

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ

ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER



EDİTÖR

Doç. Dr. İlyas BOLAT - Doç. Dr. Ümmü Özgül KARAGÜZEL

ARALIK 2025

YAYIN KİTAP

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı

Birinci Basım / Aralık 2025 - Ankara
ISBN / 978-625-8570-06-9

© copyright

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA
0312 384 80 40
www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro
Sertifika No: 42488

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

ARALIK 2025

EDİTÖR

Doç. Dr. İlyas BOLAT

Doç. Dr. Ümmü Özgül KARAGÜZEL

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

DEPREMZEDELERİN BESLENMESİNDE SU ÜRÜNLERİNİN YERİ VE ÖNEMİ

Özgür CANPOLAT, Mustafa DÜŞÜKCAN 7

BÖLÜM 2

SERT KABUKLU MEYVE ATIKLARINDAN KATMA DEĞERLİ ÜRÜNLERE: TARIMSAL, BİYOTEKNOLOJİK VE ENDÜSTRİYEL YAKLAŞIMLAR

Ersin GÜLSOY, Emrah KUŞ 25

BÖLÜM 3

BALIKÇILIK YÖNETİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

-Özgür CANPOLAT, Mustafa DÜŞÜKCAN 41

BÖLÜM 4

BOR ELEMENTİNİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Mustafa ÇIRKA 57

BÖLÜM 5

TARIMSAL ROBOTLARDA SENSÖR SİSTEMLERİ, SENSÖR FÜZYONU VE ENTEĞRE ALGI MİMARİLERİ

Osman ECEOĞLU, İlker ÜNAL 67

BÖLÜM 6

İTALYAN ÇİMİ (*LOLIUM ITALICUM* L.) ÜRETİMİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa YILDIRIM, Osman ÖZBEK, Osman GÖKDOĞAN 87

BÖLÜM 1

DEPREMZEDELERİN BESLENMESİNDE SU ÜRÜNLERİNİN YERİ VE ÖNEMİ

Özgür CANPOLAT¹, Mustafa DÜŞÜKCAN²

¹ Prof. Dr. Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ ORCID: 0000-0001-7498-600X

² Doç. Dr. Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ ORCID:0000-0001-5154-9712

1. Giriş

Deprem, yerkabuğundaki enerjinin aniden açığa çıkması sonucu sismik dalgaların meydana gelmesiyle oluşan ve dünya yüzeyinin hissedilebilir bir şekilde sarsılması olayıdır. Tarih boyunca, şehirleri yerle bir eden ve çevrede büyük çaplı hasarlara yol açan çok sayıda şiddetli depremler meydana gelmiştir. Deprem, dünya yüzeyinin ani sarsılmasına neden olan en yıkıcı doğal afetlerden biri olarak kabul edilmektedir. Depremler sadece binalara ve diğer yapılara zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda çevreyi ve yaşam tarzını da önemli ölçüde etkiler. Bir deprem, birincil (örneğin, çökme, yüzey faylanması) ve ikincil etkiler (yerinden oynayan kayalar, tsunami, zemin çatlakları, sıvılaşma, heyelan) olarak sınıflandırılabilir birçok ani çevresel değişikliğe neden olabilir (Choudhury ve ark., 2016).

Son 30 yılda, binlerce can kaybına yol açmasının yanı sıra küresel çapta milyarlarca dolarlık büyük ekonomik hasara da neden olan çok sayıda deprem meydana geldi. En etkili depremler arasında 1923 Kanto (Japonya) Depremi (140,000 kişi hayatını kaybetti), 1976 Tangshan (Çin) Depremi (240,000 insan hayatını kaybetti), Japonya'daki 1995 Büyük Hanshin (Kobe) Depremi (yaklaşık 5 500–6 400 kişinin ölümü, 200 milyar USD'ye varan ekonomik kayıp), Türkiye'deki 1999 İzmit Depremi (resmî rakamlara göre 17 000–18 000 civarında ölü, on binlerce yaralı ve 20 milyar dolarlık ekonomik kayıp), 2004 Hint Okyanusu Depremi ve tsunami (deprem + tsunami felaketi, yaklaşık 230 bin kişi öldü), Çin'deki 2008 Sichuan Depremi (on binlerce ölü, milyonlarca insanın evsiz kaldı ve milyarlarca dolar ekonomik kayıp), 2015 Nepal Depremi (binlerce kişi hayatını kaybetti, on binlerce yaralı ve deprem büyük yıkıma yol açtı) ve Türkiye'de meydana gelen 2020 Elazığ Depremi ve 2023 Kahramanmaraş Depremi (deprem ve ardından oluşan yıkım ile 50 bin can kaybı, 100 milyar doları aşan büyük ölçekli ekonomik ve insani zararlar raporlanmıştır) yer almaktadır.

Depremler yalnızca jeolojik olaylar değil, aynı zamanda insanları çeşitli şekillerde etkileyen önemli toplumsal olgulardır. Sosyolojik açıdan bakıldığında, depremler yapısal eşitsizlikleri ortaya çıkarır, sosyal ilişkileri yeniden şekillendirir ve toplumların dayanıklılığını test eder. Afet sosyolojisi alanındaki araştırmalar, depremlerin etkilerinin sosyo-ekonomik durum, cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi ve kaynaklara erişim gibi sosyal kırılganlık tarafından güçlü bir şekilde yönlendirildiğini göstermektedir. Sınırlı ekonomik kapasiteye, zayıf altyapıya ve yüksek eşitsizlik seviyelerine sahip toplumlar çok daha büyük kayıplar yaşamakta ve daha yavaş toparlanma süreci yaşamaktadır (Wisner ve ark., 2004; Tierney, 2014). Sosyolojik boyutun önemli bir yönü, insanların, kurumların ve sosyal ağların uyum sağlama ve toparlanma becerisini ifade eden toplumsal dayanıklılıktır. Güçlü sosyal bağlar, güven ve paylaşılan normlar, depremlerden hemen sonra işbirliğini, kaynak paylaşımını ve kolektif eylemi kolaylaştırmada önemli bir rol oynar. Araştırmalar, yoğun sosyal ağlara sahip toplumların daha hızlı yeniden inşa edildiğini ve daha düşük ölüm ve travma oranları yaşadığını göstermektedir (Aldrich, 2012). Ayrıca depremler insanların yer değiştirmesi, geçim modellerinde değişiklikler, psikolojik stres ve sosyal rollerde dönüşümler gibi uzun vadeli sosyolojik sonuçlar da doğurur. Çoğu durumda, afet mevcut eşitsizlikleri derinleştirir ve düşük gelirli insanlar, göçmenler ve yaşlılar gibi grupları orantısız bir şekilde etkiler (Peek, 2008).

2. Depremlerin Etkileri

Depremler tarımsal altyapıya, depolanmış gıda kaynaklarına ve hayvancılığa zarar verebilir ve bu durum gıda yetersizliğine ve yetersiz beslenmeye yol açabilir. Ayrıca, depremlerin ardından gıda dağıtım merkezleri, gıda depolama tesisleri ve gıda üretim merkezleri çökebilir. Aslında, sel, heyelan, fırtına, tsunami ve deprem gibi doğal afetlerin ardından gıda ve beslenmeyle ilgili endişeler, sürekli ve olumsuz bir şekilde farklı toplumları ve insanların beslenme durumunu, özellikle de küçük çocuklar, bebekler, hamile ve emziren kadınlar gibi savunmasız grupları etkilemektedir (Kheiry ve ark., 2024).

Doğal afetler sonrasında gıda kaynaklarının ve gıda sistemlerinin zarar görmesi ve bu zararların insanların geçim kaynakları üzerindeki olumsuz sonuçları, gıda güvenliği açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Doğal afetlerin sonuçları uzun süre devam edebilir. Hayvancılık, tarımsal faaliyetler,

araziler ve ulaşım yolları da dahil olmak üzere insanların geçim kaynaklarını etkileyen altyapının bozulması gıda güvenliğini zayıflatır (Ainehvand ve ark., 2019).

2.1. Deprem Felaketlerinde Beslenmenin Önemi

Etkili acil gıda tedarik sistemleri, depremlerden sonra yetersiz beslenmeyi önlemek ve sağlığı korumak için, özellikle pazarlar çöktüğünde veya tedarik zincirleri aksadığında hayati önem taşımaktadır. İnsani yardım kuruluşları, beslenme zayıflıklarını, lojistik engelleri ve öncelikli bireyleri belirlemek için hızlı gıda güvenliği değerlendirmeleri yapmalıdır (World Food Programme [WFP], 2020). Standart acil gıda paketleri genellikle tahıllar, baklagiller, yağ, tuz, şeker ve zenginleştirilmiş karışık gıdaları içerir ve depremzedelerin hem enerji hem de besin ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır (Sphere Association, 2018). Hedefli beslenme programları, daha yüksek fizyolojik gereksinimlere sahip çocuklar, hamile ve emziren kadınlar, yaşlılar ve yaralı bireyler gibi savunmasız grupları destekler (United Nations Children's Fund [UNICEF], 2019; United Nations High Commissioner for Refugees [UNHCR], 2011).

Araştırmalar, dünya çapında meydana gelen büyük depremler sonucunda gıda sistemlerinin, sağlıklı beslenme düzeninin ve halk sağlığının bozulması nedeniyle depremzedelerin hem fizyolojik hem de psikolojik olarak olumsuz etkilendiklerini göstermiştir. Bu tür felaketlerden sonra, depremzedeler genellikle taze ve çabuk bozulan gıdalara sınırlı erişimle karşı karşıya kalırlar ve bu da besin kalitesinde düşüşe ve yetersiz beslenme riskinin artmasına neden olabilir (Tsuboyama-Kasaoka ve Purba, 2014). İlk müdahale aşamasında genellikle pirinç, ekmek, konserve et, makarna ve zenginleştirilmiş bisküviler gibi bozulmayan, kalorisi fazla ve taşınması kolay acil durum gıdaları kullanılır. Bu gıdalar, akut açlığı etkili bir şekilde önlerken, genellikle bağışıklık fonksiyonu, yara iyileşmesi ve genel iyileşme için gerekli olan protein, lif, vitamin ve mineraller açısından düşüktür (FAO, 2010; Medecins Sans Frontieres [MSF], 2010).

Depremlerde gıda güvenliği ve koordineli dağıtım da önemlidir. Çünkü uygunsuz kullanım ve depolama besin kalitesini olumsuz etkileyebilir (Özaydin ve Öğür, 2023). Beslenme hizmetleri, hizmetin sürekliliğini ve eşit erişimi sağlamak için afet öncesi planlama, acil durum müdahalesi ve afet sonrası iyileştirmeyi entegre eden bir yönetim yaklaşımı benimsenmelidir (Günalan ve ark., 2023). Uzun vadeli iyileşme, gıda sistemlerinin yeniden inşasına, yerel tedarik zincirlerinin onarılmasına ve gelecekteki afetlerin etkisini azaltmak için toplum temelli dayanıklılığın güçlendirilmesine bağlıdır (FAO, 2023). Beslenme durumunun sürekli izlenmesi ve değerlendirilmesi, yetersiz beslenmeyi erken tespit etmeye ve gerektiğinde müdahaleleri uyarlamaya yardımcı olur (FAO, 2023; Yüceer, 2023).

2.2. Depremzedelerin Besin İhtiyaçları

Deprem, birçok ülkede sıklıkla karşılaşılan doğal afetlerden biridir. Doğal afetler insanların fiziksel ve ruhsal sağlığını olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Yaşanan diğer afetlerde olduğu gibi depremde de beslenme ihtiyacı ilk sırada yer almaktadır. Depremin ardından depremzedelere kısa bir süre içerisinde temiz su ve güvenli gıdanın ulaşması hayati önem taşımaktadır. Aynı zamanda ulaştırılan gıda ile bireylerin enerji, protein ve vitamin ihtiyacı da karşılanmalıdır. Bebekler, hamileler ve yaşlılar deprem sonrasında gıda desteğinin sağlanmasında öncelikli grupta yer almaktadırlar. Ayrıca depremzedeler arasında özel beslenme gruplarında bulunan bireylerin olması da büyük bir önem arz etmektedir. Su ve gıda ihtiyacının giderilmesinde konunun uzmanlarının görev alması yaşanacak çeşitli problemlerin önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Hazırlanan acil durum eylem planlarında beslenme ihtiyacının öncelikli ve özel gruplar düşünülerek daha kapsamlı bir şekilde ele alınması ve beslenme müdahalelerinin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Ölümlere, yaralanmalara, yaşam alanlarının yok olmasına, gıda ve su gibi temel ihtiyaçların karşılanamamasına neden olan doğal afetler insan yaşamını önemli ölçüde etkilemektedir (Khosravi ve ark., 2021).

Deprem mağdurlarının besin ihtiyaçlarının karşılanması, hızlı değerlendirme, güvenli ve dengeli gıda temini, savunmasız gruplara özen gösterilmesi ve uzun vadeli dayanıklılık planlamasını

gerektirir. Özellikle çocuklar, hamile kadınlar, yaşlılar ve kronik hastalığı olan bireyler gibi savunmasız gruplar için, beslenme eksikliklerinin belirlenmesi ve etkili müdahalelerin planlanması açısından hızlı beslenme değerlendirmesi kritik öneme sahiptir (Günalan ve ark., 2023; PAHO/WHO, 2017). Acil durum yemekleri sadece yeterli enerjiyi değil, aynı zamanda yeterli protein ve mikro besinleri de sağlamalıdır (Yüceer, 2023).

Depremzedelerin protein ihtiyaçlarını karşılamak, kas kaybını önlemek, bağışıklık sistemini desteklemek ve afet sonrası dönemde doku onarımını kolaylaştırmak için önemlidir. Acil durumlarda, stres, yaralanma, enfeksiyon ve artan metabolik ihtiyaçlar ve iyileşmeyi desteklemek için yüksek kaliteli proteine olan ihtiyacı artırır (Sphere Association, 2018; WHO, 2000). Depremzedelerde yetersiz protein alımı, bağışıklığı zayıflatabilir, enfeksiyona yatkınlığı artırabilir, yara iyileşmesini geciktirebilir ve genel morbiditeyi kötüleştirebilir (Kee ve ark., 2012). Savunmasız gruplar, fizyolojik protein gereksinimleri zaten yüksek olduğundan özellikle risk altındadır (UNHCR, 2011). Bu nedenle, koordineli gıda yardımı, zenginleştirilmiş karışık gıdalar ve hedefli ek beslenme programları aracılığıyla protein açısından zengin gıdalara erişimin sağlanması, deprem sonrası beslenme müdahalelerinde kritik bir önceliktir (Institute of Medicine, 1999; Grimble, 2001; Calder, 2006; Li ve ark., 2007; FAO, 2011; WFP, 2020). Savunmasız gruplar, artan metabolik ihtiyaçları nedeniyle daha da yüksek protein alımına ihtiyaç duyarlar. Örneğin, çocuklar büyüme ve bağışıklık gelişimi için yeterli proteine ihtiyaç duyarken, hamile ve emziren kadınlar fetal büyümeyi desteklemek ve süt üretimini sürdürmek için daha fazla proteine ihtiyaç duyarlar (UNHCR, 2011). Acil beslenme kılavuzlarına göre, deprem bölgelerinde sıklıkla görülen yaralı bireylerin doku onarımını desteklemek için vücut ağırlıklarının kilogramı başına 1,5-2,0 g proteine ihtiyaçları olabilir (WHO, 2000). Bu ihtiyaçları karşılamak için koordineli insani müdahaleler, genel gıda dağıtımları, zenginleştirilmiş karışık gıdalar (örneğin mısır-soya karışımı, buğday-soya karışımı), kullanıma hazır takviye gıdalar (RUSF) ve yüksek riskli bireylere yönelik hedefli beslenme programları aracılığıyla protein açısından zengin gıdaların sağlanması önemlidir (FAO, 2011; WFP, 2020). Kabul edilebilirliği sağlamak ve besin alımını sürdürmek için baklagiller, süt ürünleri, balık ve yumurta gibi protein kaynaklarının dahil edilmesi de önerilmektedir. Ayrıca, toplum düzeyindeki gıda güvenliği değerlendirmeleri, eksikliklerin belirlenmesine ve protein ihtiyaçlarının acil durum gıda paketlerine, terapötik beslenme programlarına ve dayanıklılık oluşturma stratejilerine entegre edilmesine yardımcı olur (FAO, 2008; WHO, 2000).

Karbonhidratlar, depremzedeler için birincil enerji kaynağıdır ve kriz koşullarında fiziksel performansı, zihinsel odaklanmayı ve vücut sıcaklığını korumak için gereklidir. Bir depremin ardından, hayatta kalanlar genellikle tahliye, enkaz kaldırma ve yardıma erişim gibi artan fiziksel taleplerle karşılaşır ve bu da günlük enerji gereksinimlerini yükseltir. Tahıllar, pirinç, makarna, ekmek ve baklagiller gibi kompleks karbonhidratlar, sürekli enerji sağlar ve yorgunluğun önlenmesine yardımcı olur (Sphere Association, 2018). Ayrıca yeterli karbonhidrat alımı proteinin enerji kaynağı olarak kullanılması yerine bağışıklık desteği ve doku onarımı gibi kritik işlevler için "korunmasını" sağlar (WHO, 2000). Bu nedenle, acil durum gıda paketleri genellikle yüksek enerji yoğunlukları ve uzun raf ömürleri nedeniyle karbonhidrat açısından zengin temel gıdaları içermelidir (WFP, 2020).

Yağlar, insan beslenmesinde temel bir makro besin maddesidir ve besin enerjisinin en yoğun kaynağıdır; gram başına yaklaşık 9 kcal enerji sağlar ki bu, karbonhidrat veya proteinlerin sağladığının iki katından fazladır. Bu yüksek enerji yoğunluğu, özellikle metabolik ihtiyaçları artmış veya besin alımı sınırlı olan insanlarda, günlük enerji gereksinimlerini karşılamak için yağları vazgeçilmez kılar. Yeterli yağ tüketimi, bazal metabolik süreçleri destekler ve enerji dengesinin korunmasına yardımcı olur (FAO/WHO, 2010). Ayrıca, yağlar steroid hormonlar ve eikozanoidler de dahil olmak üzere hormonların ve hormon benzeri maddelerin sentezinde yer alır ve bu maddeler iltihabı, kan basıncını ve bağışıklık tepkilerini düzenler (Gropper ve ark., 2018).

Temel mikro besinler arasında, bağışıklık ve epitel onarımı için A vitamini (FAO & WHO, 2004), kolajen sentezi ve antioksidan koruma için C vitamini (WHO, 2000), kemik ve bağışıklık sağlığı için D vitamini (UNHCR, 2011), anemiyi önlemek ve fiziksel kapasiteyi korumak için demir (WHO, 2007), yara iyileşmesi ve bağışıklık sistemi için çinko (WHO, 2013) ve tiroid fonksiyonu için

iyot (FAO ve WHO, 2004) bulunur. Eksiklikleri önlemek için acil müdahale programları, genellikle zenginleştirilmiş karışık gıdaları, mikro besin takviyeleri ve kullanıma hazır takviye edici gıdaları sağlar (Sphere Association, 2018; UNICEF, 2019).

2.2.1. Depremzedelerin Beslenmesinde Su Ürünlerinin Yeri ve Önemi

Deniz ürünleri (balık ve diğer su ürünleri), yüksek kaliteli ve kolay sindirilebilir hayvansal protein, uzun zincirli omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA); özellikle eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) ve çok sayıda temel mikro besinleri ihtiva etmesi nedeniyle zengin bir besin içeriğine sahiptir (FAO/HLPE, 2014). Balık proteini yüksek biyolojik değere sahiptir; yani tüm temel amino asitleri sağlar ve insan vücudu tarafından verimli bir şekilde kullanılır; bu da özellikle stresli ve iyileşmekte olan bireylerde önemlidir (FAO, 2014). PUFA, immünomodulator etkiye sahip olması, özellikle yaralanma veya enfeksiyon durumlarında afetzedelerde aşırı inflamasyonun önlenmesine yardımcı olabilir (Novak ve ark., 2003; Calder, 2012).

Balık, protein ve omega-3'lerin yanı sıra temel acil durum gıdalarda sıklıkla eksik olan birçok temel vitamin ve minerali sağlar. FAO/HLPE (2014) raporuna göre bunlar arasında kalsiyum, çinko, demir, iyot ve A ve D vitaminleri bulunur. Bu mikro besinler, bağışıklık sistemi, bilişsel dayanıklılık, kemik sağlığı ve savunmasız bireylerde besin eksikliği hastalıklarının önlenmesi için hayati önem taşır (FAO/HLPE, 2014).

Deprem sonrasında birçok kişi, etkili iyileşme gerektiren yaralanmalar yaşar. Hücre modelleri üzerinde yapılan çalışmalar, DHA ve EPA'nın cilt hücrelerinin (keratinositler ve fibroblastlar) metabolik aktivitesini artırarak kronik yara ortamlarında iyileşmeyi destekleyebileceğini göstermektedir (Severing ve ark., 2021). Omega-3 takviyesinin afet sonrası acil beslenme planlaması için önemli etkileri olabileceğini düşündürmektedir. Ancak büyük ölçekli afet ortamlarında doğrudan kanıtlar sınırlıdır (Calder, 2012; Troesch ve ark., 2020).

Protein ve omega-3'lerin yanı sıra, balık temel acil durum gıda paketlerinden sıklıkla eksik olan birçok temel vitamin ve minerali sağlar. HLPE (2014) raporuna göre bunlar arasında kalsiyum, çinko, demir, iyot ve A ve D vitaminleri bulunur (FAO/HLPE, 2014). Bu mikro besinler, bağışıklık sistemi fonksiyonu, bilişsel dayanıklılık, kemik sağlığı ve savunmasız gruplarda besin eksikliği hastalıklarının önlenmesi için hayati önem taşır.

Küresel acil durum beslenme çerçeveleri, deniz ürünlerinin önemini kabul etmektedir. Örneğin, FAO'nun acil durum beslenme programı yalnızca enerji ve proteini değil, aynı zamanda mikro besin açısından zengin gıdaları da vurgulamaktadır (FAO, 2015–2016). Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın acil durum beslenme kılavuzunda, konserve veya kurutulmuş balığın gıdalarda yoğun bir protein kaynağı olarak kullanılabileceğini açıkça belirtilmektedir (WHO, 2000). Buna göre, afet beslenme planları, besin yoğunluğu nedeniyle genellikle standart gıdalara balığı da içermektedir (FAO, 2005).

Balık, yüksek kaliteli proteine, temel yağ asitlerine, vitaminlere ve minerallere sahip olması nedeniyle afet sonrası dönemlerde beslenme ve gıda güvenliğinde kritik bir rol oynar ve savunmasız bireyler için önemlidir. Balıkçılığın geçim kaynaklarının önemli bir bölümünü oluşturduğu toplumlarda, afetlerden sonra balıkçılık faaliyetlerinin veya küçük ölçekli su ürünleri yetiştiriciliğinin yeniden başlatılması, yerel beslenme kaynaklarının hızla yeniden tesis edilmesini sağlayabilir. Ayrıca, konserve, kurutulmuş veya dondurulmuş balık gibi muhafaza edilmiş veya işlenmiş balık ürünleri, taze balık temini aksadığında güvenilir ve raf ömrü uzun bir besin kaynağı sağlayabilir (FAO, 2023).

Deprem ve tsunami gibi büyük ölçekli felaketler, gıda üretimi, depolanması, dağıtımı ve pazarlarını aksatarak taze balık da dahil olmak üzere bozulabilir gıdaların bulunabilirliğini sınırlayabilir (Maxwell, 1999; Donini, 2010). Depremden sonra hayatta kalanlar sıklıkla beslenme düzenlerinde zorunlu değişiklikler yaşarlar ve temel besin maddelerinden yoksun olabilen bozulmayan veya işlenmiş gıdalara sıklıkla güvenirlir. Örneğin, Büyük Doğu Japonya Depremi'ni takiben yapılan araştırmalar, geçici konutlarda veya barınaklarda yaşayan depremzedelerin daha düşük beslenme alışkanlıklarına sahip olduğunu, taze balık ve diğer besinler açısından zengin gıdaların tüketiminin azaldığını göstermiştir (Shimizu ve ark., 2017; Kimura ve ark., 2023). Ayrıca,

travma sonrası stres veya depresyon gibi psikolojik faktörler, değişen beslenme davranışıyla ilişkilendirilmiştir. Bu durum bazen işlenmiş veya daha az sağlıklı gıdalara olan bağımlılığı artırır ve deniz ürünleri de dahil olmak üzere besin açısından zengin gıda alımını azaltır (Kimura ve ark., 2023).

2.3. Dünyada ve Ülkemizde Yaşanan Bazı Büyük Depremlerde Depremzedelere Sağlanan Gıdalara Genel Bir Bakış

Bu bölümde dünyada ve ülkemizde yaşanan bazı büyük depremler ve depremzedelere sağlanan gıdalar hakkında genel bilgi verilmiştir.

Büyük depremlerin ardından gıda yardımı, depremzedelerin sağlığını, güvenliğini ve dayanıklılığını korumada kritik bir rol oynar. Çalışmalar, gıda dağıtımının ilk aşamasının büyük ölçüde ekmek, makarna, bisküvi ve şişelenmiş su gibi bozulmayan, kolay taşınabilir ve hızlı dağıtılabilir ürünlere dayandığını göstermektedir. Bu gıdalara, hem minimum hazırlık gerektirdikleri hem de elektrik, gaz ve temiz su gibi yaşamsal sistemler çöktüğünde bile güvenle tüketilebildikleri için öncelik verilmektedir (Tsuboyama-Kasaoka ve Purba, 2014). Ancak araştırmalar, önemli beslenme sorunlarına da dikkat çekmektedir. Doğal afetlerden hemen sonra gıda kıtlığı yaşanma riski vardır ve bu durum sağlanan gıda hakkında önyargıların ortaya çıkmasına neden olur (FAO, 2015; Osei ve ark., 2020).

Büyük Hanshin Depremi olarak da bilinen Hanshin-Awaji Depremi, 17 Ocak 1995'te saat 05:46'da Japonya'nın Hyogo Eyaleti'nin güney kesiminde 7,3 büyüklüğünde meydana gelen bir depremdi. Merkez üssü, Japonya'nın önemli liman kentlerinden biri olan Kobe yakınlarındaydı. Deprem, yaygın yapısal yıkımlara, şiddetli yangınlara ve su, elektrik, gaz, ulaşım ve iletişim gibi hayati sistemlerin çökmesine neden oldu (Shaw ve Goda, 2004). 6.400'den fazla kişi hayatını kaybederken, 40.000'den fazla kişi yaralanmış ve bu deprem, Japonya tarihinin en ölümcül depremlerinden biri olmuştur. 300.000'den fazla kişinin evsiz kaldığı ve tahliye merkezlerinde veya geçici konutlarda yaşamak zorunda kaldıkları ve bu bölgelerde gıda erişimi, sanitasyon ve halk sağlığı ile ilgili önemli sorunların ortaya çıktığı rapor edilmiştir (Tsuchida ve ark., 2010; Okuda ve ark., 1996). Depremin, Japonya'daki beslenme, halk sağlığı ve afet yönetimi politikaları üzerinde uzun vadeli etkileri olduğu bildirilmiştir. Araştırmalar, depremzedelerin dengeli öğünlere sınırlı erişimle karşı karşıya kaldıklarını, protein ve mikro besin açısından zengin seçeneklerden yoksun kaldıklarını, yüksek karbonhidratlı acil durum gıdalarına büyük ölçüde bağımlı olduklarını ortaya çıkarmıştır (Tsuboyama-Kasaoka ve Purba, 2014). 1995 Büyük Hanshin-Awaji Depremi, depremzedelerin gıdaya erişiminde ve beslenme alışkanlıklarında ciddi bozulmalara neden olduğu belirlenmiştir. Tahliye merkezlerinde verilen yemeklerin genellikle karbonhidrat ağırlıklı olduğu; pirinç, ekmek ve makarnadan oluştuğu ve protein veya taze ürünlere çok az yer verildiği rapor edilmiştir. Barınaklarda yaşayan depremzedelerin sebze, balık ve protein açısından zengin besinler de dahil olmak üzere taze gıdalara sınırlı erişimle karşı karşıya kaldıkları belirlenmiştir. Depremden iki ay sonra yapılan anket sonuçlarına göre, tahliye edilenlerin yalnızca %13'ünün günlük balık tükettiği ve yalnızca %34'ünün günlük sebze tükettiği, çoğunun ise bu gıdaları haftada yalnızca bir kez yediği ortaya çıkmıştır. Depremzedelerin birçoğunun barınaklarda sağlanan yemeklerden memnun olmadıkları ve ana şikayetlerinin soğuk yemek ve sebze eksikliği olduğu tespit edilmiştir (Hirai ve ark., 1998). Sebze ve balık tüketiminin yetersiz olması, temel vitamin ve mineral eksikliği riskini artırarak bağışıklık sistemini ve genel sağlığı olumsuz etkileme riski vardır. Özellikle yaşlılar, çocuklar, hamile kadınlar ve kronik hastalığı olanlar gibi savunmasız grupların olumsuz etkilendiği bulunmuştur. Örneğin, önceden mevcut rahatsızlıkları olan depremzedelerin beslenme düzenlerini yönetmekte zorluk çektikleri ve bu nedenle sağlık durumlarının kötüleşmesine neden olduğu belirlenmiştir (Hirai ve ark., 1998). Depremzedeler üzerinde yapılan daha geniş kapsamlı incelemeler, yetersiz beslenme, düşük kilo, bodurluk ve aneminin afet sonrası yaygın olduğu ve Hanshin-Awaji Depreminde gözlemlenen beslenme sorunlarıyla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Tsubokura ve ark., 2016). Hanshin-Awaji Depreminde elde edilen deneyimler, afet müdahalesinde dengeli beslenmenin önemini ortaya çıkarmıştır. Yalnızca karbonhidrat ağırlıklı gıdalara güvenmek yerine, protein kaynakları, sebzeler ve diğer taze gıdaları içeren gıdaları sağlamak hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, yemek pişirme

olanakları, su ve gaz erişimi olan barınaklar daha dengeli yemek hazırlama imkanı sağlamıştır. Akut ve kronik beslenme eksikliklerini önlemek için savunmasız gruplara özel ilgi gösterilmesi de önemlidir. Hanshin-Awaji Depremi'nden alınan dersler, o zamandan beri afet beslenme planlamasına ışık tutmuş ve deprem sonrası ortamlarda depremzedelere yeterli besin alımını sağlamak için kapsamlı stratejilerin geliştirilmesine duyulan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır (Hyōgo Eyaleti, 1996).

