapalama veya termal yöntem-  
ler kullanılarak yabancı otların kontrol altına alınması işlemlerini kap-  
samaktadır. Çapalama, yabancı otlarla mücadelede en eski, ekonomik ve  
etkili mücadele yöntemlerinden biridir. Termal yöntemler ise, yabancı ot-  
ların bir enerji kaynağından çıkan ısı enerjisiyle kontrol altına alınması iş-  
lemlerini kapsamaktadır. Yabancı ot kontrolünde kullanılan başlıca termal  
yöntemleri, alev uygulaması, sıcak su uygulaması, sıcak hava uygulaması,  
elektrik şoku, mikrodalga ışınları, kızılötesi (infrared) ısınları, lazer ışın-  
ları, mor ötesi (UV) ışınları ve dondurma olarak sıralayabiliriz.

Biyolojik kontrol yöntemleri ise, yabancı otların kontrol altına alın-  
masında böcekler, nematodlar, bakteriler veya mantarlar gibi canlı orga-  
nizmaların kullanılmasını içermektedir. Biyolojik mücadelenin amacı ya-  
bancı otları tümden ortadan kaldırmaktan ziyade yoğunluğunu ekonomik  
zarar eşliğinin altına düşürmektir.

Kimyasal mücadele yönteminde, yabancı otlarla mücadelede kimya-  
sal ilaçlar (herbisitler) kullanılmaktadır. Bu yöntem, ucuz olması, uygu-  
lamasının kolaylığı ve hızlı sonuç alınması sebebiyle tarımsal üretimde  
en çok tercih edilen mücadele yöntemlerindedir. Herbisitler, uygulama

dönemlerine göre ekimden önce (pre-sowing), kültür bitkisinin çıkışından önce (pre-emergence) ve çıkışından sonra (post-emergence) uygulanan herbisitler olmak üzere üç grup altında toplanmaktadır. Etki şekillerine göre herbisitleri, selektif herbisitler (sistemik ve kontak), total herbisitler (Glyphosate, Paraquat) diye ikiye ayırmak mümkündür. Kimyasal yapılarına göre ise, inorganik herbisitler ve organik herbisitler olmak üzere iki grup altında toplayabiliriz.

Tarımsal üretim alanlarında yabancı otları kontrol etmedeki uygulama kolaylığı ve etkinliğinin yüksek olmasından dolayı kimyasal mücadele yöntemleri en çok tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir. Ancak, kimyasal ilaçların yoğun ve bilinçsiz kullanımı insan sağlığı ve çevreyi olumsuz yönde etkilediği için birçok önemli sorunu da beraberinde getirmektedir. Ayrıca yüksek dozda herbisit kullanımı yabancı ot direncine neden olmaktadır (Westwood vd., 2018). Bu nedenle herbisitlerin bilinçli ve doğru bir şekilde kullanması tarımsal üretimde oldukça önemli bir yere sahiptir.

### **3. Tarımsal Üretimde Hassas Tarım Uygulamaları ve Yabancı Ot Kontrolünde Hassas Tarım Teknolojilerinin Kullanımı**

Birçok farklı tanımı olmakla birlikte genel anlamda hassas tarım uygulamaları, gelişen bilgi teknolojilerinin yardımıyla tarımsal üretimde problemin mevcut olduğu alana uygulamaların yapıldığı değişken yüzeyli girdi kullanımıyla daha düşük maliyetle maksimum gelirin elde edildiği ve çevreyi koruma ilkelerini hedefleyen yenilikçi bir tarım sistemi olarak tarif edilebilir. Hassas tarım uygulamalarının temel amacı, yeni teknolojileri kullanarak tarım alanlarındaki mevcut durumu doğru bir şekilde belirleyip ihtiyaçlar doğrultusunda su, gübre, herbisit ve böcek ilacı vb. girdilerin ihtiyaçlar doğrultusunda uygulayarak üretim maliyetlerini ve çevre kirliliğini önlemektir. Hassas tarım uygulamaları, akıllı tarım (smart agriculture), sahaya özel tarım (site specific agriculture), bilgisayar destekli tarım (computer aided agriculture), reçeteli tarım (prescription agriculture), değişken oranlı girdi uygulamalı tarım (variable rate application agriculture), noktasal tarım (spot farming) olarak ta ifade edilmektedir. Hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanımıyla tarım alanlarındaki bitki ve toprak özellikleri doğru olarak belirlendiği için girdilerin tüm alana sabit düzeyli olarak uygulanması yerine sadece gereksinimin duyulduğu alanlara uygulama yapılabilinmektedir. Sabit düzeyli tarım uygulamaları yönteminde, tarım alanlarının homojen yapıda olduğu varsayılmakta ve tarlanın tüm yüzeyine aynı uygulamalar yapılmaktadır. Hassas tarım uygulamalarında, bilgi teknolojileri kullanılarak bitki veya toprak özelliklerindeki değişkenlikler doğru bir şekilde tespit edilmekte ve tarımsal uygulamalar bu değişkenlikler göz önünde bulundurularak yürütülmektedir. Dolayısıyla, bu üretim şeklinde öncelikle arazideki değişkenlik



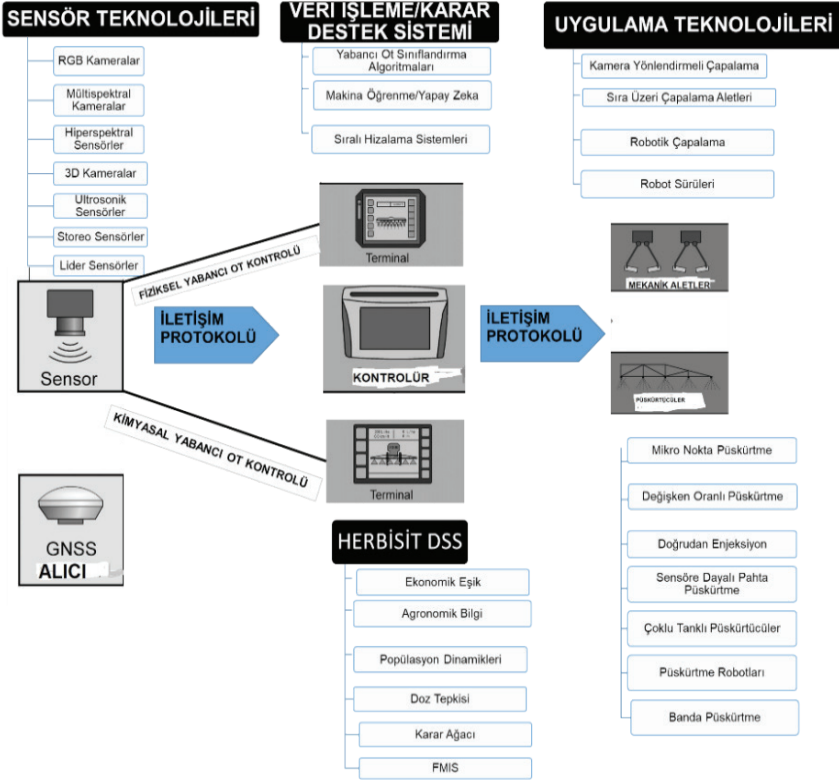
doğru olarak analiz edilerek, analiz sonucuna göre doğru zaman ve doğru yerde optimum girdi kullanımı hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşabilmek için ise arazideki değişkenlikleri doğru olarak algılayabilen ve elde edilen bu verileri kısa sürede işleyebilen teknoloji ve yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Blackmore, 1994).

Hassas tarımda gözönünde bulundurulmuş temel teknolojilerin, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Değişken Oranlı Teknolojiler (VRT), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama Teknolojileri (UAT), Verim Haritalama Sistemleri (VHS), otomatik dümenleme ve kontrollü tarla trafiği teknolojileri, elektronik ölçüm ve kontrol sistemleri olduğu ifade edilmektedir (Gibbons, 2000; Keskin ve Görücü, 2012). Son yıllarda insansız hava araçları, optik ve radar uydu teknolojileri ve akıllı sensörlerin yanı sıra tablet ve mobil telefonlar da hassas tarım uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hassas tarım teknolojilerinin bileşenleri, Araziden Veri Toplama (Data Collection), Toplanan Verileri İşleme ve Karar Verme (Data Processing and Decision Making) ve Karar Doğrultusunda Uygulamaları gerçekleştirme (Application) olmak üzere üç ana grupta toplanmıştır (Keskin ve Görücü, 2012). Veri toplama işlemi, gelişmiş konum belirleme sistemleri, verim sensörleri, toprak sensörleri, bitki sensörleri, yabancı ot sensörleri gibi teknolojik sistemler kullanılarak arazinin özelliklerinin hızlı ve doğru olarak belirleme işlemi kapsamaktadır. Analiz aşaması, veri toplama aşaması ile sisteme alınan verilerin yapılacak uygulamanın belirlenmesi için gerekli olan karar çıktısının üretilmesi işlemlerini kapsamaktadır. Bilgiler bir arada değerlendirilip, arazi üzerindeki tarımsal faaliyetleri etkileyen değişkenlikler belirlenmektedir. Hassas tarım döngüsünün sonuncusu uygulama aşaması, arazi yüzeyinde belirlenen değişkenliklere göre tarımsal faaliyetlerin değişken oranlı uygulama işlemi kapsamaktadır. Tarımsal faaliyetin yürütüldüğü araziler homojen yapıda olmayıp, arazinin farklı bölgelerindeki bitki ve toprak özellikleri değişebilmektedir. Dolayısıyla, heterojen yapıdaki bu arazilerin karakteristik özelliklerine göre tarımsal uygulamaların yapılması gerekmektedir (Güçdemir, 2015). Örneğin herbisit uygulamanın yapılacağı arazideki yabancı ot türleri ve yoğunlukları farklı olabilmektedir. Yabancı ot yoğunluğu, arazinin bazı bölgelerinde fazla, bazı bölgelerinde az ve bazı bölgelerinde yok denecek kadar az olabilmektedir. Ayrıca, arazi üzerindeki yabancı ot türleri de farklı olabilmektedir. Bu farklılıklar göz önünde bulundurularak değişken düzeyli uygulamaların kullanımıyla, yabancı ot kontrolü esnasında kullanılan girdilerin ihtiyaç dahilinde uygulanması hem karlılık hem de girdilerin çevreye olan zararlı etkilerinin en düşük seviyeye indirilmesine katkı sağlayacaktır.

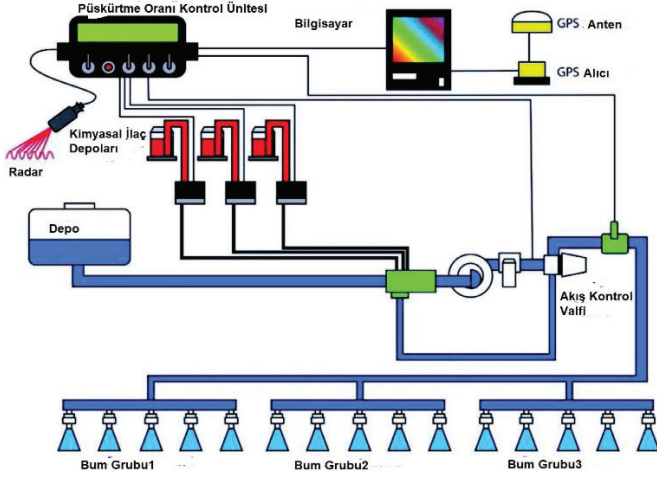
Değişken düzeyli uygulama ekipmanları ya kendi hafızalarına yüklenen uygulama haritalarını kullanarak veya anlık algılayıcılardan aldıkları verileri işleyerek uygulama işlemini gerçekleştirmektedirler. Değişken düzeyli uygulama ekipmanlarının hafızalarına yüklenen uygulama haritaları, coğrafi bilgi sistemleri, küresel konumlama sistemleri, uzaktan algılama, insansız hava araçlarıyla görüntüleme teknolojileri kullanılarak oluşturula bilinmektedir (Mortensen vd., 1995; Stafford vd., 1996; Rew vd., 1996; Goudy vd., 1999). Bu teknolojiler kullanılarak hazırlanan arazideki değişkenlikleri gösteren haritalarından, alana özgü ilaç uygulama haritalarının geliştirmesi mümkün olmaktadır. Hassas ilaçlama için alan- sal yabancı ot dağılımının belirlenmesine yönelik yürüttüğü çalışmada, Türker (2005) kışlık buğdayın ekili olduğu iki farklı arazide yabancı ot örneklemesi yapmış ve Arcgis 3.2a CBS yazılım programını kullanarak, bu arazilerin yabancı ot dağılım yoğunluğu ve bu dağılıma yönelik yabancı ot ilaçlama haritalarını hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda hassas ilaçlama için yabancı otların haritalanması ile teorik olarak uygulanacak ilaç miktarının önemli ölçüde azaltılabileceği ifade edilmiştir. Anlık algılayıcılarda ise uygulama aracına yerleştirilen sensör ile toprak ve bitki ile ilgili verileri işlenmek üzere sisteme gönderilmektedir. Gönderilen bu verilerin analizi sonucunda uygulanacak girdiler uygulamayı gerçekleştirecek olan uygulama elemanına gönderilerek işlemler gerçekleştirilmektedir (Arslanoğlu vd., 2016). Örneğin, yabancı ot mücadelesinde kullanılan değişken düzeyli makinalarda, yabancı ot yoğunluğunu sensörler ile saptanmakta ve elde veriler anlık olarak işlenerek değişken düzeyli ilaçlama yapılmaktadır.

Son yıllarda hassas uygulamalı tarım teknolojilerindeki gelişmeler, fiziksel ve kimyasal yabancı ot kontrol yöntemlerinin tarımsal alanlardaki yabancı ot dağılımlarının mekânsal ve zamansal heterojenliklerini gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmesinde önemli katkılar sağlamıştır. Gerhards vd. (2022) alana özgü yabancı ot kontrolünde kullanılan teknolojilerin ekolojik ve ekonomik açıdan değerlendirdikleri çalışmalarında, bu teknolojilerin tarımsal üretim alanlarında kullanılabilirliğini detaylı olarak tartışmışlardır. Yazarlar, yabancı ot sınıflandırması ve bilgisayar tabanlı karar algoritmaları için 3D kameraları, multispektral görüntüleme ve Yapay Zekayı (AI) içeren sensör teknolojilerini, hassas püskürtme ve çapalama işlemleri ile birlikte tanımlamışlardır (Şekil 3).



Şekil 3. Yabancı Ot Kontrolünde Hassas Tarım Teknolojilerinin Uygulama Aşamalarının Akış Diyagramı (Gerhards vd., 2022)

Tarımsal üretim alanlarında yabancı otların kontrolünde hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanımında, tarım alanlarındaki yabancı ot popülasyonlarının mekansal değişkenliğini ve zamansal dinamiklerini göz önünde bulundurarak, yabancı otların ya bireysel olarak veya kümelerine müdahale eden mücadele sistemleri geliştirilmiştir (Gerhards vd., 2022; Grisso vd., 2011). Yapılan çalışmalarda yabancı ot yoğunluklarının haritalanması ve alana özgü herbisit uygulama teknikleri ile ürün veriminde kayıplara ve sonraki yıllarda yabancı ot kontrolü için ek maliyetlere neden olmadan herbisit kullanım oranında %23-%89 azalma meydana gelebileceği görülmüştür (Berge vd., 2012; Christensen vd., 2009; Gerhards ve Oebel, 2006). Herbisit kullanımındaki bu azalış miktarı, ilaçlama makinalarının yabancı ot yoğunluğunun ekonomik zarar eşliğinin altında olduğu alanlarda püskürtmeyi durdurmasından kaynaklanmaktadır. Bu amaçla kullanılan bir ilaçlama makinasının genel görünüşü Şekil 4'de görülmektedir (Lima ve Mendes, 2020).

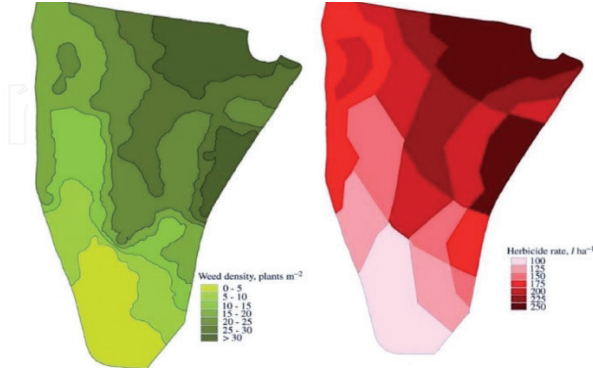


Şekil 4. Değişken Düzeyli İlaçlama Makinesi (Lima ve Mendes, 2020).

Bu ilaçlama makinaları, temel olarak ilaç uygulaması esnasında makine-lerin konumu ve yönlendirilmesinin sağlanması için GPS alıcısı, veri işlemeyi gerçekleştirecek bir bilgisayar, püskürtme akışı ve basıncın değişimini sağlayan debi kontrol ünitesine ek olarak alanda toplanan verileri ilişkilendirebilecek ve uygulanacak dozu belirleyebilecek bir yazılımdan oluşmaktadır. Bu ilaçlama makinaları değişken düzeyli ilaçlamayı gerçekleştirebilmek için ya kendi hafızalarına yüklenen uygulama haritaları ile veya sensörlerden aldıkları verileri işleyerek uygulama yapmaktadır. Bu yöntemlerin temel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir (Lima ve Mendes, 2020). Belirli bir alandaki yabancı ot dağılımını ve bu alandaki yabancı ot yoğunluklarına göre herbisit uygulama oranlarını gösteren haritalar Şekil 5’te görülmektedir.

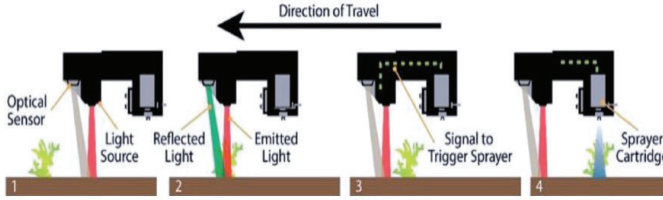
Tablo 1. Değişken Yüzeyle Herbisit Uygulamalarındaki Veri İşleme Sistemlerinin Temel Özellikleri

Özellik	Harita	Sensör
Yöntem	Örnekleme, analiz yapılarak alana özgü haritaları oluşturma, değişken oranlı uygulayıcı kullanımı	Gerçek zamanlı sensör, veri kontrol ölçümleri, değişken oranlı uygulayıcıların kullanımı
GPS/DGPS	Çok önemli	Gerekli değil
Lab. analiz işlemleri	Gerekli	Gerekli değil
Haritalandırma	Gerekli	İhtiyaç olmayabilir
Zaman tüketimi	Fazla	Az
Dezavantajlı yönleri	Analiz maliyetleri	Sensör olmayışı
İşletim sistemi	Karmaşık	Kolay
Teknoloji	Gerekli	Gerekli
Örnekleme alanı	8-10 dekar	Anlık örnekleme
Sistemin kullanıldığı ülkeler	Gelişmekte olan ülkeler	Gelişmiş ülkeler



**Şekil 5.** *Yabancı Ot Yoğunluğu Haritası (Solda) ve Herbisitinin Değişken Oranlı Uygulaması (VRA) (Sağda) (Lima ve Mendes, 2020).*

Sensörlerden aldıkları verileri anlık olarak işleyerek değişken oranlı herbisiti uygulayan sensör tabanlı sistemler, herhangi bir haritalama veya önceden veri toplama olmaksızın uygulama oranını anlık olarak değiştirme yeteneğine sahiptirler. Sensörler, hareket halindeyken istenen özellikleri gerçek zamanlı olarak ölçebilmektedirler. Sistem tarafından yapılan ölçümler anında işlenerek, değişik oranlarda uygulamayı yapacak olan kontrolöre gönderilmektedir (Şekil 6).



**Şekil 6.** *Püskürtme Memelerinin Kontrolünde Kullanılan Bir Optik Sensörün Çalışması (Lima ve Mendes, 2020).*

Tarımsal üretimde yabancı ot kontrolünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerinden biri olan çapalama esnasında hassas uygulamalı tarım teknolojileri son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü, yabancı otların çapalama gibi mekanik yollarla kontrol etmek oldukça zordur. Yeterli derecede hassas çalışılmadığı zaman çapalama esnasında, kültür bitkilerinin de zarar görme ihtimali olduğu gibi ve kültür bitkisine yakın yabancı otların kontrolünde problemler yaşanabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, son yıllarda sıralar arası çapalama için yeni otomatik sıra yönlendirme sistemleri geliştirilmiştir. Hassas uygulamalı çapalama makinalarında optik sensörler ve RTK-GNSS teknolojileri, bitki sıralarının konumunu belirlemekte ve hidrolik sistemler ise, sıralar arası çapaları bitki sıralarına yakın yönlendirmektedirler. Çapa aletinin üzerine yerleş-

tirilen algılama ve mekanik kaydırma düzeneği ile çapa aletinin sıradan sapmadan, sırayı takip etmesi sağlanabilmektedir (Kunz vd., 2015). Aygün vd. (2019) domates yetiştiriciliğinde sıra üzerindeki yabancı otların kontrolünde kullanılan çapalama işleminde foto elektrik sensörün kullanılma olanaklarını araştırdıkları çalışmalarında, sıra üzeri çapa makinelerinde foto elektrik sensörlerin rahatlıkla kullanılabileceğini, ancak sensörün tarla koşullarındaki çalışma performanslarının da belirlenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.



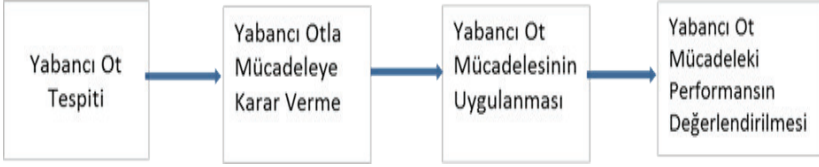
**Şekil 7.** Kameralı Otomatik Dümenleme Sistemine Sahip Çapa Makinası (Kunz vd., 2015).

Son yıllarda hassas tarım uygulamalarında İnsansız Hava Araçlarının (IHA) kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Aynı şekilde son yıllarda görüntü işleme tekniklerinde meydana gelen gelişmeler, yabancı ot tür ve yoğunluklarının tespit, teşhis ve takibinin doğru bir şekilde yapılarak, değişken oranlı ilaç uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlamıştır (Kılıç, 2020). Hassas tarım teknolojilerinin yabancı ot kontrolünde kullanımının en önemli noktası, herbisit in doğru zamanda ve miktarda uygulanmasıdır. IHA teknolojileri, tepeden kuş görünüşü olarak yabancı otların yoğun olduğu alanları anlık olarak belirleyebilmekte ve hatta bununla kalmayıp üzerine yerleştirilen bir depo vasıtasıyla herbisit uygulama işlemini gerçekleştirebilmektedirler.



**Şekil 8.** Yabancı Ot Yoğunluğu Belirleme ve Değişken Oranlı Herbisit Uygulamada IHA Kullanımı (Kılıç, 2020).

Tarımsal üretimde yabancı ot kontrolünde kullanılan bir diğer hassas uygulamalı tarım teknolojisi ise robotlardır. Robotlar, ya hiç kimyasal ilaç kullanmadan mekanik olarak ya da hedefe yönelik ilaç uygulama donanımlarına sahip yabancı otlarla mücadelede kullanılan araçlardır (Çolak ve Işık, 2021). Robotik yabancı ot kontrol yönteminde, kültür bitkisi içindeki yabancı ot tür ve yoğunlukları görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilmekte ve tespit edilen bu yabancı otlar üzerine değişken düzeyli herbisit uygulanmakta veya çapalama işlemi yapılmaktadır (Sabancı ve Aydın, 2014). Otomatik (robotik) yabancı ot kontrol sistemlerinde uygulanan başlıca işlemler Şekil 9'da görülmektedir.



**Şekil 9.** Otomatik (Robotik) Yabancı Ot Kontrol Sistemlerinde Uygulanan Başlıca İşlemler

Tarımsal üretimde yabancı otların kontrolü ve mücadelesinde kullanılacak, güneş enerjisiyle çalışan elektrikli bir robotun İsviçre'de Ecorobotix firması tarafından geliştirildiği (Şekil 10) ve geliştirilen bu robot sisteminin, yabancı ot kontrolünde uygulanan herbisit gibi kimyasalların kullanımında %78 oranında bir tasarruf meydana getirdiği ifade edilmektedir. Robot sisteminin içinde var olan hassas kamera ağı kullanılarak tespit edilen yabancı ot miktarı ve türleri göz önünde bulundurularak uygun miktardaki herbisit, yabancı otların üzerine püskürtülebildiği bildirilmektedir.