Niigata-Chūetsu Depremi, 23 Ekim 2004'te Japonya'nın Niigata şehrinde meydana gelmiştir. Deprem büyüklüğü 6,6 (JMA ölçeği) ve bazı bölgelerde Japon Shindo ölçeğine göre maksimum büyüklüğü 7 olarak belirlendi. Deprem öncelikle Ojiya, Nagaoka Şehri ve çevre şehirleri etkileyerek ciddi yapısal hasarlara, heyelanlara ve altyapının bozulmasına neden oldu (Usami ve ark., 2006; Kato, 2005). Deprem, n40 kişinin ölümüne ve 3.000'den fazla kişinin yaralanmasına ve on binlerce insanın evsiz kalmasına neden oldu (Kato, 2005). 16.000'den fazla evin tamamen yıkıldığı ve 33.000 evin de kısmen hasar gördüğü tespit edildi. Yollar, demiryolları, su, elektrik ve gaz temin sistemleri kesintiye uğramasına ve bu durumun hem kurtarma çalışmalarını hem de gıda ve tıbbi yardım dağıtımını aksattığı rapor edildi (Usami ve ark., 2006; Yamamoto ve Nakagawa, 2006). Niigata-Chūetsu Depreminden sonra, özellikle fazla etkilenen bölgelerdeki birçok hanenin, tedarik zincirinde ciddi aksamalar yaşadığı ve bu nedenle sebze, et, balık ve süt ürünleri gibi taze gıda sıkıntısına yol açtığı belirlendi. Depremden ağır şekilde etkilenen Ojiya Şehri'ndeki ailelerle yapılan bir ankette, katılımcıların yaklaşık %70'i depremden sonraki ilk günlerde taze gıda sıkıntısı yaşadıklarını bildirdi (Nakazawa ve ark., 2013). Depremden kısa bir süre sonra çocukların beslenme düzenleri üzerine yapılan bir çalışmada, etkilenen bölgedeki çocukların çoğunun taze yiyecekler yerine evdeki konserve veya depolanmış yiyecekleri tükettiği rapor edildi (Kobayashi ve ark., 2009). Özellikle, bazı çocukların ve ailelerin evde konserve yiyecekler tükettikleri, evlerinin yakınında veya barınaklarda kalan depremzedelerin ise kısmen yardım gıdalarına güvendikleri; ancak taze veya çabuk bozulan yiyeceklere genellikle ulaşamadıkları belirtildi (Fujii ve ark., 2006). Bu durum, depremden hemen sonra sebze, et ve balık gibi taze yiyeceklere her zaman kolayca ulaşamadığını göstermektedir (Kobayashi ve ark., 2009). Deprem sonrası "geçici konutlar" ile "afetten etkilenen konutlar"ı karşılaştıran hane halkı düzeyindeki geniş kapsamlı çalışmada, geçici konutlardaki bazı hanelerde kalan depremzedelerin et, balık ve sebze gibi taze gıdalara daha iyi erişim sağladıkları, diğerlerinin bunu başaramadığı ve bunun yerine hazır gıdalara yöneldiği belirlendi. Bu sonuç, heterojen bir tabloya işaret etmesinin yanı sıra bazı depremzedelerin daha dengeli beslenmeye yeniden kavuştuklarını, diğerlerinin ise daha az besleyici, hazır veya depolanmış gıdalara bağımlı kaldığını ortaya koymaktadır (Fujii ve ark., 2006). Beslenme düzenindeki bozulmanın belirli gruplar için ciddi sağlık sonuçlarının ortaya çıkmasına neden olduğu rapor edilmiştir. Örneğin, bölgedeki kronik hastalığı (tip 2 diyabet) olan hastalarda, araştırmacılar depremden sonra glisemik kontrolde önemli bir kötüleşme olduğunu tespit etmiştir. Diyabet hastalarında, öngörülemeyen beslenme kalitesi ve uygun gıdaları bulmadaki zorlukların yanı sıra stres, evlerini kaybetme ve yaşam koşullarındaki değişikliklerin muhtemelen bu kötüleşmeye katkıda bulunduğu ifade edilmiştir (Tanaka ve ark., 2009).

Çin'de 12 Mayıs 2008'de 7,9 (Mw) büyüklüğünde Sichuan (Wenchuan) depremi meydana geldi. Deprem, Wenchuan, Beichuan ve çevre şehirler de dahil olmak üzere Sichuan Eyaleti'ni etkiledi. Deprem, evlerin, okulların ve hastanelerin yıkılması, heyelanların meydana gelmesi ve ulaşım ağlarının zarar görmesi gibi yaygın yapısal hasarlara yol açtı (Xu ve ark., 2009; Tan ve ark., 2011). Yaklaşık 87.000 kişinin ölümüne, yüz binlerce kişinin yaralanmasına ve milyonlarca kişinin evlerini kaybetmesine neden olan felaket, Çin tarihinin en yıkıcı depremlerinden biri oldu (Guha-Sapir ve Hoyois, 2010). Büyük çaplı yıkımlar nedeniyle, milyonlarca tahliye edilen kişi için geçici barınakların kurulmasına yol açtı. Yaşlılar, çocuklar ve kronik hastalığı olan insanlar da dahil olmak üzere savunmasız gruplar, sağlık hizmetlerinin aksaması, gıda ve ilaçlara sınırlı erişim nedeniyle depremden çok fazla etkilendiler. Yerel altyapının çökmesi, kurtarma çalışmalarını ve acil durum malzemelerinin teslimatını daha da zorlaştırdı (Xu ve ark., 2009; Tan ve ark., 2011). Hayatta kalanlar arasında beslenmeyle ilgili İngilizce yazılmış ayrıntılı nicel çalışmalar sınırlı olsa da, sonuçlar özellikle savunmasız gruplar için beslenme dengesinin olumsuz olarak etkilendiğini göstermektedir. Depremzedelerin öncelikle acil durum paketlerine ve bozulmayan gıdalara güvendikleri sonucuna

varmak mantıklıdır. Çünkü taze ürünler, et, balık ve süt ürünlerine depremin hemen sonrasında ulaşmak zor olmaktadır (Xu ve ark., 2009; Tan ve ark., 2011).

Ülkemiz, oldukça aktif bir sismik bölgede yer aldığı için, tarih boyunca çok sayıda yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bu durum, Türkiye'yi dünyanın depreme en yatkın ülkelerinden biri haline getirmiştir (Parsons, 2004; Ambraseys, 2002). Ülkemizde meydana gelen bazı büyük depremler ve depremzedelere sağlanan gıdalar hakkında genel bilgi aşağıda verilmiştir.

26 Aralık 1939'da meydana gelen 1939 Erzincan Depremi, tahmini büyüklüğü 7,8 olan, Türkiye tarihinin en yıkıcı depremlerinden biridir. 1939 Erzincan Depreminin insani ve maddi etkileri çok fazla oldu. Güncel raporlarda, yaklaşık 32.968 kişinin hayatını kaybettiği ve 100.000'e yakın kişinin yaralandığı, 116.000'den fazla binanın hasar gördüğü veya yıkıldığı belirtilmiştir. Deprem, kış ortasında meydana geldiği için yoğun kar ve soğuk nedeniyle kurtarma ve yardım çalışmalarının aksamasına neden oldu. Yıkım o kadar şiddetliydi ki, Erzincan şehri büyük ölçüde terk edildi ve farklı bir yerde yeniden inşa edildi (Gürsoy ve ark., 2013; Emre ve ark., 2013). 1992 Erzincan depremi, 13 Mart 1992'de 6,8 büyüklüğünde meydana gelen büyük depremlerden biriydi. 1939 depreminden daha küçük olmasına rağmen, önemli yer sarsıntısına ve yapısal hasarlara neden oldu. Bu deprem 950 kişinin ölümüne ve binlercesinin yaralanmasına yol açtı. (Çelebi, 1992; USGS, 1992). 1939 ve 1992 Erzincan depremlerinden sağ kurtulanların beslenme durumu hakkında bilgi oldukça sınırlıdır. Literatür taramasında, depremzedelerin besin alımını, yetersiz beslenmeyi veya mikro besin eksikliklerini ölçen sistematik, hakemli bir çalışma tespit edilememiştir. Ancak tarihsel kayıtlar, depremzedelere gıda yardımı sağlandığını göstermektedir. Örneğin, 1992 depreminden sonra, yardım kuruluşlarının olaydan sonraki birkaç gün içinde binlerce çadır ve yüzlerce ton gıda dağıttığı bildirilirken, 1939'da ulusal ve uluslararası yardım kuruluşlarının gıda, çadır ve ilaç gibi temel ihtiyaçları karşıladığı belirtilmiştir (istructe.org, jasstudies.com). Özellikle 1939 depreminden sonra yerel tarım ve hayvancılığın yok olması, süt, süt ürünleri, et ve sebze gibi taze gıdaların üretimini aksattı (Haçın, 2014). Bu kayıp, hayatta kalanların besin açısından zengin gıdalara erişimini muhtemelen kısıtladı ve onları yardımlara bağımlı hale getirdi (Keskin ve Önal, 2021; Eray Biber, 2019). Bu yardımlar genellikle kalori ihtiyaçlarını karşılayabilen, ancak özellikle savunmasız gruplar için yeterli besin çeşitliliği ve temel mikro besin maddelerinden yoksun olan ve bozulmayan temel gıdalardan oluşuyordu (Haçın, 2014).

İzmit (Kocaeli) Depremi, 17 Ağustos 1999'da Türkiye'nin kuzeybatısındaki Kuzey Anadolu Fayı üzerinde 7,4 (Mw) büyüklüğünde meydana gelen bir depremdi. Ülkemizin yakın tarihindeki en yıkıcı depremlerden biri olarak kabul edilen bu deprem, İzmit, Adapazarı ve İstanbul çevresi de dahil olmak üzere yoğun nüfuslu kentsel ve endüstriyel bölgeleri etkileyerek geniş çaplı yıkıma yol açtı (TÜBİTAK, 2000; Parson, 2004). Deprem, 17.000'den fazla kişinin ölümüne, yaklaşık 50.000 kişinin yaralanmasına ve 100.000'den fazla binanın yıkılmasına neden oldu. Yollar, köprüler, kamu binaları ve endüstriyel tesisler de dahil olmak üzere temel altyapı ciddi şekilde hasar gördü. Afet, on milyarlarca dolarlık ekonomik kayıplara yol açtı (Ambraseys, 2002; Parsons, 2004). Yapısal hasarlar, can kayıpları ve acil müdahale üzerine kapsamlı araştırmalara rağmen, depremzedelerin beslenme veya diyet durumlarını özel olarak belgeleyen hakemli çalışmalar bulunmamaktadır. Depremzedelerin kalori alımı, mikro besin eksiklikleri veya genel diyet kalitesi hakkında veri sağlayan İngilizce kaynaklar da bulunmamaktadır (Ambraseys, 2002; TÜBİTAK, 2000; Parsons, 2004). Bu veri eksikliği, beslenmenin etkilenmediği anlamına gelmez. Altyapı, konut ve pazarlardaki aksamalar ve geçici barınaklara göç, gıdaya erişimi muhtemelen etkilemiştir (WHO, 2002; Sphere Association, 2018). Ancak, sistematik anketler veya beslenme değerlendirmeleri yapılmadığı için beslenme etkilerinin kapsamı ve niteliği bilinmemektedir. Çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalığı olan bireyler gibi savunmasız gruplar özellikle risk altında olabilir (Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu, [IFRC] 2009). Ancak bu belgelenmiş bir gerçek olmaktan ziyade bir hipotez olarak kalmaya devam etmektedir. Diğer deprem bölgelerindeki genel bilgiler ışığında, hayatta kalanların başlangıçta acil durum erzaklarına, bozulmayan gıdalara veya bağışlanan ürünlere güvenmiş olmaları muhtemeldir. Bu gıdalar genellikle besin çeşitliliğinden yoksun ve yetersiz makro ve mikro besin öğeleri sağlayabilir (WHO, 2002; Sphere Association, 2018). Evsiz kalan depremzedeler, altyapı veya yemek pişirme olanaklarının eksikliği nedeniyle yemek hazırlamada

zorluklar yaşamış olabilir (IFRC, 2009). Bu durumlar beslenme stresi riskini düşündürse de, İzmit depreminden elde edilen doğrudan bir kanıt bulunmamaktadır.

Yıkıcı İzmit depreminden sadece üç ay sonra Türkiye'nin kuzeybatısını vuran ve 12 Kasım 1999 yılında Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) kuzey kolunda Mw 7,2 şiddetinde Düzce Depremi meydana geldi. Sismoloji raporlarına göre, depremin odak noktası Düzce'nin yaklaşık 8 km güneyinde yer alan ve Düzce ve Bolu şehirlerini ciddi şekilde etkileyen yoğun yer sarsıntısına neden oldu (USGS, 1999; KOERI, 2000). Bu deprem, geniş çaplı yıkıma neden olduğu için binlerce insanı geçici barınaklarda ve acil durum kamplarında konaklamak zorunda bıraktı. Etkilenen bölgelerde yapılan ilk araştırmalar, depremzedeler için barınak ve hijyen malzemelerinin yanı sıra gıdanın da en acil ihtiyaçlar arasında olduğunu gösterdi (Koçer ve ark., 2001). Yardım amaçlı gıda tedariki, temel olarak gerekli kaloriyi sağlayan ancak genellikle besin çeşitliliği ve yeterli mikro besin öğelerinden yoksun olan temel gıda maddelerinden oluşuyordu. Savunmasız bireyler, protein açısından zengin gıdalara, taze meyve, sebze ve süt ürünlerine sınırlı erişim nedeniyle beslenme yetersizliği riski altındaydı. Bu koşullar, hayatta kalanlarda yetersiz beslenme, anemi ve bağışıklık sistemi bozukluğu olasılığını artırıyordu (Koçer ve ark., 2001; Haghparast-Bidgoli ve ark., 2024). İzmit depremzedelerinin beslenme durumunu ölçen doğrudan ve sistematik çalışmalar az olsa da, afet sonrası beslenme araştırmalarından elde edilen bilgiler, depremzedelerin genellikle yetersiz beslenme riskinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Depremzedeler üzerinde yapılan bir çalışmada, bu tür afetlerin ardından zayıflık, bodurluk, düşük kilo ve anemi yaygınlık oranlarının önemli olduğunu ortaya koymuştur (Haghparast-Bidgoli ve ark., 2024). Bu bulgular, yalnızca acil gıda yardımı sağlamanın değil, aynı zamanda savunmasız grupların özel ihtiyaçlarını karşılamak için besinsel açıdan yeterli olmasının da önemini vurgulamaktadır. İzmit Depremi, afet müdahalesi ve toparlanma sürecinde beslenmenin kritik rolünü ortaya koymuştur. Acil durum yardımlarının yeterli kalori ve temel mikro besinleri içermesinin sağlanması, sağlığın korunması, toparlanmanın desteklenmesi ve evleri yıkılmış depremzedeler arasında uzun vadeli yetersiz beslenme risklerinin azaltılması için hayati önem taşımaktadır. İzmit'ten alınan dersler, kapsamlı beslenme stratejilerini acil durum müdahale çalışmalarına entegre eden afet hazırlık planlarına olan ihtiyacı açıkça göstermektedir (Koçer ve ark., 2001; Haghparast-Bidgoli ve ark., 2024).

23 Ekim 2011'de Van ili yakınlarında, yerel saatle 13:41'de, $\approx 7.1-7.2$ büyüklüğünde büyük bir deprem meydana geldi. Depremin merkez üssü Van'ın yaklaşık 16 km kuzeyinde, Tabanlı köyü yakınlarındaydı (Özmen ve ark., 2012; Erdik ve ark., 2012). Bu deprem Van ili genelinde yaygın yıkıma neden oldu. Özellikle Van şehri ve Erciş ilçesi gibi merkezleri etkiledi (Erdik ve ark., 2012; PMC, 2013). Resmi raporlarda, ilk olayda yaklaşık 604 kişinin öldüğü ve 2.600'den fazla kişinin yaralandığı, ayrıca binlerce binanın çöktüğü veya ciddi şekilde hasar gördüğü belirtilmiştir (Özmen ve ark., 2012; Erdik ve ark., 2012). 23 Ekim 2011 Van Depremi, geniş çaplı yıkıma ve bir çok insanın evsiz kalmasına yol açarak, depremzedelerin gıda ve temel hizmetlere normal erişimini aksattı. Buna karşılık, Türk Kızılayı ve diğer ulusal ve yerel kuruluşlar hızla yardım çalışmalarını harekete geçirerek, hayatta kalanlara acil barınak, sıcak yemek ve temel ihtiyaç malzemeleri sağladı (PMC, 2013). Etkilenen ailelerin en azından geçici olarak gıda ve suya erişimini sağlamak için Van ili, Erciş ve çevre ilçelerde çok sayıda çadır kampı, konteyner ev ve sahra mutfağı kuruldu. Bu çabalara rağmen depremzedeler için taze ve besin açısından zengin gıdalara sınırlı erişim sağlayabilen Pazar yerleri, dükkanlar ve küçük ölçekli tarım alanlarının zarar görmesi nedeniyle gıda tedarikini ciddi şekilde aksattı (PMC, 2013). Depremzedelere verilen yemekler genellikle temel gıdalardan ve sahra mutfaklarında hazırlanan sıcak yemeklerden oluşuyordu. Bunlar acil kalori ihtiyaçlarını karşılamaya yeterliydi, ancak muhtemelen besin çeşitliliği ve temel mikro besin öğelerinden yoksundu. Van Depreminden sağ kurtulanların beslenme durumlarını (örneğin yetersiz beslenme, vitamin veya mineral eksiklikleri) belgeleyen sistematik çalışmalar bulunmamakla birlikte, depremden etkilenen diğer bireyler üzerinde yapılan araştırmalar, afet sonrası yardım malzemelerine bağımlı kalmanın yetersiz beslenme çeşitliliği ve mikro besin eksikliği riskini artırabileceğini göstermektedir (WHO, 2017; Chandra ve ark., 2019). Genelleme yoluyla, Van Depreminden etkilenen bazı bireylerin, özellikle taze gıdalara erişiminin en sınırlı olduğu afetten sonraki ilk haftalarda beslenme stresi yaşamış olması ihtimali bulunmaktadır Chandra ve ark., 2019; WHO, 2017).

24 Ocak 2020'de yerel saatle 20:55'te (UTC 17:55), Elazığ ilinin Sivrice ilçesi yakınlarında büyük bir deprem meydana geldi (Çetin ve ark., 2020). Ana deprem, Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) üzerinde $M_w \approx 6,8$ olarak kaydedildi (Irmak ve ark., 2021). Merkez üssünün derinliği sığdı ($\approx 8-10$ km), bu da güçlü yer sarsıntısına ve yaygın yüzey etkilerine neden oldu (Nemutlu ve ark., 2021). Türk Kızılayı, AFAD ve çeşitli STK'lar, depremlere acil gıda yardımı, çadır, battaniye ve ısıtma malzemesi ulaştırdı (IFRC, 2020). Mobil mutfaklar ve sıcak yemek hizmetleri devreye alındı. Örneğin, Kızılay sıcak yemek servisi için mobil mutfaklar kurdu ve STK'lar hazır yemek, gıda paketleri, temel gıda maddeleri ve bebek maması da dahil olmak üzere çeşitli malzemelerin dağıtımını yaptı (IFRC, 2020). Ayrıca, bazı STK'lar afetten etkilenen hanelere gıda paketleri, yardım paketleri ve kuru gıda malzemeleri (örneğin un, temel gıda kutuları) dağıttı (CARE, 2020). Yardım amaçlı gıdaya ek olarak, barınak ve temel ihtiyaçlar da karşılandı; konteynerler, geçici barınaklar, battaniyeler ve diğer ihtiyaçlar sağlandı. Bu da bir miktar istikrar sağladı ve ailelerin dağıtılan yemekleri veya gıda paketlerini alıp tüketmelerine imkan sağladı. Bu durum, depremden hemen sonra akut açlığın önlenmesine yardımcı olmuş olabilir (IFRC, 2020). Ancak sistematik beslenme değerlendirmelerinin eksikliği nedeniyle, uzun vadeli beslenme sonuçları (yetersizlikler, yetersiz beslenme, diyet kalitesi) hakkında kanıta dayalı sonuçlar bulunmamaktadır (WHO, 2017; Chandra ve ark., 2019). 2020 Elazığ Depreminin ardından, hasar gören evler, altyapı ve yerel pazarlar nedeniyle depremden sağ kurtulanlar gıdaya erişimde ani kesintilerle karşı karşıya kaldı.

6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş, Pazarcık ilçesinde yerel saatle 04:17'de (UTC 01:17) 7,8 büyüklüğünde bir deprem meydana geldi. Depremin en yüksek Mercalli şiddeti XI (Ekstrem) idi ve bunu dokuz saat sonra, ilkinden 95 km kuzey-kuzeydoğuda merkezlenen 7,5 büyüklüğünde bir deprem izledi. 22 Şubat 2023 itibarıyla mevcut bilgilere ve resmi açıklamalara göre, Kahramanmaraş, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Adana, Adıyaman, Osmaniye, Hatay, Kilis, Malatya ve Elazığ'da 42.310 kişi hayatını kaybetti ve deprem bölgesinden 448.010 kişi tahliye edildi. Türkiye'de toplam 7184 artçı sarsıntı meydana geldi ve toplam 5606 binanın yıkıldığı bildirildi (Papazafeiropoulos ve Plevris, 2023). 2023 Kahramanmaraş depreminin ardından, beslenme ve gıda yardımı, depremlere için temel ve acil bir ihtiyaç haline geldi. Türk Kızılayı, mobil mutfaklar, fırınlar, dağıtım araçları ve sahra mutfakları aracılığıyla yemek, ekmek ve gıda paketleri dağıtmak üzere ülke çapında bir "Ulusal Beslenme Hizmet Grubu"nun harekete geçmesine öncülük etti. Mobil mutfaklarda verilen yemeklerin bilimsel bir değerlendirmesi, 7 Şubat'tan (depremin ertesi günü) itibaren yemeklerin makro besin bileşiminin - yani toplam enerjiye katkıda bulunan karbonhidrat, protein ve yağ oranının - normal aralıklarda olduğunu, yani enerji gereksinimlerinin büyük ölçüde karşılanabildiğini gösterdi (Koc, 2023). Ancak daha detaylı beslenme analizleri endişelere yol açtı: Afet mutfakları menülerini değerlendiren bir çalışmada, enerji (kalori) alımının genel olarak yeterli olmasına rağmen, belirli vitamin ve minerallerin - özellikle kalsiyum ve E ve C vitaminlerinin - alımının yetişkinler için önerilen günlük alımların altında kaldığı rapor edildi. Bazı durumlarda su tüketiminin de yetersiz olduğu ve kronik hastalığı olan bireylerin özel olarak hazırlanmış diyet ürünlerine ulaşmakta zorluk çektiği tespit edildi (Koc, 2023; Yılmaz ve Aksoy, 2023). Aynı zamanda, depremden sağ kurtulanların sağlık ve beslenme durumlarına ilişkin saha verileri daha endişe verici bir tablo çizdi. Depremden sonra ağır şekilde etkilenen bir bölgede yaşayan yetişkinler üzerinde yapılan bir çalışmada, birçok katılımcı yiyeceğe erişimde zorluk çektiğini bildirmiş ve önemli bir oranda kişi kilo kaybının yanı sıra mide bulantısı ve iştahsızlık gibi gastrointestinal semptomlar yaşamıştır (Demir ve Kaya, 2023). Bu bulgular, geniş çaplı gıda dağıtım çabalarına rağmen, depremden etkilenen birçok bireyin hâlâ yetersiz beslenme, düşük kaliteli beslenme ve ilgili sağlık sorunları yaşadığını ortaya koymaktadır. Özellikle de yerinden edilme, konut kaybı, kesintiye uğrayan tedarik zincirleri ve taze veya özel gıdalara sınırlı erişim sorunu vardı (Demir ve Kaya, 2023; Yılmaz ve Aksoy, 2023). Acil durum yemeklerinin yanı sıra, beslenme desteğinin lojistiği de incelenmiştir. Araştırmacılar, bu büyüklükteki afetler için yapılandırılmış bir "afet beslenme lojistiği modelinin" gerekli olduğunu öne sürmüşlerdir: İlk 72 saatte savunmasız gruplara (bebekler, yaşlılar, engelliler) öncelik verilmesi, mobil mutfak/fırınların hızla devreye alınması ve dengeli beslenme ürünleri, güvenli su ve dağıtım koordinasyonu ile uzun vadeli beslenme desteğinin planlanması büyük bir önem taşımaktadır (Yılmaz ve Aksoy, 2023; Demir ve Kaya, 2023). Özetle, 2023 yılında deprem

sonrası beslenme müdahalesi çok geniş bir alanı kapsadı: milyonlarca öğün, sıcak yemek, ekmek ve gıda paketleri aylarca dağıtıldı ve birçok durumda enerji gereksinimleri karşılandı (Koç, 2023). Ancak detaylı beslenme değerlendirmeleri ve saha çalışmaları, mikro besin eksikliklerinin, su kıtlığının, özel diyet açıklarının ve yerel halkın sağlık ve sosyal koşullarının bu çabaların etkinliğini sınırladığını göstermektedir (Koç, 2023; Yılmaz ve Aksoy, 2023; Demir ve Kaya, 2023).

3. SONUÇ

Genel olarak, depremler sonrasında gıda sistemlerinin bozulması, önceden var olan beslenme eşitsizliklerini daha da derinleştirir (FAO, 2023). Afetlerde koordineli acil beslenme (Günelan ve ark., 2023), gıda tedarik zincirinin oluşturulmasının (Özaydin ve Ögür, 2023) yanı sıra toplum temelli dayanıklılık stratejileri ile de bunun desteklenmesi hayati önem taşımaktadır (Yüceer, 2023).

Çok sayıda araştırma, depremlerin gıda erişimi, beslenme ve günlük yaşam koşulları üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Geçici barınma ve tahliye merkezlerinde yaşayan depremzedeler, sınırlı gıda çeşitliliği, karbonhidrat ağırlıklı acil durum gıdalarına bağımlılık ve öğün sıklığının azalması gibi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır (Tsuchida ve ark., 2010). Bu beslenme kısıtlamaları, özellikle yaşlılar ve tıbbi açıdan savunmasız bireyler arasında yetersiz beslenme, kronik hastalık alevlenmesi ve yaşam kalitesinin düşmesi risklerinin artmasına katkıda bulunmaktadır (Tsuboyama-Kasaoka ve Purba, 2014). Depremler akut ve kronik yetersiz beslenme riskini artırır. Yapılan çalışmalar, depremlerden sonra çocuklarda ve savunmasız gruplarda zayıflık, bodurluk, düşük kilo ve anemi oranlarında ölçülebilir artışlar olduğunu ortaya koymuştur. Buna ilaveten bu çalışmalar beslenme bozukluğunun afet sonrası yaygın bir sorun olduğunu ve yetersiz beslenmenin ele alınması gereken önemli bir ikincil sağlık riski olduğunu göstermektedir (Tahernejad ve ark., 2023).

Depremzedelerin beslenme ihtiyaçları arasında yeterli kalori alımı, yeterli makro besin öğeleri (proteinler, karbonhidratlar ve yağlar) ve sağlığı korumak, yetersiz beslenmeyi önlemek ve stres ve yaralanmalardan kurtulmayı desteklemek için gerekli mikro besinler (vitaminler ve mineraller) yer almaktadır (WHO, 2017; Chandra ve ark., 2019). Özellikle çocuklar, hamile ve emziren kadınlar, yaşlılar ve kronik hastalığı olan bireyler, enerji ve mikro besin gereksinimleri daha yüksek olduğundan ve eksiklikleri daha ciddi sonuçlara yol açabileceğinden özel ilgiye ihtiyaç duymaktadır (WHO, 2017). Bu nedenle, depremzedelere yönelik beslenme stratejisi, acil gıda yardımını takviyelerle (örneğin vitaminler, zenginleştirilmiş gıdalar) birleştirmeyi ve mümkün olan durumlarda dengeli beslenmeyi sağlamak için taze ürünlere, protein kaynaklarına ve süt ürünlerine erişimi sağlamayı hedeflemelidir (WHO, 2017; Chandra ve ark., 2019). Ayrıca, özellikle çocuklar ve diğer savunmasız gruplar için akut ve kronik eksiklikleri önlemek amacıyla beslenme durumunun izlenmesi önerilmektedir (WHO, 2017). Son olarak, gıda tedarikinin zamanlaması ve sürekliliği kritik öneme sahiptir: Depremden sonraki ilk gün ve haftalarda, hayatta kalanlar yardım hizmetlerine büyük ölçüde bağımlıdır ve gecikmeler veya kesintiler yetersiz beslenmeye, bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve iyileşmenin gecikmesine yol açabilir. Bu nedenle planlama, hem acil durum erzaklarını hem de marketler veya mobil mutfaklar aracılığıyla normal gıda erişimini yeniden sağlamaya yönelik orta vadeli stratejileri içermelidir (WHO, 2017).

Depremden sonra, deniz ürünlerinin acil beslenme stratejilerine entegre edilmesi, zengin besin içeriği nedeniyle önemli faydalar sağlayabilir. Deniz ürünleri, doku onarımı, bağışıklık fonksiyonu ve yaralanma ve gıda erişiminin aksamaması yaşayan toplumlarda protein-enerji yetersizliğinin önlenmesi için kritik öneme sahip olup yüksek kaliteli ve eksiksiz bir protein kaynağıdır (FAO, 2008, 2014). Bu proteinin büyük bir kısmı yüksek oranda biyoyararlanıma sahiptir ve vücut tarafından verimli bir şekilde kullanılır. Bu nedenle depremler gibi doğal afet durumlarında gıda sistemlerinin tehlikeye girdiği durumlarda iyileşmeyi destekler (FAO, 2014).

Balık, besin değeri açısından değerlidir ve özellikle balık tüketiminin fazla olduğu toplumlarda ideal olarak acil beslenme stratejilerinin bir parçasıdır (FAO, 2014; FAO/HLPE, 2014; Huss, 1995). Ancak kullanımı, gıda güvenliği riskleri, lojistik zorluklar ve toplum algıları nedeniyle karmaşıktır (WHO, 2005; FAO, 2011; Shultz ve Galea, 2017). Gıda sistemlerindeki aksaklıklar, taze balık arzını

sınırlayabilir (FAO, 2014; FAO/HLPE, 2014). Ayrıca, gıda yardım kuruluşlarının her zaman bozulabilir gıdaları uygun şekilde dağıtma kapasitesi veya altyapısı olmayabilir (FAO, 2011; WHO, 2005).

Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği, afet müdahalesinin hem acil yardım hem de uzun vadeli toparlanma aşamalarında stratejik bir rol oynayabilir. FAO yönergelerine göre, yerel balık stoklarının değerlendirilmesi ve balıkçılığın afet sonrası gıda tedarik planlamasına entegre edilmesi, depremden etkilenen toplumlarda hızlı ve besin değeri yüksek gıda sağlanmasına ve geçim kaynaklarının yeniden oluşturulmasını destekleyebilir. Bu nedenle balıkçılığın yeniden canlandırılması hem beslenme güvenliğinin hem de ekonomik dayanıklılığın yeniden inşasına yardımcı olur (FAO, 2014).

Araştırma sonuçları ve literatür bilgileri dikkate alındığında, depremzedelerin afet sonrası beslenmesinde balığın iki önemli özelliği ortaya çıkmaktadır. Balığın yüksek besin değeri iyileşmeyi destekleyebilir (FAO, 2014; Huss, 1995). Ancak etkili acil durum planlaması yapılırken, tutarlı erişim ve tüketimi garantilemek için lojistik zorlukları, gıda güvenliği ve deprem mağdurlarının psikososyal durumu dikkate alınmalıdır (Maxwell, 1999; WHO, 2005; FAO, 2011; Shultz ve Galea, 2017; Kimura ve ark., 2023).