**Şekil 10.** Ecorobotix Robot Modelleri (Ecorobotix, 2022).

Fransız robot firması Nao Technologies ise lazer ve kamera kullanan bir robotu geliştirmişlerdir. Bitki sıraları arasında otonom olarak yönlendirilen The Oz isimli robot yabancı otları tespit ederek, kontrol etme özelliğine sahip olduğu belirtilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Naio Robot Modelleri

Sabancı ve Aydın ( 2014) geliştirdikleri hassas ilaçlama robotu ile şeker pancarı tarlalarında sıra aralarında bulunan yabancı otları görüntü işleme tekniklerini kullanılarak tespit etmişler ve bu yabancı otlar üzerine değişken düzeyli herbisit uygulama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, geliştirilen sistemin yabancı otları tespit ederek tarlanın tümü yerine sadece yabancı otların yoğun olduğu alanlarda ilaçlama işlemini uygulanacağından, insan, hayvan ve çevre sağlığının korunmasına katkı sağlayacağını ifade etmişlerdir.

#### 4. Tarımsal Üretimde Yabancı Otların Kontrolünde Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojilerinin Yaygınlaştırılmasını Engelleyen Temel Faktörler

Özellikle son yıllarda yabancı ot kontrolünde hassas tarım teknolojilerinin kullanımına yönelik çalışmalara oldukça önem verildiği görülmekte, Dünyada uluslararası ve ulusal bazda hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanım olanaklarına yönelik birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Yapılan çalışmalarda yabancı ot kontrolünde hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanımındaki başarının, diğer bir çok teknolojinin gelişimine sıkı bir şekilde bağlı olduğu ve özellikle çevreci yaklaşımlar nedeniyle yönelmesi gereken bir konu olarak karşımıza çıktığı vurgulanmaktadır (Türker, 2005). Bu alanda bilimsel yönde elde edilen başarılı sonuçlara rağmen, uygulamada yabancı ot kontrolünde hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanımının oldukça düşük düzeyde olduğu görülmektedir (Lati vd., 2021). Örneğin, bilim adamları, çeşitli sensörler ve platformlar kullanarak gerçek zamanlı olarak yabancı otları tanımlama, fenotipleme ve haritalamada önemli ilerlemeler göstermiş olmalarına rağmen, bu yöntemlerin tarımsal üretim alanlarında kullanımının sınırlı olduğu görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı bu konu, Avrupa Yabancı Ot Araştırma Derneği (EWRS) tarafından düzenlenen alana özgü yabancı ot kontrol yönetimi (SSWM) Çalışma Grubu'nun en son çalıştayında temel bir tartışma konusu olarak ele alınmıştır (Lati vd., 2021). Çalıştayda hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin yabancı ot kontrolünde kullanımının yaygınlaşmasını önleyen temel faktörler ve bu sorunların çözümüne yönelik öneriler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.



1. Yabancı otları tanımlamadaki sorunlar: Hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin yabancı ot kontrolünde kullanımının başarısı, yabancı otların doğru olarak tanımlanmasına ve kültür bitkilerinden ayırt edilmesine bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla, doğal görüntüye en yakın, gerçekliği en doğru ileten sensörlerin kullanılması son derece önemlidir. Yabancı ot/kültür bitkisini ayırmada, RGB, multispektral ve hiperspektral kameralar gibi çeşitli algılama cihazları kullanılmaktadır. Bu sensörlerin herbirinin kendine özgü güçlü ve zayıf yönleri olduğundan, birkaç sensörün tek bir platforma entegrasyonu, çok çeşitli görüntüleme koşullarında güçlü sınıflandırma kapasiteleri sağlayabilmektedir. Aynı zamanda, yabancı otları doğru olarak tanımlamada görüntü tabanlı makine öğrenimi tekniklerinin kullanımının oldukça önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerin gelişimlerinde meydana gelen aksaklıklar, hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin yabancı ot kontrolünde kullanımının başarısını önemli ölçüde azaltmaktadır.

2. Uygulama esnasında karşılaşılan sorunlar: Yapılan çalışmalarda hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin yabancı ot kontrolünde uygulanması ve benimsenmesinin basit bir teknik süreci oluşturmaktan uzak olduğu görülmüştür. Yabancı otları doğru olarak tanımlanabilmesi, hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki ana engel olarak gözönünde bulundurulmasına rağmen, sosyal ve bilimsel sınırlandırmaların, benimseme oranını etkileyen temel faktörler arasında yer aldığı gözlemlenmiştir.

3. Veri paylaşımı: Veri paylaşımının, yabancı ot kontrolünde hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılmasında kilit bir unsur olduğu öngörülmektedir. Daha öncede ifade edildiği gibi, hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin çalışma prensibi, dijital görüntülerdeki kültür bitkileri ve yabancı otların gerçek zamanlı olarak hassas bir şekilde ayırımının sağlanması olduğu ifade edilmektedir. Kültür bitkileri içerisinde yabancı otların tanımlanması ve sınıflandırılması, kültür bitkileri ve yabancı otların benzer renk, tekstür ve şekil özelliklerine sahip olmasından dolayı oldukça zor bir işlem olduğu bilinmektedir. Herhangi bir ortamdaki kültür bitkisi başka bir ortamda yabancı ot veya yabancı ot kültür bitkisi olarak algılanabilmektedir (Wang vd., 2019). Ayrıca, bitkinin gelişim dönemi, görüntünün alındığı ortamın özellikleri, çevresel faktörler, kullanılan görüntü işleme yöntemi gibi birçok faktör görüntüyü algılama ve sınıflandırma performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir (Wang vd., 2019; Wu vd., 2021). Dolayısıyla, toprak ve iklim gibi çevresel faktörlerin, bitkilerin şekil, renk ve tekstür özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini söyleyebiliriz. Çoğu bitkilerin morfolojik özellikleri gelişim dönemlerine göre farklı olabilmektedir Işık koşullarının farklı olması, bitki örtüsünün gölgesi ve güneş açısı bitki örtüsünün rengini etkilemektedir. Örtüşen yaprakların

etkisi, görüntülerin segmentasyonunda problemlere neden olmaktadır. Ayrıca, donanım özellikleri, algoritma karmaşıklığı ve sistem yoğunluğu gibi faktörler, gerçek algılama hızını veya doğruluğunu sınırlamaktadır. Dolayısıyla, hızlı görüntü işleme ve yabancı otun doğru olarak tanımlanması, görüntü işlemede çözülmesi gereken önemli problemler arasında yer almaktadır.

4. Teknik yaklaşımlardan sistemik yaklaşımlara geçişte karşılaşılan problemler: Danışmanların ve diğer bilgi satıcılarının, kendilerinininkine benzer bilgi seviyelerine ve teknolojik kapasitelere sahip müşterilerle çalışmayı tercih etme eğiliminin, hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin gelişimini etkilediği ifade edilmektedir. Dolayısıyla, hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin gelişimi, farklı bilgi ve becerilere sahip katılımcıları içeren çok disiplinli bir çalışmayı gerektirmektedir.

5. Çiftçilerin sürece dahil edilmesi: Çiftçilerin gelişim sürecine katılımı hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin gelişimini bir adım daha ileri götürebileceği ifade edilmektedir. Hassas tarımda kullanılan teknolojilerin karmaşık yapıya sahip olmasının, çiftçilerin bu teknolojileri kullanmakta ön yargılı olmalarına neden olmaktadır.

6. Hassas uygulamalı tarım teknolojilerini kullanımı ve yaygınlaştırılması konusunda desteklerin verilmesi: Hassas uygulamalı tarım teknolojileri araştırmalarının çoğu, uzun vadeli perspektiflere sahip güçlü araştırma gruplarının kurulmasını son derece zorlaştıran kısa vadeli hibelerle finanse edilmektedir. Bu durum ise uygulamaların gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Keskin (2013) ise Hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin adaptasyonunu etkileyen temel faktörleri, teknik, ekonomik ve sosyal yönden incelediği çalışmasında, Türkiye'deki tarımsal işletmelerin yoğunluğunun oldukça küçük ölçekli olmasının, hassas uygulamalı tarım teknolojileri gibi pahalı olan yeni ve gelişmiş teknolojilerin adaptasyonu ve yaygınlaştırılmalarını olumsuz yönde etkilediğini ifade etmektedir. Ayrıca, hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin yatırım gerektirmesi, ekonomik olarak işletmeye bir yük getirmektedir. Çiftçiler için ekonomik getirinin çevresel getiriden önce gelmesi, yaygınlaşma ve sürdürülebilirlik için dezavantaj oluşturmaktadır. Buna ilaveten, hassas tarımın yüksek ve ileri teknoloji gerektirmesi ve bunun getireceği yüksek maliyetler yaygınlaştırılmasını engelleyen önemli faktörler arasındadır. Hassas tarımda kullanılan makinelerin geleneksel tarım makinelerine göre çok daha gelişmiş ve teknolojik düzeyi yüksek makinalar olması bu tür makinelerin tasarımı ve imalatı için Ar-Ge çalışmalarına ve farklı alanlardan mühendis istihdamını gerekli kılmaktadır (Özgül, 2009). Bu faktörler dışında altyapı yetersizliği, mevcut teknolojilerinin yabancı menşeli olmasından kaynaklı kullanım

ve maliyet açısından çiftçileri zorlaması, çiftçilerin bilişim okuryazarlığının yetersiz olması, mevcut tarım makinaları parkının oldukça eski olması, ülke koşullarına uygun yabancı ot türlerinin belirlenmesine yönelik veri setlerinin olmaması gibi nedenler hassas tarıma geçiş sürecinde çiftçimizi zorlayan etmenler olarak karşımıza çıkmaktadır (Kirişçi vd., 1999).

## 6. Sonuç

Bu çalışma kapsamında tarımsal üretimde yabancı otların kontrolünde hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanım olanakları ve adaptasyonunda karşılaşılan temel sorunlar araştırılmıştır. Yürütülen çalışmaların incelenmesi sonucunda, hassas tarım ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak yabancı otların kontrolünde de hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanımında da önemli ölçüde gelişmeler meydana geldiği görülmüştür. Hassas uygulamalı yabancı ot kontrol yönteminde, kültür bitkisi içindeki yabancı otlar görüntü işleme yöntemi kullanılarak tespit edilmekte ve tespit edilen bu yabancı otlar üzerine değişken düzeyli herbisit uygulanmakta veya çapalama işlemi yapılmaktadır. Yapılan incelemelerde teknolojinin gelişmesi ile birlikte görüntü işleme tekniklerinin de aynı oranda gelişmesi, yabancı otların tespit edilmesi, takibi, teşhisi ve yoğunluklarının belirlenerek savaşım yöntemlerinin geliştirilmesine katkı sağladığı görülmüştür. Ama, yabancı ot kontrolünde hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanımındaki başarının, diğer bir çok teknolojinin gelişimine sıkı bir şekilde bağlı olduğu ve donanım özellikleri, algoritma karmaşıklığı ve sistem yoğunluğu gibi faktörler, gerçek algılama hızını veya doğruluğunu sınırlandırdığı vurgulanmıştır. Ayrıca, altyapı yetersizliği, mevcut teknolojilerinin yabancı menşeli olmasından kaynaklı kullanım ve maliyet açısından çiftçileri zorlaması, çiftçilerin bilişim okur-yazarlığının yetersiz olması, mevcut tarım makinaları parkının oldukça eski olması, ülke koşullarına uygun yabancı ot türlerinin belirlenmesine yönelik veri setlerinin olmaması gibi nedenlerden dolayı yabancı ot kontrolünde hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılmasının engellendiği ifade edilmektedir. Sonuç olarak, mevcut problemlerin çözümüyle yabancı otların kontrolünde hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin kullanımını yaygınlaştırılarak tarımsal üretimde girdileri gerektiği yerde ve miktarda kullanılması sağlatılacaktır.

## KAYNAKLAR

- Arslanoğlu, M. C., & Yalçın, M., & Arzu Ş. (2016). Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliğinde Hassas Tarım Uygulamaları VII. Bahçe Ürünlerinde Muhafaza ve Pazarlama Sempozyumu, 04-07 Ekim 2016. Alata Bahçe Kültürleri Enstitüsü, Mersin.
- Aygün, İ., Çakır, E., & Erkan F. (2019). Hidrolik sıra üzeri ara çapa makinesinin tasarımında foto elektrik sensörün kullanılabilme olanaklarının belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15 (3), 73-76.
- Berge, T.W., Goldberg, S., Kaspersen, K. & Netland, J. (2012) Towards machine vision based site-specific weed management in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture*, 81, 79–86.
- Blackmore, S. (1994). Precision Farming; An Introduction. *Outlook on Agriculture*. 23(4),275-280.
- Christensen, S., Søgaard, H.T., Kudsk, P., Nørremark, M., Lund, I., Nadimi, E.S. et al. (2009). Site specific weed control technologies. *Weed Research*, 49, 233–241.
- Çolak, E. Ş., & Işık, D. (2021). Yabancı otlar ile mücadelede güncel yöntem: Robotikler. *Turkish Journal of Weed Science*, 24(2),166-176.
- EcoRobotix. (2022). Yabancı Otta Robot Teknolojisi / EcoRobotix. <https://yetistir.net/yabanci-otta-robot-teknolojisi-ecorobotix/>
- Gerhards, R. & Oebel, H. (2006). Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time imageanalysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed Research*, 46, 185–193.
- Gerhards, R., Sanchez, D. A., Hamouz, P., Peteinatos, G. G., Christensen, S., & Fernandez-Quintanilla, C. (2022). Advances in site-specific weed management in agriculture—A review. *Weed Research*, 62:123–133
- Gerhards, R., Sökefeld, M., Schulze, K., Mortensen, D. A. & Kühbauch, W. (1997). Site specific weed control in winter wheat. *Journal of Agronomy and CropScience*, 178, 219-225.
- Gibbons, G. (2000). Turning a farm art into science/an overview of precision farming. <http://www.precisionfarming.com>.
- Goudy, H. J., Bennett, K. A., Brown, R. B., & Tardif, F. J.(1999). Evaluation of site specific weed control in a corn soybean rotational system. *Proceedings of the 1999 National Meeting, Canadian weed science society*. pp. 49-54.
- Grisso, R., Alley, M., Thomason, W., Holshouser, D., & Roberson, G. T. (2011). Precision farming tools: Variable-rate application. Virginia Cooperative Extension. [https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/47448/442-505\\_PDF.pdf](https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/47448/442-505_PDF.pdf)
- Güçdemir, İ.H. (2015). Hassas Tarım ve Değişken Oranlı Uygulamalar. *Türk Tarım*, 225, 28-33.

- Güler, M., & Kara, T. (2005). Hassas uygulamalı tarım teknolojisine genel bir bakış. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 20(3):110-117
- Gürsoy, S., & Özaslan, C. (2014). Weed population dynamics and control in conservation tillage systems. *Persian Gulf Crop Protection*, 3(3), 63-74.
- Gürsoy, S., & Ozaslan, C. (2021). Evaluating the performance of rotary and tine inter row cultivators at different working speeds. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(6): 1255-1267
- Gürsoy, S., Özaslan, C., Urgan, M., Kolay, B., & Koç M. (2014). Farklı toprak işleme yöntemlerinin kullanıldığı mercimek tarımında bazı yabancı ot türlerinin yoğunluğu ile tane verimi arasındaki ilişkinin belirlenmesi. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 1(2), 1-13.
- Horrihan, L., Lawrence, R. S., & Walker P. (2002). How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental health perspectives*, 110(5), 445-456.
- Keskin, M. (2013). Hassas tarım teknolojilerinin adaptasyonunu etkileyen faktörler ve bu teknolojilerin dünyadaki kullanım durumu. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*. 9(4), 263-272
- Keskin, M., & Görücü, S. (2012). Hassas Tarım Teknolojileri. Kitap, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, 212 sayfa
- Keskin, M., Şekerli, Y.E., Say, S.M., & Arslan, A. (2018). Hassas tarım teknolojileri ile sağlanabilecek faydalar. *Tarım Türk Dergisi*, 30, 14-17.
- Kılıç, Y. (2020). Ürün kaybına neden olan otlara İHA çözümü. <https://www.teknolojidenbihaber.com/urun-kaybina-neden-olan-otlara-ih-a-cozum/>
- Kirişçi, V., Keskin, M., Say, S., & Keskin, S. (1999). Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojisi. Nobel Yayıncılık, 1. baskı, Yayın no: 88, Adana.
- Kunz, C., Weber, J. F., & Gerhards, R. (2015). Benefits of precision farming technologies for mechanical weed control in soybean and sugar beet—comparison of precision hoeing with conventional mechanical weed control. *Agronomy*, 5, 130-142.
- Lati, R. N., Rasmussen, J., Andujar, D., Dorado, J., Berge, T. W., Wellhausen, C., Pflanz, M., Nordmeyer, H., Schirrmann, M., Eizenberg, H., Neve, P., Jørgensen, R. N., & Christensen, S. (2021). Site-specific weed management - constraints and opportunities for the weed research community: Insights from a workshop. *Weed Research*, 61, 147-153.
- Lima, A., & Mendes, K. (2020). Variable rate application of herbicides for weed management in pre- and postemergence. In *Pests, Weeds and Diseases in Agricultural Crop and Animal Husbandry Production*, Dimitrios Kontogiannatos; Kourtı, A., Mendes, K.F., Eds.; IntechOpen: London, UK.
- Mortensen, D. A., Johnson, G. A., Wyse, D. Y. & Martin A. R. (1995). Managing spatially variable weed populations. *Proceedings ASA-CSSA-SSA- Soil*

Specific Management for Agricultural Systems, Minneapolis, MI, USA, 397-415.

Öğüt H. (2013). Tarımın İleri Teknoloji İle Buluşma Noktası: Hassas Tarım. <http://www.turktob.org.tr/upload/dergi/14/38-41.pdf>

Özaslan, C., Akin, S., & Gürsoy, S. (2015). Weed Control and Crop Production Practices in Cotton Production in Diyarbakır Province of Turkey. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(1), 41-47.

Özgülven, M. M. (2009). Hassas uygulamalı tarım teknolojilerinin üretim ekonomisi ve ülkemizdeki bazı tarımsal ürünlerin üretiminde kullanılabilir olanakları. Doktora tezi

Rew, L. J., Cussans, G. W., Muggleston, M. A., & Miller, P. C. H. (1996). A technique for mapping the spatial distribution of *Elymus repens*, with estimates of the potential reduction in herbicide usage from patch spraying. *Weed research*, 36, 283-292.

Sabancı, K., & Aydın, C. (2014). Görüntü işleme tabanlı hassas ilaçlama robotu. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20, 406-414.

Stafford, J. V., Bars, L., & Ambler, B. (1996). A hand-held data logger with integral GPS for producing weed maps by field walking. *Computers and Electronics in Agriculture*, 14, 235-247.

Tepe, I. (2014). *Yabancı Otlarla Mücadele*, Sidas Yayıncılık

Türker, U. (2005). Determination of spatial weed variability for precision spraying. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11 (4), 442-447.

Wang, A., Zhang, W., & Wei, X. (2019). A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 158, 226-240.

Westwood, J.H., Charudattan, R., Duke, S.O., Fennimore, S.A., Marrone, P., Slaughter, D.C., Swanton, C., & Zollinger, R. (2018). Weed Management in 2050: Perspectives on the Future of Weed Science. *Weed Science*, 66:275-285.

Wu, Z., Chen, Y., Zhao, B., Kang, X., & Ding, Y. (2021). Review of weed detection methods based on computer vision. *Sensors*, 21, 3647.

“

## Bölüm 7

### MÜSİLAJ VE EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

*Gamze DOĞDU<sup>1</sup>*

*Emine Erdem CİNGÖZ<sup>2</sup>*

”

---

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Gölköy Kampüsü, Bolu, Türkiye. ORCID:0000-0002-0278-8503

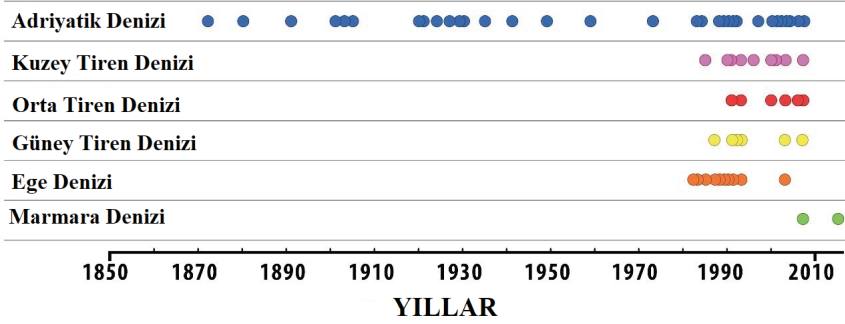
2 Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Manisa, Türkiye. ORCID: 0000-0001-7280-5797

## GİRİŞ

2020 yılında yayımlanan Küresel Risk Raporu ilk beş risk olarak; aşırı hava olayları, iklim eylemi başarısızlıkları, doğal afetler, biyoçeşitlilik azalma ve insan kaynaklı çevresel felaketleri belirlemiştir. Su kirliliği başta olmak üzere su krizleri etkileri açısından ilk on risk arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, su kirliliği özellikle gelişmekte olan ülkelerde önemli bir sorun haline gelmiştir (Kavzoğlu & Goral, 2022). Birleşmiş Milletler tarafından 2016 yılında yürürlüğe giren ve 2030 yılına kadar olan hedefleri kapsayan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin (SDGs) 14. maddesi “Su altında yaşam, denizler ve okyanuslardaki biyolojik çeşitliliğin korunmasını ve bu kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını kapsamaktadır (United Nations, 2019). Coğrafi konumu gereği üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye için deniz alanlarının korunması yakın gelecekte karşılaşılabilecek deniz ekosisteminin bozulmasına ve ticari faaliyetlerin kaybolmasına neden olabilecektir. Türkiye’de, 2020 yılında avlanan deniz balığı miktarı 291 bin 910 ton olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2021). Bu kadar geniş bir balıkçılık yelpazesine sahip denizel ekosistemde, balık çeşitliliğini korumak için deniz suyu kirliliğinin minimum düzeyde tutulması oldukça önem arz etmektedir (Polat vd., 2022). Diğer yandan, küresel iklim değişikliği, buna bağlı oluşan mevsimsel değişiklikler ve antropojenik aktivitelerin etkisiyle deniz sularının kimyasal ve biyolojik yapısı ciddi oranda etkilenir (Goffart vd., 2002). Küresel iklim değişikliği aşırı hava koşullarına neden olan artan ortalama sıcaklıklara, eriyen buzullara, volkanik hareketlere, orman yangınlarına, çölleşmeye, sel ve toprak kaymaları gibi sert sonuçları olan doğal afetlere neden olduğundan oldukça kritik bir öneme sahiptir. Genellikle ötrofikasyon döneminden sonra ortaya çıkan ve stres altındaki fitoplankton topluluklarının neden olduğu “Deniz Salyası” olarak da adlandırılan “Deniz Müsilaj”ı, küresel ısınmanın bir başka zararlı etkisi olup özellikle 2021 yılı Haziran ayında Marmara Denizi’nde çok şiddetli olarak meydana gelen bir çevre problemi olarak hararetli bilimsel tartışmalara neden olmuştur. Marmara Denizi’nin sosyo-ekonomik önemi, Türkiye nüfusunun yaklaşık %20’sinin Marmara Denizi çevresindeki illerde yaşaması ve Türkiye’nin sanayi üretiminin büyük bir bölümünün ağırlıklı olarak İstanbul - İzmit arasında toplanması nedeniyle artmaktadır. Bu deniz, Karadeniz ülkelerinin deniz ticareti açısından bir vasıta olup, deniz istenilen düzeyde olmasa da rekreasyon ve turizm amaçlı kullanılmaktadır (Balkis-Ozdelice vd., 2020). Artan evsel ve endüstriyel kirlilik miktarı, aşırı avlanma ve su ortamlarında istilacı türlerin varlığı, müsilajın ortaya çıkmasındaki diğer önemli faktörler olarak verilebilir (Paerl vd., 2007). Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde üretilen evsel atıkların %70’i ve endüstriyel atıkların %90’ı herhangi bir arıtmadan geçirilmeden kıyı bölgelerine deşarj edilmektedir



(Creel, 2003). Marmara Denizi, insan faaliyetlerinden kaynaklanan evsel ve endüstriyel atık baskısıyla karşı karşıyadır. Özellikle Çanakkale Boğazı ve Boğaziçi ile birlikte Türk Boğazlar Sistemini (TSS) oluşturan Marmara Denizi'nde son yıllarda artan deniz trafiği ve İstanbul Boğazı'ndan gelen Karadeniz kaynaklı kirleticiler bu baskıyı daha da artırmaktadır. Şekil 1'de Marmara Denizi, Ege Denizi, Akdeniz, Tiren Denizi ve Adriyatik'teki Deniz Salyası sıklığı gösterilmiştir.