4. KAYNAKLAR

- Ainehvand, S., Raeissi, P., Ravaghi, H., & Maleki, M. (2019). Natural disasters and challenges toward achieving food security response in Iran. *Journal of Education and Health Promotion*, 8, Article 157. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_88_19.
- Aldrich, D.P. (2012). Building resilience: Social capital in post-disaster recovery. University of Chicago Press.
- Ambraseys, N. N. (2002). The seismicity of Turkey and adjacent areas: *A historical review*. EREN Publishers.
- Calder, P. C. (2006). Immune function and a consideration of inflammatory mechanisms. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(3), 316–324. <https://doi.org/10.1079/PNS2006519>
- CARE. (2020). Elazığ'da ailelere un, gıda kolisi ve nakdi yardım. CARE Türkiye. <https://www.care.org.tr/tr/faaliyetlerimiz/insani-yardim/elazig-da-ailelere-un-gida-kolisi-ve-nakdi-yardim>
- Chandra, R., Choudhary, R., & Kumar, V. (2019). Nutrition in disaster settings: Challenges and strategies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, 101303. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101303>
- Choudhury, M., Verma, S., & Saha, P. (2016). Effects of earthquake on the surrounding environment: An overview. In *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Mechanics and Materials* (Paper No. RR03). VSSUT Burla.
- Çelebi, M. (1992). Highlights of the 13 March 1992 Erzincan (Turkey) earthquake. USGS / NIST conference paper. <https://www.usgs.gov/publications/highlights-13-march-1992-erzincan-turkey-earthquake>
- Çetin, K. Ö., İlgaç, M., Can, G., Çakır, E., & Söylemez, B. (2020). 24 January 2020, Sivrice-Elazığ, Turkey Earthquake Reconnaissance Report. Middle East Technical University. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/86994>
- Demir, H., & Kaya, S. (2023). Post-earthquake nutrition and health status of survivors in southern Türkiye: Evidence from the Kahramanmaraş earthquake. *Turkish Journal of Public Health*, 21(3), 145–158. <https://doi.org/10.5578/tjph.2023.145>
- Donini, L. M. (2010). Nutrition in emergencies. *British Journal of Nutrition*, 103(S1), S1–S2. <https://doi.org/10.1017/S0007114509993442>
- Emre, Ö., Kondo, H., Özalp, S., Elmacı, H., & Kürçer, A. (2013). Surface rupture of the 1939 Erzincan earthquake (M 7.9): Segment structure and slip. *Journal of the Chamber of Geological Engineers*. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/a5a76e2f8b0aa27_ek.pdf
- Eray Biber, T. (2019). Karadeniz'de depremler ve yardımlar (1939–1944). *Marmara Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, 151–181. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mtad/article/660163>.
- Erdik, M., Sesetyan, K., & Durukal, E. (2012). The 23 October 2011 Van (Eastern Turkey) earthquake: Field observations and preliminary assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 3337–3349. <https://nhess.copernicus.org/articles/12/3337/2012/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] /High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition- [HLPE]. (2014). *Sustainable fisheries and aquaculture for food security and nutrition*. Committee on World Food Security.
- FAO, (2005). Safety concerns regarding fish consumption in tsunami-affected areas. Food and Agriculture Organization. https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/tsunamis_05/issues/Safety_concerns.pdf
- FAO, (2008). Fisheries and aquaculture emergency response guidance. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/i3433e/i3433e.pdf>
- FAO, (2010). The state of food insecurity in the world 2010: Addressing food insecurity in protracted crises.
- FAO, (2011). Guidelines for emergency food security assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- FAO, (2014). The state of world fisheries and aquaculture 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, (2015). The impact of disasters and crises on agriculture and food security. FAO. <http://www.fao.org/3/i4434e/i4434e.pdf>
- FAO, (2015–2016). Emergency Livelihood Response Programme (ELRP) report. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/emergencies/docs/Emergency%20Livelihood%20Response%20Programme%202015-16.pdf
- FAO, (2023). *The role of fisheries and aquaculture in disaster recovery*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/4/i3433e/i3433e.pdf>
- FAO/HLPE. (2014). Nutrition and food systems (HLPE Report 7). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i7846e/i7846e.pdf>
- FAO & WHO. (2004). Human vitamin and mineral requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization.
- FAO/WHO. (2010). Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper No. 91.
- Gropper, S. S., Smith, J. L., & Carr, T. P. (2018). Advanced nutrition and human metabolism (7th ed.). Cengage Learning.
- Fujii, S., Tsuchida, N., Watanabe, S., Ishigami, K., Yoshita, K., Yoshiike, N., & Murayama, N. (2006). Changes in access to food and the frequency of food consumption before and after the Niigata-Chūetsu Earthquake: Comparison between households in temporary housing and disaster-stricken housing. *Journal of the Japan Dietetic Association*, 53(4), 340–348. <https://doi.org/10.11379/jjda.53.340>
- Grimble, R. F. (2001). Nutrition and immunity: Feeding into the future. *Proceedings of the Nutrition Society*, 60(3), 389–397. <https://doi.org/10.1079/PNS2001103>
- Guha-Sapir, D., & Hoyois, P. (2010). The human cost of natural disasters: *A global perspective*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.
- Günalan, R., Turgut, M., & Işıklar, A. (2023). Addressing nutrition service management after the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. <https://resolve.cambridge.org/core/journals/disaster-medicine-and-public-health-preparedness/article/addressing-nutrition-service-management-after-the-2023-kahramanmaras-earthquakes/9467208DA9D9BD138FD8C5909696211D>
- Günalan, R., Turgut, M., & Işıklar, A. (2023). Addressing nutrition service management after the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. <https://resolve.cambridge.org/core/journals/disaster-medicine-and-public-health-preparedness/article/addressing-nutrition-service-management-after-the-2023-kahramanmaras-earthquakes/9467208DA9D9BD138FD8C5909696211D>
- Gürsoy, H., Tatar, O., Akpınar, Z., Polat, A., & Mesci, L. (2013). New observations on the 1939 Erzincan earthquake surface rupture on the Kelkit Valley segment of the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Journal of Geodynamics*, 65, 259–271. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264370712000981>
- Haçin, İ. (2014). 1939 Erzincan Büyük Depremi. *Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi*, 88, 65–86. <https://atamdergi.gov.tr/eng/full-text/58/tur>
- Haghparsast-Bidgoli, H., Burkle, F. M., & Guha-Sapir, D. (2024). Nutritional challenges among survivors of earthquakes: A systematic review and meta-analysis. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 18(1), 12–25. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38103273>
- Hirai, K., Okuda, T., Masuda, T., Yamaguchi, H., Tsuzukida, Y., & Takao, F. (1998). Food intake and diet considerations among victims living in evacuation centers after the Great Hanshin–Awaji earthquake. *Journal for the Integrated Study of Dietary Habits*, 9(2), 28–35. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1390282680176327680>
- Huss, H. H. (1995). Quality and quality changes in fresh fish (FAO Fisheries Technical Paper No. 348). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Hyōgo Prefecture. (1996). Disaster nutrition and food-life support guideline. *Hyōgo Prefectural Government*. https://web.pref.hyogo.lg.jp/kf17/hw13_000000039.html
- Institute of Medicine. (2015). Nutrition in disaster relief and humanitarian emergencies. *National Academies Press*.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, [IFRC]. (2009). Emergency nutrition guidelines. Geneva: IFRC.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, [IFRC]. (2020). Red Crescent delivers urgent life-saving assistance following large earthquake in Turkey. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. <https://www.ifrc.org/press-release/red-crescent-delivers-urgent-life-saving-assistance-following-large-earthquake-turkey>
- Irmak, T. S., Tan, Ö., Yalçın, H., Ergin, M., Ergintav, S., Tatar, C., & Özdemir, H. (2021). New insight into the 24 January 2020, 6.8 Elazığ earthquake (Turkey): Evidence for rupture-parallel pull-apart basin activation along the East Anatolian Fault Zone constrained by geodetic and seismological data. *Annals of Geophysics*, 64(4), RS439. <https://doi.org/10.4401/ag-8579>
- Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, [KOERI] (2000). *Report on the 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes*. Boğaziçi University.
- Kato, S. (2005). The Niigata-Chūetsu earthquake: Damage, response, and lessons. *Journal of Disaster Research*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.20965/jdr.2005.p0001>
- Kee, C. C., Jamaiah, H., & Poh, B. K. (2012). Nutritional status and the need for protein during recovery from disaster situations. *Malaysian Journal of Nutrition*, 18(2), 251–260.
- Keskin, Y. Z., & Önal, M. İ. (2021). Resmî telgraflar doğrultusunda 1939 Erzincan depremi'nde kurtarma, ilk yardım ve iskân faaliyetleri. *Bayburt Üniversitesi İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 9. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1832515>
- Kheiry, M., Farahmandnia, H., Zarei, M., & Sahebi, A. (2024). Nutritional status among earthquake survivors: A systematic review and meta-analysis. *Public Health*, 227, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2023.11.028>
- Khosravi, B., Xosravi, T., Ziapour, A., Fattahi, E., Chaboksavar, F., & Yoosefi Lebni, J. (2021). Challenges and problems facing 2017 Kermanshah earthquake survivors: A qualitative study. *Community Mental Health Journal*, 57(2), 340–348.
- Kimura, A., Shimizu, K., & Matsumoto, K. (2023). Post-disaster dietary patterns and mental health among older adults: Evidence from the Great East Japan Earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 91, 103684. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103684>
- Kobayashi, N., Ito, T., & Takahashi, T. (2009). Niigata-Chuetsu Earthquake: Food intake among children in the affected areas. *Japanese Journal of Public Health*, 56(7), 463–467. https://doi.org/10.11236/jph.56.7_463
- Koc, M. (2023). Energy and nutrient evaluation of foods served in Turkish Red Crescent field kitchens after the Kahramanmaraş earthquake. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. Advance online publication. <https://www.cambridge.org/core/journals/disaster-medicine-and-public-health-preparedness/article/energy-and-nutrient-evaluation-of-foods-served-in-turkish-red-crescent-field-kitchens-after-the-kahramanmaras-earthquake/FFAD6D7BCC4D92AB451DF0D016E67B3F>
- Koçer, S., Atasoy, H., & Koc, I. (2001). Needs assessment of disaster victims in temporary shelters after the 1999 İzmit earthquake, Turkey. *Journal of Disaster Studies*, 26(2), 45–52. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11244646>
- Li, P., Yin, Y. L., Li, D., Kim, S. W., & Wu, G. (2007). Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*, 98(2), 237–252. <https://doi.org/10.1017/S000711450769936X>
- Maxwell, D. (1999). The political economy of urban food security in sub-Saharan Africa. *World Development*, 27(11), 1939–1953. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(99\)00105-6](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(99)00105-6)
- Medecins Sans Frontieres [MSF]. (2010). Nutrition guidelines.
- MHPSS Hub. (2023). Situation report: Nutrition and food distribution after the Kahramanmaraş earthquake. https://mhpsshub.org/wp-content/uploads/2023/02/Situation-report_2_v5.pdf

- Nakazawa, E., Yamamoto, K., & Nishimura, T. (2013). Disaster-related changes in living conditions and their effects on health among evacuees. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(7), 2926–2940. <https://doi.org/10.3390/ijerph10072926>
- Nemutlu, Ö. F., Balun, B., & Sarı, A. (2021). Damage assessment of buildings after 24 January 2020 Elazığ–Sivrice earthquake. *Earthquake and Structures*, 20(3), 325–335. <https://research.itu.edu.tr/en/publications/damage-assessment-of-buildings-after-24-january-2020-elaz%C4%B1%C4%9F-sivri>
- Novak, T. E., Babcock, T. A., Jho, D. H., Helton, W. S., & Espat, N. J. (2003). NF-kappa B inhibition by omega-3 fatty acids modulates LPS-stimulated macrophage TNF-alpha transcription. *American Journal of Physiology – Lung Cellular and Molecular Physiology*, 284(L84-89). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12388359/>
- Okuda, T., Tsuji, I., Kawamura, S., & Hisamichi, S. (1996). Health effects of the Great Hanshin-Awaji Earthquake on evacuees living in temporary housing. *Japanese Journal of Public Health*, 43(12), 1125–1133.
- Osei, A., Mensah, K., & Boateng, D. (2020). Nutrition and food security challenges following natural disasters: A review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101678. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101678>
- Özaydin, E., & Ögür, E. (2023). Earthquake effects on agricultural production and supply chains in rural Turkey. *Sustainability*, 16(21), 9479. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9479>
- Özmen, H., Özel, O., & Akdoğan, E. (2012). Seismotectonic characteristics of the 2011 Van earthquake (Turkey) and its aftershocks. *Geophysical Journal International*, 192(3), 1217–1231. <https://academic.oup.com/gji/article/192/3/1217/813226>
- PAHO/WHO. (2017). Food and nutrition in emergencies: Guidance for planning and response. Pan American Health Organization. <https://www.paho.org/en/health-emergencies/food-and-nutrition-disasters>
- Papazafeiropoulos, G., & Plevris, V. (2023). Kahramanmaraş–Gaziantep, Türkiye Mw 7.8 earthquake on 6 February 2023: Strong ground motion and building response estimations. *Buildings*, 13(5), 1194. <https://doi.org/10.3390/buildings13051194>
- Parsons, T. (2004). Recalculated probability of $M \geq 7$ earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B5). <https://doi.org/10.1029/2003JB002667>
- Peek, L. (2008). Children and disasters: Understanding vulnerability, developing capacities, and promoting resilience—An introduction. *Children, Youth and Environments*, 18(1), 1–29.
- PMC. (2013). Disaster response and management following the 2011 Van earthquake in Turkey. *PubMed Central*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3595648/>
- Severing, A.-L., Rembe, J.-D., Füllerer, M., Stürmer, E. K., & others. (2021). Impact of the chronic wound microenvironment and marine omega-3 fatty acids on skin cell regeneration processes. *Experimental Dermatology*. <https://doi.org/10.1111/exd.14506>
- Shaw, R., & Goda, K. (2004). From disaster to sustainable civil society: The Kobe experience. *Disasters*, 28(1), 16–40. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2004.00241.x>
- Shimizu, K., Nishi, N., Nishide, Y., & Morita, A. (2017). Nutritional intake of evacuees in temporary housing after the Great East Japan Earthquake. *Public Health Nutrition*, 20(7), 1231–1241. <https://doi.org/10.1017/S1368980016003203>
- Shultz, J. M., & Galea, S. (2017). Disaster effects on mental health. *The Lancet*, 390(10106), 353–365. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31119-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31119-0)
- Sphere Association. (2018). The Sphere handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response (4th ed.). Geneva: Sphere Association.
- Tahernejad, S., Ahmadi, A., & Bazzaz, S. M. (2023). Nutritional status among earthquake survivors: a systematic review and meta-analysis. *Public Health*, 227, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2023.11.028>

- Tan, X., Liu, S., Zhou, Y., Zhang, L., & Huang, L. (2011). Public health and medical responses after the Wenchuan earthquake. *Journal of Trauma Management & Outcomes*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/1752-2897-5-1>
- Tanaka, A., Hasegawa, T., Saito, K., & Kobayashi, M. (2006). Effects of the Niigata-Chuetsu Earthquake on glycemic control: Factors worsening from changes in living environment. *Japanese Journal of Public Health*, 53(9), 657–666. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1050282814215100288>.
- Tierney, K. (2014). *The social roots of risk: Producing disasters, promoting resilience*. Stanford University Press.
- Troesch, B., Eggersdorfer, M., Laviano, A., Rolland, Y., Smith, A. D., Warnke, I., ... Calder, P. C. (2020). Expert opinion on benefits of long-chain omega-3 fatty acids (DHA and EPA) in aging and clinical nutrition. *Nutrients*, 12(9), 2555. <https://doi.org/10.3390/nu1209255>
- Tsubokura, M., Nomura, S., & Kato, S. (2016). Nutritional challenges and health impacts in disaster-affected populations: Evidence from Japan. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 10(4), 534–540. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28135192>
- Tsuboyama-Kasaoka, N., & Purba, M. B. (2014a). Nutrition and earthquakes: Experience and recommendations. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 23(4), 505–513. <https://apjcn.nhri.org.tw/server/APJCN/23/4/505.pdf>
- Tsuchida, N., Isobe, S., Watanabe, S., Ishigami, K., Yoshita, K., Yoshiike, N., & Murayama, N. (2010). Changes in access to food and the frequency of food consumption before and after the Niigata Chuetsu Earthquake: Comparison between households in temporary housing and disaster-stricken housing. *Journal of the Japan Dietetic Association*, 53(4), 340–348. <https://doi.org/10.11379/jjda.53.340>
- TÜBİTAK. (2000). Düzce and İzmit earthquake report. Scientific and Technological Research Council of Turkey.
- Türk Kızılay (Turkish Red Crescent). (2011). 2011 Van earthquake emergency relief report. Turkish Red Crescent. <https://www.kizilay.org.tr>
- Türk Kızılay (Turkish Red Crescent). (2023). February 2023 earthquake response: Field kitchens and food distribution. <https://www.kizilay.org.tr/Haber/HaberArsiviDetay/7637>.
- U.S. Geological Survey [ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu] (1999). M 7.2-Düzce, Turkey earthquake summary. United States Geological Survey. <https://earthquake.usgs.gov>.
- U.S. Geological Survey [ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu] (1999). M 7.6-İzmit, Turkey earthquake summary. United States Geological Survey. <https://earthquake.usgs.gov>.
- UNHCR, (2011). *Guidelines for selective feeding: The management of malnutrition in emergencies*. United Nations High Commissioner for Refugees.
- UNICEF, (2019). *Programming guidance: Infant and young child feeding in emergencies (IYCF-E)*. United Nations Children’s Fund.
- UNICEF. (2019). *Programming guidance: Infant and young child feeding in emergencies (IYCF-E)*. United Nations Children’s Fund.
- United Nations High Commissioner for Refugees. UNHCR. (2011). *Guidelines for selective feeding: The management of malnutrition in emergencies*.
- Usami, T., Ohta, Y., & Tanaka, K. (2006). Geotechnical and structural effects of the 2004 Niigata-Chuetsu earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(6), 480–491.
- USGS. (1992). Highlights: 13 March 1992 Erzincan, Turkey earthquake. United States Geological Survey. <https://www.usgs.gov/publications/highlights-13-march-1992-erzincan-turkey-earthquake>.
- WHO. (2000). *The management of nutrition in major emergencies*. World Health Organization.
- WHO. (2007). *Assessing the iron status of populations (2nd ed.)*. World Health Organization & Centers for Disease Control and Prevention.
- WHO. (2013). *Guideline: Zinc supplementation to improve treatment outcomes among children with pneumonia*. World Health Organization.

- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2004). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters* (2nd ed.). Routledge.
- World Food Programme, [WFP]. (2020). *Emergency food security assessment handbook* (2nd ed.). <https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000115504/download>
- World Food Programme, [WFP]. (2020). *Emergency food security assessment handbook* (2nd ed.). <https://docs.wfp.org/api/documents/Choudhury-0000115504/download>
- World Health Organization, [WHO]. (2002). *Nutrition in emergencies*. Geneva: WHO.
- World Health Organization, [WHO]. (2004). *United Nations High Commissioner for Refugees; United Nations Children's Fund; World Food Programme. Food and nutrition needs in emergencies*. Geneva: WHO.
- World Health Organization, [WHO]. (2005). *Food safety and foodborne illness in emergencies*. World Health Organization.
- World Health Organization, [WHO]. (2017). *Nutrition in emergencies: Guidance for field workers*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/nutrition-in-emergencies>
- Xu, L., Chen, Q., Wang, Q., & Zhou, J. (2009). The Wenchuan earthquake: Health consequences and medical response. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 3(4), 190–196. <https://doi.org/10.1097/DMP.0b013e3181b0f6ea>
- Yamamoto, Y., & Nakagawa, Y. (2006). The impacts of the Hanshin-Awaji Earthquake on housing recovery and social vulnerability. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 24(3), 451–476.
- Yilmaz, D., & Aksoy, H. (2023). Nutrition challenges and dietary adequacy of earthquake survivors in southern Türkiye: Field evidence from Kahramanmaraş earthquake 2023. *Journal of Disaster Research*, 18(5), 987–996. <https://doi.org/10.20965/jdr.2023.p0987>
- Yüceer, N. (2023). Emergency nutrition evaluation in Malatya post-2023 earthquake: Gaps and recommendations. PubMed Central. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37993119/>

BÖLÜM 2

SERT KABUKLU MEYVE ATIKLARINDAN KATMA DEĞERLİ ÜRÜNLERE: TARIMSAL, BİYOTEKNOLOJİK VE ENDÜSTRİYEL YAKLAŞIMLAR

Ersin GÜLSOY¹, Emrah KUŞ²

¹ Doç. Dr. Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü ersin.gulsoy@igdir.edu.tr

² Doç. Dr. Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü emrah.kus@igdir.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya genelinde sert kabuklu meyve türleri, özellikle ceviz (*Juglans regia* L.), badem (*Prunus dulcis* Mill.), fındık (*Corylus avellana* L.), antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) ve kestane (*Castanea sativa* Mill.), hem ekonomik hem de ekolojik açıdan stratejik öneme sahiptir. Bu türler, yüksek besin değeri, yağ ve protein içerikleri sayesinde insan beslenmesinde önemli bir yer tutarken; kabuk, dış zar, odunsu kısımlar ve işleme sırasında oluşan posa gibi yan ürünler büyük miktarda tarımsal atık ortaya çıkarmaktadır (Chang ve ark., 2016; Herrera ve ark., 2020; Tomar ve ark., 2023; Colnik ve ark., 2024). Türkiye, fındık, ceviz ve antep fıstığı üretiminde dünyanın önde gelen ülkeleri arasında yer almakta olup, yıllık üretim hacmi milyonlarca ton olarak ifade edilmektedir (FAO, 2023). Bu üretim yoğunluğuna paralel olarak ortaya çıkan atık miktarı da oldukça fazladır. Sadece fındık kabuğu atığının yılda yaklaşık 200 bin ton çıktığı tahmin edilmektedir ve toplam fındık üretiminin bu oranlarda atık oluşturduğu kabul edilmektedir (Tufan ve ark., 2015; Öztürk ve Yeniçeri 2024).

Geleneksel üretim modellerinde bu atıkların büyük kısmı yakılmakta veya doğrudan doğaya bırakılmaktadır. Bu durum hem hava kalitesini düşürmekte hem de karbon salımını artırarak iklim değişikliğini hızlandırmaktadır. Ayrıca, kontrolsüz yakım işlemleri toprakta mikrobiyal dengeyi bozmakta, humus oluşumunu engellemekte ve toprak verimliliğini azaltmaktadır (Günay ve Dursun, 2018). Bu nedenle, son yıllarda döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir tarım anlayışının yükselmesiyle birlikte, sert kabuklu meyve atıklarının yeniden değerlendirilmesi tarım politikalarının öncelikli hedeflerinden biri haline gelmiştir (Ollani ve ark., 2024).

Atıktan değere dönüşüm yaklaşımı, yalnızca çevresel sorunları hafifletmekle kalmayıp aynı zamanda ekonomik katma değer yaratma potansiyeline de sahiptir. Sert kabuklu meyve atıkları, içeriklerindeki yüksek lignoselülozik yapı sayesinde enerji, gübre, biyokömür, kompost, biyokompozit ve antioksidan üretimi gibi farklı alanlarda değerlendirilebilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2015; Ibanez Garcia ve ark., 2020). Örneğin ceviz kabuğu ve fındık kabuğu, yüksek kalorifik değerleri nedeniyle biyokütle enerji üretiminde; badem ve antep fıstığı kabukları, organik madde döngüsüne katkı sağlamak üzere kompost ve biyoçar üretiminde; kestane kabukları ise fenolik bileşik bakımından zengin içerikleriyle doğal pestisit formülasyonlarında kullanılmaktadır (Mubofu ve Mgaya, 2018; Kanca, 2019).

Bu yaklaşımlar, tarımsal üretimin yalnızca birincil ürün odaklı değil, bütüncül bir kaynak yönetimi anlayışı temelinde yeniden yapılandırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Sert kabuklu meyve atıklarının etkin biçimde değerlendirilmesi; toprak organik maddesinin artırılması, karbon bağının güçlendirilmesi, erozyonun önlenmesi ve kimyasal girdilere olan bağımlılığın azaltılması gibi temel ekolojik hedeflere doğrudan katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu süreçler kırsal kalkınma dinamiklerini desteklemekte, yerel istihdam olanaklarını genişletmekte ve küçük ölçekli üreticiler için yeni gelir kaynakları yaratmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2015; European Commission 2020).

Sonuç olarak, sert kabuklu meyve atıkları sürdürülebilir tarım uygulamalarında kritik bir potansiyele sahiptir. Atıkların etkin biçimde değerlendirilmesi, hem tarımsal üretim sistemlerinin çevresel etkilerini azaltmakta hem de enerji ve sanayi sektörlerine yenilenebilir kaynak girişi sağlamaktadır. Türkiye gibi tarımsal üretim kapasitesi yüksek ülkelerde, bu atıkların biyoekonomi ve yeşil dönüşüm politikalarıyla entegrasyonu; iklim dostu üretim, kaynak verimliliği ve sürdürülebilir kırsal kalkınma hedeflerine ulaşmada stratejik bir adım olacaktır.

2. SERT KABUKLU MEYVE ATIKLARININ ÖZELLİKLERİ VE TARIMSAL ÖNEMİ

Sert kabuklu meyve atıkları, yapısal özellikleri bakımından lignoselülozik biyokütle grubunda yer almakta olup, bu yönleriyle hem tarımsal hem de endüstriyel üretim süreçlerinde yeniden değerlendirilebilir niteliktedir. Bu atıkların ana bileşenleri genellikle selüloz (%25–35),

hemiselüloz (%20–30) ve lignin (%25–40) oranlarında değişmektedir (Demirbaş, 2001; Miranda ve ark., 2013). Bu üç temel polimer, bitki hücre duvarının yapısal bütünlüğünü sağlamakta ve biyokimyasal açıdan karbon bakımından zengin bir yapı sunmaktadır. Ayrıca, sert kabuklu meyve atıkları fenolik bileşikler, flavonoidler, tanenler, yağ asitleri, pektin ve azotlu bileşikler gibi ikincil metabolitler yönünden zengindir; bu özellikleri sayesinde biyoteknolojik, enerji ve tarımsal uygulamalarda yüksek katma değerli ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır (Argenziano ve ark., 2022; Callea ve ark., 2023).

2.1. Kimyasal ve Fiziksel Özellikler

Sert kabuklu meyve atıkları; ceviz, fındık, antep fıstığı, badem ve kaju gibi türlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan ve yüksek lignoselülozik yapıya sahip önemli bir biyokütle kaynağıdır. Bu atıkların kimyasal bileşimi, selüloz (%25–35), hemiselüloz (%20–30) ve lignin (%25–40) gibi temel yapısal polisakkaritlerden oluşur (Demirbaş, 2005). Ayrıca, fenolik bileşikler, flavonoidler, tanenler ve antioksidan aktiviteye sahip diğer bileşenleri barındırdıkları da çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Di Michele ve ark., 2021). Fiziksel olarak, sert kabuklu meyve atıkları gözenekli ve düşük yoğunluklu bir yapıya sahip olup, yüksek mekanik dayanıklılık ve sertlik gösterir. Bu özellikleri sayesinde hem biyoyakıt üretiminde hem de kompozit malzeme dolgu maddesi olarak kullanılabilir (Nourbakhsh ve Ashori, 2008). Enerji potansiyelleri açısından değerlendirildiğinde, antep fıstığı kabuğunun alt ısı değerinin yaklaşık 31 MJ kg⁻¹ olduğu, kül oranının ise %1–10 arasında değiştiği bildirilmektedir (Vassilev ve ark., 2010). Dolayısıyla, bu tür tarımsal yan ürünler hem çevresel sürdürülebilirlik hem de döngüsel ekonomi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

2.2. Biyokimyasal Özellikler ve Toprak Üzerindeki Etkiler

Sert kabuklu meyve atıkları, toprak sistemlerinde organik karbon döngüsünü destekleyen önemli biyolojik materyallerdir. Ceviz, fındık ve badem gibi sert kabuklu meyvelerin kabukları yüksek oranda karbon (%45–55) içermekte ve lignoselülozik yapıları nedeniyle yüksek C/N oranı göstermektedir. Bu özellik, azotça zengin organik materyallerle (örneğin hayvan gübresi veya yeşil atıklarla) karıştırıldıklarında kompost üretimi açısından uygun bir denge oluşturmaktadır (Nair ve ark., 2023). Ceviz kabuğundan elde edilen biyokömürün (biyoçar) toprak sistemlerinde mikrobiyal aktiviteyi, toprak solucanı yoğunluğunu ve enzimatik reaksiyonları özellikle dehidrogenaz ve fosfataz aktivitelerini artırdığı bildirilmiştir (Pereira ve ark., 2016).

Nair ve ark. (2023), ceviz kabuğu biyokömürünün toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirdiğini, su tutma kapasitesini artırdığını ve agregat stabilitesini güçlendirdiğini rapor etmiştir. Benzer şekilde, fındık ve ceviz kabuğundan üretilen biyokömür uygulamaları, toprak pH'sını yaklaşık 0.3–0.5 birim yükselterek katyon değişim kapasitesini artırmış, besin elementlerinin tutulma bilirliliğini geliştirmiştir (Sánchez ve ark., 2025). Bu etkiler, tarımsal üretimde su ve gübre kullanım etkinliğini artırmakta, uzun vadede ise toprak kalitesinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Genel olarak, sert kabuklu meyve atıklarının biyoçar veya kompost formunda toprağa uygulanması, organik maddece fakir sistemlerde karbon geri dönüşümünü destekleyen ekolojik bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2015).

2.3. Ekolojik ve Agronomik Katkıları

Sert kabuklu meyve atıkları, toprağa kazandırıldıklarında yalnızca fiziksel ya da kimyasal fonksiyonları yerine getirmekle kalmamakta; ekosistem düzeyinde de önemli katkılar sağlamaktadır. Biyoyakıt ya da biyokömür formunda kullanılan kabuk-kalıntılarının lignince zengin yapısı sayesinde, karbon uzun süreli olarak toprakta stabilize olmakta ve böylece atmosferik CO₂ birikiminin azaltılmasına yardımcı olunabilmektedir (Jeníček, 2023; Ighalo ve

ark., 2025). Organik malç ya da kabuk parçaları şeklinde uygulandığında, malç tabakası toprağın yüzeyinden su buharlaşmasını azaltmakta, erozyon riskini düşürmekte ve özellikle yarı kurak ya da su stresi altındaki alanlarda bitkinin stres toleransını desteklemektedir (El-Beltagi ve ark., 2022). Ayrıca organik malç kullanımının, yabancı otların çimlenmesini ve gelişmesini fiziksel olarak engellediği ve böylece herbisit uygulama ihtiyacını azaltabileceği yönünde bulgular da mevcuttur (El-Beltagi ve ark., 2022).

Bunun yanında, kompost ya da biyokömür formundaki sert kabuklu meyve atıkları toprağın mikrobiyal topluluğunu da olumlu yönde etkilemektedir. Özellikle mikrobiyal biyokütlede artışlar, toprak enzim aktivitelerinde (örneğin dehidrogenaz, fosfataz) yükselmeler ve toprak faunasının (örneğin solucan sayısı) desteklenmesi yönünde veriler sunulmuştur (Yadav ve ark., 2023; Ighalo ve ark., 2025). Bu bağlamda, sert kabuklu meyve atıklarının değerlendirilmesi yalnızca atık yönetimi stratejisi olmayıp; karbon sekestrasyonu, su-gübre kullanımı etkinliği, yabancı ot baskısı azalması ve biyolojik çeşitlilik açısından bir ekosistem hizmeti olarak kabul edilebilir (Yadav ve ark., 2023).

2.4. Tarımsal Sistemlerde Stratejik Önemi

Günümüz tarımında sürdürülebilirlik, yalnızca üretim miktarına değil, çevresel etkilerin azaltılmasına da bağlıdır. Sert kabuklu meyve atıklarının geri kazanımı, döngüsel ekonomi ve biyoekonomi hedefleri açısından stratejik bir öneme sahiptir. Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Commission, 2020) ve Türkiye'nin Yeşil Mutabakat Eylem Planı (TOB, 2021), tarımsal atıkların yeniden değerlendirilmesini öncelikli politika alanı olarak tanımlamaktadır. Türkiye'de bu atıkların önemli bir bölümü hâlen ekonomik değere dönüştürülmeden âtıl durumdadır (TİM, 2024). Oysa bu biyokütlelerin enerji, kompost veya biyokömür gibi ürünlere dönüştürülmesi hem karbon-nötr tarım hedeflerine hem de kırsal kalkınmaya katkı sağlayabilecektir.

3. TARIMSAL DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Sert kabuklu meyve atıklarının tarımsal sistemlerde yeniden kullanımı, sürdürülebilir üretim zincirinin önemli bir bileşenidir. Bu atıkların geri kazanımı hem toprak kalitesinin iyileştirilmesi hem de çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi açısından stratejik bir rol oynamaktadır. Literatürde, bu biyokütlelerin tarımsal amaçlı değerlendirilmesi kompostlaştırma, biyoçar (biyokömür) üretimi, malç uygulamaları, doğrudan toprağa karıştırma ve biyoteknolojik dönüşüm süreçleri olmak üzere beş yöntem altında ele alınmaktadır (Nair ve ark., 2023; Yadav ve ark., 2023). Bu yöntemler, organik karbon döngüsünü destekleyerek toprak verimliliğini artırmakta, kimyasal gübre kullanımını azaltmakta ve atık yönetiminde döngüsel ekonomi ilkelerine katkı sunmaktadır.