Şekil 1. Deniz Salyası Görülme Sıklığı (Danovaro vd., 2009'dan uyarlanmıştır.)

Deniz ekosistemleri belli bir yükteki atıkları tolere edebilmekte ve sonrasında deşarj etmektedir. Ancak yarı kapalı denizlerde sürekli olarak gerçekleştirilen bu atık su deşarjları kirletici yükünü arttırmakta ve bu durum artan besin maddeleri ile aşırı alg oluşumuna yol açabilmektedir. Fitoplankton topluluğundaki türlerden çevreye en çok uyum sağlayan türler, baskın hale gelerek deniz suyunun rengini değiştirmek için gelişip bollaşarak alg patlamaları oluşmakta ve sonuçta “kırmızı red-tide“ olaylarını meydana getirmektedirler. Sulardaki devamlı aşırı organik yük artışı sedimentte organik madde birikmesine neden olarak bu organik maddenin ayrışması dip sularında oksijensiz bir ortam sağlayarak suların derinliklerindeki yaşamı olumsuz etkileyebilmektedir (Balkis, 2003; Balkis-Ozdelice vd., 2020). Bu derleme çalışmasında müsilaj oluşumu nedenleri ile birlikte ele alınmıştır. Çalışmada literatürde yer alan araştırmalar ince lenerek müsilajın olası sonuçları, çevreye ve deniz ekosistemine, fitoplankton bolluğuna, tür dağılımı ile beraber istilacı türlerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri derlenerek ileriki çalışmalara çeşitli perspektiflerden ışık tutması amaçlanmıştır.

## MÜSİLAJ

Müsilaj, farklı çevre koşulları ve fitoplankton ve mikroalgler gibi deniz canlılarının bileşiminden oluşan jel benzeri bir yapıdır (Türkistanlı vd., 2021). Deniz ortamındaki müsilajın kaynağı, temel olarak planktonik organizmalar ve bentik filamentli alglerdir (Schiaparelli vd., 2007). Müsilaj oluşum süreci fitoplanktonlar tarafından hücre dışı sekresyonlarla baş-

lar. Bu sekresyonların çoğunluğu heteropolisakkaritlerden oluşur (Svetličić vd., 2011). Salgılandıktan sonra, heteropolisakkarit fibriller deniz karı olarak bilinen zamanla oluşan göreceli olarak büyük kümeler oluşturan mikrojelleri oluşturmaya başlar (Ricci vd., 2014). Parçacıklı organik malzemeler olarak tanımlanan deniz karı, kümelenmiş kütle, köpük birikimi, toprak oluşumu, bulut veya mukuslu kümelenmeler esas olarak bazı jelatinimsi veya kremi parçacıklar veya kütlelerden meydana gelir (Karadurmuş & Sarı, 2022). Bu göreceli olarak büyük kümeler organizmaların bozunması ile ortaya çıkan organik döküntülere, askıda kalan partiküllere, mikroplastik vb. partiküllere yapışarak deniz müsilajı denilen bir kütleleri oluştururlar (Svetličić vd., 2011; Ricci vd., 2014). Müsilaj, deniz organizmaları tarafından stresli koşullar altında üretilen fotosentetik olarak türetilen karbonhidratların fitoplankton eksüdasyonu (örneğin, büyük miktarlarda polisakkarit üreten fosfor sınırlı diatomlar) ve hücre duvarı kalıntılarının ölümü ve ayrışması dahil olmak üzere farklı süreçler yoluyla salınan yüksek oranda koloidal özelliklere sahip ekzopolimerik bileşiklerden yapılıdır (Danovaro vd., 2009). Yüzen, yapışkan ve müsilajlı büyük kümeler, santimetreden kilometreye değişen büyüklükleri ve sudaki göreceli konumları ile birlikte şekilleri açısından on özel tipe ayrılan farklı formlar, renkler ve boyutlarda bulunabilir (Precali vd., 2005). Müsilaj üç farklı tip ve şekillerde ortaya çıkabilir: Beyaz müsilaj olarak adlandırılan birincisi, dağılmış müsilaj anlamına gelir. Beyaz zambak suya benzer bir spektral yansıtma eğrisine sahip daha küçük kümelerden oluşur. Sarı müsilaj olarak adlandırılan ikincisi, birikmiş müsilajı ifade eder. Sarı müsilaj, rüzgâr ve akıntılarının yardımıyla biriken yaşlanan agregalardan oluşur. Kahverengi müsilaj olarak adlandırılan üçüncüsü, yaşlanan daha yoğun birikimlerle birlikte yüksek organik madde konsantrasyonuna sahip müsilajı ifade eder (Tuzcu Kokal vd., 2022). Türkiye’de deniz salyası ilk olarak Marmara Denizi’nin kuzeydoğu kıyısında Ekim 2007 sonbaharında İzmit ve Erdek kıyılarında görülmüş (Tüfekçi vd., 2010) ve sonraki yıllarda rapor edilmiştir. Gözle görülmeyen oluşumun büyük bir çevre felaketi yarattığı Ocak 2008’de rapor edilmiş olup, salyalı yapının İzmit Körfezi ve Erdek kıyılarında ipliksi yapılar oluşturduğu kaydedilmiştir (Tüfekçi vd., 2010). Müsilajın nedenleri; deniz kenarlarında nüfus artışı ve sanayileşme, deniz organizmalarının aşırı çoğalması, küçük balık türlerinin tamamen yok olması, uygun tarım uygulamalarının olmaması, evsel ve endüstriyel atık suların yetersiz arıtımı, şehir atık sularının arıtılmadan denize deşarj edilmesi, fabrika atıklarının suya karışması, iklim değişikliği ve küresel ısınma olarak sıralanabilir (TMMOB, 2021; ENV, 2021; Balkis vd., 2011; Artüz vd., 2007). Aynı zamanda deniz trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde gemilerden sızan petrol ve diğer atıklar da yüksek düzeyde deniz kirliliği sorununa neden olabilmektedir. Deniz kirliliğindeki bir diğer önemli faktör de ağır sanayidir. Bu sanayi bölgelerinin çoğu atıklarını herhangi

bir arıtma olmaksızın doğrudan deniz suyuna bırakılmaktadır. Ayrıca Karadeniz ve Akdeniz'den gelen akıntıların Marmara Denizi'nde doğrudan buluşması da bu iç denizlerde kirleticilerin çoğalmasına neden olmaktadır (Polat vd., 2022). Bu birçok tetikleyicinin oluşturduğu, ekonomik kayıplara neden olan müsilaj, balıkçılık ve turizm yoluyla ekolojik ve sosyolojik kayıplara neden olmaktadır (Altuğ vd., 2010; ENV, 2021). 2007-2008 yılları arasında Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı'nda kaydedilen müsilaj sorunu ilk kez 2021'in ilk iki çeyreğinde balıkçılığı, turizmi ve sosyal hayatı etkileyecek kritik düzeye ulaşmıştır (Aktan vd., 2008; Tüfekçi vd., 2010; Balkis vd., 2011; Yentür vd., 2013).

Kötü kokulu kahverengimsi kırmızı yüzey sularına ve müsilaj oluşumuna neden olan fitoplankton patlamaları, potansiyel tetikleyici unsurlar olarak evsel ve endüstriyel deşarjlarla kamuoyunun dikkatini çekmektedir. Müsilajın varlığı, üretilen kötü koku ve müsilajın mayo vb. giysilere yapışması nedeniyle deniz suyunu yüzmek için uygun hale getirmez. Temelde müsilaj olaylarının en önemli sebepleri arasında antropojenik ve doğal nutrient (azot ve fosfor) girişinin artışı sonucu oluşan ötrofikasyon ve iklim değişikliğinin neden olduğu sıcaklık artışı sonucunda deniz suyunun fizikokimyasal özelliklerinin değişmesidir (Danovaro vd., 2009). Genel olarak müsilaj olayı, deniz suyu organik madde üretimi ile meteorolojik ve oşinografik koşullar arasındaki bağlantı etkileriyle ilgilidir (De Lazzari vd., 2008). Müsilaj olaylarının sürekliliği için sıcaklık değişimleri, rüzgâr hızı ve yağış miktarı en etkili faktörlerdir (Yentür vd., 2013). Yoğun üretim süreçleri ve kararlı meteorolojik koşullar mevcut olduğunda, su sütunu boyunca stabilite ve su sıcaklığındaki ani artış, müsilaj olaylarının önde gelen nedenleri olarak verilebilir (Gigliotti, 2013; Degobbis vd., 1999). Deniz sıcaklığı çok kuvvetli olarak müsilaj oluşumunu etkilemektedir. Genitsaris vd. (2019), 2017 ve 2018 yılları arasında Selanik Körfezi'nde artan deniz suyu sıcaklığı ile müsilaj üreten fitoplankton bolluğu arasında bir ilişkiyi ortaya koymuştur. Deniz suyu sıcaklığındaki artışın diatomların ve dinoflagellatların hücre yoğunluklarını artırabileceği bilinmektedir (Koray, 1985). Balkis-Ozdelice vd. (2020) çalışmasında, deniz suyu sıcaklığı, balıklarda baskın grup olan dinoflagellat türlerinin sayısı ile sadece pozitif bir korelasyon göstermiştir ( $p < 0.05$ ). Çalışmada deniz suyu tuzluluğu ile negatif ( $p < 0.01$ ) ilişkili olan deniz suyu sıcaklığı, baskın grup olan dinoflagellat tür sayısı ile pozitif yönde ( $p < 0.05$ ) ilişkili bulunmuştur. Yüzeyde veya su kolonunda yüzen deniz müsilajı uzun bir yaşam süresi (2-3 aya kadar) gösterebilir ve deniz tabanına yerleştikten sonra bu büyük kümeler sedimentleri (dip tortularını) kaplayarak bazı durumlarda kilometrelerce uzanır ve hipoksik ve/veya anoksik koşullara neden olur (Precali vd., 2005). Organik maddenin bozunma süreci oksijeni tüketimine dayanmakta olup, bu nedenle hipoksi ve hatta anoksi meydana ge-

lebilmektedir. Bunun sonucunda oluşan müsilaj trofik bozulmaya, oksijen yetersizliğine ve kitlesel ölümlere neden olur (Gray vd., 2002). Türkiye’de ilk müsilaj, Marmara Denizi’nin kuzeydoğu kesiminde 2007 sonbaharının ortalarında gözlenmiştir. O dönemde ne hipoksi ne de anoksi ve balık ölümleri kaydedilmemiş, ancak yoğun agregaların çökmesinin bentik ekosistem üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu fark edilmiştir (Aktan vd., 2008). Son zamanlarda müsilajın zamanla anoksiye yol açması gibi olumsuz etkileri nedeniyle mercanlar, mercanlar ve deniz çayırı yatakları gibi deniz bentik toplulukları üzerindeki en zararlı etkiler arasında sıklıkla ilişkilendirilmektedir (Aktan vd., 2008; Topçu & Öztürk 2015; Piazzi vd., 2018). Diğer yandan, müsilaj olaylarının kabuklular, yumuşakçalar, makroalgler, denizkestaneleri, gorgonlar gibi birçok bentik organizma ve balık popülasyonları üzerinde olumsuz etkileri vardır (Özalp, 2021). Marmara Denizi’nde diatomların ve çevre koşullarının müsilaj oluşumu ile ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Aktan vd., 2008; Tüfekçi vd., 2010; Balkis vd., 2011). Yıllar sonra, Kasım 2020’de Marmara Denizi’nde müsilaj yeniden ortaya çıkmış ve Nisan 2021’de yüzeyde toplanmaya başlamıştır. Müsilaj olayı, Marmara Denizi’ndeki denizcilik faaliyetlerini balıkçılık faaliyetlerini ve bentosları (Yıldız & Gönülal, 2021; Topçu & Öztürk, 2021; Uflaz vd., 2021) olumsuz etkilemiştir.

### İSTİLACI TÜRLER ve ÇEVRESEL ETKİLERİ

Fitoplanktonlar, küresel birincil üretimin yaklaşık yarısını oluşturmakta olup balıkçılık verimi ve sürdürülebilir deniz ekosistemleri açısından deniz yaşamının kaderini etkilemektedir (Boyce vd., 2010). Evsel ve endüstriyel deşarjlar, denizlerin besin açısından zenginleşmesine ve sonuç olarak, birçok kıyı bölgesinde biyoçeşitlilik ve bolluk açısından fitoplankton bileşiminde değişikliklere neden olur (Smith vd., 1999). Fitoplankton dinamikleri, allojenik (sıcaklık, tuzluluk vb.) ve otojenik (besinler, su kalitesi vb.) faktörler tarafından kontrol edilir (Smayda, 1980). Belirli koşullar altında, bazı mikroalg türleri yüksek biyokütle ve/veya toksik hücre çoğalmaları oluşturarak su ekosistemlerinin çeşitli trofik seviyelerinde zararlı etkilere neden olabilir (Kudela vd., 2015).

Zararlı fitoplankton, deniz kıyılarının ve iç bölgelerin sürdürülebilir gelişimi için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu alg patlaması sonucu oluşan müsilajın, belirli iklim koşullarının ve organik maddenin birikmesi olduğu ifade edilmiştir (Innamorati vd., 2001; Zingone vd., 2000). Müsilaj aynı zamanda fitoplanktonik birincil üreticiler ile heterotrofik bakteri topluluğu arasındaki değişimin bir yansıması olarak kabul edilir; bu, birincil üretim ile heterotrofik kullanım arasındaki dengesizliğe işaret ederek organik materyalin birikmesine neden olur (Rouaud vd., 2019). Diğer su canlıları veya insanlar üzerinde zararlı etkileri olabilen mikroalgler “zararlı algler” olarak adlandırılır. Bu, diatomlar, dinoflagellatlar, haptofit-

ler ve siyanobakteriler gibi bir dizi farklı alg taksonunu kapsar (Kraberg vd., 2010). Zararlı alg patlamaları (HAB'lar) iki farklı organizma grubuyla sınıflandırılır: deniz ürünlerini kirletebilen veya balıkları öldürebilen toksin üreticileri ve anoksiye neden olabilen yüksek biyokütle üreticileri. Dünyanın birçok kıyı bölgesi genellikle kızıl gelgitler olarak adlandırılan HAB'lardan etkilenir (Şekil 2). HAB'lar, acı ve tatlı su ekosistemlerinin yanı sıra kıyı deniz ekosistemlerinde en yaygın olanıdır. HAB olayları tipik olarak deniz yüzeyinde veya su sütununda toksik veya başka şekilde zararlı mikroalglerin hızla çoğalmasıyla ilişkilidir. Çok toksik olanların düşük hücre sayıları bile planktonik türler veya bentik substratlar üzerindeki hücre birikimleri sorunlara neden olabilir (Anderson vd., 2012).



**Şekil 2.** Marmara Denizi'nde gözlenen dinoflagellat *N. scintillans*'ın neden olduğu kızıl gelgit (Özsoy vd., 2016)

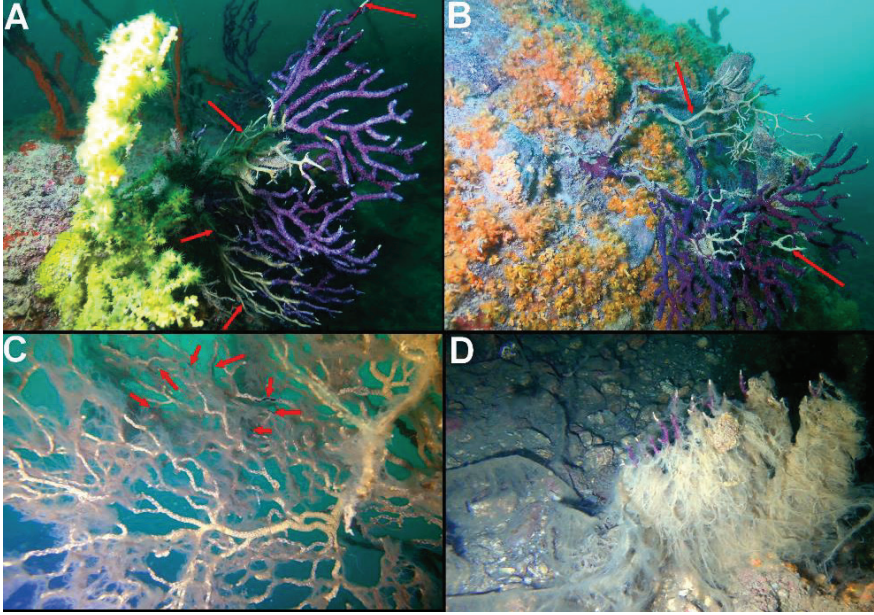
Alg patlamasının en temel problemi, belli türler tarafından toksinlerin üretilmesidir (özellikle dinoflagellatlar). Siyanobakteriler de dahil olmak üzere zararlı alg patlamaları, suda renk değişikliği, ışık geçişinin zayıflaması, aşırı doymuş çözünmüş oksijen ve müsilaj oluşumları ekosistem üzerindeki önemli etkilerdir (Taş & Okus 2011; Ergül vd., 2014, 2015; Taş, 2015; Taş & Yılmaz 2015; Aktan vd., 2008; Tüfekçi vd., 2010; Balkis vd., 2011). Farklı türdeki fitoplankton toksinlerinin balıklar, omurgasızlar ve insanlar üzerindeki zararlı etkileri ve ayrışan alg biyokütlesinin neden olduğu hipoksi, alg çoğalmasıyla ilişkili en önemli problemler arasındadır (Anderson vd., 2012). Devam eden iklim değişikliğine paralel olarak alg patlamalarının sıklığı ve büyüklüğündeki artış, çevre ve halk sağlığı üzerindeki HAB ile ilgili etkileri artırabilir (Hallegraeff, 2010). HAB tarafından üretilen toksinler, suda yaşayan besin zincirleri içinde aktarılabilir. Toksin içerikleri sudaki azot ve fosfor konsantrasyonlarına bağlı olarak

değişir. HAB türlerinde hücre içi toksin içeriğinin, hücrelerin dengesiz azot ve/veya fosfor koşulları altında büyüdüğünde arttığı gösterilmiştir (Granéli, 2004). Su sütunundaki düşük yoğunluklu toksik algler bile insanlarda Paralitık Kabuklu Deniz Zehirlenmesi (PSP), Amnezik Kabuklu Deniz Zehirlenmesi (ASP), Nörotoksik Kabuklu Deniz Zehirlenmesi (NSP), Diyaretik Kabuklu Deniz Zehirlenmesi (DSP), Ciguatera Balık Zehirlenmesi (CFP) ve Azaspirasit Zehirlenmesi (AZP)'ne neden olabilmektedir. PSP, kabuklu deniz hayvanı ve planktivor yemekten kaynaklanabilirken, DSP, NSP, AZP ve ASP kabuklu deniz hayvanı yemekten, ciguatera tropikal balık yemekten kaynaklanır. Başka bir toksin grubu (Ichthyotoxins), solunumlarını engelleyerek balıkları seçici olarak öldürür (Hallegraeff, 2002).

İzmit Körfezi'nde *Noctiluca scintillans*'ın (*N. miliaris* olarak rapor edilmiştir) neden olduğu ilk HAB olayı Artuz & Baykut (1986) tarafından bildirilmiştir. Şubat 1999 ile Eylül 2000 arasında yapılan başka bir çalışmada, İzmit Körfezi'nin tüm örnekleme döneminde yoğun dinoflagellat (esas olarak *Prorocentrum sp.*) baskın kümelenme ile karakterize edildiği öne sürülmüştür (Aktan vd., 2005). Son araştırmalarda, İzmit Körfezi'nde yoğun dinoflagellat kümelenmeleri bildirilmiştir. *Prorocentrum micans* Mart ayında yoğun kümelenerek 2014 ve Mayıs 2015 tarihlerinde suda kahverengimsi-kırmızı renk değişikliğine neden olmuştur. Aynı *Noctiluca scintillans*'ın kümelenmesi, 2014 yılının Nisan ayının ortalarında meydana gelerek suda soluk kırmızı renk değişikliğine neden olmuştur (Ergül vd., 2014; 2015). Yakın tarihli bir çalışmada, Marmara Denizi'nde mikroalglerin neden olduğu bir biyotoksin, domoik asit (DA), diatom cinsi *Pseudo-nitzschia*'nın ürettiği anevrotoksin Amnezik Kabuklu Deniz Zehirlenmesine (ASP) neden olduğu tespit edilmiştir (Dursun vd., 2016). Yapılan bir başka çalışmada, gözlemlenen potansiyel olarak zararlı türler arasında en yüksek bolluğa ulaşan diatomlardan *C. closterium* ve *Pseudo-nitzschia sp.* ve en yüksek bolluğa ulaşan dinoflagellatlardan *G. fragilis* Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumunu etkilemiştir (Tufekci vd., 2010; Balkis vd., 2011). Ayrıca diğer baskın tür olan *P. micans* kırmızı gelgit olayına neden olması ve çalışmadaki maksimum bolluğu ( $3.8 \times 10^4$  hücre/L) olmasına rağmen suda renk değişimine neden olmamıştır. Müsilaj olayından sorumlu *G. fragilis*'in en yüksek bolluğu, Büyükada'da  $1.8 \times 10^4$  hücre/L (Bodeanu vd., 1998) ve Erdek Körfezi'ne yakın değerdeki Bandırma Körfezi'nde  $1.2 \times 10^4$  hücre/L (Balkis & Toklu-Alicli, 2014) olarak bulunmuştur.

Müsilajın gerek İstanbul Boğazı'nda gerekse Çanakkale Boğazı'nda deniz türlerinin larvaları için kritik besin kaynakları olan zooplankton gruplarının yoğunluğunu önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir (Okyar vd., 2015; Yentür vd., 2013). Ayrıca, Aralık 2020 ile Mart 2021 arasında yapılan araştırmalar, müsilajın Çanakkale Boğazı için gerekli nesli tükenmek-

te olan mercan *Cladocora caespitosa* ve Eceabat ve Nara bölgelerindeki mercan zengini habitatlar üzerinde Şekil 3'de de gösterildiği gibi mercan ölümlerine neden olan etkilerini bildirmiştir (Özalp, 2021). Haziran 2007'de Marmara Denizi'nin kuzeydoğusunda müsilaj yapısı gözlemlendiğinde müsilaj yaptığı bilinen *Gonyaulax hyalina* ve *Thalassiosira gravida* türlerinin baskın olduğu gözlemlenmiştir (Taş vd., 2020).



**Şekil 3.** Müsilajın mercan habitatları üzerindeki etkilerinin izlenmesi. A-B: 4 Şubat 2021'de kaydedilen *Paramuricea clavata*'nın bazı dallarının ölümü (Eceabat bölgesi); C-D: 3 Mart 2021'de kaydedilen ikinci müsilaj olayı ve *Savalia savaglia* kolonilerinin (Eceabat bölgesi) bazı dallarında ölüm (Özalp, 2021).