3.1. Kompostlaştırma

Sert kabuklu meyve atıkları, yüksek karbon içerikleri nedeniyle kompost üretiminde önemli bir karbon kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Kompostlaştırma sürecinde bu materyaller, hayvan gübresi, yeşil bitki atıkları veya mutfak atıkları gibi azotça zengin bileşenlerle karıştırılarak C/N oranı 25–30 düzeyine ayarlanır (Nair ve ark., 2023). Bu şekilde oluşturulan karışım, mikroorganizmalar için dengeli bir besin ortamı sağlayarak organik maddenin etkin şekilde ayrışmasına olanak sağlamaktadır.

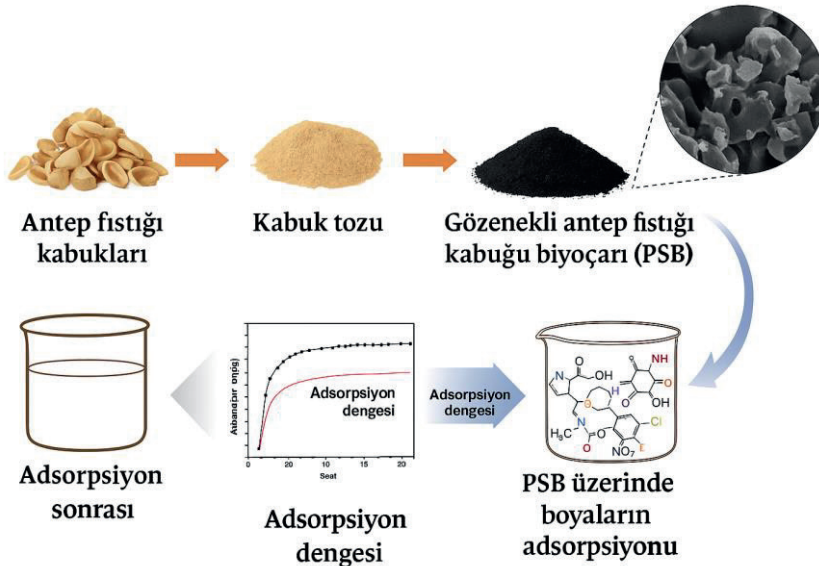
Ceviz, badem ve fındık kabuklarının kompostlaştırılmasıyla elde edilen ürünlerin, toprağın organik madde miktarını artırdığı, mikrobiyal aktiviteyi güçlendirdiği ve su tutma kapasitesini iyileştirdiği çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Yadav ve ark., 2023). Örneğin, ceviz ve badem kabuğu kompostlarının toprak agregat stabilitesini ve mikrobiyal biyokütle karbonunu artırdığı bildirilmiştir (Nair ve ark., 2023). Ayrıca, antep fıstığı kabuğu kompostlarının pamuk

yetiştiriciliğinde kullanılmasıyla, toprakta nitrat (NO_3^-) birikiminin azaldığı ve bitki gelişim indeksinde belirgin artış sağlandığı gözlenmiştir (Yadav ve ark., 2023).

Kompost formundaki sert kabuklu meyve atıkları yalnızca besin döngüsüne katkı sunmakla kalmaz; aynı zamanda toprak mikrobiyotasının çeşitliliğini artırarak *Trichoderma*, *Azotobacter* ve *Bacillus* gibi faydalı mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik etmektedir (Ighalo ve ark., 2025). Bu mikroorganizmalar doğal biyogübre etkisi göstererek bitki beslenmesini destekler niteliktedir. Ayrıca, lignin bakımından zengin bu materyallerin yavaş ayrışma özellikleri sayesinde kompost uygulamaları uzun vadede karbon sekestrasyonuna, dolayısıyla iklim dostu tarımsal üretime katkı sağlamaktadır (Lehmann ve Joseph, 2015).

3.2. Biyoçar (Biyokömür) Üretimi

Biyoçar, lignoselülozik biyokütlelerin oksijensiz veya düşük oksijenli şartlarda (piroliz) 350-700 °C aralığında ısıtılmasıyla elde edilen ve karbon bakımından zengin, gözenekli bir toprak iyileştirici materyaldir (Lehmann ve Joseph, 2015). Sert kabuklu meyve atıkları, özellikle yüksek lignin ve selüloz içerikleri sayesinde, biyoçar üretimi için uygun hammaddelerdir. Örneğin, kabuk atıklardan üretilen biyokömürlerin spesifik yüzey alanlarının yükseldiği ve daha iyi porozite özellikleri kazandığı raporlanmıştır (Slatnar ve ark., 2014; Nair ve ark., 2023). Ürün olarak elde edilen biyoçar'ın toprağa uygulandığında bir dizi fayda sağladığı literatürde yer almaktadır. Yapılan bir çalışmada, kabuklardan üretilen biyoçar'ın toprağın su tutma kapasitesini artırabileceğini ve su stresi koşullarında bitki gelişimini destekleyebileceğini göstermiştir (Kaya ve ark., 2018). Başka bir çalışmada, ceviz kabuğu biyokömürünün alkali topraklarda pH artışı, katyon değişim kapasitesi (CEC) artışı ve besin tutma etkinliğinin yükselmesi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Sial ve ark., 2022). Ayrıca, kabuk-biyokömür uygulamalarının karbon tutulması açısından uzun vadeli potansiyel taşıdığı da ileri sürülmektedir: örneğin biyokömürün kararlı bir karbon havuzu olarak işlev görebileceği ve atmosferik CO_2 birikimini azaltabileceği de çalışmalarda yer almaktadır (Jeníček, 2023). Bu bilgiler, sert kabuklu meyve atıklarından üretilen biyoçar'ın tarımsal sistemlerde toprak iyileştirici, karbon tutumunu destekleyici ve kaynak verimliliğini artırıcı bir uygulama olduğuna dair güçlü bir bilimsel altyapı olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Antep Fıstığı Kabuğundan Biyoçar Üretimi (Saghir ve ark.,2022)



Şekil 2. Ceviz kabuğundan azot içeren kimyasallar ve biyoçar üretim akış diyagramı (Wang ve ark., 2022).

3.3. Malçlama Uygulamaları

Sert kabuklu meyve atıkları, özellikle öğütülmüş formda organik malç materyali olarak kullanılmaktadır. Malçlama, toprağın yüzeyini kaplayarak nem kaybını önler, toprak sıcaklığını düzenler ve yabancı ot gelişimini baskılar (Tülek ve ark., 2022). Örneğin, bir araştırmada fındık kabuklarının malç olarak uygulanması yabancı ot çimlenmesini yaklaşık %43 oranında engellemiş, toprak nemini %5 kadar artırmıştır (Betancur ve ark., 2023). Kabuk materyalleri lignince zengin olduğundan yavaş ayrıştığı için malç etkisi daha uzun süre devam edebilmektedir (Manterola-Barroso ve ark., 2024). Bu özellik, yarı kurak ve erozyona eğilimli bölgelerde özellikle önemlidir. Malç tabakası, yağmur damlalarının etkisini hafifleterek toprak parçalanmasını ve yüzey akışını azaltmaktadır (Xerces Society, 2022). Örneğin, bir çalışmada fındık kabuğu malçlarının eğimli bahçelerde uygulandığında yüzey akış hacmini önemli derecede düşürdüğü bildirilmiştir (Betancur ve ark., 2023). Ayrıca malç tabakası sayesinde yüzey buharlaşması azaldığı, toprak neminin %10–15 oranında daha iyi korunduğu bildirilmiştir (Xerces Society, 2022). Bu etkiler, kimyasal girdiye bağımlı tarım sistemlerinde doğal dengeyi yeniden kurmaya katkı sağlamaktadır.

3.4. Doğrudan Toprağa Karıştırma

Sert kabuklu meyve atıkları, öğütülmüş hâlde doğrudan toprağa karıştırılarak toprağın yapısını iyileştirmek amacıyla kullanılabilir. Bu yöntem özellikle organik maddece fakir, killi ya da düşük geçirgenliğe sahip topraklarda etkilidir. Örneğin, badem kabuğu ve kabuk-artıkları doğrudan toprağa uygulandığında, mikrobiyal canlılığının yanı sıra, toprağın mikrobiyal biyokütlesini de artırdığı saptanmıştır (Andrews ve ark., 2024). Bu tür materyallerin toprağa karıştırılması, toprağın hacim yoğunluğunu bir miktar düşürmeye ve kök gelişimini desteklemeye yönelik mekanik avantajlar sunabilir. Ayrıca toprağa organik karbon olarak katkıda bulunarak uzun vadede humus oluşumuna katkı sağlayabilir. Bu uygulamalarda dikkat edilmesi gereken hususlardan biri, kabuk materyallerinin yüksek lignin oranı nedeniyle yavaş ayrışma göstermesidir. Bu yüzden doğrudan uygulamada ayrışma süreci uzun sürebilir. Bu sorunu aşmak için materyalin ön işlem (örneğin öğütme, nemlendirme, hafif fermantasyon) görmesi önerilmektedir. Uluslararası alanda bir çalışmada, kabuk-kabukçuk formundaki atıklar doğrudan toprağa yüzey uygulaması veya karıştırılmasıyla toprakta besin döngüsüne katkıda bulunduğu rapor edilmiştir (Andrews ve ark., 2024). Özetle, sert kabuklu meyve atıklarının doğrudan toprağa karıştırılması, toprağın fiziksel ve biyolojik yapısının desteklenmesi

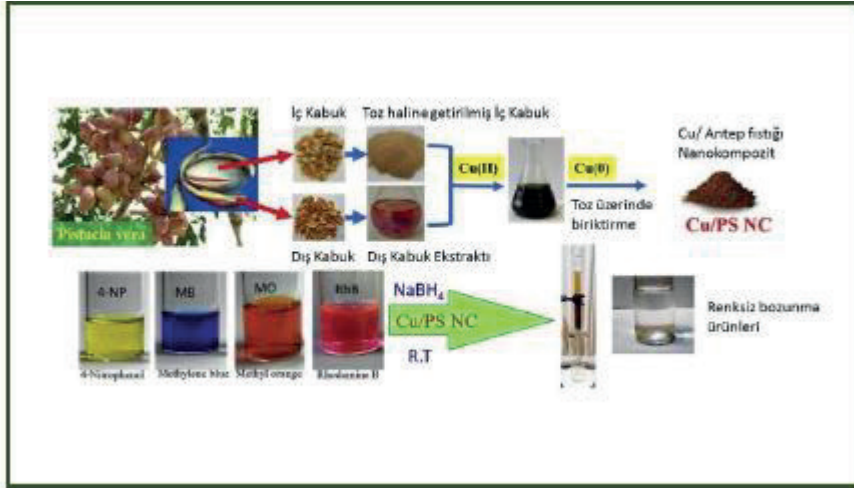
açısından umut vadeden bir yöntemdir; ancak uygulanacak oranlar, toprağın tipine, atığın ön işlenmesine ve yerel koşullara göre uyarlanmalıdır.

3.5. Entegre Değerlendirme Yaklaşımları

Güncel araştırmalar, sert kabuklu meyve atıklarının tek bir değerlendirme yöntemi yerine birden çok teknolojiyi içeren entegrasyon yoluyla ele alınmasının daha etkili olduğunu göstermektedir. Örneğin, kabuk atıklarının önce piroliz yoluyla Biyoçar üretiminde kullanılması, ardından ortaya çıkan biyoçar'ın kompost ya da toprak iyileştirici olarak değerlendirilmesi hem enerji kazanımı hem de organik madde döngüsünün kapatılması bakımından avantaj sağlar (Jenické, 2023). Aynı şekilde, biyogaz üretimiyle birlikte uygulanan biyokütle dönüşüm süreçleri hem atık miktarını azaltmak hem de karbon-nötr tarımsal sistemlere katkı sunmak için umut verici bir yöntemdir (Alexis Parra-Orobio ve ark., 2023). Bu bütünsel yaklaşımlar, tarımsal sistemlerde kaynak kullanım verimliliğini artırırken çevresel ayak izini azaltmakta ve çiftçilere yeni katma değerli gelir alanları sunabilmektedir.

4. ENDÜSTRİYEL VE ENERJİ AMAÇLI KULLANIM

Sert kabuklu meyve türlerinden elde edilen atıklar, yalnızca tarımsal üretim zincirinde değil, endüstriyel dönüşüm süreçlerinde de önemli bir biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Örneğin, kabuk atıkları enerji üretimi, aktif karbon üretimi, biyokompozit ve biyoplastik üretimi ile doğal pestisit ve antioksidan ekstraksiyonu gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Çalışmalar, ceviz, fıstık, kaju ve badem kabuklarının aktif karbon veya biyoçar hammadde olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Papadaki ve ark., 2021). Ayrıca, kabuk atıklarının biyokütle enerjisi üretiminde (piroliz, gazifikasyon) ve malzeme bilimi alanında (kompozit dolgu malzemesi) potansiyel taşıdığı saptanmıştır (Cruz ve ark., 2024). Bu anlamda, sert kabuklu meyve atıkları hem ekonomik değer yaratma hem de çevresel etkileri azaltma bağlamında yüksek katma değer taşımaktadır.



Şekil 3. Antep fıstığı dış kabuğundan nanokompozit eldesi (Bozhüyük ve ark., 2024).

4.1. Biyokütle Enerjisi Üretimi

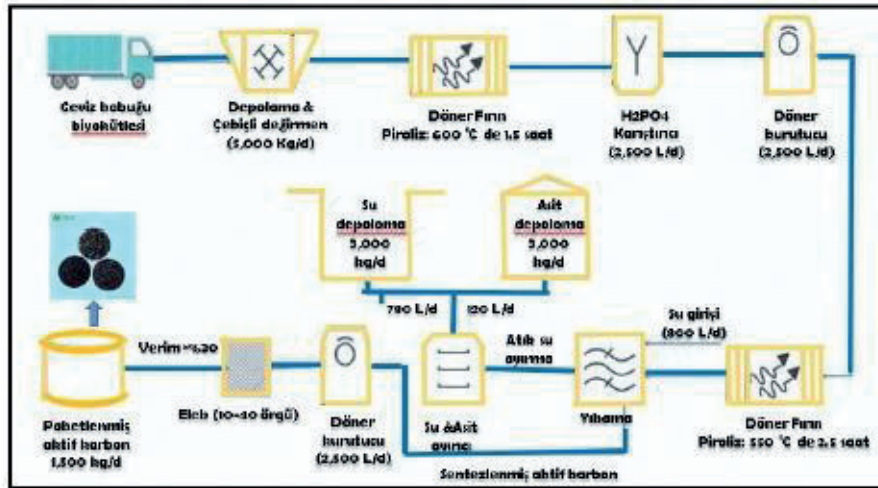
Sert kabuklu meyve atıkları, yüksek karbon oranı ve düşük kül içeriği sayesinde yenilenebilir enerji üretimi için önemli bir biyokütle hammaddesidir. Fındık, ceviz, badem ve antep fıstığı kabuklarının ısı değerleri 17–20 MJ kg⁻¹ aralığında olup, bu değer odun peletiyle büyük ölçüde

benzerdir (Alfattani ve ark., 2021; Jeníček, 2023). Bu biyokütleler, doğrudan pelet ve briket yakıt, gazifikasyon, biyogaz ve piroliz süreçlerinde etkin şekilde kullanılabilir. (Alfattani ve ark., 2021; Jeníček, 2023).

Gazifikasyon uygulamalarında özellikle antep fıstığı kabuklarından elde edilen sentez gazının (syngas) yüksek enerji verimliliği sağladığı; fındık kabuğu peletlerinin ise seracılıkta kömür ikamesi olarak kullanılabilirliği belirtilmektedir (Trnka ve ark., 2023). Piroliz işlemiyle elde edilen biyo-yağ ve biyo-gaz, motor yakıtı veya ısı enerjisi üretiminde değerlendirilebilir ve ceviz kabuğu biyokütlesinden elde edilen biyo-yağın 18 MJ kg⁻¹ ısı değeriyle biyodizel üretiminde alternatif bir kaynak oluşturduğu rapor edilmiştir (Alfattani ve ark., 2021). Bu tür uygulamalar, fosil yakıt bağımlılığını azaltarak karbon-nötr enerji sistemlerine geçişte stratejik katkılar sağlamaktadır (European Commission, 2020).

4.2. Aktif Karbon Üretimi

Sert kabuklu meyve atıkları (özellikle ceviz, fındık ve badem kabukları), yüksek karbon ve lignin içerikleri nedeniyle aktif karbon üretimi için önemli biyokütle hammaddeleridir. Aktif karbon üretimi genellikle kimyasal aktivasyon (KOH, H₃PO₄, ZnCl₂) veya fiziksel aktivasyon (CO₂, buhar) yöntemleriyle gerçekleştirilir. Örneğin, Kim ve ark. (2001), atık ceviz kabuğundan granüler aktif karbon üretimini ve bunun Cu²⁺ iyonlarını yüksek oranda adsorbe etme kapasitesini rapor etmiştir. Fındık kabuğundan üretilen aktif karbonlar ise, kimyasal aktivasyon yöntemiyle yüksek yüzey alanına ve gözenek yapısına sahip olmakta; özellikle tekstil atıksularında renk gideriminde etkili olduğu ülkemizdeki çalışmalarla da desteklenmiştir (Çuhadar, 2005; Altıntığ, 2023). Badem kabuğundan elde edilen aktif karbonlar ise fosforik asit ile kimyasal aktivasyon ve vakumlu piroliz metodlarıyla hazırlanmakta ve fenolik bileşikler ile tekstil boyalarının gideriminde yüksek adsorpsiyon kapasiteleri bulunduğu çalışmalarda gösterilmiştir (Boulika ve ark., 2022). Bu çalışmalar, sert kabuklu meyve atıklarının yalnızca tarımsal atık olmaktan öte, çevresel mühendislik uygulamalarında sürdürülebilir ve etkili adsorban kaynaklar olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Ceviz kabuğundan aktif karbon üretimi için süreç akış şeması (Asadi Sangachini ve ark., 2019)

4.3. Biyokompozit ve Biyoplastik Üretimi

Sert kabuklu meyve atıkları, biyopolimer sanayinde çevre dostu dolgu malzemesi olarak giderek öne çıkmaktadır. Öğütülmüş kabuk tozları, polilaktik asit (PLA), polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi biyopolimer matrislerde kullanıldığında mekanik dayanımı ve termal kararlılığı artırmakta, karbon ayak izini ise düşürmektedir. Örneğin, Sarıkaya ve ark., (2024)

badem kabuğu tozunun PLA matrisine %15 oranında eklenmesiyle çekme dayanımının %28, elastik modülün %19 arttığını ve su geçirgenliğinin %30 azaldığını rapor etmiştir (Onursal, 2023). Türkiye’de yürütülen TÜBİTAK destekli bir projede, antep fıstığı kabuğu katkılı biyopolimerlerin inşaat ve ambalaj sektörlerinde kullanımı test edilmiş; bu sayede plastik atık miktarında %20’ye varan azalma sağlanmıştır (Kurban, 2021). Bu uygulamalar, fosil kaynaklı plastiklerin yerini alacak biyoplastik ekonomisinin gelişmesini desteklerken, tarımsal atıkların ekonomik değer kazanmasına ve kırsal kalkınmaya da katkı sağlamaktadır (FAO, 2023).



Şekil 5. Badem kabuğunun kullanım alanları (Huang & Lapsley, 2019)

4.4. Doğal Pestisit, Antioksidan ve Fenolik Ekstraktlar

Sert kabuklu meyve atıkları, içerdiği fenolik bileşikler, flavonoidler, tanenler ve yağ asitleri nedeniyle bitki koruma ve gıda endüstrisinde biyolojik aktif maddelerin kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle kestane (*Castanea sativa*) ve antep fıstığı kabukları, yüksek polifenol içeriği ile dikkat çekmektedir (Echegaray ve ark., 2018; Rafe ve Vahdati, 2020). Kestane kabuğu ekstraktlarının *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* gibi fungal patojenlere karşı %85’e varan antifungal etki gösterdiği çeşitli çalışmalarla desteklenmiştir (Romani ve ark., 2021). Antep fıstığı kabuğu ekstraktları ise, doğal antioksidan katkı olarak gıda ürünlerinde raf ömrünü uzatmakta ve metanol/etanol bazlı çözücülerle %12–15 oranında verimli ekstraksiyon sağlanmaktadır (Lorenzo ve ark., 2018). Bu veriler, sert kabuklu meyve atıklarının doğal koruyucu ajanlar üretiminde önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir.

5. SERT KABUKLU MEYVE ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE GELECEK YAKLAŞIMLAR

Sert kabuklu meyve atıklarının değerlendirilmesi, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ekonomik kalkınma, enerji güvenliği ve kırsal istihdamın desteklenmesi bakımından da stratejik bir alan olarak görülmelidir. Türkiye’nin tarımsal üretim kapasitesi, sahip olduğu biyoçeşitlilik ve yüksek meyve işleme hacmi dikkate alındığında, bu atıkların geri kazanımına yönelik sistematik politikaların oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, döngüsel ekonomi, biyoekonomi ve iklim dostu üretim ekseninde geliştirilecek ulusal stratejiler, hem yerel üreticilerin rekabet gücünü artıracak hem de Avrupa Yeşil Mutabakatı’na uyum sürecini hızlandıracaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, sert kabuklu meyve atıklarının biyoteknolojik dönüşüm verimliliğini artıracak yeni yöntemlere ve yerli teknolojilerin geliştirilmesine odaklanması

gerekmektedir. Özellikle piroliz, gazifikasyon, enzimatik hidroliz ve biyokimyasal ekstraksiyon gibi süreçlerde enerji verimliliği ve atık minimize etme prensipleri öncelikli hale getirilmelidir. Üniversite-sanayi iş birlikleri kapsamında yürütülecek Ar-Ge projeleri, bu atıkların yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesini hızlandırabilir. Bu doğrultuda, TÜBİTAK ve Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından sağlanacak teknoloji transferi destekleri ve kırsal inovasyon hibeleri, yerel işletmelerin bu dönüşüme dahil edilmesini kolaylaştıracaktır.

Uygulama düzeyinde ise, sert kabuklu meyve atıklarının yönetimi için ulusal bir biyokütle envanteri oluşturulmalı ve bu veriler coğrafi bilgi sistemleriyle entegre edilerek bölgesel potansiyel haritaları hazırlanmalıdır. Bu tür haritalar hem yatırım planlamasında hem de sürdürülebilir enerji stratejilerinin belirlenmesinde önemli bir rehber işlevi görecektir. Ayrıca, yerel yönetimlerin ve tarımsal kalkınma kooperatiflerinin atık toplama, ayrıştırma ve işleme süreçlerinde aktif rol üstlenmeleri teşvik edilmelidir.

Eğitim ve farkındalık faaliyetleri de bu sürecin sürdürülebilirliğini belirleyen unsurlardandır. Çiftçiler ve tarımsal işletmeler için hazırlanacak atık yönetimi ve geri kazanım eğitim programları, çevresel bilincin artırılmasına ve iyi tarım uygulamalarının yaygınlaştırılmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Bunun yanında, yeşil sertifikasyon sistemlerinin ve karbon ayak izi etiketlerinin ürün bazında uygulanması, üreticilerin çevresel performanslarını iyileştirmelerini teşvik edecektir.

Sert kabuklu meyve atıklarının geri kazanımı, yalnızca bir atık yönetimi süreci değil, aynı zamanda tarımsal üretimde kaynakların verimli kullanılmasına katkı sağlayan bir uygulamadır. Bilimsel araştırmalar, uygun teknolojilerin geliştirilmesi ve üretim süreçlerinde bu materyallerin etkin şekilde değerlendirilmesi, Türkiye’de sürdürülebilir tarım anlayışının güçlenmesine yardımcı olacaktır. Bu yönde geliştirilecek bütüncül yaklaşımlar hem çevre korumasını destekleyecek hem de tarımsal üretim sistemlerinin uzun vadede dengeli biçimde sürdürülmesine katkı sunacaktır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sert kabuklu meyve türlerinden (ceviz, fındık, badem, antep fıstığı, kestane vb.) elde edilen atıklar, yüksek lignoselülozik içerikleri sayesinde hem tarımsal hem de endüstriyel açıdan büyük bir potansiyel taşımaktadır. Bu atıkların kompost, biyokömür (biyoçar), malç, biyogaz, biyokompozit, aktif karbon ve doğal ekstrakt üretiminde değerlendirilmesi; döngüsel ekonomi ilkeleri, kaynak verimliliği ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle doğrudan örtüşmektedir. Özellikle Türkiye gibi üretim hacmi yüksek ülkelerde, bu kaynakların etkin kullanımı tarım-sanayi entegrasyonunun güçlendirilmesi açısından stratejik önem arz etmektedir.

Yapılan araştırmalar, sert kabuklu meyve atıklarının uygun ön işleme ve dönüşüm teknikleriyle enerji, gübre, biyoplastik ve çevre dostu adsorbanlara dönüştürülebileceğini göstermektedir. Bu uygulamalar, fosil kaynaklara olan bağımlılığı azaltırken, aynı zamanda karbon tutulumunu artırarak iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir araç haline getireceği öngörülmektedir. Tarımsal sistemlerde biyokömür ve kompost formunda uygulanan bu materyaller, toprak organik maddesini artırmakta, mikrobiyal aktiviteyi desteklemekte ve su tutma kapasitesini iyileştirmektedir. Böylece, toprak verimliliği ve ekosistem direnci uzun vadede sürdürülebilir hale gelmektedir.

Endüstriyel ölçekte değerlendirildiğinde ise kabuk atıklarının aktif karbon ve biyokompozit üretiminde kullanımı, çevresel kirliliğin azaltılmasıyla birlikte ekonomik değer yaratmaktadır. Gıda, kozmetik, ilaç ve tarım sektörlerinde kullanılabilecek fenolik bileşiklerin, antioksidanların ve doğal pestisitlerin bu atıklardan elde edilmesi, biyoteknolojik üretim zincirine ekolojik bir boyut kazandırmaktadır. Özellikle biyoplastik üretiminde dolgu materyali olarak kullanılan kabuk tozları, fosil bazlı polimerlerin yerini alabilecek niteliktedir.

Sonuç olarak, sert kabuklu meyve atıklarının değerlendirilmesi yalnızca çevresel bir gereklilik değil, aynı zamanda ekonomik fırsatların yeniden tanımlanmasını sağlayan bir dönüşüm sürecidir. Bu süreç, iklim dostu tarım, biyoekonomi ve kırsal kalkınma politikalarının kesişim noktasında yer almakta; atıktan değere dönüşüm yaklaşımıyla sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, bu biyokütlelerin biyoteknolojik dönüşüm verimliliğini artıracak yöntemlere ve yerel düzeyde entegre atık yönetim sistemlerine odaklanması, Türkiye'nin yeşil dönüşüm stratejileri açısından önemli bir adım olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Alexis Parra-Orobio, B., Soto-Paz, J., Ricardo Oviedo-Ocaña, E., Vali, S. A., & Sánchez, A. (2023). Advances, trends and challenges in the use of biochar as an improvement strategy in the anaerobic digestion of organic waste: a systematic analysis. *Bioengineered*, 14(1), 2252191.
- Alfattani, R., Shah, M. A., Siddiqui, M. I. H., Ali, M. A., & Alnaser, I. A. (2021). Bio-char characterization produced from walnut shell biomass through slow pyrolysis: sustainable for soil amendment and an alternate bio-fuel. *Energies*, 15(1), 1.
- Asadi-Sangachini, Z., Galangash, M. M., Younesi, H., & Nowrouzi, M. (2019). The feasibility of cost-effective manufacturing activated carbon derived from walnut shells for large-scale CO₂ capture. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26542-26552.
- Altıntig, E., Sarıcı, B., & Karataş, S. (2023). Prepared activated carbon from hazelnut shell where coated nanocomposite with Ag⁺ used for antibacterial and adsorption properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 13671-13687.
- Andrews, E. M., Rivers, D. J., Gaudin, A. C., Geisseler, D., Brown, P. H., & Khalsa, S. D. S. (2024). In a nutshell: almond hull and shell organic matter amendments increase soil and tree potassium status. *Plant and Soil*, 495(1), 699-722.
- Betancur, M., De la Fuente, A., Stern, R., & Alzate, F. (2023). Novel approach to organic mulching from natural-based residues: hazelnut shell mulch improves soil moisture, weed suppression and microbial activity. *Horticulturae*, 9, 1202
- Boulika, H., El Hajam, M., Nabih, M. H., Kandri, N. I., & Zerouale, A. (2022). Activated carbon from almond shells using an eco-compatible method: screening, optimization, characterization, and adsorption performance testing. *RSC advances*, 12(53), 34393-34403.
- Bozhüyük, M.R., Pehlivan, M., Gülsoy, E., Kaya, T., 2024. Antep Fıstığı Ve Antep Fıstığından Elde Edilen Katma Değeri Yüksek Ürünler, Katma Değeri Yüksek Tarımsal Ürünler, Bölüm sayfaları:14-25, Yayın Yeri: İKSAD Yayınevi, Sayfa sayısı:672, ISBN 978-625-7898-75-1
- Chang, S. K., Alasalvar, C., Bolling, B. W., & Shahidi, F. (2016). Nuts and their co-products: The impact of processing (roasting) on phenolics, bioavailability, and health benefits—A comprehensive review. *Journal of functional foods*, 26, 88-122.
- Čolnik, M., Irgolič, M., Perva, A., & Škerget, M. (2024). The conversion of pistachio and walnut shell waste into valuable components with subcritical water. *Processes*, 12(1), 195.
- Cruz, T., Maranon, A., Hernandez, C., Alvarez, O., Ayala-García, C., & Porras, A. (2024). Exploring the potential of cashew nutshells: A critical review of alternative applications. *BioResources*, 19(3), 6768.
- Çuhadar, Ç. (2005). *Production and characterization of activated carbon from hazelnut shell and hazelnut husk* (Master's thesis, Middle East Technical University (Turkey)).
- Di Michele, A., Pagano, C., Allegrini, A., Blasi, F., Cossignani, L., Raimo, E. D., ... & Perioli, L. (2021). Hazelnut shells as source of active ingredients: Extracts preparation and characterization. *Molecules*, 26(21), 6607.
- Echegaray, N., et al. (2018). Chestnuts and by-products as source of natural antioxidants: Phenolic acids, flavonoids, tannins. *Food Research International*, 113, 208-216.
- El-Beltagi, H. S., Basit, A., Mohamed, H. I., Ali, I., Ullah, S., Kamel, E. A. R., ... Ghazzawy, H. S. (2022). Mulching as a sustainable water and soil saving practice in agriculture: A review. *Agronomy*, 12(8), 1881. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081881>
- European Commission. (2020). A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe. Brussels.