Ayrıca Ekim 2007-Şubat 2008 tarihleri arasında Marmara Denizi ve İzmit Körfezi'nde yapılan araştırmalarda müsilaj yapısında baskın türlerin *Gonyaulax fragilis*, *Skeletonema costatum* ve *Cylindrotheca closterium* olduğu bildirilmiştir (Tufekci vd., 2010). 2008 yılında Büyükaada (Marmara Denizi) kıyılarında yapılan bir başka çalışmada ise *Clindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia sp.*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira rotula* ve *Gonyaulax fragilis* türlerinin müsilaj yapısında baskın türler olduğu tespit edilmiştir (Balkış vd., 2011). Müsilajın fitoplankton topluluğu üzerindeki gözlemler, müsilaj kümelerine *Pseudo-nitzschia sp.*, *Skeletonema costatum*, *Gonyaulax hyalin*, *Cylindrotheca closterium* ve *G. fragilis* dahil olmak üzere çeşitli türlerin hakim olabileceğini göstermiştir. Yakın za-

manda Marmara Denizi'nde yapılan bir çalışmada, *Cylindrotheca closterium*, *Pseudonitzschia sp.*, *Thalassiosira rotula*, *Skeletonema costatum* ve *Gonyaulax fragilis* gibi ökaryotik planktonların müsilaaj oluşumuna katkıda bulunduğu bulunmuştur (Balkis-Ozdelice vd., 2021).

Bilimsel araştırmalar Marmara Denizi'nde daha çok yapılmıştır. Literatür çalışmalarından bazıları; Marmara Denizi, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı yoluyla Karadeniz ve Ege Denizi'ne bağlanan küçük, yarı kapalı bir havzadır (11.350 km<sup>2</sup>). Marmara Denizi'nin belirgin şekilde farklı iki su kütlesi vardır; üst katman (0-25m) acımsı (~22 tuzluluk) ve Karadeniz kökenlidir, alt tuzlu (~38 tuzluluk) katman ise Akdeniz kökenlidir. Birbirinden belirgin şekilde farklı olan bu iki su kütlesi, bir ara yüz tabakası ile birbirinden ayrılır (Beşiktepe vd., 1994). Üst tabakanın hidrografisi, Karadeniz girişiyle güçlü bir şekilde ilişkilidir ve havzanın kimyasını önemli ölçüde etkiler (Polat & Tuğrul, 1995). Üst öfotik bölgede, fotosentetik aktiviteyi yansıtan mevsimsel değişimlerle besin konsantrasyonları nispeten düşüktür. Birincil üretim, daha az tuzlu üst katmanda her zaman daha yüksekken, alt katman suları, öfotik bölgenin ara katman tarafından sınırlandırılmasının bir sonucu olarak her zaman besin açısından zengindir (Polat vd., 1998). 2021 yılında Marmara Denizi'nde gerçekleşen müsilaaj döneminde, Ergül vd. (2021), Marmara Denizi'nin ekolojik kalitesinin önemli ölçüde düştüğünü ve fosfat konsantrasyonlarının görece arttığını bildirmiştir. Kalın müsilaaj tabakası, yüzeyi kaplayarak su ile atmosfer arasındaki etkileşimi sınırlar ve sudaki oksijenin tükenmesine neden olabilir. Bu, balıkların ve diğer organizmaların yaşayamayacağı anoksik veya oksijeni tükenmiş bir ortam yaratır (Sha vd., 2021). 3 mg/L'nin (yaklaşık %28-32) altındaki çözülmüş oksijen seviyeleri genellikle hipoksik kabul edilir ve deniz organizmaları ve deniz ortamları için bir endişe kaynağıdır.

Karadurmuş & Sarı (2022), çevresel, hidrodinamik ve hidromorfolojik özelliklerin, Erdek ve Bandırma Körfezlerini müsilaaj ve bunun olumsuz etkilerine duyarlı hale getirdiğini vurgulamıştır. Marmara Denizi'ndeki İzmit, Gemlik, Erdek ve Bandırma havzalarındaki deniz ekosistemi, yetersiz akış nedeniyle mevcut basınçlara karşı hassastır (Gerin vd., 2013). Müsilaaj öncelikle yetersiz akış ve düşük eğim ile karakterize edilen sığ alanlarda (Erdek Körfezi ve Bandırma) Şekil 4'de verildiği gibi yoğunlaşmış ve bu alanlarda uzun süre varlığını sürdürmüştür. Erdek Körfezi'nin sığ sularında (0-2 m) en baskın olan *Atherina sp.* yavruları tarafından üreme alanı olarak kullanılmaktadır (toplam balık sayısının %47,7'si) (Keskin, 2007). *E. encrasicolus* ve *S. pilchardus* *Atherina* cinsinden sonra bölgede yaygın olan türlerdir (Keskin, 2007).



Özalp vd. (2021), gelişim düzeylerini, sağlık durumlarını ve ölümden sorumlu olası tehditleri belirlemek için mercanların izlenmesine yönelik düzenli araştırmalar sırasında, Aralık 2020’de Çanakkale Boğazı’ndaki (Çanakkale Boğazı) en büyük mercan habitatlarında büyük bir müsilaj olayı tespit edilmiştir. Müsilaj olayının mercanlar üzerindeki etkisi ağırlıklı olarak boğazın Avrupa ve Anadolu yakasında olmak üzere iki istasyonda 39-51 m derinlik seviyesinde gözlenmiştir. Sadece Eceabat bölgesinde (Avrupa yakası) genişleyen bulut ve flock tipi agregalar içeren masif bir müsilaj tespit edilmiştir. Mevcut rapor, Akdeniz’in en kuzeyindeki bu zarar verici olayın ilk çevresel gözlemidir. Masif müsilajın önceki kayıtları gözden geçirilmiş ve 2008’deki masif müsilaj olayının ilk derin infralitoral kaydı da açıklanmıştır.

Taş vd. (2020) çalışmasında, Ocak 2004’ten Aralık 2007’ye kadar kuzeydoğu Marmara Denizi’ndeki fitoplankton bileşimindeki zamansal değişimler, fiziko-kimyasal değişkenlerle birlikte incelenmiştir. Çalışma süresince potansiyel olarak toksik türlerin oluşumu ve bir müsilaj olayı da değerlendirilmiştir. Mikro-fitoplankton topluluğunda 11’inin potansiyel olarak toksik olduğu bilinen 132 takson tanımlanmıştır. En bol bulunan türler, diatom *Pseudo-nitzschia sp.* ve dinoflagellat *Prorocentrum micans*’dir. Ekim 2007’de bir müsilaj oluşumunun başlangıcı gözlemlenmiş ve bu olay sırasında fitoplankton topluluğuna *Gonyaulax hyalina* (*G. fragilis* olarak bildirilmiştir) ve *Thalassiosira gravida* (*T. rotula* olarak bildirilmiştir) gibi tanınmış müsilaj üreticileri hâkim olmuştur.



**Şekil 4.** Marmara Denizi’ndeki su yüzeyindeki müsilaj örnekleri, a) 23 Nisan 2021, Misakça sahili ve b) 25 Mayıs 2021 tarihinde Erdek Limanı (Karadurmuş & Sari, 2022).

Ozbayram vd. (2022) çalışmasında Marmara Denizi ve Kuzey Ege Denizi'nde geliştirilen deniz müsilajının bakteri çeşitliliğini metabarkodlama ile araştırmıştır. Bu amaçla, beş farklı örnekleme lokasyonundan müsilaj örnekleri toplanmış ve bakteri topluluk yapısı, 16S rRNA gen amplikon dizilimi ile analiz edilmiştir. Sonuçta, *Proteobacteria* ve *Bacteroidetes* türlerinin hâkim olduğu çeşitli bir bakteri topluluğu vurgulanmıştır. pH düzeyi ile *Campylobacteriales*, *Clostridiales* ve *Vibrionales* bollukları arasında negatif ve anlamlı bir korelasyon saptanırken, toplam fosfor (TP) ve *Campylobacteriales* arasında güçlü bir pozitif korelasyon saptanmıştır.

Balkis-Ozdelice vd. (2020) çalışmasında, Kasım 2006'dan Ağustos 2008'e kadar Erdek Körfezi kıyı sularındaki fitoplankton topluluklarının mevsimsel değişimleri bazı çevresel değişkenlerle ilişkili olarak incelemiş ve 6 farklı alg grubundan 95 tür tespit etmişlerdir. Ayrıca Türkiye kıyı sularında iki tür, Marmara Denizi için bir tür ilk kez kayıt altına alınmıştır. Maksimum toplam fitoplankton bolluğu  $1.99 \times 10^5$  hücre/L olurken, Mayıs 2008'de *Pseudonitzschia sp.* o ayın en baskın türü olarak tespit edilmiştir ( $1.52 \times 10^5$  hücre/L). *Pseudo-nitzschia sp.*, *Prorocentrum micans*, *Gymnodinium sp.* ve *Prorocentrum scutellum* örnekleme döneminde diğer türlere göre baskındır.

Yılmaz vd. (2021) çalışmasında Çanakkale Boğazı'nda (Dardanel) müsilaj oluşumu sırasında planktonik toplulukların kompozisyonları metagenomik yaklaşımla araştırılmıştır. Müsilaj örnekleri, müsilajın yoğun görüldüğü Mayıs 2021'de Çanakkale Boğazı'nın üç farklı istasyonunda toplanmıştır. Asya ve Avrupa kıtalarını birbirinden ayıran ve Denizi ile Marmara Denizi'ni birbirine bağlayan Çanakkale Boğazı, uluslararası gemiler için önemli bir su yoludur. Boğazda iki büyük akıntı vardır. Birincisi, Karadeniz'den İstanbul Boğazı'ndan Marmara Denizi'ne ve Çanakkale Boğazı'ndan Ege Denizi'ne akan yüzey akıntısıdır. İkincisi ise Ege Denizi'nden Karadeniz'e akan alt akıntıdır (Artüz vd. 2007). Marmara Denizi'nin kirlilik yükü katlanarak artarak Çanakkale Boğazı'nı da etkilemektedir. Bu çalışma, Türkiye'de meydana gelen bir müsilaj olayı sırasında Çanakkale Boğazı'nda planktonik toplulukların durumunu netleştirmiştir. Sonuç olarak, en baskın cinsin müsilaj üretme kabiliyeti olduğu bilinen *Alexandrium* olduğu belirlenmiştir. Bazı *Alexandrium* türleri toksin üretebilirken, insan sağlığı üzerinde ciddi etkilere neden olabilir ve çift kabuklu, karides ve balık ölümlerine yol açabilir.

Yurga (2022) çalışmasında, Marmara Denizi'nde 2020 yılından itibaren meydana gelen çevre felaketinin öneminin büyüklüğü ve güncelliği sebebiyle Ocak-Temmuz ayları arasında Marmara'da müsilajın görüldüğü kıyı bölgelerinden toplanan örnekler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre deniz salyası içerisinde 5 sınıf belirlenmiştir. Oluşumun yapışkanlığını sağlayan müsilaj salgılayan alg türleri de deniz salyasında tespit edil-

miştir. Bunlar 1 dinoflagellat, 2 Prymnesiosid, 5 diatom ve 2 siyanobakteri türüdür. Deniz salyasında 8 toksik planktonik tür tespit edilmiştir: PSP zehirlenmesine yol açan 1 ve DSP zehirlenmesine yol açan 3 tür dinoflagellat; denize ihtiyotoksin salan 1 tür prymnesiofisid, ASP zehirlenmesine yol açan 3 tür diyatomdur.

Tüfekçi vd. (2010) çalışmasında, fitoplanktonun bileşimi, bolluğu ve karşılık gelen çevresel koşullar, Marmara Denizi'ndeki müsilaj olayı sırasında (Ekim 2007-Şubat 2008) incelenmiştir. Müsilaj üreticilerinden *Gonyaulax fragilis*, *Skeletonema costatum* ve *Cylindrotheca closterium* bol bulunan türler olarak belirlenmiştir. *Thalassiosira rotula* türü de çok sayıda tespit edilmiştir. *G. fragilis*'in maksimum sayısı 83.600 hücre/L olarak gözlenmiştir.

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Müsilaj hem küresel ısınmanın hem de insan kaynaklı deniz kirliliğinin neden olduğu bir çevresel tahribattır. Türkiye'de en yüksek nüfusun yaşadığı iller Marmara Denizi çevresinde yer almakta olup yoğun tarımsal ve endüstriyel faaliyetler buralarda kümelenmiştir. Bu nedenle noktasal ve yayılı kaynaklardan denize sürekli azot, fosfor ve karbonlu atıkların deşarjı gerçekleşmektedir. Havza içerisinden akarsularla kirlilikler taşınırken Karadeniz'den Marmara Denizi'ne kirliliğinin %50'sini oluşturacak miktarda taşınım gerçekleşmektedir. Kirleticiler sedimentte, suda ve deniz ekosisteminde birikerek bazı fitoplankton ve balık türlerinin tür ve sayılarında azalmalara neden olarak suların ekolojik dengesini bozmaktadır. Bazı zararlı istilacı türler, müsilajı tetikleyen bazı fitoplankton türlerinin aşırı artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, alg çoğalma mekanizmalarının ve ekosistem üzerindeki zararlı etkilerinin araştırılması, etkili çevresel faktörlerin değerlendirilmesi ve Marmara Denizi çevresindeki İzmit Körfezi vb. gibi nüfuslu ve sanayileşmiş bir şehre yakın kapalı bir deniz ekosisteminde gelecekteki sorunların çözülmesi için çok önemli olacaktır. Bu, besin giderme kapasitesi, arıtılmadan atık suların deşarjlarının önlenmesi, yasa dışı sintine tahliyesi ve tarımsal gübre kullanımının kontrol edilmesi dahil olmak üzere atık su arıtma teknolojisindeki iyileştirmelerle sağlanabilir. Türkiye'de müsilajla mücadele ilk resmi adım, 6 Haziran 2021'de Kocaeli'nde düzenlenen Marmara Denizi Eylem Planı Koordinasyon Toplantısı'nda gerçekleşmiştir. Toplantı sonunda hazırlanan bildiriye, Marmara Denizi koruma bölgesi ilan edilmiştir. Atık suları akarsulara deşarj eden sanayi tesislerinin denetlenmesi ve biyofiltre takılması, boğazda oluşabilecek sorunlar ve balıkçılık sektörünün yaşadığı sıkıntılar ile hayalet ağların ve deniz salyasının toplanmasına ilişkin izleme eylem planları başlatılmıştır. Marmara Belediyeler Birliği, 19 Nisan 2022 tarihinde gerçekleştirilen Marmara Denizi Eylem Planı Deniz Salyası Bilim ve Teknik Kurul toplantısında deniz salyasının deniz yü-

zeyinden toplandıktan sonraki durumu ve 22 maddelik acil eylem planı hazırlanmıştır. 29 Haziran 2021 tarihinde TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde (MAM) yürütölen Marmara Denizi'nin Korunması Eylem Planı kapsamında deniz salyasıyla mücadele ve süreç tüm yönleriyle ele alınmıştır. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA), Marmara Deniz Ekolojisi; Marmara Deniz Ekolojisi adlı 249 sayfalık bir çalışma hazırlamış; çalışmada deniz salyası oluşumu, etkileşimleri ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Sonuç olarak, azot ve fosfor kaynakları doğru teknikler ile bertarafı sağlanamadığı takdirde müsilaj oluşumunun artmaya devam etmesi kaçınılmaz bir sonuç olarak karşımıza çıkacaktır. Müsilaj sorununun ortamdaki azot ve fosfor yükünün izlenmesi, disiplinler arası yaklaşımla üzerine gidilmesi, deniz suyu kalite değerlerinin mevsimsel olarak tekrarlanarak değerlendirilmesi ile anlaşılabilir. Bu süreçte akademisyenler, bilim uzmanları, ilgili sektör yöneticileri ve toplumsal işbirliği ile üretilen çözüm önerileri benimsenerek uygulamaya konulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Aktan, Y., Dede, A. & Ciftci, P.S. (2008). Mucilage event associated with diatom and dinoflagellates in Sea of Marmara, Turkey. *Harmful Algae News*, No 36.
- Aktan, Y., Dede, A., & Çiftçi, P.S. (2008). Mucilage event associated with diatoms and dinoflagellates in Sea of Marmara. Turkey, an IOC Newsletter on Toxic Algae and Algal Blooms, *The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO*, 36, 1–3.
- Aktan, Y., Tüfekçi, V., Tüfekçi, H., & Aykulu, G. (2005). Distribution patterns, biomass estimates and diversity of phytoplankton in Izmit Bay (Turkey). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64(2-3), 372-384.
- Altuğ, G., Çardak, M., & Çiftçi, P. S. (2010). Marmara Denizi 'nde Müsilaj oluşumu ve Bakteriyel Etkileşimler. *Marmara Denizi*, 456-463.
- Anderson, D. M., Cembella, A. D. & Hallegraeff, G. M. (2012). Progress in understanding harmful algal blooms (HABs): Paradigm shifts and new technologies for research, monitoring and management. *Annual review of marine science*, 4, 143.
- Artüz, İ. & Baykut, F. (1986). Hidrografi in terms of the scientific study of the sea of Marmara and water pollution. *Istanbul University Centre for Environmental Studies publications*, No.3.
- Artüz, M.L., Okay, I.A., Mater, B., Artüz, O.B., Gürseler, G. & Okay, N. (2007). Bilimsel Açıdan Marmara Denizi. *İstanbul: Union of Turkish Bar Associations publication*.
- Balkis, N. & Toklu-Alıçlı, B. (2014). Changes in phytoplankton community structure in the Gulf of Bandırma, Marmara Sea in 2006-2008. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(12), 2976-2983.
- Balkis-Ozdelice, N., Durmuş, T., & Balcı, M. (2021). A preliminary study on the intense pelagic and benthic mucilage phenomenon observed in the Sea of Marmara. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(4), 414-422.
- Balkis, N. (2003). Seasonal variations in the phytoplankton and nutrient dynamics in the neritic water of Büyükçekmece Bay, Sea of Marmara. *Journal of Plankton Research*, 25, 703-717.
- Balkis, N., Atabay, H., Türetgen, I., Albayrak, S., Balkis, H. & Tüfekçi, V. (2011). Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Büyükada Island (the Marmara Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91(4), 771-781.
- Balkis, N., Atabay, H., Türetgen, I., Albayrak, S., Balkis, H., & Tüfekçi, V. (2011). Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Büyükada Island (the Marmara Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91(4), 771-781.

- Balkis-Ozdelice, N., Durmus, T., Toklu-Alicli, B. & Balci, M. (2020). Phytoplankton composition related to the environmental conditions in the coastal waters of the Gulf of Erdek. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 49 (09), 1545-1559.
- Balkis-Ozdelice, N., Durmus, T., Toklu-Alicli, B., & Balci, M. (2020). Phytoplankton composition related to the environmental conditions in the coastal waters of the Gulf of Erdek. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 49(09), 1545-1559.
- Beşiktepe, Ş. T., Sur, H. I., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T. & Ünlüata, Ü. (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 34(4), 285-334.
- Bodeanu, N., Moncheva, S., Ruta, G., & Popa, L. (1998). Long-term evolution of the algal blooms in Romanian and Bulgarian Black Sea waters. *Cercetari Marine, Recherches Marines*, 31, 37-55.
- Boyce, D. G., Lewis, M. R., & Worm, B. (2010). Global phytoplankton decline over the past century. *Nature*, 466(7306), 591-596.
- Creel, L. (2003). *Ripple Effects: Population and Coastal Regions*, (Population Reference Bureau Policy Brief, Washington), pp. 8.
- De Lazzari, D. Berto, D. Cassin, A. Boldrin & M. Giani. (2008). "Influence of winds and oceanographic conditions on the mucilage aggregation in the Northern Adriatic Sea in 2003–2006". *Marine Ecology*, 29(4), 469-482.
- Dursun, F., Yurdun, T., & Ünlü, S. (2016). The first observation of domoic acid in plankton net samples from the Sea of Marmara, Turkey. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 96(1), 70-75.
- ENV Enerji Çevre Yönetimi ve Teknolojileri, (2021), Deniz Salyası (Müsilaaj). [https://env.com.tr/site\\_document/files/dosya/env\\_cevre\\_deniz\\_salyasi\\_bilgilirme\\_notu\\_09\\_haziran\\_2021\\_47580.pdf](https://env.com.tr/site_document/files/dosya/env_cevre_deniz_salyasi_bilgilirme_notu_09_haziran_2021_47580.pdf) (Erişim tarihi: Haziran 2021).
- Ergul, H A., Aksan, S., Ipsiroglu, M., & Kucuk, A. (2015). Assessment of the Spring 2015 Phytoplankton Blooms in Izmit Bay (the Marmara Sea). In: 3rd Science for the Environment Conference. Aarhus/Denmark.
- Ergul, H. A., Balkis-Ozdelice, N., Koral, M., Aksan, S., Durmus, T., Kaya, M., ... & Canli, O. (2021). The early stage of mucilage formation in the Marmara Sea during spring 2021. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(2).
- Ergul, H.A., Aksan, S., Ipsiroglu, M. & Baysal, A. (2014). Assessment of Consecutive Phytoplankton Blooms on March and April 2014 in Izmit Bay (the Marmara Sea). In: HydroMedit 2014, Volos, Greece. pp. 127–31.
- Genitsaris, S., Stefanidou, N., Sommer, U. & Moustaka-Gouni, M. (2019). Phytoplankton blooms, red tides and mucilaginous aggregates in the urban Thessaloniki Bay, *Eastern Mediterranean. Diversity*, 11(8), 136.

- Gerin, R., Poulain, P., Beşiktepe, Ş. T. & Zanasca, P. (2013). On the surface circulation of the Marmara Sea as deduced from drifters. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22(6), 919-930.
- Goffart, A., Hecq, J. H., & Legendre, L. (2002). Changes in the development of the winter-spring phytoplankton bloom in the Bay of Calvi (NW Mediterranean) over the last two decades: a response to changing climate? *Marine Ecology Progress Series*, 236, 45-60.
- Granéli, E. (2004). Eutrophication and harmful algal blooms, In: P. Wassmann, K. Olli (Eds) Drainage basin nutrient inputs and eutrophication: an integrated approach. University of Tromsø, Norway. 99-112 pp.
- Gray, J. S., Wu, R. S. S., & Or, Y. Y. (2002). Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine ecology progress series*, 238, 249-279.
- Hallegraeff, G.M. (2002). Aquaculturists' guide to harmful Australian Microalgae. 2nd ed. Hobart, Tasmania, Australia. Printed by the Print Centre. pp.135.
- Hallegraeff, G.M. (2010). Ocean Climate Change, Phytoplankton Community Responses and Harmful Algal Blooms: A Formidable Predictive Challenge. *Journal of Phycology*, 46, 220–235.
- Innamorati, M., Nuccio, C., Massi, L., Mori, G. & Melley, A. (2001). Mucilages and climatic changes in the Tyrrhenian Sea. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11(4), 289-298.
- Isinibilir-Okyar, M., Ustun, F., Orun, D.A. (2015). Changes in abundance and community structure of the zooplankton population during the 2008 mucilage event in the northeastern Marmara Sea. *Turkish Journal of Zoology*, 39, 28-38.
- Karadurmuş, U. & Sarı, M. (2022). Marine mucilage in the Sea of Marmara and its effects on the marine ecosystem: mass deaths. *Turkish Journal of Zoology*, 46(1), 93-102.
- Kavzoglu, T., & Goral, M. (2022). Google Earth Engine for Monitoring Marine Mucilage: Izmit Bay in Spring 2021. *Hydrology*, 9(8), 135.
- Keskin, C. (2007). Temporal variation of fish assemblages in different shallow-water habitats in Erdek Bay, Marmara Sea, Turkey. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 13(3), 215-234.
- Koray, T. (1985). İzmir Körfezi'nin mikroplanktonunda meydana gelen değişimlerde ortam faktörlerinin rolü (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Aegean University, Turkey).
- Kraberg, A., Baumann, M. & C-D. Dürselen (2010). Coastal phytoplankton. Photo Guide for Northern European Seas. Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), Edited by Wiltshire K.H. and Boersma M., München.

- Ozbayram, E.G., Akcaalan, R., Isinibilir, M., & Albay, M. (2022). Insights into the bacterial community structure of marine mucilage by metabarcoding. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(35), 53249-53258.
- Özalp, H. B. (2021). First massive mucilage event observed in deep waters of Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(1), 49-66.
- Özsoy, E., Çağatay, M.N., Balkıs, N., Balkıs, N., Öztürk, B. (Eds.) (2016). The Sea of Marmara; Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), Publication No: 42, Istanbul, TURKEY.
- Paerl, H. W., Valdes-Weaver, L. M., Joyner, A. R., & Winkelmann, V. (2007). Phytoplankton indicators of ecological change in the eutrophying Pamlico Sound system. *North Carolina. Ecological Applications*, 17, 88-101.
- Piazzì, L., Atzori, F., Cadoni, N., Cinti, M.F., Frau, F. & Ceccherellia, G. (2018). Benthic mucilage blooms threaten coralligenous reefs. *Marine Environmental Research*, 140, 145-151.
- Polat, A. B., Sanlı, F. B., & Akcay, O. (2022). The relationship between mucilage covered areas and chlorophyll-a concentration: The sea of Marmara case. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 40(3), 673-684.
- Polat, S. C., Tuğrul, S., Çoban, Y. E. Ş. İ. M., Basturk, O., & Salihoglu, I. (1997). Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara. *Hydrobiologia*, 363(1), 157-167.
- Polat, S.C. & Tuğrul, S. (1995). Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara Seas through the Bosphorus Strait. *Continental Shelf Research*, 15, 1115-1132.
- Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C. R., Pečar, O., & Paschini, E. (2005). Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999–2002: typology and distribution. *Science of the Total Environment*, 353(1-3), 10-23.
- Ricci, F., Penna, N., Capellaci, S. & Penna, A. (2014). Potential environmental factors influencing mucilage formation in the northern Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, 30(4), 364-375.
- Rouaud, V., Susperregui, N., Fahy, A., Guyoneaud, R., Bichon, S., Liénart, C., Del Amo, Y., Savoye, N., Gaudin, P., Duran, R. & Lauga, B. (2019). Dynamics of microbial communities across the three domains of life over an annual cycle with emphasis on marine mucilage in the Southern Bay of Biscay resolved by microbial fingerprinting. *Continental Shelf Research*, 186, 127-137.
- Schiaparelli, S., Castellano, M., Povero, P., Sartoni, G., & Cattaneo-Vietti, R. (2007). A benthic mucilage event in North-Western Mediterranean Sea and its possible relationships with the summer 2003 European heatwave:



- short term effects on littoral rocky assemblages. *Marine Ecology*, 28(3), 341-353.
- Sha, J., Xiong, H., Li, C., Lu, Z., Zhang, J., Zhong, H., Zhang, W. & Yan, B. (2021). Harmful algal blooms and their eco-environmental indication. *Chemosphere*, 274, 129912.
- Smayda, T.J. (1980). Phytoplankton species succession, In: The physiological ecology of phytoplankton, edited by I Morris, (Blackwell Scientific Publ, Oxford), 493-570.
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, 100(1-3), 179-196.
- Svetličić, V., Žutić, V., Radić, T. M., Pletikapić, G., Zimmermann, A. H., & Urbani, R. (2011). Polymer networks produced by marine diatoms in the northern Adriatic Sea. *Marine Drugs*, 9(4), 666-679.
- Tas, S. (2015). A prolonged red tide of *Heterocapsa triquetra* (Ehrenberg) F. Stein (Dinophyceae) and phytoplankton succession in a eutrophic estuary in Turkey. *Mediterranean Marine Science*, 16(3), 621-627.
- Tas, S., & Yilmaz, I. N. (2015). Potentially harmful microalgae and algal blooms in a eutrophic estuary in Turkey. *Mediterranean Marine Science*, 16(2), 432-443.
- Tas, S., Kus, D., & Yilmaz, I. N. (2020). Temporal variations in phytoplankton composition in the northeastern Sea of Marmara: potentially toxic species and mucilage event. *Mediterranean Marine Science*, 21(3), 668-683.
- Taş, S., & Okuş, E. (2011). A review on the bloom dynamics of a harmful dinoflagellate *Prorocentrum minimum* in the Golden Horn Estuary. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11(4), 673-681.
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 2021, “Marmara Denizi Müsilaj Sorununun Sebepleri, Değerlendirmesi ve Çözüm Önerileri”.
- Topçu, N.E. & Öztürk, B. (2015). Composition and abundance of octocorals in the Sea of Marmara, where the Mediterranean meets the Black Sea, *Scientia Marina*, 79(1), 129-135.
- Topçu, N.E. & Öztürk, B. (2021). The impact of the massive mucilage outbreak in the Sea of Marmara on gorgonians of Prince Islands: A qualitative assessment. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27 (2), 270-278.
- Tuzcu Kokal, A., Olgun, N., & Musaoğlu, N. (2022). Detection of mucilage phenomenon in the Sea of Marmara by using multi-scale satellite data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(8), 1-18.
- Tüfekçi, V., Balkis, N., Beken, C. P., Ediger, D., & Mantıkcı, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of the mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34(2), 199-210.

- Türkistanlı, T.T., Sevgili, C. & Arslan, Ö. (2021). Bibliometric Analysis of the Literature on Marine Mucilage. *European Journal of Science and Technology*, 28, 947-958.
- Uflaz, E., Akyüz, E., Bolat, F., Bolat, P. & Arslan, Ö. (2021). Investigation of the effects of mucilage on maritime operation, *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(2), 140-153.
- United Nations. Sustainable Development Goals 2019. Available at: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html> (Accessed Sept 28, 2021).
- Yentur, R. E., Büyükatdeş, Y., Özen, Ö., & Altın, A. (2013). The environmental and socio-economical effects of a biologic problem: Mucilage. *Marine Science and Technology Bulletin*, 2(2), 13-15.
- Yentur, R. E., Büyükatdeş, Y., Özen, Ö., & Altın, A. (2013). The environmental and socio-economical effects of a biologic problem: Mucilage. *Marine Science and Technology Bulletin*, 2(2), 13-15.
- Yentur, R.E., Buyukates, Y., Ozen, O. and Altin, A. (2013). The environmental and socio-economical effects of a biologic problem: Mucilage. *Marine Science and Technology Bulletin*, 2(2), 13-15.
- Yıldız, T. & Gönülal, O. (2021). Sea snout and its impacts on the fisheries in the Sea of Marmara and its adjacent waters. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(2), 167-183.
- Yılmaz, S., Kucuker, A.M. and Yılmaz Kahraman, D. (2021). Çanakkale Boğazı'nda (Dardanel) Müsilaj Oluşumu Sırasında Planktonik Toplulukların Metagenomik Karakterizasyonu. *Anadolu Çevre ve Hayvan Dergisi*, 6(3), 421-427.
- Yurga, L. (2022). Distribution of phytoplanktonic species in the sea snout in 2021 in the Marmara Sea. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(3), 235-242.
- Zingone, A., & Enevoldsen, H. O. (2000). The diversity of harmful algal blooms: a challenge for science and management. *Ocean & coastal management*, 43(8-9), 725-748.

“

## Bölüm 8

### BALIKLARIN ESANSİYEL YAĞ ASİT İHTİYACI

*Kenan KÖPRÜCÜ<sup>1</sup>*

*Sibel KÖPRÜCÜ<sup>2</sup>*

”

---

1 Kenan KÖPRÜCÜ (Prof. Dr.), Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi,  
ORCID ID: 0000-0002-5697-5224

2 Sibel KÖPRÜCÜ (Prof. Dr.), Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi,  
ORCID ID: 0000-0002-6565-3550

## 1. Giriş

Yağların asıl yapı taşlarını oluşturan yağ asitleri pratikte, doymamış ve doymuş yağ asitleri olarak iki gruba ayrılır. Doymamış yağ asitlerinin bir kısmı esansiyel yağ asitleri olup; linolenik (n-3 serisi), linoleik (n-6 serisi) ve alfa linolenik yağ asitleri bunlara örnek olarak gösterilebilir. Organizmada sentezlenemeyen, mutlaka dışarıdan alınması zorunlu olan, eksikliğinde çeşitli bozuklukların ortaya çıktığı ve fizyolojik faaliyetlerin gerilediği yağ asitlerine “esansiyel” veya “eksojen” yağ asitleri denir. Bütün omurgalı canlılar esansiyel yağ asitlerine özellikle de linolenik ve linoleik yağ asitlerine ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyaçlar karşılanmadığında büyüme ve üremede olumsuz durumlar ortaya çıkmaktadır. Esansiyel özellikteki yağ asitlerinin biyolojik yönden etkin olanları  $C_{20}$  ve  $C_{22}$  formundakilerdir. Metabolik olan formları da; araşidonik (AA), linoleik, linolenik, dokosaheksaenoik (DHA) ve eikosapentaenoik (EPA) asitlerdir (Sargent vd., 1989).

Genelde soğuk su balıkları n-3 serisi çoklu doymamış yağ asitlerine (PUFA) ihtiyaç duyarlar (NRC, 1990). Ilık suda yaşayan balıklar ise bunlardan n-3 ve n-6 serisi veya sadece n-6 serisine ihtiyaç duymaktadır (Anderson ve Arthington, 1989; NRC, 1992). Esansiyel olan yağ asitlerinin rasyonda ihtiyaç duyulan düzeyleri balıkların türüne göre farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, balık türlerinin total lipit düzeyine bağlı olarak da esansiyel yağ asit ihtiyaçları değişmektedir. Ayrıca, gelişimin farklı dönemlerinde de bu ihtiyaçlar değişiklik arz etmektedir (Izquierdo, 1996). Özellikle gelişimin erken safhalarında ve üreme dönemi öncesi damızlık balıklara ve diğer su canlılarına (yumurta ve sperma üretimi için) ihtiyacı karşılayacak miktarda esansiyel yağ asitlerinin yemlerle birlikte verilmesi gereklidir (Harlıoğlu vd., 2012; Harlıoğlu vd., 2013a, b; Köprücü vd., 2015; Köprücü ve Özcan, 2019; Mişe vd, 2020; Ozer vd., 2020; Yonar ve Köprücü, 2016). Esansiyel yağ asitleri bakımından yetersiz olan yemlerle beslenen balıklarda; embriyonal bozukluklar, larva çıkış oranında düşüş, gelişim yetersizliği ve yaşama oranında azalma görülmektedir (Halver ve Hardy, 2002; NRC, 1999).

Deniz balıklarının spermasındaki linolenik yağ asidi, spermanın kalitesini artırır, kısırlığı giderir ve sperma fonksiyonlarını düzenler (Bell vd., 1995; Navarro vd., 1999; Tinoco, 1982). Ayrıca, DHA yağ asidinin erkek balıklardaki varlığı kısırlığı önlemektedir (Sargent vd., 2002). Yemdeki linoleik ve linolenik yağ asit dengesi tatlı su balığı larvalarının beslenmesinde ve optimal yaşama oranının sağlanmasında oldukça önemlidir (Higgs vd., 1992). Ayrıca, araşidonik, linolenik ve EPA yağ asitlerinin yeterli miktarda alınması tatlı su balıklarının yumurtalarında kaliteyi arttırmaktadır (Pickova vd., 1997). Deniz balığı larvalarının yemlerine DHA yağ asidi katılması, larvaların büyümesini ve sinir dokularının gelişimini

hızlandırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, esansiyel özellikteki doymamış yağ asitleri kaliteli sperma ve yumurta üretimi, larvalarda yaşama oranının artırılması, gelişme ve büyümenin dengeli olması için çok gerekli olan organik bileşiklerdir (Bell vd., 1995; Navarro vd., 1999).

## 2. Deniz Balıkları

Deniz balıklarının esansiyel yağ asit ihtiyacına yönelik olarak yapılan çalışmaların önemli bir kısmı n-3 alfa linolenik asit üzerinedir (Bessonart vd., 1999; Salhi vd., 1994; Watanabe vd., 1989). Bununla birlikte, balıkların EPA ve DHA yağ asit ihtiyaçları da araştırılmalıdır. Esansiyel olan n-3 serisi yağ asitleri, denizel ortamdaki besin zincirinin birincil üreticileri olarak yer alan algler ve fitoplanktonik organizmalar tarafından üretilirler. Bu organizmalar EPA, DHA, linoleik ve linolenik yağ asitlerince zengindirler (Sargent vd., 1995a, b).

### 2.1. Embriyo ve Besin Keseli Larva

Balıklara ait yumurtaların lipit miktarı ve bileşimi türlere göre farklılık göstermektedir. Mezgit (*Malenogrammus aeglefinus*), ringa (*Clupea harengus*), kömür balığı (*Pollachius virens*) (Tocher ve Sargent, 1984) ve morina (*Gadus morhua*) (Fraser vd., 1988) gibi bir çok deniz balığının yumurtalarındaki yağ asit içeriği kuru ağırlığın %5'i kadar olup, bu oran tatlı su balıklarındakine göre düşüktür (Sargent vd., 1989).

Çoğu deniz balıklarının yumurtalarında total yağ asitleri incelenmiş ve bunların n-3 serisi esansiyel yağ asit içeriklerinin zengin olduğu tespit edilmiştir. Deniz balıklarının diğer dokuları da n-3 serisi esansiyel yağ asitleri ve fosfolipitler bakımından oldukça zengindir (Sargent vd., 1989). Bu nedenle; ringa (*C. harengus*), mezgit (*M. aeglefinus*), kalkan (*Scophthalmus maximus*), pisi (*Platichthys flesus*) ve Senegal dil (*Solea senegalensis*) balıklarının yumurtaları EPA ve DHA yağ asitlerini yüksek miktarda içermektedir (Evans vd., 1996; Moruente ve Odriozola, 1990; Mourente vd., 1999; Tocher ve Sargent, 1984; Vazquez vd., 1994). Senegal dil balığı (*S. senegalensis*) enerji kaynağı olarak n-3 serisi yağ asitlerini diğerlerine oranla daha fazla kullanmaktadır. Bununla birlikte, mezgit balığı ise enerji kaynağı olarak n-3 serisi yağ asitlerine göre tekli doymamış asitlerden triasilgliserollere daha fazla ihtiyaç duymaktadır (Finn vd., 1995). Bazı deniz balığı larvalarının açlık esnasında yağ asidi korunum durumu Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bazı deniz balığı larvalarında açlık durumunda yağ asit korunumu (*Izoquriedo vd., 1996*).

Balık Türleri	Yağ Asitleri (YA)
Kalkan ( <i>Scophthalmus maximus</i> )	DHA + AA > Doymuş YA > Tekli Doymuş YA > EPA
Morina ( <i>Gadus morhua</i> )	DHA + 18:0 > Diğer YA
Lampuga ( <i>Coryphaena hippurus</i> )	DHA + AA > Diğer YA
Mercan ( <i>Pagrus major</i> )	DHA > EPA > n-6 > Doymuş YA + Tekli Doymuş YA
Çipura ( <i>Sparus aurata</i> )	DHA > EPA > Tekli Doymuş YA > n-6
Çipura ( <i>Sparus aurata</i> )	DHA + AA > EPA > Doymuş YA > Tekli Doymuş YA

Sarıkuyruk (*Seriola quinqueradiata*) (Sargent vd., 1989), mercan (*Pagrus major*) (Almansa vd., 1999; Mourente ve Odriozola, 1990), deniz levreği (*Dicentrarchus labrax*) (Bell vd., 1996 a, b) ve mezgit (*M. aeglefinus*) (Pickova vd., 1997; Silvesand vd., 1996) balıklarının yemlerine EPA ve alfa-linolenik yağ asitlerinin ilave edilmesi; bunların yumurtalarının döllenmesini, kuluçkalanmasını, larvaların yumurtadan çıkış ve hayatta kalma oranlarını arttırmaktadır.

Deniz balıklarında larva çıkışı sonrasında DHA miktarı özellikle ilk 10 gün içerisinde hızla azalmaktadır. Morina (*G. morhua*) balığı larvalarında başlangıçtaki DHA değeri 0,61 g iken 10 gün sonunda 0,12 grama düştüğü görülmüştür. Atlantik halibut balığı (*Hippoglossus hippoglossus*)'da yumurta oluşumu ve keseli larva dönemlerinde n-3 serisi EPA ve DHA yağ asitlerinin belirgin bir şekilde katabolize edildiği saptanmıştır. Bu yağ asitleri bahsedilen dönemde temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte çipura (*Sparus aurata*), morina (*G. morhua*), lampuga (*Coryphaena hippurus*) ve mercan (*P. major*) gibi bir çok balık türünde, larval gelişme ve embriyogenesinin son safhalarında, doymuş ve tekli doymuş yağ asitlerinin katabolize edildiği, ancak n-3 serisi esansiyel yağ asitlerinin korunduğu gözlenmiştir (Falk-Petersen vd., 1989).

## 2.2. Larva ve Postlarva

Deniz balıkları üretiminde en problemlili ve zor olan kısım larva yetiştiriciliğidir. Bunların larvaları küçük olup, sindirim sistemleri de tam olarak gelişmemiş olduğundan dolayı sindirim enzim ve salgıları da yeterince salgılanamamaktadır. Bu dönemde ölüm oranı artmaktadır. Belirtilen nedenlerden dolayı, larvaların ilk beslenmelerinin uygun yemlerle yapılması gerekmektedir (Sargent vd., 1989). Deniz balıklarında larvaların esansiyel yağ asit ihtiyaçlarını belirlemeye yönelik çalışmalar (Tablo 2) fazla değildir (Watanabe, 1993).

**Tablo 2.** *Deniz balıklarına ait larvaların esansiyel yağ asit ihtiyaçları (Watanabe, 1993).*

Balık Türü	Esansiyel Yağ Asitleri	Yemdeki Oranı (Kuru Ağırlığın %'si)
Çipura ( <i>S. aurata</i> )	n-3 serisi HUFA	5.5 (DHA / EPA = 0.3)
	n-3 serisi HUFA	1.5 (DHA / EPA = 2.0)
	DHA/EPA	2.0
Lampuga ( <i>C. hippurus</i> )	n-3 serisi HUFA	0.6-1
Sarıkuşruk ( <i>S. quinqueradiata</i> )	n-3 serisi HUFA	3.9 (DHA / EPA = 0.5)
	DHA	1.4 -2.6
	EPA	3.7
Kırmızı mercan ( <i>P. major</i> )	n-3 serisi HUFA	2,1 (%1 DHA ile birlikte)
	DHA	1.0-1.6
	EPA	2.3
Atlantik morina ( <i>G. morhua</i> )	EPA	-
	DHA	1.0
Kıral balığı ( <i>Pseudocaranx dentex</i> )	DHA	1.6-2.2
	EPA	< 3.1

Dışarıdan yem almaya başlayan balık larvası, sudaki hareketli olan yemleri daha iyi almaktadır. Bunun için ilk olarak rotifera, dafnia ve artemia gibi canlı organizmalarla beslenmeleri gerekmektedir. Diğer zooplanktonik organizmalardan daha küçük olduğu için larvaların ilk dönemlerinde rotifera, sonrasında *Artemia nauplii* ile beslenmeleri uygun olur (Sargent vd., 1989). Artemia, esansiyel yağ asitleri özellikle EPA ve linolenik yağ asitleri bakımından oldukça zengindir (Bell vd., 1995).

Deniz balığı larvalarına ait yemler DHA, EPA ve araşidonik yağ asitlerini mutlak surette içermelidir (Ando vd., 1997). Genellikle deniz balığı larvaları için bu yağ asitleri esansiyeldir. Bununla birlikte, bunların rasyondaki optimum oranı diğerlerinin miktarına bağlıdır. Bu durum DHA, EPA ve araşidonik asitlerin deniz balıklarının beslenmesindeki önemini göstermektedir (Estevez vd., 1999). Deniz mercan balığı rasyonunda n-3 serisi DHA ve EPA ile n-6 serisi araşidonik asit oranının %1-1,5 arasında olması, bunların larvalarının gelişimlerini arttırmaktadır (Estevez vd., 1997; Mourente ve Odriozola, 1990).

DHA ve EPA yağ asitleri lampuga (*C. hippurus*) balığı larvalarının strese karşı direncini yükseltmektedir. Bununla birlikte, strese karşı direnci arttırmada alfa-linolenik asit çok daha etkilidir (Sargent vd., 1989). Deniz balıklarının yeminde ihtiyacı sağlayacak miktarda DHA yağ asidi bulunması, sinirsel dokuların oluşumu ve görsel gelişimin sağlanmasında büyük önem taşır. Ayrıca, DHA yağ asidi deniz levreği, ringa (Bell vd., 1995; Bell vd., 1996 a; Navarro vd., 1997), mercan ve kalkan balıklarının larva dönemindeki gelişimini hızlandırmaktadır (Sargent vd., 1989).

Araşidonik asit, pisi balığı (*Paralichtancakhyss olivaceus*)'nda pigmentasyon oluşum sürecinde gerekli olan bir yağ asitidir (Estevez ve Ka-

nazawa, 1996). Yıldız başlı mercan balığı larvalarının sağlıklı gelişiminde araşidonik asit önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte, sarıkuyruk (*S. quinqueradiata*) balığı larvalarının yemle birlikte aşırı miktarda araşidonik asit alması durumunda gelişme yavaşlamakta ve ölüm oranı artmaktadır (Estevez vd., 1999).

Esansiyel yağ asitlerinin yemdeki dengesiz oranları, özellikle düşük DHA ve yüksek EPA oranları, larvalarda yüksek oranda ölümlere neden olmaktadır. Bugüne kadar, konuyla ilgili yapılan araştırma sonuçları dikkatle gözden geçirildiğinde, deniz balığı larvalarının beslenmesinde DHA yağ asidinin EPA yağ asidinden daha etkin olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar, özellikle deniz balığı larvalarının beslenmesinde kullanılan rotifera ve artemia'nın DHA yağ asit içeriği bakımından yüksek olan yağlarla zenginleştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bazı balık türlerinin larva döneminde n-3 serisi yüksek oranda doymamış yağ asit (n-3 HUFA) ihtiyaç düzeyleri ile DHA ve EPA arasındaki ihtiyaçtan kaynaklanan öncelik durumları Tablo 3'de görülmektedir (Watanabe, 1993).

**Tablo 3.** Bazı balık türlerinin larva döneminde n-3 serisi HUFA yağ asit ihtiyaçları ile DHA ve EPA arasındaki ihtiyaçtan kaynaklanan öncelik durumları (Watanabe, 1993).

Balık Türleri ve Besinleri*	İhtiyaç Düzeyi (Kuru Maddede)	Öncelik Durumu
Sarıkuyruk ( <i>S. quinqueradiata</i> )		
*Artemia	%3.9 n-3 HUFA	EPA < DHA
Dil balığı ( <i>Solea solea</i> )		
*Rotifera	%1-3.2 n-3 HUFA	EPA < DHA
Mercan ( <i>P. major</i> )		
*Rotifera	%3.5 n-3 HUFA	EPA < DHA EPA
*Artemia	%3 n-3 HUFA	< DHA
Papağan balığı ( <i>Oplegnathus fasciatus</i> )		
*Rotifer	%3 < n-3 HUFA	EPA < DHA
*Artemia	%3 < n-3 HUFA, %1DHA veya EPA	EPA < DHA

Karanlıkta görme fonksiyonunu sağlayan rodopsin maddesi, DHA içerikli gliserofosfolipit ve retinol proteininin bir bileşenidir. Rasyonda DHA eksikliği durumunda retinanın oluşumu yavaşlamakta ve görmeye aksaklıklar ortaya çıkmaktadır. DHA içermeyen artemia ile beslenen ringa (*C. harengus*) balığı larvalarında, hafif aydınlıkta avlanma aktivitesi azalmaktadır (Bell vd., 1995). Ayrıca polar yağlarda düşük içerikte EPA veya çok düşük DHA bulunması, özellikle kalkan (*S. maximus*) balığı larvalarında zayıf pigmentasyona neden olmaktadır (Rainuzzo vd., 1991).

### 2.3. Yavru ve Ergin Balık

Tüm deniz balığı türleri için EPA ve DHA yağ asitleri esansiyel olduğundan, bunlara ait ihtiyaçlar yemle birlikte sağlanmalıdır (Watanabe,



1993). Deniz balıklarının EPA ve DHA yağ asit ihtiyaçları balığın büyüklüğüne göre farklılık göstermektedir. Örneğin; kırmızı mercan, deniz levreği ve kaya balığı üzerine yapılan bir araştırmada; 11 g ağırlığındaki balıkların EPA ve DHA yağ asit ihtiyacının toplam yağ asitlerinin %0,5'i kadar olduğu, 42 g ağırlığında olanlarda ise bu değerlerin toplam yağ asitlerinin %0,9-1'i arasında değiştiği tespit edilmiştir (Sargent vd., 1989). Yavru kalkan (*S. maximus*) balıklarının sağlıklı ve normal bir gelişim göstermeleri için bunların beslenmesinde kullanılan rasyonların EPA yağ asidini azami oranda içermesi gerekmektedir (Bell vd., 1985).