- European Commission. (2020). The European Green Deal. Brussels.
- Günay, Ü., & Dursun, Ş. (2018). Arıtma çamuru ve zirai atıkların kompostlanarak tarım arazilerinde kullanımı. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(1), 14-19
- Herrera, R., Hemming, J., Smeds, A., Gordobil, O., Willför, S., & Labidi, J. (2020). Recovery of bioactive compounds from hazelnuts and walnuts shells: Quantitative–qualitative analysis and chromatographic purification. *Biomolecules*, 10(10), 1363.
- Huang, G., & Lapsley, K. (2019). Almonds. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products* (pp. 373-390). Academic Press
- Ibáñez García, A., Martínez García, A., & Ferrándiz Bou, S. (2020). Study of the influence of the almond shell variety on the mechanical properties of starch-based polymer biocomposites. *Polymers*, 12(9), 2049.
- Ighalo, J. O., et al. (2025). Biochar for ameliorating soil fertility and microbial diversity. *Science of The Total Environment*,
- Jeníček, L. (2023). The impact of nutshell biochar on the environment as an agricultural-soil amendment: A review. *Resources, Conservation & Recycling*, 185, 107542. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107542>
- Jeníček, L., Tunklová, B., Malat'ák, J., Velebil, J., Malat'áková, J., Neškudla, M., & Hnilička, F. (2023). The impact of nutshell biochar on the environment as an alternative fuel or as a soil amendment. *Materials*, 16(5), 2074.
- Kanca, A. (2019). Pamuk Atığı, Fındık Kabuğu ve Ceviz Kabuğu'nun Piroliz ve Oksidasyon Davranışlarının Kıyaslanması. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 43-54.
- Kaya, N., Yıldız, Z., & Ceylan, S. (2018). Preparation and characterisation of biochar from hazelnut shell and its adsorption properties for methylene blue dye. *Politeknik dergisi*, 21(4), 765-776.
- Kim, J. W., Sohn, M. H., Kim, D. S., Sohn, S. M., & Kwon, Y. S. (2001). Production of granular activated carbon from waste walnut shell and its adsorption characteristics for Cu²⁺ ion. *Journal of hazardous materials*, 85(3), 301-315.
- Kurban, H. (2021). *Antep fıstığı dış kabuk yağlarının fiziksel ve kimyasal kompozisyonu* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: an introduction. In *Biochar for environmental management* (pp. 1-13). Routledge.
- Manterola-Barroso, C., Padilla Contreras, D., Ondrasek, G., Horvatinec, J., Gavilán CuiCui, G., & Meriño-Gergichevich, C. (2024). Hazelnut and walnut nutshell features as emerging added-value byproducts of the nut industry: A review. *Plants*, 13(7), 1034.
- Miranda, T., Arranz, J. I., Montero, I., Román, S., Rojas, C. V., & Nogales, S. (2012). Characterization and combustion of olive pomace and forest residue pellets. *Fuel Processing Technology*, 103, 91-96.
- Mubofu, E. B., & Mgaya, J. E. (2018). Chemical valorization of cashew nut shell waste. *Topics in Current Chemistry*, 376(2), 8.
- Nair, R. R., Schaate, A., Klepzig, L. F., Turcios, A. E., Lecinski, J., Shamsuyeva, M., ... & Weichgrebe, D. (2023). Physico-chemical characterization of walnut shell biochar from uncontrolled pyrolysis in a garden oven and surface modification by ex-situ chemical magnetization. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25(8), 2727-2746.
- Nourbakhsh, A., & Ashori, A. (2008). Fundamental studies on wood–plastic composites: Effects of fiber concentration and mixing temperature on the mechanical properties of poplar/PP composite. *Polymer Composites*, 29(5), 569-573.
- Ollani, S., Peano, C., & Sottile, F. (2024). Recent innovations on the reuse of almond and hazelnut by-products: A review. *Sustainability*, 16(6), 2577.

- Öztürk, H. S. ve Yeniçeri, H. K. (2024). Sürdürülebilir Atık Yönetimi Uygulamaları. K. Şahin ve İ. Erol (Eds.), Gıda, Su Kaybı ve İsrafi (s. 179-196) içinde. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.
- Papadaki, M. I., Mendoza-Castillo, D. I., Reynel-Avila, H. E., Bonilla-Petriciolet, A., & Georgopoulos, S. (2021). Nut shells as adsorbents of pollutants: Research and perspectives. *Frontiers in Chemical Engineering*, 3, 640983.
- Pujol Pereira, E. I., Suddick, E. C., & Six, J. (2016). Carbon abatement and emissions associated with the gasification of walnut shells for bioenergy and biochar production. *PLoS One*, 11(3), e0150837.
- Romani, A., Simone, G., Campo, M., Moncini, L., & Bernini, R. (2021). Sweet chestnut standardized fractions from sustainable circular process and green tea extract: In vitro inhibitory activity against phytopathogenic fungi for innovative applications in green agriculture. *PLoS One*, 16(2), e0247298.
- Saghir, S., Pu, C., Fu, E., Wang, Y., & Xiao, Z. (2022). Synthesis of high surface area porous biochar obtained from pistachio shells for the efficient adsorption of organic dyes from polluted water. *Surfaces and Interfaces*, 34, 102357.
- Sanchez, E., Zabaleta, R., Navas, A. L., Maldonado, V. N. F., Fabani, M. P., Mazza, G., & Rodriguez, R. (2025). Influence of Walnut Shell Biochar and Fertilizer on Lettuce Production in Hydroponic and Conventional Systems. *Agronomy*, 15(3), 658.
- Sarıkaya, A., Sertkaya, A. A., Canlı, E., & Güler, C. (2024). Production of almond shell containing particleboards and determination of their thermal conductivities. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(3), 1917-1932.
- Sial, T. A., Shaheen, S. M., Lan, Z., Korai, P. K., Ghani, M. I., Khan, M. N., ... & Zhang, J. (2022). Addition of walnut shells biochar to alkaline arable soil caused contradictory effects on CO₂ and N₂O emissions, nutrients availability, and enzymes activity. *Chemosphere*, 293, 133476.
- TİM. Türkiye İhracatçılar Meclisi (2024). Türkiye'nin Döngüsel Ekonomiye Geçiş Raporu.
- TOB (2021). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Yeşil Mutabakat Eylem Planı. Ankara.
- TOB. (2024). Tarım ve Orman Bakanlığı. Sert Kabuklu Meyveler Ürün Raporu. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20%C3%9Cr%C3%B Cn%20Raporlar%C4%B1/2024%20%C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/Sert %20Kabuklu%20Meyveler%20%C3%9Cr%C3%BCn%20Raporu%202024-400%20TEPGE.pdf>
- Tomar, G. S., Gundogan, R., Karaca, A. C., & Nickerson, M. (2023). Valorization of wastes and by-products of nuts, seeds, cereals and legumes processing. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 107, pp. 131-174). Academic Press.
- Trnka, J., Kantová, N. Č., Holubčík, M., Čaja, A., Najser, T., & Najser, J. (2023). Comparison of Energy Properties of Pellets from Shells of Different Nut Species. *BioResources*, 18(1).
- Tufan, M., Akbas, S., Güleç, T., Tasçioglu, C. ve Alma, M. H. (2015). Mechanical, thermal, morphological properties and decay resistance of filled hazelnut husk polymer composites. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 17(4), 221x2015005000075, 865-874. <https://doi.org/10.4067/s0718>
- Tülek, C., Gürbüz, R., & Alptekin, H. (2022). Organik malç materyallerinin domates (*Solanum lycopersicum* L.)'te yabancı ot kontrolüne etkisi. *Journal of Agriculture*, 5(2), 86-101.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89(5), 913-933.
- Xerces Society. (2022). *Using Mulch for Small-Scale Native Plant Plug Plantings*. Xerces Society for Invertebrate .https://www.xerces.org/sites/default/files/publications/25-014.pdf?utm_

Wang, W., Li, D., Xiang, P., Zheng, Y., Zheng, Z., Lin, X., ... & Liu, C. (2022). One-Step Pyrolysis of Nitrogen-Containing hemicals and Biochar Derived from Walnut Shells to Absorb Polycyclic

Yadav, R., et al. (2023). Biochar as an environment-friendly alternative for multiple applications. *Sustainability*, 15(18), 13421. <https://doi.org/10.3390/su151813421>

BÖLÜM 3

BALIKÇILIK YÖNETİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Özgür CANPOLAT¹, Mustafa DÜŞÜKCAN²

¹ Prof. Dr. Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ ORCID: 0000-0001-7498-600X

² Doç. Dr. Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ ORCID:0000-0001-5154-9712

1. GİRİŞ

Balıkçılık, küresel gıda güvenliği, geçim kaynakları ve ekonomik kalkınmada kritik bir rol oynamakta olup, dünya çapında yüz milyonlarca insan için temel bir protein ve gelir kaynağı sağlamaktadır. Bununla birlikte, endüstriyel balıkçılığın yaygınlaşması, teknolojik gelişmeler ve artan küresel talep, deniz ve iç su balık stokları üzerinde benzeri görülmemiş bir baskı oluşturmıştır. Diğer bir ifadeyle, birçok balıkçılık alanı aşırı avlanma, stok azalması ve ekosistem bozulması sorunuyla karşı karşıya kalmıştır. Bu olumsuzluk etkili balıkçılık yönetimine olan acil ihtiyacı ortaya koymuştur (Pauly ve ark., 2002; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2022).

Balıkçılık yönetimi, biyolojik sürdürülebilirlik, ekonomik verimlilik ve sosyal eşitliği sağlamak amacıyla balıkçılık faaliyetlerini kontrol etmek için tasarlanmış bilimsel, düzenleyici ve kurumsal önlemlerin uygulanmasını ifade eder (Hilborn ve Walters, 1992). Yönetim müdahaleleri olmadan, açık erişimli balıkçılık alanları aşırı avlanma çabasıyla olumsuz olarak etkilenme eğilimindedir; bu da stok biyokütlesinde azalmaya ve uzun vadeli verimde düşüşe neden olur ve bu olgu genel olarak “ortak kaynakların trajedisi” olarak tanımlanır (Hardin, 1968). Bu nedenle, balıkçılık yönetimi, aşırı avlanmayı önlemek ve balık popülasyonlarının zaman içinde verimli kalmasını sağlamak için çok önemlidir.

Bilimsel araştırmalar, iyi yönetilen balıkçılığın tükenmiş stokları yeniden oluşturabileceğini ve sürdürülebilir avlanma seviyelerini koruyabileceğini göstermektedir. Karşılaştırmalı küresel değerlendirmeler, bilimsel temelli avlanma limitleri ve uygulama mekanizmaları da dahil olmak üzere etkili yönetim çerçevelerine tabi balıkçılığın, yönetilmeyen veya zayıf yönetilen balıkçılığa göre önemli ölçüde daha iyi stok durumuna sahip olduğunu göstermiştir (Worm ve ark., 2009; Hilborn ve ark., 2020). Bu bulgular, balıkçılık yönetiminin ekolojik dayanıklılığın ve uzun vadeli kaynak kullanılabilirliğinin temel belirleyicisi olduğunu açıkça göstermektedir.

Biyolojik korumanın ötesinde, balıkçılık yönetimi deniz ekosistemlerini ve ilgili biyoçeşitliliği korumak için çok önemlidir. Balıkçılık faaliyetleri, uygun şekilde düzenlenmediği takdirde besin ağlarını değiştirebilir, habitatlara zarar verebilir ve hedef olmayan türlerin istenmeyen avlanmasına yol açabilir. Modern yönetim yaklaşımları, bu etkileri azaltmak ve ekolojik karmaşıklığı ve belirsizliği hesaba katmak için giderek daha fazla ihtiyatlı, uyarlanabilir ve ekosistem temelli prensiplere önem vermektedir. Ekosistem hususlarını karar alma süreçlerine entegre ederek, balıkçılık yönetimi daha geniş okyanus sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunur (FAO, 1996; Pikitch ve ark., 2004).

Deniz balık stoklarının sınırlı kaynaklar olduğu ve aşırı sömürüye karşı savunmasız olduğu gerçeğinin giderek daha fazla farkına varılmasıyla birlikte balıkçılık yönetimi de gelişmiştir. İnsanlık tarihinin büyük bir bölümünde balıkçılık tükenmez olarak algılanmış ve balıkçılık faaliyetleri büyük ölçüde düzenlenmemiştir. Bu algı, balıkçılık filolarının hızla sanayileşmesi, teknolojik gelişmeler ve genişleyen pazarların balık stoklarında azalmaya ve yerel balıkçılık çöküşlerine yol açmasıyla birlikte, 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında değişmeye başlamıştır. Bu erken uyarı işaretleri, balıkçılık biliminin ortaya çıkmasına ve balıkçılık faaliyetlerini biyolojik prensiplere dayalı olarak düzenlemeye yönelik ilk girişimlere yol açmıştır (Smith, 1994; Pauly ve ark., 2002).

2. BALIÇILIK YÖNETİMİ NEDİR?

Balıkçılık yönetimi, ekosistem yapısını, işleyişini ve dayanıklılığını koruyarak balık stoklarının uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla balıkçılık faaliyetlerini düzenlemek için kullanılan politikalar, yönetmelikler, bilimsel değerlendirmeler ve yönetim süreçleri bütünüdür. Böylece sömürülen popülasyonları destekleyen ekosistemler sürdürülebilir hale gelir (FAO, 2003; Hilborn ve Walters, 1992; Link, 2010).

Balıkçılık yönetimi genellikle, yenilenebilir su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması amacıyla balıkçılığı düzenlemek için biyolojik, ekonomik, sosyal ve kurumsal bilginin uygulanması olarak tanımlanır (FAO, 2003). Geleneksel balıkçılık yönetiminde, öncelikle tek tür stok değerlendirmesine odaklanmış olup, aşırı avlanmayı önlemek için avlanma limitleri, avlanma çabası kontrolleri, ekipman kısıtlamaları ve mevsimsel veya bölgesel kapatmalar gibi araçlar kullanılmıştır (Hilborn ve Walters, 1992).

Balıkçılık yönetiminin temel amaçları şunlardır:

- Balık stoklarının aşırı avlanmasını önlemek,
- Balık popülasyonlarını biyolojik olarak güvenli seviyelere kadar korumak veya yeniden oluşturmak,
- İstikrarlı ve sürdürülebilir verim sağlamak,
- Yaşam alanlarını ve ekosistem işlevlerini korumak,
- Balıkçılığa bağımlı toplumların gıda güvenliğini ve geçim kaynaklarını desteklemek (Hilborn ve Walters, 1992).

Modern balıkçılık yönetimi çerçeveleri, sürdürülebilirliğin yalnızca biyolojik koruma veya stok verimliliğine odaklanarak elde edilemeyeceğini vurgulamaktadır. Bunun yerine, yönetim hedefleri, balıkçılığı birbirine bağlı sosyal-ekolojik sistemler olarak kabul ederek, ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutlar arasında dengelenmelidir. Ekolojik açıdan bu, balık popülasyonlarını biyolojik olarak güvenli seviyelerde tutmayı, habitatları korumayı ve ekosistem yapısını ve dayanıklılığını muhafaza etmeyi içerir. Ekonomik olarak, balıkçılık yönetimi, gelecekteki verimliliği olumsuz etkileyen kısa vadeli kazançlar yerine, istikrarlı gelir, gıda tedariki ve uzun vadeli ekonomik faydalar sağlayan ve verimli balıkçılığı sağlamayı amaçlar. Sosyal olarak, balıkçılık yönetimi, refahı doğrudan deniz kaynaklarına erişime bağlı olan balıkçılığa bağımlı toplumların geçim kaynaklarını, gıda güvenliğini, kültürel değerlerini ve eşitlik kaygılarını dikkate almalıdır (Charles, 2011; Berkes, 2012).

İlk balıkçılık yönetimi yaklaşımları balık stoklarını izole popülasyonlar olarak ele alırken, yeni araştırmalar balık popülasyonlarının tür etkileşimleri, habitat koşulları, iklim değişkenliği ve insan baskıları gibi faktörlerden etkilenen karmaşık ekosistemler içinde yer aldığını vurgulamaktadır. Balıkçılık yönetimi giderek Ekosistem Tabanlı Balıkçılık Yönetimi'ne (ETBY) doğru yönelmiştir. Bu yaklaşım, yalnızca tek tek türlere odaklanmak yerine, ekosistem yapısını, işlevini ve dayanıklılığını koruyarak balıkçılığı sürdürmeyi amaçlamaktadır (Pikitch ve ark., 2004; FAO, 2003).

Bu derleme çalışmada, balıkçılık yönetiminin tarihsel gelişimi, sürdürülebilir balıkçılık yönetimi ve ekosistem tabanlı balıkçılık yönetimi hakkında genel bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

3. BALIKÇILIK YÖNETİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

3.1. Bilim Öncesi ve Erken Düzenleme Dönemi (20. yüzyıldan önce)

Modern balıkçılık biliminin gelişmesinden önce, balıkçılık büyük ölçüde mevsimsel kapanmalar, ekipman kısıtlamaları ve erişim kontrolleri gibi geleneksel kurallar ve yerel düzenlemelerle yönetiliyordu. Bu önlemler, deniz kaynaklarının tükenmez olduğu yaygın olarak düşünüldüğünden, balık stoklarını korumaktan ziyade balıkçılar arasındaki çatışmaları çözmek için tasarlanmıştı (Smith, 1994).

20. yüzyıldan önce, deniz balıkçılığı büyük ölçüde, okyanusların enginliği nedeniyle balık stoklarının tükenmez olduğu varsayımına dayalı olarak, serbest erişimli kaynaklar olarak ele alınmıştır. Balıkçılık faaliyetleri, az sayıda resmi düzenlemeyle, esas olarak geleneksel uygulamalar ve yerel normlar tarafından yönetilmiştir. Diğer bir ifadeyle bu sistem, okyanusların muazzam büyüklüğü ve o dönemde mevcut olan sınırlı balıkçılık teknolojileri nedeniyle deniz kaynaklarının fiilen tükenmez olduğuna dair yaygın inançtan şekillenmiştir (Smith, 1968; Gordon, 1954). Bu bakış

açısı, bilim insanlarının balıkçılık baskısının stokları tüketebileceğine dair erken uyarılarına rağmen bu anlayış 19. Yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarında geçerliliğini korumuştur (Smith, 1968).

Bu dönemdeki balıkçılık faaliyetleri genel olarak küçük ölçekli ve gelenekseldi; yelkenli gemiler, basit ağlar, kancalar ve tuzaklar kullanılıyordu. Bu teknolojik kısıtlamalar doğal olarak balıkçılık çabasını sınırladı ve birçok bölgede yaygın kaynak tükenmesini önlemeye yardımcı oldu. Balıkçılık Yönetimi, genellikle gayri resmiydi ve merkezi yönetim veya bilimsel değerlendirmeden ziyade geleneksel uygulamalara, yerel bilgiye veya toplumun kurallarına dayanıyordu (Berkes, 2012). Ancak, bu erken dönemde bile, tarihsel kayıtlar özellikle kıyı ve kıyıya yakın balıkçılıkta yerel kaynak tükenmesi vakalarını belgelemektedir. Örnekler arasında Avrupa istiridyeye yataklarında, Kuzey Denizi ringa balığında ve Atlantik balina popülasyonlarında yaşanan düşüşler yer almaktadır. Bu durum, açık erişimli sömürünün, talep arttığında veya teknolojik verimlilik arttığında aşırı kullanıma yol açabileceğini ortaya koymaktadır. Bu olaylar, yaygın olarak kabul edilmese bile, ekolojik sınırların endüstriyel balıkçılıktan çok önce var olduğunu göstermektedir (Jackson ve ark., 2001).

Ekonomik açıdan, erken dönem balıkçılığı, daha sonra "tragedy of the commons: ortak kaynakların trajedisi" olarak bilinen olguyu örneklemektedir. Bu olguda, bireysel balıkçılar kendi kısa vadeli çıkarları doğrultusunda hareket ederek ortak kaynakları aşırı derecede sömürüyorlardı. Kavram çok daha sonra resmileştirilmiş olsa da, erken dönem balıkçılığının dinamikleri bu modele oldukça benziyordu. Balık stokları daha değerli hale gelmesi, avlanma çabasının artmasına, bu da zaman içinde stok bolluğuna ve ekonomik getirilerin azalmasına neden oldu (Gordon, 1954).

20. yüzyıl öncesindeki yasal ve siyasi çerçeveler, açık erişimi daha da güçlendirdi. Geleneksel uluslararası hukuka göre, dar kıyı sularının ötesindeki çoğu deniz alanı "kimseye ait olmayan" veya "serbest deniz" olarak kabul ediliyordu ve bu durum devletlerin balıkçılık faaliyetlerini düzenleme yeteneğini sınırlıyordu. Balık stoklarındaki düşüşler 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında daha belirgin hale gelinceye kadar anlamlı balıkçılık yönetimi kurumları ortaya çıkmadı (Smith, 1968).

Özetle, erken dönemdeki sömürü ve serbest erişimli balıkçılık, minimum düzenleme, sınırlı balıkçılık teknolojisi ve kaynak bolluğuna dair yaygın bir varsayımla karakterize edilmiştir (Smith, 1968; Gordon, 1954). Bu koşullar, özellikle geleneksel ve küçük ölçekli balıkçılık uygulamaları altında, birçok balıkçılık faaliyetinin belirli bölgelerde yüzyıllarca devam etmesine olanak sağlarken (Berkes, 2012), balıkçılık kapasitesi genişledikçe ve pazar talebi yoğunlaştıkça aşırı sömürüye de zemin hazırlamıştır. Tarihsel kanıtlar, artan balıkçılık verimliliği, nüfus artışı ve ticarileşmenin, 20. yüzyıldan çok önce yerel stok tükenmelerine yol açtığını ve serbest erişimli sistemlerin ekolojik sınırlarını ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu dinamikler, 20. yüzyılda bilimsel değerlendirmeye dayalı modern balıkçılık yönetimi çerçevelerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Jackson ve ark., 2001).

3.2. Sanayileşme ve Yönetim İhtiyacı (19. yüzyıl sonu – 20. yüzyıl başı)

Balıkçılığın sanayileşmesi –buharla çalışan gemiler, trol teknolojileri ve geliştirilmiş koruma yöntemleri de dahil olmak üzere– balıkçılık kapasitesini önemli ölçüde artırdı. 19. yüzyılın sonlarına doğru, Kuzey Atlantik'teki önemli balık stoklarındaki düşüşler, aşırı avlanma konusunda endişelere yol açarak, balık popülasyon dinamikleri üzerine ilk bilimsel araştırmaları başlattı (Garstang, 1900).

1902'de Uluslararası Deniz Araştırmaları Konseyi (ICES) gibi uluslararası bilimsel kuruluşların kurulması, ulusal sınırları aşan balıkçılık konusunda koordineli bilimsel tavsiyeler sağlayarak kritik bir dönüm noktası oluşturmıştır (Uluslararası Deniz Araştırmaları Konseyi [ICES], 1902).

3.3. Bilimsel Balıkçılık Yönetiminin Doğuşu (1930'lar–1950'ler)

Modern balıkçılık yönetimi, popülasyon dinamikleri teorisinin sömürülen balık stoklarına uygulanmasıyla ortaya çıktı. Yenilenme, büyüme, ölüm ve stok-yenilenme ilişkileri gibi temel

kavramlar, yönetim düşüncesinin merkezine yerleşti. Önemli bir katkı, Ray Beverton ve Sidney Holt'un "Sömürülen Balık Popülasyonlarının Dinamikleri Üzerine" (1957) adlı kitabıyla, bilimsel prensiplere dayalı balıkçılık yönetimi için ilk kapsamlı analitik çerçeveyi sunmalarıydı (Beverton ve Holt, 1957).

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra balıkçılığın hızla sanayileşmesi –daha büyük gemiler, gelişmiş ekipmanlar ve iyileştirilmiş navigasyon teknolojileriyle karakterize edilen– balıkçılık kapasitesinde ve av miktarında büyük artışlara yol açtı. Bu gelişmeler, balık stoklarının kırılğanlığını ortaya çıkardı ve popülasyon dinamikleri ve stok değerlendirme teorisine dayanan bilimsel balıkçılık yönetiminin ortaya çıkmasına neden oldu. Bu dönemde balıkçılık yönetimi, Maksimum Sürdürülebilir Verimi (MSV) tahmin etmeye ve stok verimliliğini korumak için balıkçılık çabasını düzenlemeye odaklandı (Beverton ve Holt, 1957).

20. yüzyılın ortalarında bilimsel balıkçılık yönetiminin ortaya çıkışı, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra yaşanan büyük teknolojik, kurumsal ve bilimsel değişimlerle yakından bağlantılıydı. Motorlu gemiler, trol ağları, sonar, soğutma ve uzak su filoları da dahil olmak üzere balıkçılık teknolojisindeki hızlı gelişmeler, balıkçılık kapasitesini ve verimliliğini önemli ölçüde artırarak birçok deniz sisteminin oldukça fazla sömürülmesine yol açtı. Bu gelişmeler, balık stoklarının kırılğanlığını ortaya çıkardı ve deniz kaynaklarının tükenmez olduğu yönündeki uzun süredir geçerli olan varsayımın sorgulanmasına neden oldu (Garcia, 1996). Bunun üzerine, balıkçılık bilimi ile ilgilenen araştırmacılar, balıkçılık yönetiminin temeli olarak popülasyon dinamikleri teorisini resmileştirmeye başladı. Schaefer'in (1954) öncü çalışmaları, av, çaba ve biyokütleyi birbirine bağlayan fazla üretim modellerini tanıtırken, Beverton ve Holt'un (1957) öncü çalışmaları, stok değerlendirmesi ve verim tahmini için temel oluşturan yaşa dayalı ve büyüme temelli yaklaşımları ortaya koydu. Bu katkılar, yöneticilerin sürdürülebilir verimleri tahmin etmelerine ve av limitleri belirlemelerine imkan sağlayan matematiksel ve kavramsal araçları sağladı. Bu çalışmalar, bilim insanlarının avlanma kaynaklı ölüm oranlarını ve stok verimliliğini tahmin etmelerini sağlayan analitik araçlar sunarak, kanıta dayalı düzenlemelerin temelini attı.

3.4. Maksimum Sürdürülebilir Verim ve Savaş Sonrası Genişleme (1950'ler–1970'ler)

Bu dönemde ortaya çıkan temel kavramlardan biri, 1950'ler ve 1960'larda baskın yönetim hedefi haline gelen Maksimum Sürdürülebilir Verim (MSV) idi (Schaefer, 1954; Hilborn ve Walters, 1992). MSV, mevcut çevresel koşullar altında bir stoktan alınabilecek en büyük uzun vadeli ortalama av miktarı olarak tanımlandı (Beverton ve Holt, 1957). Bu kavram, uluslararası balıkçılık politikasında resmen benimsendi ve daha sonra erken dönem Birleşmiş Milletler balıkçılık anlaşmaları da dahil olmak üzere küresel yasal çerçevelere yerleştirildi (Birleşmiş Milletler, 1955). MSV, koruma hedeflerini devam eden sömürüyle uyumlu hale getiren, görünüşte objektif, bilimsel temelli bir hedef sunuyordu (Larkin, 1977).

20. yüzyılın ortalarında, MSV kavramı baskın yönetim hedefi haline geldi. MSV, denge koşulları altında bir stoktan alınabilecek en büyük uzun vadeli ortalama avı temsil eder ve basitliği ve görünürdeki nesnelliği nedeniyle ulusal politikalarda ve uluslararası anlaşmalarda yaygın olarak benimsenmiştir (Larkin, 1977). Ancak MSV, öncelikle istikrarlı çevresel koşulları varsayan ve ekosistem etkileşimlerini, sosyo-ekonomik dinamikleri ve belirsizliği göz ardı eden tek tür odaklı bir kavramdı. Yaygın stok çöküşleri (örneğin, Atlantik morinası) MSV tabanlı yönetimin sınırlılıklarını ortaya koydu. Aşırı sermayelendirme, siyasi baskı ve bilimsel belirsizlik, avlanma limitlerinin sürdürülebilir seviyeleri aşmasına sıklıkla yol açtı (Hilborn ve Walters, 1992).

Bu dönemdeki bilimsel balıkçılık yönetimi büyük ölçüde tek tür odaklıydı ve balık stoklarını bağımsız biyolojik birimler olarak ele alıyordu. Balıkçılık yönetimi önlemleri arasında av kotaları, çaba kontrolleri, minimum boyut sınırları ve mevsimsel kapatmalar yer alıyordu ve bunların tümü stok değerlendirme modellerinden türetilmişti. Bu yaklaşımlar açık erişimli sömürüye göre önemli bir ilerlemeyi temsil etmesine rağmen sonraki araştırmalar özellikle ekosistem etkileşimlerini,

çevresel değişkenliği ve biyolojik verilerdeki belirsizliği hesaba katmada yetersiz kalmaları nedeniyle sınırlılıklarını ortaya koymuştur (Hilborn ve Walters, 1992).

Ortalama koşullar altında bir stoktan alınabilecek en büyük uzun vadeli ortalama av miktarını resmileştiren MSV kavramı, 20. yüzyılın ortalarındaki yönetim ve uluslararası politikalarda yaygın olarak bir referans noktası olarak benimsenmiştir (Schaefer, 1954; Beverton ve Holt, 1957). MSV'nin kavramsal basitliği, onu politika ve uluslararası müzakereler için cazip hale getirmiştir (Hilborn ve Walters, 1992). Ancak 1970'lerden 1990'lara uzanan dönemlerde eleştiriler giderek artmaya başlamıştır. Bu eleştiriler, MSV'nin denge varsayımlarına dayanması, tahmin hatalarına yüksek duyarlılığı ve çoğu durumda çok türlü etkileşimleri, habitat etkilerini ve sosyo-ekonomik boyutları ihmal etmesi üzerine yoğunlaşmıştır (Larkin, 1977; Walters ve Hilborn, 1978). Bu bağlamda hem akademisyenler hem de uygulayıcılar MSV'yi tek başına bir yönetim hedefi olarak sorgulamaya başlamış ve bunun yerine ihtiyatlı yaklaşımlar, limit ve hedef referans noktaları ile ekosistem temelli tamamlayıcı çerçeveleri savunmuşlardır (Garcia, 1994; Hilborn ve ark., 2001).

Kurumsal olarak, 20. yüzyılın ortalarında ulusal balıkçılık ajansları ve bölgesel balıkçılık komisyonları gibi uluslararası bilimsel kuruluşlar kuruldu ve bu kuruluşlar veri toplama ve değerlendirme yöntemlerini standartlaştırdı. Bu kurumlar, aşırı avlanmanın MSV temelli yönetim uygulanmasına rağmen birçok bölgede devam ettiğine dair bir çok kanıt olmasına rağmen, bilimsel balıkçılık yönetiminin küresel olarak baskın bir model olarak pekişmesine yardımcı oldu (Garcia, 1996).

Özetle, 20. yüzyılın ortalarında bilimsel balıkçılık yönetiminin ortaya çıkışı, büyük ölçüde düzenlenmemiş sömürüden bilim odaklı yönetime doğru kritik bir geçişi işaret etti (Beverton ve Holt, 1957). Bu model, balık popülasyon dinamiklerinin anlaşılmasını önemli ölçüde geliştirmiş ve özellikle stok değerlendirme modelleri ve MSV gibi kavramların geliştirilmesi yoluyla temel yönetim araçları sağlamış olsa da, büyük ölçüde tek tür yaklaşımlarına ve denge varsayımlarına dayanıyordu (Hilborn ve Walters, 1992). Zamanla, bu çerçevenin sınırlamaları giderek daha belirgin hale geldi ve ekolojik karmaşıklığı, belirsizliği ve kümülatif insan etkilerini ele almak için daha ihtiyatlı ve ekosistem tabanlı yönetim yaklaşımlarının gerekli olduğu kabul edilmesine katkıda bulundu (Garcia, 1996; Pikitch ve ark., 2004).

Bu dönemde balıkçılık yönetimi yaklaşımları şunları içermeye başladı;

- Önlem ilkeleri,
- Biyolojik referans noktaları (sınır ve hedef referans noktaları),
- Hasat kontrol kuralları,
- Stok değerlendirmelerinin ve izleme programlarının genişletilmiş kullanımı.

Bu dönem aynı zamanda 1982 BM Deniz Hukuku Sözleşmesi'nin ardından Münhasır Ekonomik Bölgeler (MEB) aracılığıyla ulusal yetkinin genişletilmesiyle de örtüşmektedir (Garcia, 1996; Pikitch ve ark., 2004).

3.5. Yönetim Yetkisinin ve Münhasır Ekonomik Bölgelerin Genişlemesi (1970'ler-1980'ler)

Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi'nin (BMDHS) ardından Münhasır Ekonomik Bölgelerin (MEB) kurulmasıyla balıkçılık yönetiminde önemli bir dönüm noktası yaşandı. Kıyı devletleri, 200 deniz mili içindeki balıkçılık kaynakları üzerinde yetki sahibi oldu ve bu da doğrudan ulusal yönetim ve uygulama olanağı sağladı. Bu değişim, büyük ölçüde uluslararası, düzenlenmemiş sömürüden devlet öncülüğünde balıkçılık yönetimine geçişi işaret etti (Birleşmiş Milletler [UN], 1982; Garcia, 1994; Hilborn ve Walters, 1992). BMDHS kapsamında Münhasır Ekonomik Bölgelerin (MEB) resmen kurulmasıyla küresel balıkçılık yönetiminde önemli bir yapısal dönüşüm yaşandı. 1982'de kabul edilen BMDHS, kıyı devletlerine, kendi ana hatlarından 200 deniz miline kadar uzanan bölgelerde yaşayan deniz kaynaklarını araştırma, işletme, koruma ve yönetme amacıyla egemen haklar tanıdı (Birleşmiş Milletler, 1982). Bu yasal yenilik, yetkiyi uluslararası ortak alanlardan

bireysel ulus devletlere yeniden tahsis ederek balıkçılık yönetiminin mekânsal ve kurumsal örgütlenmesini temelden değiştirdi (Garcia ve Grainger, 2005).

Münhasır Ekonomik Bölge (Exclusive Economic Zones, EEZ): Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi (UNCLOS, 1982) tarafından, belirlenen ve bir ülkenin kıyı şeridinden 200 deniz mili (yaklaşık 370 kilometre) uzaklığa kadar uzanan bir deniz bölgesidir. Bu bölge, dar karasularının ötesindeki deniz balıkçılığının çoğu, geleneksel uluslararası hukuk ve sınırlı ikili veya bölgesel anlaşmalarla zayıf bir şekilde yönetilen, fiilen açık erişimli bir alandı. Bu yönetim boşluğu, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra balıkçılık kapasitesindeki hızlı teknolojik gelişmelerle birleşerek, uzak sularda faaliyet gösteren filolar tarafından balık stoklarının yaygın bir şekilde aşırı avlanmasına neden oldu (Beverton ve Holt, 1957; Pauly ve ark., 2002). Akademisyenler bu dönemi, açık yargısal sorumluluğun yokluğu nedeniyle koruma teşviklerinin minimum düzeyde olduğu "uluslararasılaşmış aşırı avlanma" dönemi olarak nitelendirmişlerdir (Hardin, 1968; Finlayson, 1994).

Münhasır Ekonomik Bölgelerin (EEZ) değiştirilmesi, kıyı devletlerinin kendi bölgelerindeki balık stoklarını yönetme konusunda hem yasal yetkiye hem de yükümlülüğe sahip olmalarıyla, devlet öncülüğünde balıkçılık yönetimine doğru belirleyici bir değişimi temsil etti. BMDHS, kaynak haklarını yönetim görevleriyle açıkça ilişkilendirerek, devletlerin izin verilen av miktarlarını belirlemesini, canlı kaynakların korunmasını sağlamasını ve ortak ve göçmen stoklar konusunda işbirliği yapmasını zorunlu kıldı (Birleşmiş Milletler, 1982, Madde 61-63). Hak ve sorumlulukların bu şekilde birleştirilmesi, 20. yüzyılın deniz kaynakları yönetimindeki en önemli kurumsal gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir (McDorman, 1987; Munro, 2000).

3.6. Tek Tür Yönetiminin Sınırlılıklarının Farkına Varılması (1980'ler-1990'lar)

20. yüzyılın sonlarına doğru, tek tür yönetim yaklaşımlarının yetersiz olduğu giderek daha açık hale geldi. Stok çöküşleri-özellikle Atlantik morinası-hedef türlerin izole bir şekilde yönetilmesinin ekosistem etkileşimlerini, çevresel değişkenliği ve kümülatif insan etkilerini hesaba katmadığını gösterdi. Bu dönemde, balıkçılık yönetiminde belirsizlik, risk ve ihtiyatlı yaklaşımlara duyulan ihtiyaç giderek daha fazla fark edildi (Hilborn ve Walters, 1992). Bu yeniden değerlendirmeyi şekillendiren en etkili olaylardan biri, 1980'lerin sonlarında ve 1990'ların başlarında Kuzeybatı Atlantik'teki Atlantik morina balığı (*Gadus morhua*) stoklarının çöküşü oldu. On yıllarca süren stok değerlendirmelerine, avlanma limitlerine ve düzenleyici kontrollere rağmen, morina balığı popülasyonları hızla azaldı ve bu durum 1992'de Kanada morina balığı avcılığının geçici olarak durdurulmasıyla sonuçlandı. Daha sonraki araştırmalar, balıkçılık yönetiminin yalnızca kota belirleme hataları nedeniyle değil, aynı zamanda tek tür yaklaşımlarının ekosistem etkileşimlerini, çevresel değişkenliği ve sürekli avlanma baskısının kümülatif etkilerini dikkate almaması nedeniyle de başarısız olduğunu gösterdi (Hutchings ve Myers, 1994; Finlayson, 1994). Morina balığı popülasyonundaki çöküş, tek tür yönetiminin daha geniş bir yapısal zayıflığını (trofik ilişkileri, avcı-av dinamiklerini, habitat bozulmasını ve iklim kaynaklı değişkenliği dikkate alamama) ortaya koydu. Bu dönemdeki araştırmalar, bir trofik seviyedeki balıkçılığın neden olduğu değişikliklerin deniz ekosistemlerine yayılarak verimliliği, tür bileşimini ve dayanıklılığı değiştirebileceğini giderek daha fazla gösterdi (Paine, 1980; Walters ve Kitchell, 2001). Bu bulgular, stokların ekosistem yapısını istikrarsızlaştırmadan bağımsız olarak yönetilebileceği varsayımını sorguladı.

Aynı zamanda, balıkçılık karar alma süreçlerinde belirsizliklere ve riske giderek daha fazla önem vermeye başlandı. Geleneksel balıkçılık yönetimi, genellikle model belirsizliği, gözlem hatası veya popülasyon dinamiklerindeki yapısal belirsizlik yeterince dikkate alınmadan, stok büyüklüğü ve MSV için nokta tahminlerine dayanıyordu. Araştırmacılar, bu tür yaklaşımların, özellikle yüksek av seviyelerini koruma yönündeki siyasi ve ekonomik baskı altında, yönetimi sistematik olarak aşırı sömürüye doğru yönlendirdiğini savundu (Ludwig ve ark., 1993). Buna karşılık, 1980'ler ve 1990'larda balıkçılık yönetiminde ihtiyatlı yaklaşımların savunulması giderek arttı. İhtiyatlı ilke, muhafazakar avlanma stratejilerini, belirsizliğin açıkça ele alınmasını ve tam bilimsel kesinlik olmasa

bile geri döndürülemez stok düşüşlerini önlemeyi amaçlayan yönetim eylemlerini vurguladı (FAO, 1996; Hilborn ve ark., 2001).

Genel olarak, bu dönemde tek tür yönetiminin başarısızlıklarının ve sınırlamalarının farkına varılması, balıkçılık biliminde kritik bir dönüm noktası oldu (Larkin, 1977; Walters ve Hilborn, 1978). Tek tür modelleri önemli analitik araçlar olarak kalırken, kendi başlarına yetersiz oldukları giderek daha fazla görülmeye başlandı ve bu durum, 1990'ların sonlarında ve 2000'lerin başlarında tam olarak ortaya çıkan ekosistem tabanlı balıkçılık yönetimine ve daha geniş sosyal-ekolojik yaklaşımlara zemin hazırladı (Hilborn & Walters, 1992; Garcia, 1994; Garcia ve Grainger, 2005).

3.7. Kurumsallaşma ve Küresel Yönetişim (1990'lar–2000'ler)

1990'lar ve 2000'ler boyunca, balıkçılık yönetimi, küresel düzeyde bilime dayalı yönetim ilkelerinin kurumsallaştırılmasıyla karakterize edilen önemli bir dönüşüm geçirdi. Bu sürecin merkezinde, 20. yüzyılın sonlarında gözlemlenen yaygın aşırı avlanma, stok çöküşleri ve yönetim başarısızlıklarına uluslararası yanıtları koordine eden bir norm belirleyici kuruluş olarak hareket eden Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) liderliği yer alıyordu (FAO, 1995a, 1996). Diğer bir ifadeyle uluslararası kuruluşlar, özellikle Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), küresel düzeyde modern balıkçılık yönetiminin şekillenmesinde merkezi bir rol oynamıştır (FAO, 1996; FAO, 2003).

1995 yılında FAO'nun Sorumlu Balıkçılık Davranış Kuralları'nın kabul edilmesi, küresel balıkçılık yönetiminde önemli bir dönüm noktası oldu. Gönüllülük esasına dayalı olmasına rağmen, bu Kurallar balıkçılık yönetimi, balıkçılık faaliyetleri, su ürünleri yetiştiriciliği geliştirme, balıkçılığın kıyı yönetimine entegrasyonu ve hasat sonrası uygulamaları kapsayan kapsamlı bir normatif çerçeve sağladı. Daha da önemlisi, balıkçılık yönetiminin mevcut en iyi bilimsel kanıtlara dayanması gerektiği ilkesini resmileştirerek, koruma hedeflerini sürdürülebilir kullanımla açıkça ilişkilendirdi (FAO, 1995a).

FAO'nun Sorumlu Balıkçılık Davranış Kuralları'nda şunlar da yer aldı:

- Balık stoklarının uzun vadeli sürdürülebilirliği,
- Aşırı avlanmanın ve kapasite aşımının önlenmesi,
- Kritik habitatların ve biyoçeşitliliğin korunması,
- Biyolojik hedeflerin yanı sıra sosyo-ekonomik faktörlerin de dikkate alınması.
- Yaygın onay sayesinde Sorumlu Balıkçılık Davranış Kuralları, ulusal mevzuatı ve Bölgesel Balıkçılık Yönetim Kuruluşlarının (RFMO'lar) yetkilerini etkileyen küresel bir referans noktası haline geldi (FAO, 1995a).

Buna paralel olarak, FAO, balıkçılık karar alma süreçlerinde belirsizlik ve riski ele almak için ihtiyatlı yaklaşımın ve biyolojik referans noktalarının kullanımını teşvik etmiştir (FAO, 1996; FAO, 2003). Bu normatif çerçeveler ve teknik kılavuzlar aracılığıyla, bilime dayalı balıkçılık yönetimi küresel bir standart olarak kurumsallaşmış ve dünya çapındaki ulusal politikaları ve bölgesel balıkçılık yönetim örgütlerini etkilemiştir (FAO, 2003; Garcia ve Grainger, 2005).

Balıkçılık sistemlerinde var olan belirsizliğe yanıt olarak, FAO, modern balıkçılık yönetiminin temel taşı olarak ihtiyatlı yaklaşımı güçlü bir şekilde desteklemiştir. Bu yaklaşım, yöneticilerin bilimsel bilgiler eksik olsa bile önleyici tedbirler almasını gerektirir ve böylece yönetimi reaktif kriz yönetiminden riskten kaçınan karar alma yönüne doğru kaydırır (FAO, 1996).

3.8. Ekosistem Temelli ve Uyarlanabilir Yönetime Doğru Geçiş (2000'ler–günümüz)

2000'li yılların başlarında, tek tür odaklı yönetim yaklaşımlarının ekosistem bozulmasını, istenmeyen avlanmayı ve habitat üzerindeki etkileri ele almak için yetersiz olduğu giderek daha belirgin hale geldi. Buna karşılık, FAO'nun rehberliği, trofik etkileşimleri, çevresel değişkenliği ve kümülatif insan etkilerini dikkate alan Ekosistem Tabanlı Balıkçılık Yönetimine (EBFM) doğru

değişim gösterdi (FAO, 2003; FAO, 2009). Bu yaklaşımlar, balıkçılığın sosyal ve ekonomik boyutlarını entegre ederken, ekosistem yapısını, biyoçeşitliliği, habitat bütünlüğünü ve dayanıklılığını korumayı vurgular. Uluslararası kuruluşlar ve bilimsel kurumlar artık balıkçılığı birbirine bağlı sosyal-ekolojik sistemler olarak tanıyan uyarlanabilir, ihtiyatlı ve katılımcı yönetim sistemlerini teşvik etmektedir (FAO, 2003; Pikitch ve ark., 2004; Link, 2010).

ETBY, aynı zamanda Balıkçılığa Ekosistem Yaklaşımı (BEY) olarak da adlandırılır ve balık stoklarını, ekosistem yapısını ve işlevini ve insan refahını eş zamanlı olarak sürdürmeyi amaçlayan bütüncül bir yönetim çerçevesidir. Geleneksel tek tür yönetiminin aksine, ETBY türler arası etkileşimleri, habitat bağımlılıklarını, çevresel değişkenliği ve kümülatif insan etkilerini açıkça dikkate alır (FAO, 2003; Pikitch ve ark., 2004).

Tek tür balıkçılığı yönetiminin bilinen sınırlamalarına yanıt olarak, yirmi birinci yüzyılın başlarında ETBY doğru ilerleyici bir geçiş yaşanmıştır. ETBY, yalnızca tek tek hedef türlerin verimini en üst düzeye çıkarmaya odaklanmak yerine, deniz ekosistemlerini bütünüyle sürdürmeyi amaçlayan bütüncül bir yönetim modelini temsil eder. Bu yaklaşımın merkezinde, balıkçılığın trofik etkileşimler, habitat bağımlılıkları, çevresel değişkenlik ve kümülatif antropojenik baskılarla karakterize edilen karmaşık, dinamik ekosistemler içinde faaliyet gösterdiği gerçeği yatmaktadır (Pikitch ve ark., 2004; Link, 2010).

Geleneksel balıkçılık yönetimi çerçevelerinden farklı olarak, ETBY, sürdürülebilir kaynak kullanımına izin verirken ekosistem yapısını, işlevini, biyoçeşitliliğini ve direncini korumayı açıkça hedeflemektedir. Bu, avcı-av ilişkilerini, yan av türlerini, balıkçılık ekipmanlarının habitat üzerindeki etkilerini ve karbon döngüsü ve kültürel değerler gibi gıda temininin ötesindeki ekosistem hizmetlerini de içerir. Bu nedenle, ETBY, balıkçılık yönetimi hedeflerini tek tür maksimum sürdürülebilir verimden daha geniş ekosistem düzeyindeki referans noktalarına doğru yeniden şekillendirir (Garcia ve ark., 2003; Link, 2010).

Uluslararası kuruluşlar bu modelin değişiminin ilerlemesinde kilit rol oynamıştır. FAO, 2000'li yılların başlarında balıkçılıkta ekosistem yaklaşımını resmen onaylayarak, balıkçılık yönetiminin ekolojik refahı, insan ve ekonomik boyutlarla dengelemesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu bakış açısı, önlem, ekosistem bütünlüğü ve paydaş katılımını vurgulayan FAO Sorumlu Balıkçılık Davranış Kuralları ve ardından gelen teknik kılavuzlar gibi küresel politika araçları aracılığıyla daha da kurumsallaştırılmıştır (FAO, 2003).

ETBY kapsamında çağdaş balıkçılık yönetiminin belirleyici bir özelliği, uyarlanabilir yönetimin benimsenmesidir. Uyarlanabilir yönetim, ekolojik sistemlerdeki doğal belirsizliği kabul eder ve yönetim müdahalelerini sabit çözümler yerine yinelemeli öğrenme süreçleri olarak ele alır. Bu nedenle izleme, geri bildirim ve politika ayarlaması, etkili yönetimin ayrılmaz bileşenleridir (Walters, 1986; Holling, 1978). Bu yaklaşım, tür dağılımlarını, verimliliği ve ekosistem dinamiklerini büyük oranda değiştiren iklim değişikliği bağlamında özellikle önemlidir (Perry ve ark., 2005; Cheung ve ark., 2010).

Önlemci yaklaşım, ETBY çerçevelerinde temel bir ilke olmaya devam etmektedir. Zararın kesin bilimsel kanıtını gerektirmek yerine, önlemci yönetim, belirsizliğin yüksek olduğu durumlarda geri dönüşü olmayan ekolojik hasarı önlemek için erken harekete geçmeyi vurgular. Bu ilke, balıkçılık biliminin tahminin sınırlarını ve gecikmiş yönetim müdahaleleriyle ilişkili riskleri giderek daha fazla fark etmesiyle önem kazanmıştır (Garcia, 1994; FAO, 1996).

Balıkçılığın sosyal-ekolojik sistemlerle iç içe geçmiş bir olgu olarak kabul edilmesi de aynı derecede önemlidir. Çağdaş yönetim çerçeveleri, balıkçıların davranışlarının, kurumsal teşviklerin ve topluluk direncinin ekolojik sonuçlardan ayrılamaz olduğunu kabul ederek, sosyal, kültürel ve ekonomik boyutları giderek daha fazla entegre etmektedir (Berkes ve ark., 2000; Ostrom, 2009). Paydaşları doğrudan karar alma süreçlerine dahil eden katılımcı ve ortak yönetim düzenlemeleri, bu

nedenle etkili ekosistem tabanlı yönetimin temel bileşenleri olarak görülmektedir (Jentoft, 2000; Gutiérrez ve ark., 2011)

Genel olarak, ekosistem tabanlı ve uyarlanabilir balıkçılık yönetimine doğru yaşanan değişim, balıkçılık bilimi ve politikasının olgunlaşmasını yansıtmaktadır (Garcia ve Grainger, 2005). Çağdaş yaklaşımlar, statik referans noktaları aracılığıyla izole balık stoklarının çok fazla sömürülmesini hedeflemek yerine, belirsizlik ve çevresel değişim karşısında ekolojik dayanıklılığı, sürekli öğrenmeyi ve yönetim esnekliğini vurgulamaktadır (Hilborn ve ark., 2001; FAO, 2003). Bu bakış açıları, balıkçılık sistemlerinin biyolojik, çevresel ve insani boyutlarını bütünleştiren ekosistem yaklaşımına dayanmaktadır (FAO, 2003, 2009). Balıkçılık yönetiminde, veri sınırlamaları ve uyumlulukla ilgili önemli zorluklar devam ederken, ETBY, ulusal, bölgesel ve küresel düzeylerde balıkçılık yönetimi reformuna rehberlik eden baskın kavramsal çerçeve olarak ortaya çıkmıştır (FAO, 2009; Garcia ve Grainger, 2005).

Sürdürülebilir Balıkçılık Yönetimi

Sürdürülebilir Balıkçılık Yönetimi (SBY), balık stoklarının ve ekosistemlerinin uzun vadede sağlıklı kalmasını sağlamayı ve aynı zamanda balıkçı toplumların ekonomik ve sosyal ihtiyaçlarını desteklemeyi amaçlayan yaklaşımları ifade eder (FAO, 1995b; Hilborn ve ark., 2020). Bu yaklaşım, 20. yüzyılın ortalarında, balıkçılık kapasitesindeki teknolojik gelişmelerin düzenleyici çerçeveleri geride bıraktığı dönemde gözlemlenen yaygın aşırı avlanmaya ve stok çöküşlerine yanıt olarak ortaya çıkmış ve sömürüye bilimsel temelli sınırlamalar getirilmesi ihtiyacını vurgulamıştır (Hilborn ve Walters, 1992; Pauly ve ark., 2002). SBY, ekolojik dayanıklılığı insan refahı ve kaynaklara eşit erişimle dengelemek için biyolojik, çevresel, sosyal ve yönetim boyutlarını bütünleştirir (FAO, 2001; FAO, 1995b).

SBY'nin temel amaçlarından biri, popülasyon büyüklüğünü, balıkçılık kaynaklı ölümleri ve biyolojik referans noktalarını tahmin etmek için balık stok değerlendirmelerinin kullanılmasıdır. Erken dönem balıkçılık yönetimi, mevcut çevresel koşullar altında bir stoktan alınabilecek en büyük uzun vadeli ortalama av miktarı olarak tanımlanan MSV'e büyük ölçüde dayanıyordu (Schaefer, 1954; Hilborn ve Walters, 1992).

Stok değerlendirmelerindeki belirsizliği ve çevresel değişkenliği ele almak için, modern yönetim çerçeveleri ihtiyatlı yaklaşımı vurgular; bu yaklaşımda, tam bilimsel kesinliğin olmaması koruma önlemlerini geciktirmemelidir (FAO, 1995b). Uyarlanabilir balıkçılık yönetimi, yeni veriler elde edildikçe sürekli izlemeyi ve politika ayarlamasını teşvik ederek bu yaklaşımı daha da destekler (FAO, 2012).

SBY, sürdürülebilirliğin sosyal ve ekonomik refahı da içerdiğini kabul eder. Geçim kaynaklarını ve eşitliği göz ardı eden balıkçılık politikaları, ekolojik başarıya rağmen başarısız olabilir (Allison ve Ellis, 2001). Sosyal göstergelerin ve yoksulluğu azaltma hedeflerinin balıkçılık yönetimine entegre edilmesi, özellikle küçük ölçekli ve gelişmekte olan ülkelerdeki balıkçılıkta daha bütünsel ve kalıcı yönetim sonuçlarını destekler (Bene ve ark., 2010).

4. SONUÇ

Balıkçılık yönetiminin sosyal ve ekonomik boyutları da aynı derecede önemlidir. Balıkçılık, özellikle gelişmekte olan ülkelerde milyonlarca küçük ölçekli balıkçının ve kıyı bölgelerde yaşayan toplumların geçim kaynaklarını desteklemektedir. Kötü tasarlanmış veya eksik balıkçılık yönetimi, bu geçim kaynaklarını olumsuz etkileyebilir ve yoksulluğu ve eşitsizliği daha da kötüleştirebilir (Allison ve Ellis, 2001). Bu nedenle, paydaş katılımını ve eşit erişim haklarını içeren etkili balıkçılık yönetim sistemleri hem koruma hem de kalkınma hedeflerine ulaşmada merkezi bir öneme sahiptir (Jentoft, 2000).

Balıkçılık üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar, etkili yönetimin insan kullanımını deniz sürdürülebilirliğiyle uzlaştırmak için temel olduğunu açıkça göstermektedir. Tek tür stok değerlendirmeleri ve avlanma kontrollerine odaklanan geleneksel balıkçılık yönetimi yaklaşımları, yeterince uygulandığında aşırı avlanmayı azaltmaya ve tükenmiş stokları yeniden oluşturmaya yardımcı olmuştur (Hilborn ve Walters, 1992; Quinn ve Deriso, 1999). Ancak, araştırmalarda, bu yöntemlerin deniz ekosistemlerinin karmaşıklığını ve karşılaştıkları çoklu stres faktörlerini ele almada yetersiz kaldığı görülmüştür (Pikitch ve ark., 2004; Walters ve ark., 2005).

Geleneksel balıkçılık yönetimi genellikle hedef türlere dar bir şekilde odaklanmıştır; örneğin, stoklardaki düşüşlere yanıt olarak avlanma limitlerini ayarlamak gibi. Ancak bu yaklaşım, türler arası etkileşimler, habitat bozulması, çevresel değişkenlik ve kümülatif insan etkileri gibi kritik faktörleri göz ardı etmektedir. Araştırmalar, bu faktörlerin balık popülasyon dinamiklerini temelden şekillendirdiğini ve sürdürülebilir balıkçılığın, avlanan türleri destekleyen ekosistemlerin sürdürülebilirliği olmadan elde edilemeyeceğini göstermektedir (Pikitch ve ark., 2004; FAO, 2003; Link, 2010).

Tek tür odaklı yaklaşımların sınırlılıklarını fark eden balıkçılık yönetimi, giderek ETBY'ni benimsemektedir. ETBY, entegre yönetim çerçeveleri içinde trofik etkileşimleri, habitatın korunmasını, küresel iklim değişikliğini ve insan boyutlarını dikkate alır (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA] Fisheries, 2016; FAO, 2003; Pikitch ve ark., 2004). Araştırmalar, ekosistem tabanlı prensipler altında yönetilen balıkçılığın çevresel değişime ve sömürü baskılarına karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir (Pikitch ve ark., 2004). Son zamanlarda, deniz sistemleri içindeki karşılıklı bağımlılıkları yakalamak için önde gelen kavramsal ve operasyonel bir model olarak ortaya çıkan ETBY, yalnızca hedef türlere odaklanmak yerine, balıkçılığı besin ağları, habitatları ve insan etkileri bağlamında yönetmeyi savunmaktadır (Pikitch ve ark., 2004; Link, 2010). Araştırmalar, ETBY'nin özellikle ekosistem modellemesi ve paydaş katılımıyla birleştirildiğinde, çevresel değişkenliğe ve insan kaynaklı etkilere karşı direnci artırabileceğini göstermektedir (Christensen ve ark., 2014).

Etkin balıkçılık yönetimi yalnızca bilime değil, aynı zamanda yönetim yapılarına ve paydaş katılımına da bağlıdır. Balıkçılar, bilim insanları ve politika yapıcılarını içeren katılımcı ve ortak yönetim sistemlerinin, uyumluluğu, meşruiyeti ve koruma bilincini geliştirdiği gösterilmiştir (Jentoft, 2000).

Sürdürülebilir balıkçılık yönetimi, ekolojik, ekonomik ve sosyal hedefleri bütünleştirerek, uzun vadeli verimliliğin habitat korumasına, istenmeyen avlanmanın azaltılmasına ve balıkçılar için adil erişime dikkat edilmesini gerektirdiğine dair daha geniş bir anlayışı yansıtır (Garcia ve Rosenberg, 2010; Worm ve ark., 2009). Bireysel devredilebilir kotalar gibi hak temelli yönetim araçları, uygun şekilde tasarlanıp izlendiğinde ekonomik teşvikleri koruma hedefleriyle daha da uyumlu hale getirebilir (Costello ve ark., 2008).

Sonuç olarak, balıkçılık alanındaki bilimsel çalışmalar ve politikalar tek tür yönetimi yaklaşımından, entegre, sürdürülebilir ve ekosistem temelli çerçevelere doğru bir geçiş konusunda net bir ilerleme olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşımların hedefe ulaşabilmesi, uyarlanabilir

Özgür CANPOLAT, Mustafa DÜŞÜKCAN

balıkçılık yönetimine, güçlü bilimsel girdilere ve ekosistem sağlığını insan refahıyla dengeleyen işbirlikçi yönetim anlayışına bağlı olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Allison, E. H., & Ellis, F. (2001). The livelihoods approach and management of small-scale fisheries. *Marine Policy*, 25(5), 377-388. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(01\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(01)00023-9)
- Bene, C., Hersoug, B., & Allison, E. H. (2010). Not by rent alone: Analysing the pro-poor functions of small-scale fisheries in developing countries. *Development Policy Review*, 28(3), 325–358. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7679.2010.00486.x>
- Berkes, F. (2012). *Sacred ecology* (3rd ed.). Routledge.
- Berkes, F., Folke, C., & Colding, J. (2000). *Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press.
- Beverton, R. J. H., & Holt, S. J. (1957). *On the dynamics of exploited fish populations*. UK Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Charles, A. (2011). Human rights and fishery rights in small-scale fisheries management. In R. S. Pomeroy & N. L. Andrew (Eds.), *Small-Scale Fisheries Management: Frameworks and Approaches for the Developing World* (pp. 59-74). CAB International.
- Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., & Pauly, D. (2010). Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16(1), 24-35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x>
- Christensen, V., Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Buszowski, J., & Pauly, D. (2014). A century of fish biomass decline in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 512, 155-166. <https://doi.org/10.3354/meps10946>
- Costello, C., Gaines, S. D., & Lynham, J. (2008). Can catch shares prevent fisheries collapse? *Science*, 321(5896), 1678-1681. <https://doi.org/10.1126/science.1159478>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1995a). *Code of conduct for responsible fisheries*.
- FAO. (1995b). *Precautionary approach to capture fisheries and species introductions* (FAO Fisheries Technical Paper No. 350).
- FAO. (1996). *Precautionary approach to capture fisheries and species introductions* (FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 2).
- FAO. (2003). *The ecosystem approach to fisheries* (FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 4, Suppl. 2).
- FAO. (2009). *Fisheries management 2: The ecosystem approach to fisheries* (FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 4, Suppl. 2).
- FAO. (2018). *The state of Mediterranean and Black Sea fisheries*.
- FAO. (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022*.

- Finlayson, A. C. (1994). *Fishing for truth: A sociological analysis of northern cod stock assessments from 1977 to 1990*. Institute of Social and Economic Research.
- Garcia, S. M. (1994). The precautionary principle: Its implications in capture fisheries management. *Ocean & Coastal Management*, 22(2), 99-125. [https://doi.org/10.1016/0964-5691\(94\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0964-5691(94)90035-3)
- Garcia, S. M. (1996). The precautionary approach to fisheries and its implications for fishery research, technology and management. *Marine Policy*, 20(4), 315-329. [https://doi.org/10.1016/0308-597X\(96\)00014-1](https://doi.org/10.1016/0308-597X(96)00014-1)
- Garcia, S. M., & Grainger, R. J. R. (2005). Gloom and doom? The future of marine capture fisheries. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1453), 21-46. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1580>
- Garcia, S. M., & Rosenberg, A. A. (2010). Food security and marine capture fisheries: Characteristics, trends, drivers and future perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2869-2880. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0171>
- Garcia, S. M., Zerbi, A., Aliaume, C., Do Chi, T., & Lasserre, G. (2003). *The ecosystem approach to fisheries: Issues, terminology, principles, institutional foundations, and implementation* (FAO Fisheries Technical Paper No. 443). FAO.
- Garstang, W. (1900). The impoverishment of the sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 6(1), 1-69.
- Gordon, H. S. (1954). The economic theory of a common-property resource: The fishery. *Journal of Political Economy*, 62(2), 124-142. <https://doi.org/10.1086/257497>
- Gutiérrez, N. L., Hilborn, R., & Defeo, O. (2011). Leadership, social capital and incentives promote successful fisheries. *Nature*, 470(7334), 386-389. <https://doi.org/10.1038/nature09689>
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>
- Hilborn, R., & Walters, C. J. (1992). *Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty*. Chapman & Hall.
- Hilborn, R., Amoroso, R. O., Anderson, C. M., Baum, J. K., Branch, T. A., Costello, C., de Moor, C. L., Faraj, A., Hively, D., Jensen, O. P., Kurota, H., Little, L. R., Mace, P., McClanahan, T., Melnychuk, M. C., Minto, C., Osio, G. C., Parma, A. M., Pons, M., & Ye, Y. (2020). Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(4), 2218-2224. <https://doi.org/10.1073/pnas.1909726116>
- Hilborn, R., Maguire, J.-J., Parma, A. M., & Rosenberg, A. A. (2001). The precautionary approach and risk management: Can they increase the probability of success in fishery management? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(1), 99-107. <https://doi.org/10.1139/f00-225>
- Holling, C. S. (1978). *Adaptive environmental assessment and management*. Wiley.