Hem mercan (*P. major*) (Takeuchi vd., 1991) hem de sarıkuyruk (*S. quinquerradiata*) (Takeuchi vd., 1992) balıklarına ait yavruların gelişimlerinde ise n-3 serisi esansiyel yağ asitleri çok daha önemlidir. Diğer yandan, yıldız başlı mercan balığının büyüme dönemindeki yağ asit oranı %12-20 arasında değişmektedir. Bununla birlikte, bu balıklara ait yavruların n-3 serisi esansiyel yağ asit ihtiyaçları tam olarak bilinmemektedir (Salhi vd., 1994). Ayrıca, çipura (*S. aurata*) balığında esansiyel yağ asit (EPA + DHA) ihtiyacı yaklaşık olarak yemin %0,9'u kadardır. Levrek (*Sparus aurata*) balığının optimum büyümesi için yeminde %1,35 oranında n-3 serisi esansiyel yağ asidi bulunmalıdır (Ibeas vd., 1996).

Yavru ve ergin olan deniz balıklarına ait esansiyel yağ asit (spesifik olarak n-3 HUFA ve DHA) ihtiyacı Tablo 4'de verilmiştir (Sargent vd., 1989).

**Tablo 4.** Bazı deniz balıklarının esansiyel yağ asit ihtiyacı (Sargent vd., 1989).

Balık Türü	Esansiyel Yağ Asidi	Yemdeki Oranı (Kuru maddenin %'si)
Dicentrarchus labrax	n-3 HUFA	1.0
Sparus aurata	n-3 HUFA	0.9 (DHA / EPA = 1.0)
	n-3 HUFA	1.9 (DHA / EPA = 0.5)
	DHA / EPA	0.5
Pagrus major	20:5n-3 veya n-3 HUFA	0.5
	20:5n-3	1.0
	22:6n-3	0.5
Pseudocaranx dentex	22:6n-3	1.7
Scophthalmus maximus	n-3 HUFA	0.8
Rhabdosargus sabra	n-3 HUFA	1.3
Sciaenops ocellatus	n-3 HUFA	0.5-1 (0.3-0.6 EPA + DHA)
Sebastes schlegeli	n-3 HUFA	0.9
	DHA veya EPA	1.0
Pleuronectes ferrugineus	n-3 HUFA	2.5

#### 2.4. Anaç Balık

Anaç deniz balıklarının esansiyel yağ asitlerini dengeli bir şekilde içeren yemlerle düzenli olarak beslenmesi; uygun miktar ve kalitede sperma elde edilmesinde büyük önem taşır (Bruce vd., 1999; Devauchelle ve Coves, 1988). Mercan (Almansa vd., 1999; Mourente ve Odriozola, 1990),

deniz levreği (Bell vd., 1997), mezgit (Pickova vd., 1997; Silvesand vd., 1996) ve sarıkuyruk (Sarget vd., 2002) balıklarının yemine DHA, EPA, alfa-linolenik ve araşidonik yağ asitlerinin katılması; bunların yumurtalarının döllenme ve kuluçka verimini arttırmakta, larvaların çıkışını ve yaşama oranını yükseltmektedir. Bu sebeplerden dolayı, anaç balıkların özellikle esansiyel yağ asit ihtiyaçları iyi araştırılmalıdır. Anaç deniz balıklarına ait spermler DHA yağ asidi bakımından zengindir. Spermatolojik özellikler üzerinde DHA yağ asidi oldukça önemlidir (Tinoco, 1982). Kültür ortamında ve doğadaki deniz levreğine ait spermilerin aynı özelliğe sahip olduğu bildirilmiştir. Ancak, kültür ortamındaki levreğin rasyonunda araşidonik ve EPA yağ asit miktarları arttırıldığında sperma kalitesinin yükseldiği görülmüştür (Bell vd., 1996 b).

### 3. Tatlı Su Balıkları

Tatlı sularda yaşayan bazı balık türlerinin n-3 ve n-6 serisi yağ asit ihtiyacı araştırılmıştır. Birçok tatlı su balığı DHA ve EPA yağ asitlerini linolenik asidin yerine kullanılabilir. Omurgalı canlılarda n-3 serisi esansiyel yağ asitlerine ait farklı formlar DHA ve EPA asitlerinin biyolojik aktivitesi neticesinde oluşmaktadır. Bu durum deniz balıklarına oranla tatlı sularda yaşayan balıklarda daha yaygındır (Sargent vd., 1989).

Balık karma yemlerinde kullanılan bitkisel kaynaklar ve tatlı su balıklarının doğal ortamda beslenmek için tercih ettikleri bitkisel organizmalar EPA, DHA, linolenik ve linoleik yağ asitleri bakımından zengindir (Ahlgren vd., 1992).

#### 3.1. Embriyo ve Besin Keseli Larva

Tatlı su balıklarının embriyo ve besin keseli larva dönemlerindeki esansiyel yağ asit ihtiyaçlarına yönelik yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bununla birlikte gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve kanal yayın balığı (*Ictalurus punctatus*) gibi tatlı su balıkları EPA ve DHA yağ asitlerine ihtiyaç duyarlar (NRC, 1990, 1992, 1999).

#### 3.2. Larva ve Yavru Balık

Salmon ve gökkuşuğu alabalığı yavrularının sağlıklı gelişimi, yaşama oranının yükseltilmesi ve normal büyümenin sağlanmasında, bunların beslenmesinde kullanılan yemlerin esansiyel yağ asit miktarı ve kompozisyonunun bilinmesi önemlidir. Salmonidae familyasına ait balıkların özellikle de anadrom olan salmon ve alabalıkların yavruları linolenik ve n-3 serisi yağ asit içeren rasyonla beslenmesi durumunda büyümeleri artmaktadır. Linolenik, DHA ve EPA yağ asitleri bu balık türleri için esansiyeldir (Sargent vd., 1989).

### 3.3. Yavru ve Ergin Balık

Tatlı suda yaşayan salmon balıkları n-3, beyaz balık n-6, sazan ve kanal yayın balığı ise hem n-3 hem de n-6 serisi PUFA yağ asidine ihtiyaç duyarlar (Anderson ve Arthington, 1989). Tatlı sularda kültürü yapılan balıklara ait esansiyel yağ asit ihtiyacının (Tablo 5) sağlanmasında, özellikle C<sub>18</sub> PUFA, linoleik ve linolenik asitler tercih edilir. Salmonidae familyasına ait balıkların esansiyel yağ asit ihtiyaçları rasyondaki linolenik asit miktarının arttırılmasıyla karşılanabilir (Sargent vd., 1989; Watanabe vd., 1989).

Bu balıklar DHA ve linolenik yağ asitlerini diğer n-3 serisi yağ asitlerinin yerine kullanabilir. Tatlı su balıklarının yüksek gelişim performansı için bunların beslenmesinde kullanılan yemler DHA ve linolenik yağ asitlerini dengeli bir şekilde içermelidir (Cho ve Shiau, 1999; Higgs vd., 1992).

**Tablo 5.** Tatlı sularda yaşayan bazı balıkların esansiyel yağ asit ihtiyacı (Sargent vd., 1995).

Balık Türü	Esansiyel Yağ Asidi	Yemdeki Oranı (Kuru Ağırlığın %'si)
Gökkuşluğu alabalığı ( <i>Onchorhynchus mykiss</i> )	n-3 HUFA	0.4- 0.5
	18:3n-3	0.7- 1.0
Çam salmonu ( <i>Onchorhynchus keta</i> )	18:3n-3 ve 18:2n-6	1.0 (her birinin)
Silver salmonu ( <i>Onchorhynchus kisutch</i> )	18:3n-3 ve 18:2n-6	1.0 (her birinin)
Kırmızı renkli salmon ( <i>Onchorhynchus masou</i> )	18:3n-3 veya n-3 HUFA	1.0
Alp alası ( <i>Salvelinus alpinus</i> )	18:3n-3	1.0-2.0
Sazan ( <i>Cyprinus carpio</i> )	18:3n-3	0.5-1.0
	18:2n-6	1.0
Ot balığı ( <i>Ctenopharyngodon idella</i> )	18:3n-3	0.5
	18:2n-6	1.0
Tilapia ( <i>Oreochromis zilli</i> )	18:2n-6	1.0
Nil tilapia ( <i>Oreochromis nilotica</i> )	18:2n-6	0.5
Japon yılan balığı ( <i>Anguilla japonica</i> )	18:3n-3 ve 18:2n-6	0.5 (her birinin)
Ayu balığı ( <i>Plecoglossus altivelis</i> )	18:3n-3 veya 20:5n-3	1.0
Süt balığı ( <i>Chanos chanos</i> )	18:3n-3 ve 18:2n-6	0.5 (her birinin)
Çizgili levrek ( <i>Morone saxatilis</i> )	n-3 PUFA	1.0
Beyaz balık ( <i>Coregonus laveratus</i> )	n-3 HUFA	0.5-1.0
	18:3n-3	> 1.0
Yayın balığı ( <i>Silurus glanis</i> )	18:3n-3	1.0
Kanal yayın balığı ( <i>Ictalurus punctatus</i> )	18:3n-3	1.0-2.0
	n-3 HUFA	0.5-0.75

### 3.4. Anaç Balık

Anaç olarak kullanılan balık ve diğer su canlılarının esansiyel yağ asit içeriği dengeli olan yemle beslenmesi; sperm ve yumurta verimliliğini, yumurtalarının döllenme oranını, bunlardan elde edilen larvaların

kalitesini ve yaşama oranını arttırmaktadır (Harlıoğlu vd., 2012; Harlıoğlu vd., 2013a, b; Harlıoğlu vd., 2015; Köprücü vd., 2015; Köprücü ve Özcan, 2019; Mişe vd., 2020; Ozer vd., 2020; Yonar ve Köprücü, 2016). Yüksek miktar ve kaliteye sahip sperma, yumurta, larva ve yavru üretmek için; gökkuşuğu alabalığı (*O. mykiss*) anaç yemleri en az %2,2 oranında n-3 serisi yağ asidi içermelidir (Özgür, 2009).

Mısır yağının n-3 HUFA ve linoleik asit içeriği zengindir. Bunun yanı sıra, Nil tilapia (*O. nilotica*) balığının anaç yemine n-6 ve n-3 serisi esansiyel yağ asitlerince zengin olan soya yağının katılması bunların üreme verimliliğini ve kalitesini arttırmaktadır (Sarget vd., 2002). Doğal ortamdaki tirs balığı (*Stizostedion vitreum*)'nın yumurtaları araşidonik asit bakımından zengindir. Bu nedenle bunların yumurtalarının hem dölleme hem de açılma oranı oldukça yüksektir (Czesny ve Dabrowski, 1998).

## KAYNAKLAR

- AHLGREN, G., GUSTAFSSON, I.B., BOBERG, M. (1992), Fatty acid content and chemical composition of freshwater microalgae, *Journal of Phycology*, 28, 37-50.
- ALMANSA, E., PEREZ, M.J., CEJAS, J.R., BADIA, P., VILLAMANDOS, J.E., LORENZO, A. (1999), Influence of broodstock gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) dietary fatty acids on egg quality and egg fatty acid composition throughout the spawning season, *Aquaculture*, 170, 323-336.
- ANDERSON, A.J., ARTHINGTON, A.H. (1989), Effect of dietary lipid on the fatty acid composition of silver perch (*Leiopotherapon bidyanus*) lipids, *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 93(3), 715-720.
- ANDO, Y., KOTAKE, M., OTA, T. (1997), Lipids and fatty acids in *Artemia nauplii* enriched with fish oil triacylglycerols containing docosahexaenoic acid in different positional distribution patterns, *Fisheries Science*, 63, 605-609.
- BELL, M.V., HENDERSON, R.J., PIRIE, B.J.S., SARGENT, J.R. (1985), Effect of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot, *Scophthalmus maximus*, *Journal of Fish Biology*, 26, 181-191.
- BELL, J.G., CASTELL, J.D., TOCHER, D.R., MCDONALD, F.M., SARGENT, J.R. (1995), Effects of different dietary arachidonic acid: docosahexaenoic acid ratios on phospholipid fatty acid compositions and prostaglandin production in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*, *Fish Physiology and Biochemistry*, 14, 139-151.
- BELL, M.V., MCEVOY, L.A., NAVARRO, J.C. (1996 a), Deficit of didocosa-hexaenoyl phospholipid in the eyes of larval sea bass fed an essential fatty acid deficient diet, *Journal of Fish Biology*, 49, 941-952.
- BELL, M.V., DICK, J.R., THRUSH, M., NAVARRO, J.C. (1996 b), Decreased 20:4n-6/20:5n-3 ratio in sperm from cultured sea bass, *Dicentrarchus labrax*, broodstock compared to wild fish, *Aquaculture*, 144, 189-199.
- BELL, M.V., DICK, J.R., BUDA, C.S. (1997), Molecular speciation of fish sperm phospholipids: large amounts of dipolyunsaturated phosphatidylserine, *Lipids*, 32, 1085-1091.
- BESSONART, M., IZQUIERDO, M.S., SALHI, M., HERNANDEZ-CRUZ, C.M., GONZALEZ, M.M., FERNANDEZ-PALACIOS, H. (1999), Effect of dietary arachidonic acid levels on growth and survival of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) larvae, *Aquaculture*, 179, 265-275.
- BRUCE, M., OYEN, F., BELL, G., ASTURIANO, J.F., FARNDAL, B., CARRILLO, M., ZANUY, S., RAMOS, J., BROMAGE, N. (1999), Development of broodstock diets for the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*)

with special emphasis on the importance of n-3 and n-6 highly unsaturated fatty acid to reproductive performance, *Aquaculture*, 177, 85-97.

- CHOU, B.S., SHIAU, S.Y. (1999), Both n-6 and n-3 fatty acids are required for maximal growth of juvenile hybrid tilapia, *North American Journal of Aquaculture*, 61, 13-20.
- CZESNY, S., DABROWSKI, K. (1998), The effect of egg fatty acid concentrations on embryo viability in wild and domesticated walleye (*Stizostedion vitreum*), *Aquatic Living Resources*, 11, 371-378.
- DEVAUCHELLE, N., COVES, D. (1988), The Characteristic sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) eggs: Description, biochemical composition and hatching performances, *Aquatic Living Resources*, 1, 223-230.
- ESTEVEZ, A., KANAZAWA, A. (1996), Fatty acid composition of neural tissues of normally pigmented and unpigmented juveniles of Japanese flounder using Rotifer and Artemia enriched in n-3 HUFA, *Fisheries Science*, 62, 88-93.
- ESTEVEZ, A., ISHIKAWA, M., KANAZAWA, A. (1997) Effects of arachidonic acid on pigmentation and fatty acid composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck and Schlegel), *Aquaculture Research*, 28(4), 279-289.
- ESTEVEZ, A., MCEVOY, L.A., BELL, J.G., SARGENT, J.R. (1999), Growth, survival, lipid composition and pigmentation of turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae fed live-prey enriched in Arachidonic and Eicosapentaenoic acids, *Aquaculture*, 180(3-4), 321-343.
- EVANS, R.P., PARRISH, C.C., BROWN, J.A., DAVIS, P.J. (1996), Biochemical composition of eggs from repeat and first-time spawning captive Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*), *Aquaculture*, 139, 139-149.
- FALK-PETERSEN, S., SARGENT, J.R., FOX, C., FALK-PETERSEN, I.B., HAUG, T., KJORSVIK, E. (1989), Eggs from planktonic samples in Northern Norway, *Marine Biology*, 101, 553- 556.
- FINN, R.N., HENDERSON, R.J., FYHN, H.J. (1995), Physiological energetics of developing embryos and larvae of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) II. Lipid metabolism and enthalpy balance, *Marine Biology*, 124, 371-379.
- FRASER, A.J., GAMBLE, J.C., SARGENT, J.R. (1988), Changes in lipid content, lipid class composition, and fatty acid composition of developing eggs and unfed larvae of cod (*Gadus morhua*), *Marine Biology*, 99, 307-313.
- HALVER, J.E., HARDY, R.W. (2002), *Fish Nutrition*, New York: Academic Press.
- HARLIOĞLU, M.M., KÖPRÜCÜ, K., HARLIOĞLU, A.G., YILMAZ, Ö., AYDIN, S., MIŞE YONAR, S., ÇAKMAK DURAN, T., ÖZCAN, S. (2012), The effects of dietary n-3 series fatty acid on the fatty acid composition,

cholesterol and fat-soluble vitamins of pleopodal eggs and stage 1 juveniles in a freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz), *Aquaculture*, 356-357, 310-316.

- HARLIOĞLU, M.M., ÇAKMAK, M.N., KÖPRÜCÜ, K., AKSU, Ö., HARLIOĞLU, A.G., MIŞE YONAR, S., ÇAKMAK DURAN, T., ÖZCAN, S., GÜNDOĞDU, H. (2013a), The effect of dietary n-3 series fatty acids on the number of pleopodal egg and stage 1 juvenile in freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus* Eschscholtz, *Aquaculture Research*, 44(6), 860-868.
- HARLIOĞLU, M.M., KÖPRÜCÜ, K., HARLIOĞLU, A.G., MIŞE YONAR, S., ÇAKMAK DURAN, T., ÇAKMAK, M.N., AKSU Ö., ÖZCAN, S., KUTLUYER, F., GÜNDOĞDU, H. (2013b), Effect of dietary n-3 series fatty acids on sperm production in the freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz) (Atacidae), *Aquaculture International*, 21(2), 273-282.
- HARLIOĞLU, M.M., KÖPRÜCÜ, K., HARLIOĞLU, A.G., YILMAZ, Ö., MIŞE YONAR, S., AYDIN, S., ÇAKMAK DURAN, T. (2015), Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on the nutritional quality of abdomen meat and hepatopancreas in a freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*), *Journal of Food Composition and Analysis*, 41, 144-150.
- HIGGS, D.A., DOSANJH, B.S., PLOTNIKOFF, M.D., MARKERT, J.R., LAWSETH, D., MCBRIDE, J.R., BUCKLEY, J.T. (1992), Influence of dietary protein to lipid ratio and lipid composition on the performance and marine survival of hatchery reared chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*), *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 92(3), 46-48.
- IBEAS, C., CEJAS, J., GOMEZ, T., JEREZ, S., LORENZO, A. (1996), Influence of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels on juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition, *Aquaculture*, 142, 221-235.
- IZQUIERDO, M.S. (1996), Essential fatty acid requirements of cultured marine fish larvae, *Aquaculture Nutrition*, 2, 183-191.
- KÖPRÜCÜ, K., YONAR, M. E., ÖZCAN, S. (2015), Effect of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on antioxidant defense and sperm quality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under regular stripping conditions, *Animal Reproduction Science*, 163, 135-143.
- KÖPRÜCÜ, K., ÖZCAN, S. (2019), Fatty acid, fat-soluble vitamin and sterol contents in testis and semen, testis-somatic index and spermatologic values of broodstock rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with different levels of omega-3 fatty acids under regular stripping conditions, *Aquaculture Research*, 50, 2477-2485.
- MIŞE YONAR, S., KÖPRÜCÜ, K., ÖZCAN, S. (2020), Dietary profile of n-3 series LC-PUFAs in rainbow trout under regular stripping condition: semen production and quality, hepato-somatic index, haemato-immunologic

- values, oxidative stress, and fatty acid composition of liver, muscle and semen, *Aquaculture Research*, 51, 570-578.
- MORUENTE, G., ODRIÓZOLA, J.M. (1990), Effect of broodstock diets on lipid classes and their fatty acid composition of larvae of gilthead seabream (*Sparus aurata*), *Fish Physiology and Biochemistry*, 8(2), 103-110.
- MOURENTE, G., RODRIGUEZ, A., GRAU, A., PASTOR, E. (1999), Utilization of lipid by *Dentex dentex* L. (Osteichthyes, Sparidae) larvae during lecithotrophia and subsequent starvation, *Fish Physiology and Biochemistry*, 21, 45-48.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1990), *Nutrient Requirement of Coldwater Fishes*, National Academy Press: Washington D.C.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1992), *Nutrient Requirement of Warmwater Fishes and Shellfishes*, Revised Edition, National Academy Press: Washington.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1999), *Nutrient Requirement of Fish*, National Academy Press: Washington D.C.
- NAVARRO, J.C., MCEVOY, L.A., BELL, M.V., AMAT, F., HONTORIA, F., SARGENT, J.R. (1997), Effect of different dietary levels of docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3) on the DHA composition of lipid classes in sea bass larvae eyes, *Aquaculture International*, 5, 509-516.
- NAVARRO, J.C., HENDERSON, R.J., MCEVOY, L.A., BELL, M.V., AMAT, F. (1999), Lipid conversion during enrichment of Artemia, *Aquaculture*, 174, 155-166.
- OZER KAYA, S., GUR, S., KÖPRÜCÜ, K., TURK, G., SONMEZ, M., ÖZCAN, S. (2020), Effect of dietary n-3 series fatty acids on sperm motility duration of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), *Clinical and Experimental Health Sciences*, 10, 104-107.
- ÖZGÜR, M.E. (2009), *Gökkuşluğu Alabalığı (Oncorhynchus mykiss) Üretiminde Yumurta, Embriyo ve Larva Kalitesine, Yeme Katılan n-3 Serisi Esansiyel Yağ Asitlerinin Etkisi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: Elazığ.
- PICKOVA, J., DUTTA, P., LARSSON, P.O., KIESSLING, A. (1997), Early embryonic cleavage pattern, hatching success and egg-lipid fatty acid composition: Comparison between two cod stocks (*Gadus morhua*), *Canadian Journal of Fish and Aquatic Science*, 54, 2410-2416.
- RAINUZZO, J.R., REITAN, K.T., JORGENSEN, L. (1991), Fatty acid and lipid utilisation in the yolk-sac stage of marine fish larvae, European Aquaculture Society, Special Publication No:15, Gent, Belgium, pp. 26-29.
- SALHI, M., IZQUIERDO, M.S., HERNANDEZ-CRUZ, C.M., GONZALES, M., FERNANDEZ-PALACIOS, H. (1994), Effect of lipid and n-3 HUFA



- levels in microdiets on growth, survival and fatty acid composition of larval gilthead seabream (*Sparus Aurata*), *Aquaculture*, 24, 275-282.
- SARGENT, J.R., HENDERSON, R.J., TOCHER, D.R. (1989), The Lipids. In: HALVER, J.E. (ed.) *Fish Nutrition*, pp. 153-218, Academic Press: San Diego, CA.
- SARGENT, J.R., BELL, J.G., BELL, M.V., HENDERSON, R.J., TOCHER, D.R. (1995a), Origin and functions of n-3 polyunsaturated fatty acids in marine organisms, In: CEVE, G., PALTAUF, F. (Eds.), *Phospholipids: Characterization, Metabolism and Novel Biological Applications*, pp. 248-259, Am. Oil Chem. Soc. Press, Champaign: USA.
- SARGENT, J.R., BELL, J.G., BELL, M.V., HENDERSON, R.J., TOCHER, D.R. (1995b), Dietary origins and functions of longchain (n-3) polyunsaturated fatty acids in marine fish, *Journal of Marine Biotechnology*, 3, 26-28.
- SARGENT, J.R., TOCHE D.R., BELL, J.G. (2002), The Lipids. In: HALVER, J.E., HARDY, R.W. (Eds.), *Fish Nutrition*, pp. 182-257, Academic Press: San Diego.
- SILVERSAND, C., NORBERG, B., HAUX, C. (1996), Fatty-acid composition of ovulated eggs from wild and cultured turbot (*Scophthalmus maximus*) in relation to yolk and oil globule lipids, *Marine Biology*, 125, 269-278.
- TAKEUCHI, T., SHIINA, Y., WATANABE, T. (1991), Suitable protein and lipid levels in diet for fingerlings of red sea bream, *Pagrus major*, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 509-514.
- TAKEUCHI, T., SHIINA, Y., WATANABE, T., SEKIYA, S., IMAIZUMI, K. (1992), Suitable levels of n-3 highly unsaturated fatty acids in diet for fingerlings of yellowtail, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58 (7), 1341-1346.
- TINOCO, J. (1982), Dietary requirements and functions of  $\alpha$ -linolenic acid in animals, *Progress in Lipid Research*, 21, 1-45.
- TOCHER, D.R., SARGENT, J.R. (1984), Studies on triacylglycerol, wax ester and sterol ester hydrolases in intestinal caeca of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed diets rich in triacylglycerols and wax esters, *Comparative Biochemistry and Physiology B*, 77(3), 561-571.
- VAZQUEZ, R., GONZALEZ, S., RODRIGUEZ, A., MOURENTE, G. (1994), Biochemical composition and fatty acid content of fertilized eggs, yolk sac stage larva and first-feeding larvae of the Senegal sole (*Solea senegalensis* Kaup), *Aquaculture*, 119, 273-286.
- WATANABE, T., IZQUIERDO, M.S., TAKKEUCHI, T., SATOH, S., KITAJIMA C. (1989), Comparison between eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in larval red seabream, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(9), 1636-1640.
- WATANABE, T. (1993), Importance of DHA in marine larval fish, *Journal of the World Aquaculture Society*, 24, 152-161.