- Hutchings, J. A., & Myers, R. A. (1994). What can be learned from the collapse of a renewable resource? Atlantic cod, *Gadus morhua*, of Newfoundland and Labrador. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(9), 2126-2146. <https://doi.org/10.1139/f94-214>
- Jackson, J. B. C., Kirby, M. X., Berger, W. H., Bjorndal, K. A., Botsford, L. W., Bourque, B. J., ... Warner, R. R. (2001). Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293(5530), 629-637. <https://doi.org/10.1126/science.1059199>
- Jentoft, S. (2000). The community: A missing link of fisheries management. *Marine Policy*, 24(1), 53–59. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(99\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(99)00019-3)
- Larkin, P. A. (1977). An epitaph for the concept of maximum sustained yield. *Transactions of the American Fisheries Society*, 106(1), 1-11. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1977\)106](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1977)106)
- Link, J. S. (2010). *Ecosystem-based fisheries management: Confronting tradeoffs*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511760395>
- Ludwig, D., Hilborn, R., & Walters, C. (1993). Uncertainty, resource exploitation, and conservation: Lessons from history. *Science*, 260(5104), 17-36. <https://doi.org/10.1126/science.260.5104.17>
- McDorman, T. L. (1987). The duty to cooperate in international fisheries law. *Ocean Development & International Law*, 18(2), 201-225. <https://doi.org/10.1080/00908328709545868>
- Munro, G. R. (2000). The United Nations Fish Stocks Agreement: History and problems of implementation. *Marine Policy*, 24(4), 305-313. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(00\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(00)00010-0)
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2016). *Ecosystem-based fisheries management policy*. NOAA Fisheries. <https://www.fisheries.noaa.gov>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social–ecological systems. *Science*, 325(5939), 419-422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Paine, R. T. (1980). Food webs: Linkage, interaction strength and community infrastructure. *Journal of Animal Ecology*, 49(3), 667–685.
- Pauly, D., Christensen, V., Gu  nette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, U. R., Walters, C. J., ... Zeller, D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418(6898), 689-695. <https://doi.org/10.1038/nature01017>
- Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R., & Reynolds, J. D. (2005). Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308(5730), 1912-1915. <https://doi.org/10.1126/science.1111322>
- Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D. O., Dayton, P., Doukakis, P., Fluharty, D., Heneman, B., Houde, E. D., Link, J., Livingston, P. A., Mangel, M., McAllister, M. K., Pope, J., & Sainsbury, K. J. (2004). Ecosystem-based fishery management. *Science*, 305(5682), 346-347. <https://doi.org/10.1126/science.1098222>
- International Council for the Exploration of the Sea. (1902). *Constitution of the International Council for the Exploration of the Sea*. ICES.

- Quinn, T. J., & Deriso, R. B. (1999). *Quantitative fish dynamics*. Oxford University Press.
- Schaefer, M. B. (1954). Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 1, 27-56.
- Smith, T. D. (1994). *Scaling fisheries: The science of measuring the effects of fishing, 1855-1955*. Cambridge University Press.
- Smith, V. L. (1968). Economics of production from natural resources. *American Economic Review*, 58(3), 409-431.
- Walters, C. J. (1986). *Adaptive management of renewable resources*. Macmillan.
- Walters, C. J., & Hilborn, R. (1978). Ecological optimization and adaptive management. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 9, 157-188. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.09.110178.001105>
- Walters, C. J., & Kitchell, J. F. (2001). Cultivation/depensation effects on juvenile survival and recruitment: Implications for the theory of fishing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(1), 39-50. <https://doi.org/10.1139/f00-160>
- Walters, C. J., Christensen, V., Martell, S. J. D., & Kitchell, J. F. (2005). Possible ecosystem impacts of applying MSY policies from single-species assessment. *ICES Journal of Marine Science*, 62(3), 558-568. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.12.005>
- Worm, B., Hilborn, R., Baum, J. K., Branch, T. A., Collie, J. S., Costello, C., Fogarty, M. J., Fulton, E. A., Hutchings, J. A., Jennings, S., Jensen, O. P., Lotze, H. K., Mace, P. M., McClanahan, T. R., Minto, C., Palumbi, S. R., Parma, A. M., Ricard, D., Rosenberg, A. A., & Zeller, D. (2009). Rebuilding global fisheries. *Science*, 325(5940), 578-585. <https://doi.org/10.1126/science.1173146>

BÖLÜM 4

BOR ELEMENTİNİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Mustafa ÇİRKA¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü m_cirka@hotmail.com

1. GİRİŞ

Bor (B), bitkiler için mutlak gerekli mikro besin elementlerinden biri olup, eksikliği ya da fazlalığı durumunda bitkilerde ciddi fizyolojik ve morfolojik bozukluklara yol açabilmektedir (Marschner, 2012). Borun bitkiler açısından önemi, yeterlilik ile toksisite arasındaki aralığın son derece dar olmasıyla daha da artmaktadır. Bu özellik, bor beslenmesini tarımsal üretimde dikkatle yönetilmesi gereken kritik bir konu haline getirmektedir (Gupta, 1993). Bitkilerde bor, hücre duvarı yapısının stabilitesinin sağlanması, hücre bölünmesi ve uzaması, karbonhidrat metabolizması, şekerlerin taşınımı, polen canlılığı ve generatif gelişim gibi temel fizyolojik süreçlerde görev almaktadır (Brown ve ark., 2002). Özellikle borun hücre duvarında rhamnogalakturnan II (RG-II) ile oluşturduğu çapraz bağlar, hücresel bütünlüğün korunmasında kilit rol oynamaktadır (O'Neill ve ark., 2004). Bu bağlamda bor, bitki dokularının mekanik dayanıklılığı ve fonksiyonel sürekliliği açısından vazgeçilmez bir elementtir.

Borun bitki bünyesindeki taşınımı büyük ölçüde ksilem aracılığıyla gerçekleşmekte olup, floemdeki hareketliliği bitki türüne ve şeker alkolü (poliol) sentezleme kapasitesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Brown ve Shelp, 1997). Bu durum, bor noksanlığı belirtilerinin genellikle genç yapraklar ve büyüme noktalarında ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Meristematik dokuların bor eksikliğine karşı son derece hassas olması, bitki gelişiminde geri dönüşü zor hasarların oluşmasına yol açabilmektedir (Marschner, 2012). Dünya genelinde bor noksanlığı, özellikle hafif bünyeli, organik madde içeriği düşük ve yüksek yağış alan topraklarda yaygın olarak görülmektedir. Buna karşılık, kurak ve yarı kurak bölgelerde bor fazlalığı ve toksisitesi önemli bir tarımsal sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Nable ve ark., 1997). Ayrıca iklim değişikliği, toprak tuzluluğu ve ağır metal kirliliği gibi çevresel faktörler, borun topraktaki yayılmasını ve bitkiler tarafından alınımını doğrudan etkilemektedir (Goldberg, 1997). Son yıllarda yapılan moleküler ve fizyolojik çalışmalar, borun yalnızca yapısal bir element olmadığını; aynı zamanda hücresel sinyal iletimi, gen ekspresyonu ve stres tolerans mekanizmalarıyla da ilişkili olabileceğini ortaya koymuştur (Camacho-Cristóbal ve ark., 2008). Bu gelişmeler, bor beslenmesinin bitkilerin çevresel stres koşullarına adaptasyonu açısından daha kapsamlı bir bakış açısıyla değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu kitap bölümünde, bor elementinin bitkiler üzerindeki etkileri; borun topraktaki davranışı, bitkiler tarafından alımı ve taşınımı, hücresel ve fizyolojik işlevleri, eksiklik ve toksisite belirtileri ile çevresel stres faktörleriyle olan etkileşimleri çerçevesinde ele alınacaktır. Bölümün amacı, bor beslenmesinin bitkisel üretimdeki rolünü bilimsel veriler ışığında ortaya koyarak sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlayacak bütüncül bir kaynak sunmaktır.

2. Borun Bitki Fizyolojisindeki Rolü

Boron, bitkiler için kritik öneme sahip temel bir iz mikro besin elementidir ve fizyolojilerinde önemli roller oynar. Boronun en iyi bilinen işlevi yapısal olup, özellikle bitki hücre duvarındaki pektin polisakaritlerinde bulunan cis-diol gruplarına bağlanarak çapraz bağlar oluşturmaktır; bu, hücre duvarının bütünlüğü ve mimarisi için hayati öneme sahiptir (Bassil ve ark., 2004). Bu çapraz bağlar, hücre duvarının yapısal stabilitesine katkıda bulunur ve hücreler arası yapışmayı ile sitoplazmik iplikçiklerin organizasyonunu etkiler; bu da boronun bitki sitoskeletonunda da rol oynadığını gösterir (Bassil ve ark., 2004).

Hücre duvarının ötesinde, boron membranlarda da önemli işlevlere sahiptir. Membran yapısal bütünlüğünü korumaya yardımcı olur ve iyon ile metabolit taşınımı gibi membran fonksiyonlarını etkiler. Boron, hidroksil gruplarına bağlanarak membran bileşenleriyle etkileşir ve NADH oksidaz gibi redoks reaksiyonlarında rol oynayan enzimlerin aktivitesini etkileyebilir (Blevins and Lukaszewski, 1994; Blevins and Lukaszewski, 1998). Bu etkileşimler normal membran geçirgenliğinin sürdürülmesinde rol oynar ve boron eksikliğinin birçok semptomu,

bu membran fonksiyonlarındaki bozuklukların ikincil etkilerinden kaynaklanır (Pilbeam and Kirkby, 1983).

Boron ayrıca şeker taşınımı, karbonhidrat metabolizması, RNA metabolizması ve fenol metabolizması gibi birçok metabolik süreçte rol almaktadır; ancak bu mekanizmaların moleküler düzeyde tam olarak nasıl işlediği henüz tam bilinmemektedir (Blevins and Lukaszewski, 1994). Boron, stres tepkisi ve hücre duvarı yenilenmesiyle bağlantılı gen ekspresyonunu ve transkripsiyon faktörlerini etkileyerek hücrel bir sinyal görevi görebilir (González-Fontes ve ark., 2008). Örneğin boron eksikliği halinde, fenolik bileşikler ve reaktif oksijen türleri yoluyla lignin biyosentezinde düzenlemeler görülür, bu da yapısal güçlendirme için bir telafi mekanizması olabilir (Dong ve ark., 2022).

Bitkiler boronu genellikle borik asit veya borat formunda topraktan alırlar ve elementin kullanılabilirliği toprak pH'sına bağlıdır. Boron, kalsiyum, azot, fosfor, potasyum ve çinko gibi diğer besin elementleriyle etkileşime girerek bitkinin büyümesi ve çevresel uyumunda etkili olur (Vera-Maldonado ve ark., 2024). Boronun bitkide eksikliği veya fazlalığı sağlığı olumsuz etkiler; bu yüzden boron alımı ve taşınması iyi düzenlenmelidir (Brdar-Jokanović, 2020).

Son zamanlarda bitkilerde BOR1 adlı spesifik boron taşıyıcılarının keşfiyle, boronun yapısal rollerin ötesinde hücrel işlev ve çoğalma için de vazgeçilmez olduğu ortaya konmuştur (Park ve ark., 2004). Boron, hücre duvarı, plazma membranı ve sitoskeleton arasında sinyal iletiminde rol oynayarak gelişimsel süreçleri destekler (González-Fontes ve ark., 2008). Ayrıca, enzimsal reaksiyonları düzenleyebilir ve alüminyumun kök büyümesi üzerindeki toksik etkilerini azaltabilir (Blevins and Lukaszewski, 1998).

Özetle, boron bitki fizyolojisinde çok yönlü görevler üstlenir: Hücre duvarı ve membranların yapısal bütünlüğünü sürdürmek, büyüme ve stres tepkilerine aracılık eden metabolik ve sinyal yollarını etkileyerek bitkinin çevresel uyumunu sağlamaktır. Boron eksikliği veya fazlalığı bu hayati süreçleri bozarak üretkenliği olumsuz etkiler; bu yüzden bitkiler için hayati öneme sahiptir (Park ve ark., 2004; Bassil ve ark., 2004; Blevins and Lukaszewski, 1994; Brdar-Jokanović, 2020; González-Fontes ve ark., 2008).

2.1. Borun Hücre Duvarındaki Rolü

Bor (B), bitkiler için mutlak gerekli bir mikro element olup, hücre duvarının yapısal bütünlüğü ve fonksiyonel sürekliliği açısından hayati öneme sahiptir. Borun bitkilerdeki en temel ve en iyi tanımlanmış görevi, hücre duvarı pektik polisakkaritlerinin stabilizasyonu ile ilişkilidir (Brown ve ark., 2002; Marschner, 2012). Boronun sağladığı çapraz bağlar sadece hücre duvarı yapısını stabilize etmekle kalmaz, aynı zamanda hücreler arası yapışmayı ve bitki hücrelerindeki yapısal bileşenlerin organizasyonunu etkiler. Örneğin, fenilboronik asitler kullanılarak yapılan çalışmalar, boronun fonksiyonunu seçici olarak engelleyen bu bileşiklerin sitoplazmik iplikçiklerin ve hücre-hücre duvarı yapışmasının bozulmasına yol açtığını göstermiştir; bu da boronun bitki sitoskeletonunun yapısal bütünlüğünde rol oynadığını düşündürmektedir (Bassil ve ark., 2004).

2.1.1. Hücre Duvarı Yapısının Stabilizasyonu

Bor, hücre duvarında yer alan pektin fraksiyonlarından rhamnogalakturnan II (RG-II) molekülleri arasında borat diester köprüleri oluşturarak bu yapıların dimerizasyonunu sağlar. RG-II molekülleri arasındaki bu çapraz bağlanma, hücre duvarının mekanik dayanıklılığını artırmakta ve hücre duvarı matrisinin bütünlüğünü korumaktadır (O'Neill ve ark., 2004). Bor eksikliği koşullarında RG-II dimerizasyonu azalmakta veya tamamen engellenmekte, bunun sonucunda hücre duvarı zayıflamakta ve yapısal bozulmalar ortaya çıkmaktadır. Bu durum özellikle hızlı büyüyen dokularda hücre duvarı bütünlüğünün kaybına neden olmaktadır (Goldbach ve ark., 2001).

Boronun hücre duvarındaki yapısal rolü iyi tanımlanmış olmakla birlikte, boronun bitkilerde sinyalizasyon ve metabolik işlevlerdeki potansiyel rolleri halen araştırılmaktadır; ancak bitki hücre duvarının bütünlüğünün korunmasında boronun temel işlevi halen en önemli biyolojik rolü olarak kabul edilmektedir (Goldbach and Wimmer, 2007; González-Fontes ve ark., 2008).

2.1.2. Hücre Genişlemesi ve Hücre Bölünmesi Üzerindeki Etkisi

Hücre duvarı stabilitesi, hücre genişlemesi ve hücre bölünmesi için temel bir gerekliliktir. Borun RG-II üzerinden sağladığı yapısal destek, hücrenin turgor basıncına karşı kontrollü bir şekilde genişlemesini mümkün kılmaktadır. Bor yetersizliğinde hücre duvarı gevşemekte, hücreler düzensiz şekiller almakta ve hücre bölünmesi baskılanmaktadır (Brown ve ark., 2002; Marschner, 2012).

2.1.3. Hücre Duvarı-Plazma Membranı Etkileşimi

Bor, hücre duvarı ile plazma membranı arasındaki yapısal ve fonksiyonel ilişkilerin sürdürülmesinde de rol oynamaktadır. Bor eksikliği durumunda hücre duvarı bütünlüğünün bozulması, membran geçirgenliğinin artmasına ve iyon sızıntılarına yol açmaktadır. Bu durum hücresel homeostazı bozarak metabolik süreçleri olumsuz yönde etkilemektedir (Goldbach ve ark., 2001; Camacho-Cristóbal ve ark., 2008).

2.1.4. Hücre Duvarı Biyosentezi ve Enzim Aktivitesi

Boron, hücre duvarı biyosentezinde görev alan bazı enzimlerin aktivitesini dolaylı olarak etkilediği bildirilmektedir. Özellikle pektin metabolizmasıyla ilişkili enzimlerin, bor varlığında daha düzenli çalıştığı ve hücre duvarı polisakkarit organizasyonunun bu sayede korunduğu ifade edilmektedir (Camacho-Cristóbal ve ark., 2008).

2.1.5. Doku ve Organ Gelişimine Etkileri

Boron hücre duvarındaki yapısal rolü, bitki gelişimi ve morfolojisi üzerinde doğrudan etkilidir. Bor eksikliği durumunda genç yapraklarda deformasyon, kök uçlarında büyümenin durması, çiçek ve meyve dokularında yapısal bozukluklar gözlenmektedir. Bu belirtilerin temelinde hücre duvarı sentezi ve stabilitesindeki aksaklıklar yer almaktadır (Brown ve ark., 2002; Marschner, 2012).

2.2. Borun Metabolik Süreçlerdeki Rolü

Boron bitkilerdeki metabolik süreçlerdeki rolü oldukça geniştir. Bor, şeker taşınması, hücre duvarı sentezi ve lignifikasyon, karbonhidrat metabolizması, RNA metabolizması, solunum, indol asetik asit metabolizması, fenol metabolizması ve membran taşınması gibi birçok süreçte rol oynar, ancak bu işlevlerdeki mekanizmalar tam olarak anlaşılmamıştır (Blevins and Lukaszewski, 1994). Bor, özellikle hücre duvarı ve membranlarda hidroksil gruplarını bağlayarak yapısal rol oynayabilir. Membranlarda ise iyon taşınması ve redoks reaksiyonlarında, NADH oksidaz gibi enzimlerin uyarılması yoluyla etkili olabilir (Blevins and Lukaszewski, 1994).

Boron olumlu etkileri arasında, bitki membranlarının yapısal bütünlüğünü koruması ve membran geçirgenliğini düzenlemesi yer alır; bor eksikliği membran geçirgenliğinde değişikliklere ve dolayısıyla metabolik bozukluklara yol açar (Pilbeam and Kirkby, 1983). Ayrıca bor, apoplastik proteinlere bağlanarak ve manganiz bağımlı enzim reaksiyonlarına müdahale ederek çeşitli metabolik yollarda rol oynayabilir (Blevins and Lukaszewski, 1998). Azot bağlayan baklagillerde yapraklara uygulanan bor, yapraklarda allantoik asit konsantrasyonunda %1000'e varan artışa neden olur; in vitro çalışmalarda ise borun, mangan bağımlı allantoat amidohidrolazı inhibe ettiği gösterilmiştir. Bu durum, borat ile manganiz gibi

divalent katyonlar arasındaki etkileşimlerin metabolik yolları değiştirebileceğini ve borun yüksek konsantrasyonlarının bitkilerde toksik etki yaratmasının nedenlerinden biri olabileceğini göstermektedir (Blevins and Lukaszewski, 1994).

Bunun dışında, bor eksikliği durumunda fenolik madde birikimi artar ve lignin sentezinde düzenleyici etkilere sahip olabilir. Lignin biyosentezi bor eksikliği ile artış gösterebilir ve bu süreçte hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi moleküller hem substrat hem de sinyal molekülü olarak görev yapar. Bor eksikliği, lignin sentezini düzenleyen MYB transkripsiyon faktörlerinin gen ifadesini de etkileyebilir (Dong ve ark., 2022).

2.3. Borun Bitki Stres Toleransı Üzerindeki Etkisi

Bor (B), bitkiler için zorunlu bir mikro element olup yalnızca büyüme ve gelişme süreçlerinde değil, aynı zamanda biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı toleransın artırılmasında da önemli roller üstlenmektedir. Borun stres toleransındaki etkileri; hücre duvarı stabilitesi, membran bütünlüğü, antioksidan savunma sistemleri ve metabolik düzenleme mekanizmaları üzerinden gerçekleşmektedir (Brown ve ark., 2002; Marschner, 2012).

2.3.1. Hücre Duvarı ve Membran Stabilitesi Yoluyla Stres Toleransı

Borun en temel fonksiyonlarından biri, hücre duvarındaki rhamnogalakuronan II (RG-II) pektinlerinin borat köprüleriyle çapraz bağlanmasını sağlamaktır. Bu yapı, hücre duvarının mekanik dayanıklılığını artırarak bitkinin kuraklık, tuzluluk ve ağır metal stresi gibi koşullarda hücresel bütünlüğünü korumasına yardımcı olur (O'Neill ve ark., 2004).

Bor yetersizliğinde hücre duvarı ve plazma membranı bütünlüğü bozulmakta, membran geçirgenliği artmakta ve iyon sızıntıları meydana gelmektedir. Bu durum stres koşullarında hücresel hasarı artırarak bitkinin tolerans kapasitesini düşürmektedir (Goldbach ve ark., 2001; Camacho-Cristóbal ve ark., 2008).

2.3.2. Oksidatif Stres ve Antioksidan Savunma Mekanizmaları

Abiyotik stres koşulları (kuraklık, tuzluluk, sıcaklık ve ağır metal stresi), bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimine yol açmaktadır. Borun yeterli düzeyde bulunması, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak oksidatif hasarın sınırlandırılmasına katkı sağlamaktadır (Nable ve ark., 1997; Camacho-Cristóbal ve ark., 2018).

Bor eksikliği durumunda lipid peroksidasyonu artmakta, malondialdehit (MDA) birikimi yükselmekte ve hücre zarları oksidatif hasara daha duyarlı hale gelmektedir (Wimmer ve ark., 2019).

2.3.3. Kuraklık ve Tuzluluk Stresine Karşı Borun Rolü

Kuraklık ve tuzluluk stresinde bor, hücre duvarı bütünlüğünü koruyarak su kaybını azaltmakta ve hücresel turgorun sürdürülmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca bor, karbonhidrat metabolizmasını düzenleyerek fotosentetik ürünlerin taşınımını ve kullanımını optimize etmektedir (Brown ve ark., 2002; Marschner, 2012). Tuzluluk koşullarında bor uygulamalarının, sodyum (Na^+) iyonlarının toksik etkilerini sınırlandırdığı ve potasyum/sodyum (K^+/Na^+) dengesinin korunmasına yardımcı olduğu bildirilmektedir. Bu etki, membran stabilitesinin bor tarafından desteklenmesiyle ilişkilendirilmektedir (Hu ve Brown, 1994).

2.3.4. Ağır Metal Stresine Karşı Borun Etkileri

Bor, ağır metal stresine karşı bitkilerde koruyucu bir rol oynayabilmektedir. Borun hücre duvarında bağlanma kapasitesini artırması, kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve alüminyum (Al) gibi toksik metallerin hücre içine girişini sınırlandırmaktadır. Ayrıca bor, ağır metal kaynaklı

oksidatif stresin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Camacho-Cristóbal ve ark., 2008; Wimmer ve ark., 2019).

2.3.5. Gen İfadesi ve Metabolik Düzenleme

Son yıllarda yapılan çalışmalar, borun stresle ilişkili genlerin ekspresyonunu düzenlediğini ve hücre duvarı sentezi, antioksidan savunma ve hormonal dengeyle ilişkili metabolik yolları etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum borun stres toleransında yalnızca yapısal değil, aynı zamanda moleküler düzeyde de etkili olduğunu göstermektedir (Camacho-Cristóbal ve ark., 2018).

3. Bor Eksikliği ve Fazlalığı: Etkileri ve Belirtileri

Boron (B) bitkiler için temel bir mikro besindir ve büyüme ile gelişimlerinde kritik bir rol oynar, ancak eksikliği ile fazlalığı arasında çok dar bir denge vardır. Bor eksikliği yaygındır ve bitki büyümesi, verim ve kalite üzerinde önemli zararlı etkiler yaparken, fazla bor da kendine özgü toksik belirtiler gösterir.

Bor Eksikliği: Bor eksikliği özellikle bitkilerin meristematik bölgelerini etkiler, terminal büyümenin durmasına ve internodların kısalmasına neden olur; bu da bitkinin sık ve tomurcuklu bir görünüme sahip olmasına yol açar. Belirtiler arasında üst sürgünlerde genel sararma ve çiçek ile meyve oluşumunda yavaşlama bulunur. Bor eksikliği rutabaga'da kahverengi iç hastalığı ve tatlı patateste iç kahverengi noktalar gibi sorunlara yol açar. Pamukta bor eksikliği fotosentez, bitki boyu, yaprak alanı ve kuru madde birikimini azaltarak meyve dökümünü artırır (Keren and Bingham, 1958; Gupta, 1983; Zhao and Oosterhuis, 2003).

Biyokimyasal düzeyde bor eksikliği, zeytin yapraklarında kafeik aside benzeyen fenolik bileşiklerin birikimine yol açarak bitkinin ekofizyolojik özelliklerini etkiler ve stres tepkileriyle ilişkili olabilir (Liakopoulos and Karabourniotis, 2005). Ayrıca, bor eksikliği lignin biyosentezini etkiler; yapraklarda ve köklerde lignin birikimini artırarak mantarlaşma belirtilerine ve büyüme engeline neden olur. Bu süreç, fenolik maddelerin birikimi, hidrojen peroksit sinyalleşmesi ve MYB transkripsiyon faktörlerinin gen ifadesi ile düzenlenir (Dong ve ark., 2022).

Tuber (yumru) bitkileri bor eksikliğine karşı oldukça hassastır; bor eksikliği verim ve yumru kalitesinde ciddi düşüşlere yol açar. Topraktaki kritik bor seviyesi genellikle 0,5 ile 1,0 ppm arasında değişmekle birlikte, bitki türü ve koşullara bağlıdır. Doğru besin yönetimi ve kontrollü bor gübre kullanımı, bor eksikliği ve toksisitesinin önlenmesinde önemlidir (Sarkar ve ark., 2024).

Bor Toksisitesi: Fazla bor, bitkilerde toksik belirtilere yol açar. Bunlar arasında sürgün ve kök büyümesinde azalma, özellikle eski yapraklarda sararma ve nekroz (doku ölümü), fotosentezde bozulma ve polen gelişiminde bozukluk vardır. Snap fasulyesinde büyüme küçülürken, yaprak kenarlarında koyu kahverengi yanıklar görülür; turpta köklerin kesildiğinde kahverengi olması ve kalın kabuklu olması toksisite belirtisidir; domateste ise toksisite büyümede azalma ve yavaş çimlenmeye neden olur (Zhao ve ark., 2024; Gupta, 1983).

Boron toksisitesi, bitkinin kaynak ve hedef dokularında fazla bor birikimi nedeniyle klorofil içeriğinde azalma, kısırlık (polen tüpü gelişiminde başarısızlık), hücre duvarı ve membran yapısında bozulma ile sonuçlanır. Yüksek bor, diğer mikro besinlerin alımını, hormon taşınmasını ve metabolit paylaşımını engeller. Bitkiler, aşırı borun neden olduğu reaktif oksijen türlerinin yol açtığı oksidatif strese karşı antioksidan enzimler üretir. Toksisiteye bağlı fizyolojik tepkiler genellikle yaprak yaşına ve bitki çeşidine göre değişir; bazı çeşitler borun taşınması ve boşaltımı konusundaki farklılıklar nedeniyle daha tolere edicidir (Chatzistathis ve ark., 2021; Behera ve ark., 2022). Bor konsantrasyonu için özellikle dokularda 9-12 ppm altı seviyeler genellikle eksikliği, 98-176 ppm üstü seviyeler ise toksisiteyi gösterir (Gupta, 1983).

3.1. Bor Fazlalığı: Etkileri ve Belirtileri

Bor fazlalığı, özellikle bitkilerde toksisite belirtilerine yol açan ve tarımsal verimi olumsuz etkileyen önemli bir durumdur. Bor bitkiler için gerekli bir mikroelement olmasına karşın, toprakta veya bitki bünyesinde fazla miktarda bulunması çeşitli olumsuz etkilere sebep olur. Bor fazlalığının bitkilerdeki etkileri ve belirtileri şu şekildedir:

Boron fazlalığı bitkilerde büyümenin azalmasına neden olur; hem kök hem de sürgün büyümesi kısıtlanır. Yapraklarda kloroz (sararma) ve nekroz (doku ölümü) gibi yapısal bozukluklar gözlemlenir. Fotosentez süreci bozulur ve polen gelişimi engellenir, böylece bitkinin üreme başarısı düşer. Ayrıca yapraklarda klorofil içeriği azalır, hücresel membran bütünlüğü zarar görür ve antioksidan savunma sistemlerinde azalma görülür (Zhao ve ark., 2024; Chatzistathis ve ark., 2021).

Bor fazlalığı, bitki yapraklarında bölgesel ve yaşa bağlı etkiler gösterebilir. Örneğin, farklı bitki çeşitlerinde bor toksisitesi genellikle belirli yapraklarda daha şiddetli belirtiler oluşturur ve bu durum genotipik farklılıklara bağlıdır. B bitki içinde transpirasyon ile taşınır ve fazla borun taşınması kısıtlandığında ya da yapraklarda biriktiğinde toksisite etkileri ağırlaşır (Chatzistathis ve ark., 2021). Boron toksisitesi, hücre işlevlerinin yaygın biçimde yavaşlamasına neden olur. Enerji üretimi ve protein sentezi gibi hayati metabolik süreçler birden çok yolda kısmen inhibe edilir. Bu durum ışık etkisiyle artan foto-oksidatif stresle birleşerek hücre faaliyetlerinde genel bir gerileme yaratır. Ayrıca, bor fazlalığı bitki hücrelerinde nitrat indirgeme enzim faaliyetlerini azaltırken, amonyum asimilasyonunu artırır (Reid ve ark., 2004; Cervilla ve ark., 2008).

Toprak ve çevresel koşullara bağlı olarak borun biyoyararlanabilirliği değişir; pH, kil türü ve organik madde içeriği borun bitki tarafından alınmasını etkiler. Fazla bor genellikle tuzlu ve sodik topraklarda daha fazla toksik etki gösterir. Bor toksisitesi etkilediği bitkilerde sodyum ve klorür iyonlarının artışı, kalsiyum seviyelerinin azalması gibi mineral dengesizlikleri de gözlenmiştir (Cartwright ve ark., 1986). Fizyolojik düzeyde, bor toksisitesi bitkilerde prolin birikimini artırır, membran geçirgenliğini artırarak hücre sıvılarının dengesini bozar ve nitrat redüktaz aktivitesini değiştirir. Bu etkiler bitkinin genel stres tepkisini tetikler ve büyüme azalmasına katkıda bulunur (Eraslan ve ark., 2007).

3.2. Bor Eksikliği ve Fazlalığı Arasındaki Denge

Bor (B), bitkilerde çok önemli bir mikro besin elementidir ve hücre duvarı ile zar yapısının stabilizasyonunda görev alır. Borun bitkideki dengesi çok hassastır; hem eksikliği hem de fazlalığı bitki gelişimi ve verim üzerinde olumsuz etkiler yaratır (Brđar-Jokanović, 2020).

Bor eksikliği, büyümenin durması, yapraklarında ve sürgün uçlarında kısılma, bitkinin bodurlaşması gibi belirtilerle kendini gösterir. Fosfor gibi diğer besin elementlerinde olduğu gibi, bor eksikliği belirtisi oluşmadan önce de gizli eksiklik olabilir. Bor eksikliği, özellikle kök, gövde ve yaprak gelişimini olumsuz etkiler; fotosentez verimliliğini düşürür ve bitkinin meyve ve çiçek oluşumunu azaltır. Bazı bitkilerde (örneğin ayçiçeği, pamuk) bor eksikliği büyüme geriliği ve ürün kaybına neden olur (Keren and Bingham, 1958; Kastori ve ark., 1995; Zhao and Oosterhuis, 2003).

Bilinçsiz ve aşırı bor uygulaması ise bitkilerde toksik etkiler oluşturur; yapraklarda sararma, nekroz, büyümenin durması ve kök dokusunda zedelenme gibi belirtiler ortaya çıkar. Toksisiteler, bitkide oksidatif stres yaratır, su ve besin taşıma sistemlerinde aksamalara yol açar. Örneğin, Arabidopsis gibi bitkilerde bor fazlalığı su taşınımını ve transpirasyonu azaltır ve bazı önemli su kanalı genlerinin ifadesini düşürür (Zhao ve ark., 2024; Macho-Rivero ve ark., 2018; Aftab ve ark., 2010).

Bor dengesinin sağlanmasında, bitki türü ve çeşidinin bor ihtiyacı ve tolerans düzeyi önem arz eder; topraktaki bor seviyesi bir bitki için yetersizken bir başka bitki için fazla olabilir. Bu nedenle, tarımda bor gübrelemesinin doğru dozda yapılması; toprak, iklim ve bitki türüne

göre dikkatlice ayarlanması gereklidir. Ayrıca, bitkilerde bor kullanım etkinliği ve fazlalık toleransı genetik olarak çeşitlilik gösterebilir ki, bu özellikler verimli ve dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesinde fırsatlar sunmaktadır (Brđar-Jokanović, 2020).

Boronun bitki metabolizmasında, örneğin lignin biyosentezinde ve fenolik bileşiklerin birikiminde etkisi vardır. Bor eksikliği durumunda lignin artışı ve fenolik bileşiklerin yoğunlaşması gözlenirken, bu da su ve besin taşınmasında kusurlar ve büyüme engellerine neden olabilir (Dong ve ark., 2022; Liakopoulos and Karabourniotis, 2005).