YONAR, M.E., KÖPRÜCÜ, K. (2016), Influences of dietary omega-3 fatty acids on haematologic and immunologic changes in rainbow trout milked regularly, *Cellular and Molecular Biology*, 62(13), 49-53.

“

## Bölüm 9

***PINUS SYLVESTRIS L. FİDANLARINA  
İLİŞKİN BAZI MORFOLOJİK  
KARAKTERLERİN YÜKSELTİYE  
BAĞLI DEĞİŞİMİ***

*Deniz GÜNEY<sup>1</sup>*

*Ali BAYRAKTAR<sup>2</sup>*

”

---

1 Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0001-7222-6162, d\_guney@ktu.edu.tr

2 Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0002-8420-7089, alibayraktar@ktu.edu.tr

## GİRİŞ

Ormancılık çalışmalarında, sürdürülebilirliğin gerçekleştirilebilmesi için teknik uygulamaların hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda orijini belli, genetik nitelikleri üstün tohumlardan fidan üretmek ve bunu ağaçlandırmalarda kullanmak önem arz etmektedir. Bunu sağlamak için, kullanılacak tohumun kalitatif özellikleri ve verim kabiliyeti tespit edilmeli ve tohumun hasat edildiği yer ile kullanıldığı yer arasındaki yetiştirme yeri koşullarına ilişkin analizler çok iyi değerlendirilerek uygulamaya geçilmelidir. Buna bağlı olarak, ağaçlandırma çalışmalarında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri kalıtsal özelliği iyi olan, yüksek artım sağlayan orijini belli tohumlardan elde edilen kaliteli fidanları kullanmaktır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir faktör ise, ancak uygun olarak kullanılacak tohum materyallerinin hangi yöreden, hangi yükseklik kademesinden ve hangi ağaçlardan temin edileceğidir (Üçler ve Turna, 2003; Turna ve Güney, 2009; Güney vd., 2015).

Uzun dönemleri kapsayan ve yüksek maliyetleri olan orman kurma ve ağaçlandırma çalışmalarında kaynağı belli olan, genetik nitelikleri üstün tohum ve fidanın kullanılmaması bu çalışmaların uzun vadede karşı karşıya geleceği bir takım riskleri barındırdığı unutulmamalıdır. Bir fidanın genetik kalitesini ortaya koyabilmek için, generatif ya da vejetatif yolla üretildiği materyalin kaynağı olan popülasyonun ve burada bulunan ağaçların genetik varyasyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Nitekim bitkilerin biyotik ve abiyotik zararlara karşı direnci ve değişen iklim koşullarına adaptasyonu, tür içi genetik çeşitlilik ile birebir ilişkilidir (Filiz vd., 2011; Güney vd., 2014; Güney vd., 2019). Orman ağacı popülasyonları son yıllarda gerçekleşen küresel iklim değişikliğine bağlı olarak bir takım tehlikelerle karşı karşıya gelmektedirler. Dolayısıyla gen koruma çalışmalarının önemi daha da artmakta ve bu etkilerin ışığında koruma stratejileri geliştirmek gerekmektedir. Bu sayede gelecekte oluşacak gereksinimlere karşı bir seçenek olmak üzere genetik çeşitliliği daha yüksek popülasyonların belirlenmesi önemli bir seçenek olacaktır (St. Clair ve Howe, 2011; Alan, 2017).

İslah programlarının başlangıcını tür içi genetik varyasyon araştırmaları oluşturmakta olup ağaç ıslahında genetik kaynak olarak doğal meşcereler kullanılmaktadır. (Ledig, 1986; St. Clair ve Howe, 2011). Buna bağlı olarak farklı yetiştirme muhiti alanlarındaki popülasyonların kıyaslanması genetik çeşitliliği ortaya koymanın en iyi yolu olarak gösterilmektedir (Chmura, 2002). İslahta seleksiyon teorisi, bir türün gen havuzunun geniş olmasının, bu türün genetik çeşitlilik bakımından zengin olacağını ve farklı özellikleri barındıran yetiştirme ortamlarına ve küresel iklim değişikliği vb. çevresel koşullardaki ekstremelere karşı daha kolay adapte olacağını ifade eder (Yahyaoglu ve Genç, 2007).

Habitatlardaki biyotik ve abiyotik faktörlerin heterojenliği ve ekolojik özelliklerin zamansal ve mekânsal değişimi bitkilerin yaşamsal özelliklerini etkilemektedir (Matesanz vd., 2010; Herrera ve Bazaga, 2013; Atar ve Güney, 2021). Orman ekosistemindeki değişkenler bitkilerin morfolojik, fizyolojik ve anatomik özelliklerini değiştirdiği gibi bitkilerin kullanıldığı yerdeki adaptasyon özellikleri üzerinde de etkili olmaktadır (Nascimbene ve Marini, 2015). Ekolojik değişkenler arasında yükselti en önemli faktörlerden biri olup, yükseltinin değişimine bağlı olarak bir çok ekolojik özellikte farklılaşmaktadır. Yükseltinin artmasına bağlı olarak başta iklim değişkenleri olmak üzere meydana gelen ekolojik özelliklerdeki varyasyonlar bitkilerin gelişmiş yaşam öyküsü ve zamansal tepkileri ile bağlantılı olduğu ifade edilmektedir (Turna ve Güney, 2009; Aragon vd., 2012; Leingartner vd., 2014; Güney vd., 2019; Atar ve Güney, 2021).

Ülkemizin topoğrafik yapısının engebeli olması ve coğrafik yapısına bağlı olarak iklim ve toprak gibi özelliklerin kısa mesafelerde bile değişmesi, orman ağacı meşcerelerinde lokal ırk oluşumunun kısa mesafelerde dahi meydana gelebilmesine zemin hazırlar (Işık, 1988). Sarıçamın da gerek yatay gerekse dikey olarak çok geniş bir yayılış alanına sahip olması, genetik çeşitlilik gösterebileceğinin bir göstergesidir. Özellikle ülkemizde bu türün yükselti bakımında ekstrem bir yayılışının olması ve deniz seviyesinden 2700 m rakımlara kadar dikey bir yayılış göstermesi, yükseltiye bağlı göstereceği varyasyonların belirlenmesini daha da önemli kılmaktadır. İslah çalışmalarında genetik havuzu geniş orman popülasyonlarında çalışıldığında amaca uygun ıslah materyallerinin temin edilmesi daha kolay olup bu durum çalışma sonuçlarına dair riskleri azaltır (Turna ve Güney, 2009; Şevik vd., 2010; Bilgen vd., 2011; Güney vd., 2014; Güney vd., 2019).

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Türkiye’de Eskişehir’in batısından başlayıp doğuya doğru Kuzey Anadolu dağlarının yüksek kesimlerini kaplayarak Sarıkamış üzerinden Kafkas’lara geçer. Sarıçam, 38°34' - 41°48' kuzey enlemleri (Pınarbaşı) ile 28°00' - 43°05' (Orhaneli–Kağızman hattı) doğu boylamları arasında doğal yayılışa sahiptir. Sarıçamın dikey yayılışı deniz seviyesinden (Çamburnu ve Arhavi), Sarıkamış’ta 2700 metreye kadar çıkmakta ise de, ortalama olarak 1000-2500 metreler arasında saf ve diğer türlerle karışık olarak yayılış gösterir (Anşin, 1997; Anonim, 2001).

Bu çalışma ile Sarıçamın ülkemizdeki dikey yayılış alanını temsil edecek şekilde, deniz seviyesinden 2250 m rakıma kadar yayılış gösteren popülasyonlardaki fidan karakterlerine ilişkin morfogenetik varyasyonların belirlenmesi amaçlanmıştır. Buna bağlı olarak dikey yayılış alanlarındaki popülasyonlar arası ve içi varyasyonların ortaya koyulması, morfolojik karakterlerin yükseltiye bağlı gösterdiği değişimin belirlenmesi ve yükselti basamaklarına göre popülasyonların meydana getireceği grupların tespit edilmesi hedeflenmiştir.

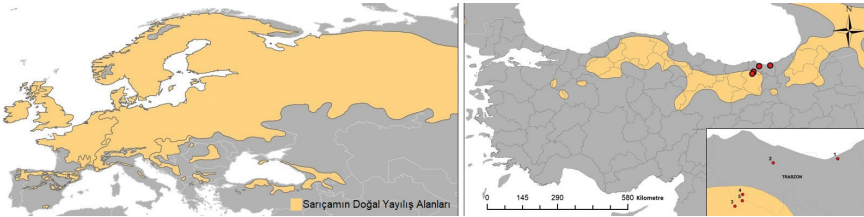
## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Çalışmada materyal olarak, Sarıçam'ın Trabzon yöresindeki doğal yayılış alanı içerisinde deniz seviyesinden (0 m), 2250 m'ye kadar olan yükselti kuşağı içerisindeki 5 popülasyondan toplanan tohumlardan yetiştirilen fidanlar kullanılmıştır. 0-450 m yükselti kuşağını temsilen Çamburnu (1 nolu popülasyon), 450-900 m yükselti kuşağı için Maçka-Alaçam (2 nolu popülasyon), 900-1350 m yükselti kuşağı için Zigana-3 (3 nolu popülasyon), 1350-1800 m yükselti kuşağı için Zigana-2 (4 nolu popülasyon) ve 1800-2250 m yükselti kuşağı için Zigana-1 (5 nolu popülasyon) popülasyonları seçilmiştir. Araştırmaya konu popülasyonların yükselti basamakları ve coğrafik koordinatları Tablo 1'de verilmiştir. Sarıçamın dünya ve Türkiye üzerindeki doğal yayılış alanları ile çalışılan popülasyonların coğrafi konumları ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışmaya konu popülasyonlara ilişkin genel bilgiler

Popülasyon No	Popülasyon Adı	Yükselti Kuşağı	Kuzey Enlemleri	Doğu Boylamları
1	Çamburnu	0 - 450	4531000-4530000	603000-602000
2	Maçka	450 - 900	4527500-4527000	557250-556750
3	Zigana-3	900 - 1350	4498500-4496000	529500-527000
4	Zigana-2	1350 - 1800	4502750-4501000	535500-534000
5	Zigana-1	1800 - 2250	4501000-4499000	535000-533000



Şekil 1. Popülasyonların ait olduğu orijinlerin coğrafi konumları

### Yöntem

5 farklı yükselti kuşağından toplanan tohumlar popülasyon ve ağaç bazında ayrı ayrı etiketlenerek hazırlanmıştır. Tohumların ekimleri popülasyon ve ağaç bazında ayrı ayrı olmak üzere Of Orman Fidanlığında tesadüfi bloklar deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya konu fidanlar KTÜ Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Serasında dış alan koşullarında yine popülasyon ve ağaç bazında ayrılan parsellerde rutin fidanlık uygulamaları altında yetiştirilerek incelemelere devam edil-

miş ve 7 yaşındaki fidanlarda ölçüm ve gözlemler yapılmıştır.

Çalışmaya konu fidanlarda gözlenen karakterlere ait ölçümler, vejetasyon dönemi sonunda gerçekleştirilmiştir. 5 popülasyon x 10 ağaç x 30 fidan olmak üzere toplam 1500 fidanda fidan boyu (FB), kök boğazı çapı (KBÇ), yan dal sayısı (YDS), tepe tomurcuk sayısı (TTS) ölçülmüş ve gürbüzlik indisi ( $G\dot{I}$ ) = [FB (mm) / KBÇ (mm)] (Aphalo ve Rikala, 2003) belirlenmiştir. Gürbüzlük indisi değerleri kullanılarak fidanlar; kaliteli ( $G\dot{I}<50$ ), orta kaliteli ( $50<G\dot{I}<60$ ) ve düşük kaliteli ( $G\dot{I}>60$ ) olarak sınıflandırılmıştır (Yahyaoglu ve Genç 2007). Ayrıca fidan morfolojik karakterlerinin varyasyon katsayıları yüksekliğe bağlı olarak belirlenmiştir. Varyasyon katsayısı (CV) şu şekilde hesaplandı:  $CV\% = (\sigma / \mu) \times 100$ ;  $\sigma$ :standart sapma,  $\mu$ :genel ortalamadır (Atar ve Turna, 2018).

Elde edilen veriler IBM SPSS 26.0 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada farklı yükseltilere bağlı olarak fidan morfolojik özelliklerinin popülasyonlar arasında ve popülasyonlar içindeki değişiminin istatistiksel olarak anlamlılığını ortaya koymak için varyans analizi (one-way ANOVA) ve bu analiz sonucunda anlamlı farklılıkların belirlenmesi halinde oluşan grupları tespit etmek için Duncan testi uygulanmıştır. Ayrıca ölçülen karakterlere göre çalışılan popülasyonlar arasındaki mesafeleri belirlemek için hiyerarşik Kümeleme Analizi kullanıldı.

## BULGULAR

Çalışmaya konu olan popülasyonlara ait 7 yaşındaki fidanlara ilişkin fidan boyu, kök boğazı çapı, yan dal sayısı, tepe tomurcuk sayısı ve gürbüzlük indisinin ortalama değerleri, standart sapmaları ile birlikte Tablo 2’de verilmiştir. Bu tabloda, ölçülen bu karakterlere bağlı olarak popülasyonlar arasında fark olup olmadığını ortaya koyan varyans analizi sonuçları ile Duncan testi sonucu oluşan gruplar görülmektedir.

*Tablo 2. Fidan karakterlerine ilişkin ortalama değerler ile varyans analizi ve Duncan testi sonuçları*

Popülasyonlar	FB (cm)	KBÇ (mm)	YDS (adet)	TTS (adet)	$G\dot{I}$ (mm/mm)
I. Yükselti Kuşağı	90.39±14.50 a	17.53±2.83 a	14.42±3.60 c	4.67±1.50 a	52.10±7.70 a
II. Yükselti Kuşağı	87.52±16.90 a	16.46±3.78 b	16.39±5.40 b	4.40±1.20 a	54.40±10.40 a
III. Yükselti Kuşağı	62.40±16.14 b	15.83±2.80 bc	17.07±5.40 ab	4.50±1.40 a	39.00±8.40 b
IV. Yükselti Kuşağı	54.86±11.30 c	13.94±2.55 d	14.70±3.40 c	4.62±1.80 a	39.70±6.40 b
V. Yükselti Kuşağı	57.83±10.60 c	15.30±2.60 c	18.34±4.30 a	4.67±1.70 a	38.30±6.60 b
Ortalama±Std. Sapma	70.32±20.90	15.80±3.17	16.20±4.30	4.57±1.50	44.6±10.6
F	138.533	19.89	12.72	0.599	94.008
p	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00

Fidanlarda ölçülen morfolojik özelliklere bağlı olarak farklı yükselti kuşaklarındaki popülasyonlar arasında fidan boyu bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların bulunduğu tespit edilmiştir. 7 yaşındaki fidan boyları 54.86-90.39 cm arasında değişmekte olup ortalama fidan boyu 70.32 cm olarak belirlenmiştir. Fidan boylarının yükselti ile olan ilişkisine baktığımızda genel itibariyle yükselti ile fidan boyları arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Nitekim, Zigana'da bulunan 4. yükselti kuşağından (1350-1800 m) 5. yükselti kuşağına (1800-2250 m) geçişte ortalama fidan boylarının bir miktar arttığını, bunun dışındaki yükseltelerde ise genel itibariyle yükseltinin artmasına bağlı olarak fidan boylarının azaldığı anlaşılmaktadır.

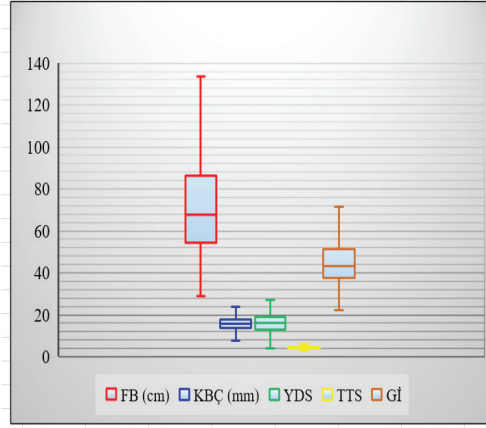
Fidan boyunda olduğu gibi kök boğazı çapı bakımından da popülasyonlara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Sarıçam fidanlarında kök boğazı çaplarının ise 13.94-17.53 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Yükseltiye göre kök boğazı çapı değişimi incelendiğinde, fidan boyuna benzer şekilde Zigana'da bulunan 4. yükselti kuşağından 5. yükselti kuşağına geçişte ortalama kök boğazı çapı ortalamalarının arttığı, bunun dışındaki yükseltelerde ise yükselti arttıkça bu ortalamaların azaldığı tespit edilmiştir.

Gürbüzlük indisi değerleri 38.3 ile 54.4 arasında değişmektedir. Gürbüzlük indisi değerleri yükseltinin artması ile genel olarak azaldığı ve yüksek rakımda yer alan popülasyonların daha iyi bir gürbüzlük indisi değerine sahip oldukları belirlenmiştir. Gürbüzlük indisi ortalama değerlerine bakıldığında; üçüncü, dördüncü ve beşinci yükselti kuşağındaki fidanların kaliteli, birinci ve ikinci yükselti kuşağındaki fidanların ise orta kaliteli fidan sınıfına girdiği görülmektedir.

Fidanların yan dal sayıları 14.42 ile 18.34 (adet) arasında değişmekte olup yine popülasyonlar arasındaki farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir. Yan dal sayılarının 3. yükselti kuşağından (900-1350 m) 4. yükselti kuşağına (1350-1800 m) geçişte bir azalma gösterdiği ancak bunun dışında yükseltinin artması ile yan dal sayıları arttığı anlaşılmıştır. Tepe tomurcuk sayıları ise 4.40 ile 4.67 (adet) arasında değiştiği, ortalama olarak 5.57 adet olduğu görülmüştür. Tepe tomurcuk sayılarının, yükseltinin değişimine bağlı olarak çok fazla değişmediği, nitekim bu değişimin istatistiki olarak anlamlı olmadığı Tablo 2'de görülmektedir.

Çalışmaya konu sarıçam fidanlarına ait morfolojik karakterlerin tüm popülasyonların genel ortalamasını içeren değerleri, standart sapmaları ve minimum-maksimum değerleri ile birlikte Şekil 2' gösterilmiştir.





Şekil 2. Morfolojik karakterlere ilişkin minimum, maksimum ve ortalama değerler

Popülasyonlar arasındaki fidan morfolojik karakterleri arasındaki farkların olup olmadığı belirlendikten sonra popülasyonlar içerisindeki ağaçlar arasında da bu özelliklere ilişkin farklar istatistiki olarak test edilmiştir. Buna ilişkin yapılan varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Fidan karakterlerine ilişkin varyans analizi ve Duncan testi sonuçları

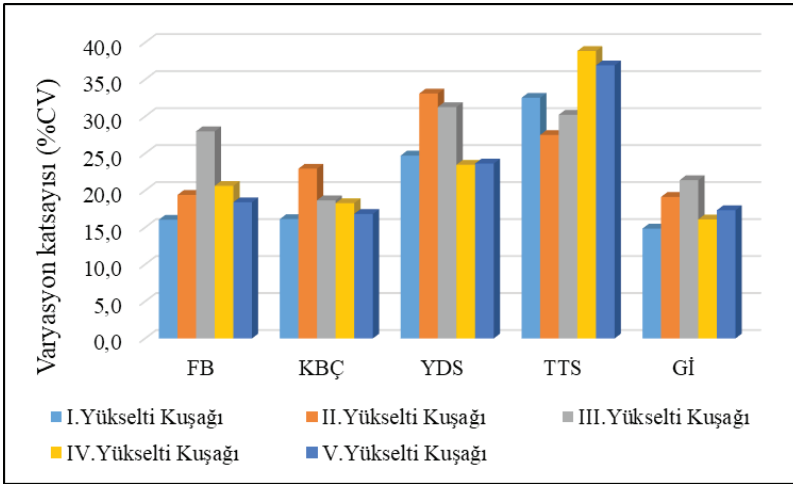
		FB (cm)	KBC (mm)	YDS (adet)	TTS (adet)	Gİ (mm/mm)
I. Yükselti Kuşağı	F	3.731	1.838	0.978	2.599	4.763
	p	0.001	0.073	0.464	0.011	0.000
	Grup sayısı	2	fy	fy	2	3
II. Yükselti Kuşağı	F	3.032	2.040	4.066	1.440	3.190
	p	0.003	0.044	0.000	0.184	0.002
	Grup sayısı	2	3	2	fy	3
III. Yükselti Kuşağı	F	7.001	3.666	1.964	2.104	2.934
	p	0.000	0.001	0.052	0.037	0.004
	Grup sayısı	4	4	fy	3	3
IV. Yükselti Kuşağı	F	6.004	4.818	3.127	0.732	3.283
	p	0.000	0.000	0.003	0.678	0.02
	Grup sayısı	4	5	3	fy	4
V. Yükselti Kuşağı	F	1.319	0.956	2.081	0.745	2.649
	p	0.239	0.482	0.040	0.667	0.009
	Grup sayısı	fy	fy	2	fy	3

fy (fark yok): Popülasyonlar içindeki ağaçlar arasında ölçülen karakterler bakımından istatistiki fark olmadığı için grup meydana gelmediğini ifade etmektedir.

7 yaşındaki fidanlarda 1. yükselti basamağında (0-450 m) KBC ve YDS dışındaki morfolojik karakterde ağaçlar arasında farklılıklar bulun-

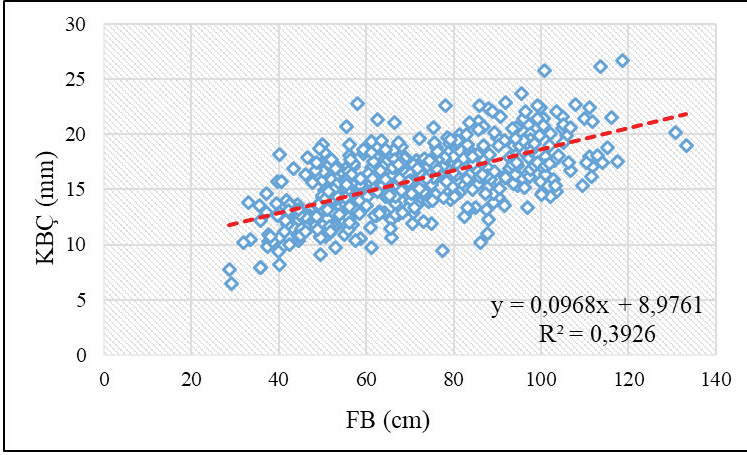
muştur. 10 ağaçla temsil edilen 1. Yükselti basamağında FB ve YDS bakımından 2'şer farklı grubun meydana geldiği tespit edilmiştir. 450-900 metreler arasında bulunan ikinci yükselti kuşağında ise TTS hariç tüm karakterler birbirinden farklı çıkmıştır. Buna göre FB ve YDS bakımından 2'şer, KBÇ ve Gİ bakımından ise 3'er farklı grup meydana geldiği tespit edilmiştir. Üçüncü yükselti kuşağında YDS hariç tüm karakterler birbirinden farklı çıkarken FB ve KBÇ bakımından 4'er, TTS ve Gİ bakımından ise 3'er farklı grup meydana gelmiştir. Dördüncü yükselti basamağında, ikinci yükselti basamağında olduğu gibi TTS hariç tüm karakterler birbirinden farklı çıkmıştır. Bu yükselti kuşağında bulunan popülasyona ait fidanlarda FB ve Gİ bakımından 4'er, YDS bakımından 3 ve KBÇ bakımından 5 farklı grup oluşmuştur. Deniz seviyesinden en uzak yükselti kuşağı olan 5. popülasyonda (1800-2550 m) ise YDS ve Gİ istatistiki olarak farklı çıkarken ölçülen diğer karakterler arasında ağaç bazında fark bulunmamıştır. Ağaçlar arasında fark gösteren YDS 2, Gİ ise 3 farklı gruba ayrılmıştır (Tablo 3).

Sarıçam fidanlarında ölçülen morfolojik karakterlere bağlı olarak yükselti kuşağına ilişkin belirlenen varyasyon katsayıları Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre 7 yaşındaki fidanlarda ölçülen morfolojik özelliklere bağlı olarak en yüksek varyasyon katsayısı genel itibariyle FB ve Gİ bakımından 3. yükselti kuşağındaki popülasyonda, KBÇ ve YDS bakımından 2. yükselti kuşağındaki popülasyonda, TTS bakımından ise 4. yükselti kuşağındaki popülasyonda çıkmıştır.



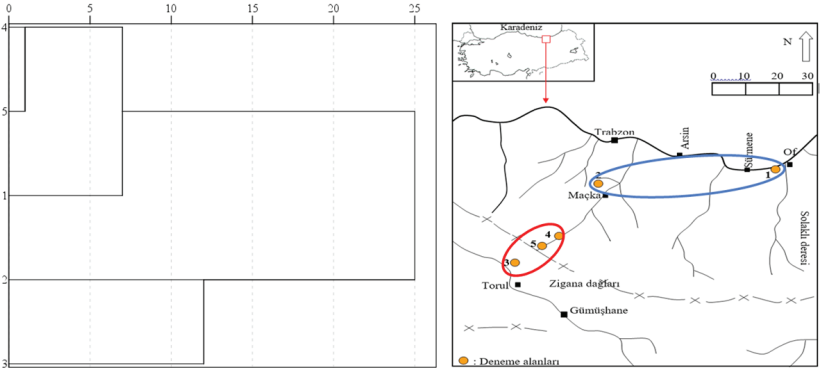
Şekil 3. 7 yaşındaki fidanlara ilişkin varyasyon katsayıları

Sarıçam fidanlarında tüm popülasyonların genel ortalaması alınarak elde edilen fidan boyu ve kök boğazı çapı arasındaki korelasyon değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak fidan boyu ile kök boğazı çapı arasındaki korelasyon katsayısı  $R^2 = 0.392$  olarak belirlenmiş olup meydana gelen denklem Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Sarıçam fidanlarının fidan boyu-kök boğazı çapı ilişkisi

Beş farklı yükselti kuşağından temin edilen tohumlardan yetiştirilen fidanlara ait ölçülen tüm karakterle bağlı olarak popülasyonlar arasındaki mesafe hiyerarşik kümeleme analizi tespit edilerek meydana gelen gruplandırma aşağıda verilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Ölçülen karakterlere göre kümeleme (cluster) analizi ile elde edilen dendrogram ve popülasyonların harita üzerinde gruplandırılması

Kümeleme analizi sonucu oluşan grupların anlamlılığı ayırma (diskriminant) analizi ile test edilmiştir. Buna göre 2 gruba ayırmanın anlamlı olduğu belirlenmiştir. Şekil 5'ten de görülebileceği gibi bu ayırma göre 1. ve 2. yükselti kuşağında bulunan popülasyonlar bir grupta yer alırken, 3., 4. ve 5. yükselti kuşağında bulunan popülasyonlar ise ikinci grubu oluşturmuştur. Buna göre yükseltisi birbirine yakın olan 0-450 ve 450-900 metreler arasındaki popülasyonlar aynı grupta, rakımları 900 metreden başlayarak 2250 metreye kadar çıkan kuşaktaki popülasyonlar ise diğer grupta yer almıştır. Bu gruplandırmanın harita üzerindeki gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Sarıçamda yükseltiyeye bağlı olarak popülasyon ve ağaç bazında 7 yaşındaki fidanlarda; fidan boyu, kök boğazı çapı, yan dal sayısı, tepe tohumcuk sayısı ölçülmüş ve gürbüzlük indisi belirlenmiştir. Bütün popülasyonların ortalamasına bakıldığında 7 yaşındaki fidanlarda ortalama fidan boyunun 70.32 cm, ortalama kök boğazı çapının ise 15.80 mm olduğu belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen verilere göre fidanlarda ölçülen fidan boyu ve kök boğazı çapı değerlerinin yükseltinin armasına bağlı olarak genel itibariyle azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Turna ve Güney (2009) tarafından sarıçamda aynı yükselti kuşaklarında gerçekleştirilen çalışmada 1 yaşındaki ortalama fidan boyu 6.45 cm olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada yine yükseltinin artmasına bağlı olarak fidan boyları azalmıştır. 1 yaşındaki sarıçam fidanları en yüksek boy ortalamasına 1. (0-450 m) ve 2. yükselti kuşağında (450-900 m) sahip olurken bunu sırasıyla 4. (1350-1800 m), 5. (1800-2250 m) ve 3. (900-1350 m) yükselti kuşakları takip etmiştir. Çalışmamızda kullanılan 7 yaşındaki fidanlarda da benzer bir seyir tespit edilmiş olup (1. ve 2. yükselti basamağı yine en yüksek ortalamaya sahip olup) sadece 4. ve 3. yükselti basamaklarındaki fidan boyu sıralaması yer değiştirmiştir.

Turna ve Güney (2009)'un çalışmasında 1 yaşındaki ortalama kök boğazı çapı 2.75 cm olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada yine yükseltinin artmasına bağlı olarak kök boğazı çapları da azalmıştır. 1 yaşındaki sarıçam fidanları en yüksek kök boğazı çapı ortalamasına 1. (0-450 m) ve 2. yükselti kuşağında (450-900 m) sahip olurken bunu sırasıyla 5. (1800-2250 m), 4. (1350-1800 m) ve 3. (900-1350 m) yükselti kuşakları takip etmiştir. Çalışmamızda kullanılan 7 yaşındaki fidanlarda da fidan boyunda olduğu gibi kök boğazı çapında da benzer bir seyir devam etmekte olup (1. ve 2. yükselti basamağı yine en yüksek ortalamaya sahip olup) bunu 3., 5. ve 4. yükselti basamaklarındaki popülasyonlar takip etmiştir. Bu verilerden de görülebileceği gibi yükselti basamaklarına bağlı olarak sarıçam fidanlarının 1 yaşında gösterdiği eğilim, 7 yaşındaki fidanlarda da büyük oranda benzer seyretmiştir. Bu sonuca bağlı olarak, aynı fidanlık koşullarında yetiştirilen fidanların alındığı orijinlerin kendi içinde gösterdiği büyüme seyrindeki paralelliğin genetikten kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Gerek çalışmamızda kullanılan 7 yaşındaki sarıçam fidanlarında, gerekse Turna ve Güney (2009)'un çalışmasında kullanılan 1 yaşındaki fidanlarda 1. ve 2. yükselti kuşağındaki popülasyonların en yüksek FB ve KBC ortalamasına sahip olmaları, fidanların yetiştirildiği fidanlıkların deniz seviyesine yakın olması bakımından, fidanları yetiştirmek için tohum toplanan orijinlerin yetişme yeri koşullarına diğer orijinlere nazaran daha fazla benzerlik göstermesi ile açıklanabilir.

Morfo-genetik karakterler popülasyon düzeyinde değişebildiği gibi aileler içinde de değişebilmektedir. Bu varyasyonların ortaya koyulması, türün adaptasyon yeteneği yanında ağaçlandırma ve yapay gençleştirme çalışmalarının başarısı bakımından da önem taşımaktadır (Tunçtaner, 2007). Sarıçamda deniz seviyesinden 2250 metre yükselti kuşağına kadar temsil edilen yayılış alanı içerisinde 5 farklı yükselti kuşağından yetiştirilen fidanlarda da gerek popülasyonlar arasında gerekse popülasyonlar içerisindeki ağaçlar arasında istatistiki analizlere bağlı olarak varyasyonların olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde kızılçam (Işık, 1986; Işık, 1994; Işık ve Kara, 1997), doğu ladini (Atasoy, 1996; Güney vd., 2019), Kazdağı göknarı (Velioğlu, 1999), sahilçamı (Şimşek vd., 1985), fıstıkçamı (Yahyaoglu vd., 2012), doğu kayını (Güney vd., 2016), adi gürgen (Güney vd., 2015; Atar vd., 2017; Atar, 2021) ve doğu gürgeni (Güney vd., 2013; Atar vd., 2014; Atar ve Güney, 2021) gibi türlerde popülasyonlara göre varyasyonların belirlendiği araştırmalar bulunmaktadır.

Çalışmamızda, morfolojik özelliklere bağlı olarak belirlenen varyasyon katsayılarına bakıldığından genel olarak en yüksek varyasyon katsayıları 2. ve 3. yükselti kuşağındaki fidanlarda çıkmıştır. Orman ağacı popülasyonlarında denizden olan yükseklik farkı, popülasyonlar arasında önemli oranda varyasyonların oluşması bakımından çok önemli bir faktördür. Nitekim 1000 metrelik bir yükseklik farkı, birkaç yüz kilometrelik yatay mesafede meydana gelebilecek iklim değişikliklerinden çok daha fazla farklılık oluşturması muhtemeldir. Buna bağlı olarak meydana gelen seleksiyon ile yüksek rakımda bulunan popülasyonlar ve buradaki bireyler ile alçak rakımdaki bireyler çok fazla farklılık arz edebilir. Yüksekliğe bağlı farklılıkları ortaya koymak için İsveçteki Sarıçam'lar (*Pinus sylvestris*) ve Kaliforniya'daki ponderosa çamları (*Pinus ponderosa*) üzerinde yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir. Her iki ağaç türünde de yükseklik kademelerinin değişmesi ile genetik yapıları da değişmektedir (Ürgenç, 1982; Şimşek, 1993). Sarıçamda gerçekleştirilen bazı çalışmalarda da yükseltiye bağlı olarak meydana gelen varyasyonlar ortaya koyulmuştur (Turna, 2003; Turna ve Güney, 2009; Şevik vd., 2010; Bilgen vd., 2011). Bunlarla birlikte; sarıçamda iğne yaprak, polen, kozalak, tohum ve çimlenme, tohum kanadı, kotiledon sayısı, fidan özellikleri, su stresi dene-mesi, fidan dallanma geometrisi (Eliçin, 1971; Turna vd., 2006; Güney vd., 2011; Kulaç vd., 2011; Lučić vd., 2012), anatomik tohum olgunluğu (Harju vd., 1996), tohum örnekleri kullanılarak yapılan izoenzim ve DNA analizi (Prus-Glowacki ve Stephan, 1994; Yahyaoglu vd., 1994; Vidyakin vd., 2015; Tereba vd., 2021; Tikhonova vd., 2021), kap materyalinin fidanların morfolojik özellikleri üzerine etkisine (Kulaç vd., 2008) ilişkin yapılan çalışmalarda varyasyonlar ortaya koyulmuştur.

Orman ağaçları, doğal yaşam alanları içerisindeki şartlarda hayatiyetlerini devam ettirebilmeleri için gerekli olan bilgileri kodlayan genlere

sahiptirler. Bu açıdan bakıldığında, orman ağaçlarının genetik yapılarının belirlenmesinin ıslah çalışmaları bakımından ne denli önemli olduğu anlaşılacaktır. Genlerin, polen, tohum yada bu tohumlardan üretilen fidanlar yoluyla, türün bir meşceresinden başka bir meşcereye taşınması ile yeni popülasyona giren ve buradaki ekolojik koşullar için henüz yeni olan gen kombinasyonları, daha sonraki generasyonlarda biyolojik uyum bozukluklarına ve üretim kaybına neden olabilmektedir. Bu anlamda orman popülasyonlarında gen kaynaklarının korunması için gerekli önlemler alınmalı, gerek hacim ve kalite artımı gerekse biyotik ve abiyotik zararlara karşı dayanıklı generasyonlar yetiştirmede önemli görevler üstlenen ıslah çalışmaları ile orman ağaçlarının genetik çeşitliliği gelecek kuşaklara aktarılmalıdır (Yahyaoğlu ve Genç, 1990; Yahyaoğlu vd., 1993).

## KAYNAKÇA

- Alan, M., (2017). Importance of marginal populations for conservation of forest gene resources. *Biological Diversity and Conservation*, 10/2(S2), 55-62.
- Anonim, (2001). *Sarıçam El Kitabı Dizisi: 7*, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Muhtelif Yayınlar Serisi: 67, Ankara.
- Anşin, R. ve Özkan, Z.C. (1997). *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*, 2. Baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 167, Fakülte Yayın No: 19, Trabzon.
- Aphalo, P. and Rikala, R. (2003). Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 25, 93-108, Kluwer Academic Publishers. Printed in The Netherlands.
- Aragon, G., Martínez, I. and García, A. (2012). Loss of epiphytic diversity along a latitudinal gradient in southern Europe. *Sci. Total Environ*, 426, 188-195.
- Atar, E., Atar, F., Güney, D., Turna, İ. ve Seyis E. (2014). Doğu gürgeni'nde (*Carpinus orientalis* Miller) yaprak karakterlerine ait bazı morfolojik özelliklerin yükseltiye bağlı olarak değişimi. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Isparta, Türkiye, 22 - 24 Ekim, ss.870-876.
- Atar, F. (2021). Effects of altitude on some seedling quality characteristics of *Carpinus betulus* L. (Common Hornbeam) and *Carpinus orientalis* Mill. (Oriental Hornbeam). *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(2), 257-265.
- Atar, F., Bayraktar, A., Atar, E. ve Turna, İ. (2017). Morphological diversity of common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) seeds in the Eastern Black Sea Region of Turkey. International Forestry and Environment Symposium, Trabzon, Turkey, 7-10 Nov. p. 203
- Atar, F. ve Turna, I. (2018). Fruit and seedling diversity among sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) populations in Turkey. *Şumarski list*, 142(11-12), 611-619.
- Atar, F. ve Güney, D. (2021). Doğu gürgeni (*Carpinus orientalis* Mill.) fidanlarında farklı ön işlem ve yükseltiye bağlı olarak klorofil içeriğinin değişimi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 236-243.
- Atasoy, H. (1996). *Doğu ladininde (Picea orientalis (L.) Link) tohum ve fidan özellikleri bakımından popülasyonlar arası ve içi genetik çeşitlilik*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten No:261, Ankara.
- Bilgen, B.B., Güney, D. and Kaya, N. (2011). Estimation of altitudinal genetic variation in *Pinus sylvestris* L. populations in Trabzon by RAPD markers. VI. International Symposium on Ecology and Environmental Problems, 17-20 November, Antalya.
- Chmura, D.J. and Rozkowski, R. (2002). Variability of beech provenances in spring and autumn phenology, *Silvae Genetica*, 51, 2-3.

- Eliçin, G. (1971). *Türkiye sarıçam (Pinus silvestris L.)'larında morfojenetik araştırmalar*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları Yayın No, 1662, 180, İstanbul.
- Filiz, E., Çiçek, E., and Aydın, Y. (2011). Forest genetics and biotechnology. *SDU Faculty of Forestry Journal*, 12, 155-162.
- Güney, D., Kulaç, Ş., Turna, İ. and Bulut B. (2009). Effect of water stress on some morphological traits in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. Adaptation Potential in Plants, FEBS Workshop, Vienna, Avusturya, ss.54.
- Güney, D., Hatipoğlu, E., Atar, F., Turna, İ. and Kulaç, Ş. (2013). Changes of some morphological characteristics of oriental hornbeam (*Carpinus orientalis* Miller) seeds depending on altitude. International Caucasian Forestry Symposium, Artvin, Turkey, 24 - 26 Oct. pp. 97-102.
- Güney, D., Yahyaoglu, Z., Turna, İ. and Müller-Strack, G. (2014). Genetic variation in *Pinus brutia* in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(5), 1249-1254.
- Güney, D., Atar, F., Atar, E., Turna, İ. and Kulaç, Ş. (2015). The effect of pre-treatments and seed collection time on the germination characteristics of common hornbeam (*Carpinus betulus*) seeds in the Eastern Black Sea Region, Turkey. *Seed Science and Technology*, 43(1), 1-9.
- Güney, D., Turna, H., Turna, İ., Kulaç, Ş., Atar, F. and Fıfız, E. (2016). Variations within and among populations depending on some leaf characteristics of oriental beech *Fagus orientalis* Lipsky. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 9(2), 1-9.
- Güney, D., Yahyaoglu, Z., Turna, İ., Bayraktar, A., and Atar, F. (2019). Genetic variation in *Picea orientalis* (L.) Link populations located in different regions of Turkey, *Şumarski list*, 143(11-12), 539-547.
- Harju, A.M., Karkkainen, K. and Ruotsalainen, S. (1996). Phenotypic and Genetic variation in the seed maturity of Scots pine. *Silvae Genetica*, 45(4), 205-211.
- Herrera, C.M. and Bazaga, P. (2013). Epigenetic correlates of plant phenotypic plasticity: DNA methylation differs between prickly and nonprickly leaves in heterophyllous *Ilex aquifolium* (Aquifoliaceae) trees. *Bot. J. Linn. Soc.*, 171, 441-452.
- Işık, F. (1994). *Kızılçam (Pinus brutia Ten.) popülasyonlarında denizden uzaklık ve yüksekliğe göre değişen genetik çeşitlilik*. Batı Akdeniz Araştırma Müdürlüğü Yayınları, Antalya.
- Işık, K. (1986). Altitudinal variation in *Pinus brutia* Ten.: Seed and seedling characteristics. *Silvae Genetica*, 35(2/3), 58-67.
- Işık, K. (1988). Orman ağacı türlerimizde lokal ırkların önemi ve genetik kirlenme sorunları. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 25(11), 25-30.



- Işık, K. and Kara, N. (1997). Altitudinal variation in *Pinus brutia* Ten. and its implication in genetic conservation and seed transfers in Southern Turkey. *Silvae Genetica*, 46(2-3), 113-120.
- Kulaç, Ş., Turna, İ. ve Güney, D. (2008). Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)'da yetiştirme ortamının ve kullanılan kap materyalinin fidanların morfolojik özellikleri üzerine etkisi. 19. Ulusal Biyoloji Kongresi, Trabzon, Türkiye.
- Kulaç, Ş., Çakar, S., Güney, D., Turna, İ. ve Şevik, H. (2011). Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) tohumlarında morfolojik özelliklerin çimlenme üzerine etkileri. IV. Tohumculuk Kongresi, Samsun, Türkiye, ss.465-471.
- Ledig, F.T. (1986). Conservation strategies for forest gene resources. *Forest Ecology and Management*, 14, 77-90.
- Leingartner, A., Hoiss, B., Krauss, J. and Dewenter, I.S. (2014). Combined effects of extreme climatic events and elevation on nutritional quality and herbivory of alpine plants. *PloS one*, 9(4).
- Lučić, A., Isajev, V., Rakonjac, L., Mataruga, M., Popović, V., Nevenić, R., and Mladenović-Drinić, S. (2012). Analysis of inter-population variability Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using morphometric markers. *Genetika*, 44(3), 689-699.
- Matesanz, S., Gianoli, E. and Valladares, F. (2010). Global change and the evolution of phenotypic plasticity in plants. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1206, 35-55.
- Nascimbene, J. and Marini, L. (2015). Epiphytic lichen diversity along elevational gradients: biological traits reveal a complex response to water and energy. *Journal of Biogeography*, 42, 1222-1232.
- Prus-Glowacki, W. and Stephan, B.R. (1994). Genetic variation of *Pinus sylvestris* from Spain in relation to other European populations. *Silvae Genetica*, 43(1), 7-14.
- St. Clair, B.J. and Howe, G.T. (2011). Strategies for conserving forest genetic resources in the face of climate change. *Turkish Journal of Botany*, 35:403-409.
- Şevik, H., Ayan, S., Turna, İ. and Yahyaoğlu, Z. (2010) Genetic diversity among populations in Scotch pine (*Pinus silvestris* L.) seed stands of Western Black Sea Region in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 9(43), 7266-7272.
- Şimşek, Y. (1993). *Orman ağaçları ıslahına giriş*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Muhtelif Yayınlar Serisi No: 65, Ankara.
- Şimşek, Y., Tulukçu, M. ve Toplu, F. (1985). *Türkiye'de tesis edilen sahilçamı (Pinus pinaster Ait.) orijin denemelerinde büyüme ve kalite özelliklerindeki varyasyonlar üzerine araştırmalar*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Seri No: 149, Ankara.

- Tereba, A., Konecka, A. and Fyalkowska, K. (2021). A set of 20 single nucleotide polymorphism markers as a tool in genetic diversity study of Scots pine. *Sylwan*, 165(7), 509-518.
- Tikhonova, I.V., Ekart, A.K., Kravchenko, A.N. and Tikhonova, N.A. (2021). Genetic variability in *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*, and *Abies sibirica* populations and in felling in the Southern Taiga of Central Siberia. *Russian Journal of Genetics*, 57(3), 297-310.
- Tunçtaner, K. (2007). *Orman genetiği ve ağaç ıslahı*. Türkiye Ormancılar Derneği Eğitim Dizisi: 4, Ankara, 364 s.
- Turna, İ., Acar, C., Güney, D., Kulaç, Ş. ve Eroğlu E. (2006). Sarıçam'ın (*Pinus sylvestris* L.) dallanma geometrisi ve form gelişimi üzerine bir araştırma. 18. Ulusal Biyoloji Kongresi, Aydın, Türkiye, s.959.
- Turna, İ. and Güney, D. (2009). Altitudinal variation of some morphological characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Turkey, *African Journal of Biotechnolog*, 8(2), 202-208.
- Turna, İ. (2003). Variation of Morphological and electrophoretic characters of 11 populations of Scots Pine in Turkey. *Israel Journal of Plant Sciences*, 51(3), 223-230.
- Üçler, A.Ö. ve Turna, İ. (2003). *Ağaçlandırma tekniği*. KTÜ, Orman Fakültesi Ders Notları Yayın No: 69, Trabzon.
- Ürgenç, S. (1982). *Orman ağaçları ıslahı*. İstanbul Üniversitesi Yayın No: 2836, Orman Fakültesi Yayın No: 293, İstanbul.
- Velioglu, E., Çiçek, F.F., Kaya, Z. ve Çengel, B. (1999). Kaz dağlarındaki doğal Kazdağı göknarı (*Abies equi-trojani* Aschers. Et. Sint.) popülasyonlarında genetik çeşitliliğin yapılanması. Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 3, Orm. Bak. Yayın No: 074, Müd. Yayın No: 10, 31, Ankara.
- Vidyakin, A.I., Boronnikova, S.V., Nechayeva, Y.S., Pryshnivskaya, Y.V., and Boboshina, I.V. (2015). Genetic variation, population structure, and differentiation in scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from the northeast of the Russian plain as inferred from the molecular genetic analysis data. *Russian journal of genetics*, 51(12), 1213-1220.
- Yahyaoğlu, Z. ve Genç, M. (2007). *Fidan standardizasyonu*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayın No: 75, Isparta.
- Yahyaoğlu, Z., Genç, M. ve Üçler, A.Ö. (1993). Türkiye'de ağaç ıslahının amacı yeni politika ve ilkelerinin belirlenmesi. I. Ormancılık Şurası, Tebliğler ve Ön Çalışma Grubu Raporları, Orman Bakanlığı Yayını, Yayın No: 13/006, Ankara, Cilt I, 661-667.
- Yahyaoğlu, Z. ve Genç, M. (1990). Orman ağaçlarında gen kaynaklarının korunması. Çevre Biyolojisi Sempozyumu, 17-19 Ekim, Ankara.

- Yahyaoglu, Z., Genç, M., Üçler, A.Ö. ve Güneş, İ. (1994). Bazı sarıçam (*Pinus silvestris* L.) popülasyonlarında genetik yapının elektroforetik yöntemlerle analizi. II. Ulusal Biyoteknoloji Sempozyumu, 22-23 Eylül, Ankara.
- Yahyaoglu, Z., Güney, D., Turna, İ., ve Atar, F. (2012). Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)'nda bazı morfolojik özelliklere bağlı varyasyonların belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 234, 239.