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Eksikliği veya fazlalığı durumunda bitki bünyesinde ciddi manada gerek fizyolojik olarak ve gerekse morfolojik olarak bozukluklara neden olan Bor elementi, bitkiler için mutlak anlamda gerekli olan mikro besin elementlerinden biridir (Marschner, 2012). Bor bitkilerin metabolik aktivitelerinde hidroksil gruplarını bağlama kapasitesi, membran stabilizasyonu, enzim aktiviteleri modülasyonu ve gen ekspresyonu düzenlenmesi gibi pek çok yolla dolaylı ve doğrudan etkide bulunarak büyüme, gelişme ve strese karşı dirençte kritik bir rol oynar (Blevins and Lukaszewski, 1994; Pilbeam and Kirkby, 1983; Blevins and Lukaszewski, 1998).

Bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal fonksiyonları için gereklidir olan bor; ancak eksikliği ve fazlalığı her ikisi de bitki büyüme ve gelişimini olumsuz etkiler. Toprak ve doku analizlerine dayalı uygun gübreleme ve besin yönetimi, bor dengesinin sağlanması ve bu sorunların önlenmesi için gereklidir (Brđar-Jokanović, 2020). Bor fazlalığı bitkilerde büyüme gerilemesi, yapraklarda sararma ve doku hasarı, fotosentez bozuklukları, nitrojen metabolizmasında aksamalar, mineral dengesizlikleri ve hücrel stres yanıtlarının artması şeklinde belirtiler ortaya çıkar. Bu belirtiler hem bitkinin verimini hem de sağlığını olumsuz etkiler. Bor toksisitesi yönetimi için bitkideki bor alımının kontrolü, detoksifikasyon mekanizmalarının geliştirilmesi ve toprak koşullarının optimize edilmesi gerekmektedir (Zhao ve ark., 2024; Cervilla ve ark., 2012; Cervilla ve ark., 2008).

Sonuç olarak, borun bitkilerdeki dengesi büyüme, gelişme ve verim açısından kritik öneme sahiptir. Hem eksikliği hem de fazlalığı bitki sağlığı ve tarımsal üretim için zararlı olduğundan, doğru ve dengeli bor yönetimi gereklidir (Sarkar ve ark., 2024; Brđar-Jokanović, 2020). Bu bakımdan bitkide bor düzeylerinin belirlenmesi borun yapıcı ve yıkıcı etkisini bertaraf etmede oldukça faydalı olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Aftab, T., Khan, M. M. A., Idrees, M., Naeem, M., & Ram, M. (2010). Boron induced oxidative stress, antioxidant defence response and changes in artemisinin content in *Artemisia annua* L. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(6), 423-430.
- Bassil, E., Hu, H., & Brown, P. H. (2004). Use of phenylboronic acids to investigate boron function in plants. Possible role of boron in transvacuolar cytoplasmic strands and cell-to-wall adhesion. *Plant Physiology*, 136(2), 3383-3395.
- Behera, B., Kancheti, M., Raza, M. B., Shiv, A., Mangal, V., Rathod, G., ... Singh, B. (2023). Mechanistic insight on boron-mediated toxicity in plant *vis-a-vis* its mitigation strategies: a review. *International Journal of Phytoremediation*, 25(1), 9-26.
- Blevins, D. G., & Lukaszewski, K. M. (1994). Proposed physiologic functions of boron in plants pertinent to animal and human metabolism. *Environmental Health Perspectives*, 102(Suppl 7), 31-33.
- Blevins, D. G., & Lukaszewski, K. M. (1998). Boron In Plant Structure and Function. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49(1), 481-500.
- Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1424.
- Brown, P. H., Bellaloui, N., Wimmer, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F., & Römheld, V. (2002). Boron in plant biology. *Plant Biology*, 4(2), 205-223.
- Brown, P. H., & Shelp, B. J. (1997). Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, 193, 85-101.
- Camacho-Cristóbal, J. J., Rexach, J., & González-Fontes, A. (2008). Boron in plants: Deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1247-1255.
- Camacho-Cristóbal, J. J., Martín-Rejano, E. M., Herrera-Rodríguez, M. B., Navarro-Gochicoa, M. T., Rexach, J., & González-Fontes, A. (2018). Boron deficiency inhibits root cell elongation via an ethylene/auxin/ROS-dependent pathway. *Journal of Experimental Botany*, 69(16), 3831-3843.
- Cartwright, B., Spouncer, L., & Zarcinas, B. (1986). Boron toxicity in South Australian barley crops. *Australian Journal of Agricultural Research*, 37(4), 351-359.
- Cervilla, L. M., Rosales, M. A., Ríos, J. J., Ruiz, J. M., Blasco, B., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., & Romero, L. (2008). Response of nitrogen metabolism to boron toxicity in tomato plants. *Plant Biology*, 11(5), 671-677.
- Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Ríos, J. J., Romero, L., Rubio-Wilhelmi, M. M., Rosales, M. A., Ruiz, J. M., & Blasco, B. (2012). Parameters Symptomatic for Boron Toxicity in Leaves of Tomato Plants. *Journal of Botany*, 2012, 1-17.
- Chatzistathis, T., Kotsiras, A., Delis, C., Aliniaiefard, S., Fanourakis, D., & Tsaniklidis, G. (2021). Leaf Age-Dependent Effects of Boron Toxicity in Two Cucumis melo Varieties. *Agronomy*, 11(4), 759.
- Dong, X., Wei, S., Jiao, H., Jiang, C., Ran, K., Dong, R., & Wang, S. (2022). The regulation of plant lignin biosynthesis under boron deficiency conditions. *Physiologia Plantarum*, 174(6).
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., & Alpaslan, M. (2007). Boron Toxicity Alters Nitrate Reductase Activity, Proline Accumulation, Membrane Permeability, and Mineral Constituents of Tomato and Pepper Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 30(6), 981-994.
- González-Fontes, A., Rexach, J., Navarro-Gochicoa, M. T., Herrera-Rodríguez, M. B., Beato, V. M., Maldonado, J. M., & Camacho-Cristóbal, J. J. (2008). Is Boron involved solely in structural roles in vascular plants? *Plant Signaling & Behavior*, 3(1), 24-26.
- Goldberg, S. (1997). Reactions of boron with soils. *Plant and Soil*, 193, 35-48.
- Goldbach, H. E., Yu, Q., Wingender, R., Schulz, M., Wimmer, M., Findekle, P., & Baluška, F. (2001). Rapid response reactions of roots to boron deprivation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(2), 173-181.

- Gupta, U. C. (1983). Boron deficiency and toxicity symptoms for several crops as related to tissue boron levels. *Journal of Plant Nutrition*, 6(5), 387–395.
- Gupta, U. C. (1993). Boron and its role in crop production. CRC Press.
- Kastori, R., Plesničar, M., Panković, D., & Sakač, Z. (1995). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and soluble carbohydrates in sunflower leaves as affected by boron deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 18(9), 1751–1763.
- Keren, R., & Bingham, F. T. (1958). Boron in Water, Soils, and Plants (pp. 229–276). Springer New York.
- Liakopoulos, G., & Karabourniotis, G. (2005). Boron deficiency and concentrations and composition of phenolic compounds in *Olea europaea* leaves: a combined growth chamber and field study. *Tree Physiology*, 25(3), 307–315.
- Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press.
- Nable, R. O., Banuelos, G. S., & Paull, J. G. (1997). Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193, 181–198.
- O'Neill, M. A., Ishii, T., Albersheim, P., & Darvill, A. G. (2004). Rhamnogalacturonan II: Structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 109–139.
- Park, M., Li, Q., Shcheynikov, N., Muallem, S., & Zeng, W. (2004). Borate Transport and Cell Growth and Proliferation: Not Only in Plants. *Cell Cycle*, 4(1), 24–26.
- Pilbeam, D. J., & Kirkby, E. A. (1983). The physiological role of boron in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 6(7), 563–582.
- Reid, R. J., Post, A., Graham, R. D., Hayes, J. E., & Stangoulis, J. C. R. (2004). A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell & Environment*, 27(11), 1405–1414.
- Sarkar, S., Dey, S., Dhar, A., & Banerjee, H. (2024). Boron nutrition in tuber crops: an inclusive insight. *International Journal of Vegetable Science*, 30(4), 470–496.
- Vera-Maldonado, P., Cárcamo-Fincheira, P., Inostroza-Blancheteau, C., Nunes-Nesi, A., Soto-Cerda, B., Reyes-Díaz, M., & Aquea, F. (2024). Role of boron and its interaction with other elements in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15.
- Zhao, S., Huq, M. E., Fahad, S., Kamran, M., & Riaz, M. (2024). Boron toxicity in plants: understanding mechanisms and developing coping strategies; a review. *Plant Cell Reports*, 43(10).
- Zhao, D., & Oosterhuis, D. M. (2003). Cotton Growth and Physiological Responses to Boron Deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 26(4), 855–867.
- Wimmer, M. A., Lochnit, G., Bassil, E., Mühling, K. H., & Goldbach, H. E. (2019). Membrane-associated boron and its potential role in boron transport and stress tolerance. *Plant, Cell & Environment*, 42, 2324–2337.

BÖLÜM 5

TARIMSAL ROBOTLARDA SENSÖR SİSTEMLERİ, SENSÖR FÜZYONU VE ENTEĞRE ALGI MİMARİLERİ

Osman ECEOĞLU¹, İlker ÜNAL²

¹ Öğr. Gör. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Antalya/Türkiye, Orcid: 0000-0001-5778-6655, osmaneceoglu@akdeniz.edu.tr

² Doç. Dr., Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Hassas Tarım ve Tarımsal Robotlar Bölümü, Burdur/Türkiye. ORCID: 0000-0002-5188-4438, iunal@mehmetakif.edu.tr

1. Giriş

Tarımsal üretim sistemleri, artan iş gücü maliyetleri, kırsal nüfusun azalması, iklim değişikliğine bağlı çevresel belirsizlikler ve sürdürülebilir gıda üretimine yönelik artan küresel talep nedeniyle yapısal bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu dönüşüm, klasik tarım makinelerinin kapasite ve esneklik sınırlarını görünür hâle getirirken, otonom ve yarı otonom tarımsal robotların modern tarımın temel bileşenleri arasında konumlanmasına yol açmıştır. Özellikle hassas tarım uygulamalarında robotik sistemlerin kullanımı; girdilerin optimize edilmesi, üretim verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması açısından stratejik bir rol üstlenmektedir (Fountas vd., 2020)

Tarımsal robotların endüstriyel robotlardan ayrılan en temel özelliği, büyük ölçüde açık ve yarı yapılandırılmış ortamlarda çalışmak zorunda olmalarıdır. Meyve bahçeleri, bağ alanları ve sebze üretim sahaları; düzensiz topografya, değişken zemin özellikleri, yoğun ve heterojen bitki örtüsü, ani ışık değişimleri ve meteorolojik etkenler gibi çok sayıda belirsizlik kaynağını aynı anda barındırmaktadır. Bu koşullar altında robotların yalnızca önceden tanımlı geometrik modeller veya tekil algı kaynakları üzerinden güvenilir biçimde çalışması mümkün değildir. Dolayısıyla tarımsal robotlarda algı, klasik kontrol problemlerinin ötesine geçerek belirsizlik altında karar verme ve uyarlanabilirlik gerektiren çok katmanlı bir mühendislik problemine dönüşmektedir (Bai vd., 2023).

Bir tarımsal robotun çevresiyle anlamlı ve güvenilir bir etkileşim kurabilmesi, büyük ölçüde sensör sistemleri aracılığıyla elde edilen verilere dayanmaktadır. Sensörler; robotun çevresel yapıyı algılamasını, dünya koordinat sistemindeki konumunu tahmin etmesini, kendi dinamik durumunu izlemesini ve bu bilgiler ışığında uygun eylemleri planlamasını mümkün kılmaktadır. Ancak tarım ortamlarının sahip olduğu değişkenlik ve öngörülemezlik, sensör verilerinin hem doğruluğunu hem de sürekliliğini doğrudan etkilemektedir. Örneğin yoğun bitki örtüsü altında Küresel Konumlama Uydu Sistemleri (GNSS) sinyal zayıflaması yaşayabilmekte, kamera tabanlı algı sistemleri ani parlama ve gölgelenmeden etkilenebilmekte, Atalet Ölçüm Birimleri (IMU) ise zemin kaynaklı titreşimler nedeniyle zamanla biriken hatalar üretebilmektedir (Guo vd., 2018)

Bu bağlamda, tarımsal robotlarda tek bir sensör türüne dayalı algı yaklaşımlarının sahadaki gerçek operasyon koşullarında yetersiz kaldığı açıkça görülmektedir. Sensör çeşitliliğinin artırılması tek başına yeterli olmayıp, farklı sensörlerden elde edilen verilerin birbirini tamamlayacak ve doğrulayacak biçimde bütünleştirilmesi gerekmektedir. Sensör entegrasyonu, yalnızca donanımsal bir yerleşim problemi değil; aynı zamanda hesaplama kapasitesi, enerji yönetimi ve operasyon güvenliği boyutlarını birlikte ele alan bütüncül bir tasarım yaklaşımını ifade etmektedir. Bu entegre yapı, literatürde Algısal Sistem Mimarisi (Perceptual System Architecture) veya Otonom Algı Çerçevesi (Autonomous Perception Framework) olarak adlandırılmakta ve modern tarımsal robotların güvenilir otonomi yeteneklerinin temelini oluşturmaktadır (Galati vd., 2022)

Bu kitap bölümü, tarımsal robotlarda sensör sistemleri, sensör füzyonu ve entegre algı mimarilerini bütüncül bir bakış açısıyla ele almayı amaçlamaktadır. Bölüm kapsamında öncelikle sensör sistemlerinin tarımsal robotlardaki işlevsel rolü ortaya konulmakta, ardından sensör teknolojileri ve entegrasyon ilkeleri detaylandırılmaktadır. Devamında, zorlu tarımsal ortamlarda sensör performansını etkileyen faktörler ve sensör füzyonunun bu faktörleri nasıl telafi ettiği tartışılmakta; son olarak sensör füzyonu yöntemleri ve mimari tasarım ilkeleri ele alınarak geleceğe yönelik araştırma yönelimleri değerlendirilmektedir.

2. Tarımsal Robotlarda Sensör Sistemlerinin Önemi

Tarımsal robotların otonom veya yarı otonom biçimde görev icra edebilmesi, çevresel ve içsel durumlara ilişkin bilgilerin sürekli, güvenilir ve bağlamsal olarak tutarlı biçimde elde edilmesine bağlıdır. Bu bağlamda sensör sistemleri, tarımsal robotların yalnızca çevreyi algılamasını sağlayan yardımcı bileşenler değil; karar verme, hareket planlama ve görev yürütme süreçlerinin tamamını besleyen merkezi bilgi kaynaklarıdır. Tarım ortamlarının dinamik ve belirsizlik içeren yapısı dikkate alındığında, sensör sistemlerinin rolü klasik endüstriyel robotik uygulamalara kıyasla çok daha kritik hâle gelmektedir (Fountas vd., 2020).

Bu bölümde sensör sistemlerinin tarımsal robotlardaki önemi, çevresel algı, konumlama ve hareket sürekliliği ile robotun içsel durumunun izlenmesi olmak üzere üç temel işlevsel eksen altında ele alınmaktadır.

2.1. Çevresel Algı ve Tarımsal Ortamın Temsili

Çevresel algı, tarımsal robotların çevreleriyle güvenli ve anlamlı bir etkileşim kurabilmesinin temelini oluşturmaktadır. Bitki sıralarının algılanması, gövde ve taç yapılarının tanımlanması, engellerin tespiti ve arazi geometrisinin çıkarılması gibi işlemler, sensör sistemleri aracılığıyla elde edilen veriler sayesinde gerçekleştirilmektedir. Tarım alanlarının heterojen yapısı nedeniyle bu algı süreci, sabit ve ideal koşullara dayalı modellerle değil, sürekli güncellenen çevresel temsillerle yürütülmektedir (Bai vd., 2023).

Çevresel algının bir diğer önemli boyutu, tarımsal ortamın semantik olarak anlamlandırılmasıdır. Bitki-toprak ayrımı, ürün-yabancı ot sınıflandırması ve geçilebilir alanların belirlenmesi gibi görevler, sensör verilerinin yalnızca geometrik değil, anlamsal düzeyde de işlenmesini gerektirmektedir. Bu durum, sensör sistemlerini tarımsal robotlarda algı temelli karar süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline getirmektedir.

2.2. Konumlama, Yönelim ve Hareket Sürekliliği

Tarımsal robotların otonom hareket edebilmesi, dünya koordinat sistemi içerisindeki konum ve yönelim bilgilerinin sürekliliğine bağlıdır. Açık tarım alanlarında GNSS tabanlı çözümler yüksek doğruluk sunabilmekle birlikte, yoğun bitki örtüsüne sahip ortamlarda sinyal kesintileri ve doğruluk kayıpları yaşanabilmektedir (Guo vd., 2018).

Bu tür koşullarda IMU, Ölü Hesaplama (Dead Reckoning) prensibiyle çalışarak robotun kısa vadeli hareket sürekliliğini sağlamakta ve konum kestiriminin tamamen kaybolmasını engellemektedir. Ancak IMU verilerinde zamanla biriken sürüklenme hataları, bu sensörün tek başına uzun vadeli mutlak konum doğruluğu sağlamasını engellemektedir. Bu nedenle tarımsal robotlarda konumlama süreci, farklı sensörlerin kısa ve uzun vadeli belirsizliklerini dengeleyecek şekilde bütüncül olarak ele alınmaktadır (Ding vd., 2022).

2.3. Robotun İçsel Durumunun İzlenmesi ve Operasyonel Güvenilirlik

Sensör sistemlerinin tarımsal robotlardaki rolü çevresel algı ve konumlama ile sınırlı değildir. Robotun kendi içsel durumuna ilişkin bilgilerin izlenmesi, operasyonel güvenilirlik ve sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Motor yükleri, tekerlek kayması, titreşim seviyeleri ve enerji tüketimi gibi parametreler, sensörler aracılığıyla sürekli izlenmekte ve görev planlama süreçlerine doğrudan etki etmektedir (Bai vd., 2023).

Bu içsel geri besleme mekanizmaları sayesinde tarımsal robotlar, değişken zemin ve çevresel koşullara uyum sağlayabilmekte; hem mekanik aşınma hem de enerji tüketimi açısından daha dengeli bir çalışma profili sergileyebilmektedir. Bu durum, sensör sistemlerinin tarımsal robotlarda yalnızca algı değil, operasyonel süreklilik ve güvenlik açısından da merkezi bir rol oynadığını göstermektedir.

3. Sensör Teknolojileri ve Entegrasyon İlkeleri

Tarımsal robotlarda algısal başarımın belirleyici unsurlarından biri, kullanılan sensör teknolojilerinin çevresel koşullara uygunluğu ve bu sensörlerden elde edilen verilerin bütüncül bir yapıda entegre edilebilmesidir. Tarım ortamlarının heterojen ve zamana bağlı olarak değişen yapısı, sensörlerin tekil performansından ziyade birlikte çalışabilirliklerinin ve tamamlayıcılıklarının ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sensör teknolojileri, yalnızca donanımsal bileşenler olarak değil, algı mimarisinin işlevsel alt katmanları olarak değerlendirilmelidir (Fountas vd., 2020).

Bu bölümde tarımsal robotlarda yaygın olarak kullanılan sensör teknolojileri, algısal işlevlerine göre sınıflandırılarak ele alınmakta; her bir sensör grubunun güçlü ve sınırlı yönleri tartışılmakta ve entegrasyon ilkeleri sistematik bir çerçevede sunulmaktadır. Amaç, sensörlerin tekil kullanımına odaklanmak yerine, tarımsal robotların sahadaki gerçek ihtiyaçlarını karşılayacak bütünlüklü algı yapılarını ortaya koymaktır.

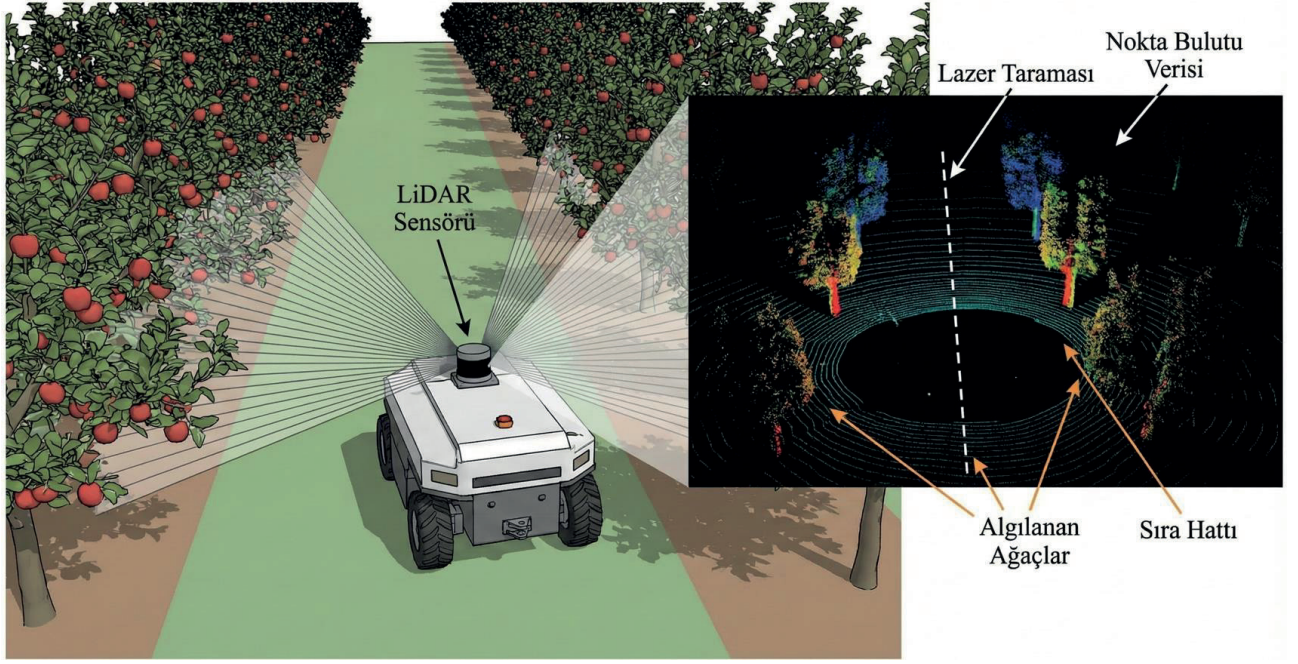
3.1. Geometrik Algı ve Yapısal Çıkarım Odaklı Sensörler

Geometrik algı, tarımsal robotların çevresel yapıyı üç boyutlu olarak temsil edebilmesini sağlayan temel algı bileşenlerinden biridir. Bu bağlamda Light Detection and Ranging (LiDAR) sistemleri, tarımsal robotlarda en yaygın kullanılan geometrik algı sensörleri arasında yer almaktadır. LiDAR, lazer tabanlı tarama prensibi sayesinde çevredeki nesnelerin mesafe ve geometrisini yüksek doğrulukla ölçebilmekte; böylece bitki sıralarının, ağaç gövdelerinin ve engellerin konumsal olarak çıkarılmasına olanak tanımaktadır (Schaefer vd., 2021).

Tarımsal ortamlarda LiDAR'ın en önemli avantajı, ışık koşullarından büyük ölçüde bağımsız çalışabilmesidir. Bu özellik, özellikle gün içindeki ani ışık değişimlerinin kamera tabanlı algıyı zorladığı durumlarda LiDAR'ı kritik bir tamamlayıcı hâline getirmektedir. Bununla birlikte yoğun yaprak örtüsü, rüzgârla hareket eden bitki elemanları, toz ve nem gibi çevresel faktörler, LiDAR ölçümlerinde gürültü ve boşluklar oluşturabilmektedir. Bu nedenle tarımsal robotlarda LiDAR verisi çoğu zaman doğrudan kullanılmamakta, filtreleme ve füzyon süreçlerinden geçirilerek anlamlı hâle getirilmektedir (Bai vd., 2023).

Geometrik algı sensörlerinin bir diğer önemli özelliği, çevresel yapının zamansal olarak izlenebilmesine olanak tanımasıdır. Tarımsal alanlarda bitki morfolojisi büyüme dönemine bağlı olarak değiştiğinden, LiDAR tabanlı algı sistemleri yalnızca anlık navigasyon için değil, aynı zamanda uzun dönemli çevresel modelleme ve haritalama süreçleri için de değerli bilgiler sunmaktadır.

Şekil 1'de şematik olarak gösterildiği üzere, LiDAR sensörü tarafından üretilen üç boyutlu nokta bulutu verisi, meyve bahçesi ortamında ağaç gövdelerinin ve bitki sıralarının geometrik olarak temsil edilmesine olanak tanımakta; bu temsil üzerinden sıra hattı çıkarımı ve çevresel algı süreçleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. Meyve bahçesinde LiDAR tabanlı üç boyutlu çevresel algı ve sıra yapısı çıkarımı.

3.2. Görsel ve Spektral Tabanlı Algı Sistemleri

Görsel ve spektral algı sistemleri, tarımsal robotların çevreyi yalnızca geometrik olarak değil, biyofiziksel ve fizyolojik açıdan da yorumlayabilmesini sağlayan algı katmanını oluşturmaktadır. Bu sensör grubu, bitki sağlığı, stres durumu, ürün gelişimi ve hastalık belirtilerinin tespiti gibi görevlerde merkezi bir rol üstlenmektedir.

3.2.1. RGB Tabanlı Görsel Algı

Red, Green, Blue (RGB) tabanlı kameralar, tarımsal robotlarda en yaygın kullanılan görsel algı sensörleridir. Yüksek uzamsal çözünürlükleri ve zengin renk bilgisi sayesinde meyve tespiti, bitki–zemin ayrımı ve sıra takibi gibi görevlerde etkin biçimde kullanılmaktadır. Özellikle derin öğrenme tabanlı yöntemlerle birlikte kullanıldığında, karmaşık tarımsal sahnelerde yüksek doğruluk elde edilebilmektedir (Bai vd., 2023)

Bununla birlikte RGB tabanlı algının performansı, doğrudan ışık koşullarına bağlıdır. Parlama, gölgeleme ve bulut geçişleri gibi faktörler, görüntü tabanlı algoritmaların kararlılığını azaltmaktadır. Bu nedenle RGB verisi, tarımsal robotlarda çoğunlukla diğer sensörlerle bütünleştirilerek kullanılmaktadır.

3.2.2. Multispektral Algı (MS)

Multispektral kameralar, görünür bantlara ek olarak yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı kenar (Red Edge) bantlarını içeren sınırlı sayıda spektral kanalda görüntüleme yapmaktadır. Bu özellik, bitki sağlığı ve stres durumunun nicel göstergelerle değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), MS verilerinden türetilen en yaygın göstergelerden biridir:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

NDVI ve benzeri indeksler, su stresi, klorofil yoğunluğu ve fotosentetik aktivitenin

değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhou vd., 2020).

3.2.3. Hiperspektral Algı (HS)

HS kameralar, yüzlerce dar spektral bantta veri üreterek bitkilerin ayrıntılı spektral imzalarının çıkarılmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede erken dönem hastalık belirtileri, besin eksiklikleri ve fizyolojik stresler, görsel olarak fark edilebilir hâle gelmeden önce tespit edilebilmektedir. Ancak yüksek veri hacmi ve işlem yükü nedeniyle HS sistemler, tarımsal robotlarda daha çok araştırma ve deneysel uygulamalarla sınırlı kalmaktadır (Wu vd., 2021).

Termal kameralar, bitki yüzeylerinden yayılan ısı radyasyonunu ölçerek sıcaklık dağılımını ortaya koymaktadır. Bu özellik, transpirasyon hızına bağlı olarak su stresi tespitinde kritik öneme sahiptir. Ayrıca termal sensörlerin düşük ışık koşullarında çalışabilmesi, gece operasyonlarında algısal sürekliliği desteklemektedir (Wu vd., 2021).

3.3. Konumlama ve Hareket Algısı Sensörleri

Tarımsal robotların otonom hareket edebilmesi, konum ve yönelim bilgilerinin sürekli ve güvenilir biçimde elde edilmesine bağlıdır. Bu bağlamda GNSS, tarımsal robotlarda mutlak konum bilgisinin temel kaynağını oluşturmaktadır. Açık tarım alanlarında yüksek doğruluk sağlayabilen GNSS, özellikle Real-Time Kinematic (RTK) destekli sistemlerle santimetre seviyesinde konum kestirimi sunabilmektedir (Guo vd., 2018).

Bununla birlikte meyve bahçeleri ve bağ alanları gibi yoğun bitki örtüsüne sahip ortamlarda GNSS sinyalleri sıklıkla kesintiye uğramakta veya çok yollu yayılım nedeniyle hatalı ölçümler üretebilmektedir. Bu durum, GNSS'in tarımsal robotlarda tek başına güvenilir bir çözüm sunmasını engellemektedir. IMU ise yüksek frekansta ivme ve açısal hız bilgisi sağlayarak robotun kısa vadeli hareket sürekliliğini korumakta, ancak zamanla biriken sürüklenme hataları nedeniyle uzun vadede mutlak doğruluk sağlayamamaktadır (Ding vd., 2022).

Bu iki sensörün birlikte kullanılması, tarımsal robotlarda konumlama probleminin temelini oluşturan kısa ve uzun vadeli belirsizliklerin dengelenmesini mümkün kılmaktadır. GNSS'in mutlak doğruluğu ile IMU'nun dinamik tepkisinin bütünleştirilmesi, özellikle zorlu tarımsal koşullarda daha kararlı bir hareket algısı sağlamaktadır.

3.4. Yardımcı Sensörler ve Zemin–Robot Etkileşimi

Tarımsal robotlarda algı yalnızca çevrenin ve konumun belirlenmesiyle sınırlı değildir. Robotun zeminle olan etkileşimini anlamak, operasyonel verimlilik ve güvenlik açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda toprak nemi, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik gibi parametreleri ölçen sensörler, tarımsal robotlarda yardımcı algı katmanları olarak kullanılmaktadır. Bu sensörlerden elde edilen veriler, tekerlek kayması ve çekiş performansı gibi mekanik davranışların öngörülmesine katkı sağlamaktadır (Bai vd., 2023).

Ultrasonik sensörler ise düşük maliyetleri ve yakın mesafe algılama yetenekleri sayesinde tarımsal robotlarda yaygın olarak kullanılan bir diğer yardımcı sensör grubunu oluşturmaktadır. Her ne kadar karmaşık bitki yapıları karşısında sınırlı doğruluk sunsalar da LiDAR ve kamera sistemlerinin tamamlayıcısı olarak basit engel tespiti görevlerinde etkili bir rol üstlenmektedirler (Fountas vd., 2020).

3.5. Sensör Entegrasyon İlkeleri

Sensör teknolojilerinin tarımsal robotlarda etkin biçimde kullanılabilmesi, yalnızca uygun sensörlerin seçilmesine değil, bu sensörlerin nasıl entegre edildiğine bağlıdır. Entegrasyon ilkeleri, sensör füzyonu algoritmalarının başarısını doğrudan etkileyen temel mühendislik kararlarını içermektedir.

3.5.1. Zaman Senkronizasyonu (Time Synchronization)

Farklı sensörler, farklı frekanslarda veri üretmektedir. GNSS düşük frekansta, IMU yüksek frekansta, LiDAR ve kameralar ise orta frekans aralığında çalışmaktadır. Zaman damgalarının uyumsuz olması, füzyon algoritmalarında ciddi konum ve algı hatalarına yol açabilmektedir. Bu nedenle sensör verilerinin ortak bir zaman referansına hizalanması, entegrasyonun temel şartıdır (Ding vd., 2022).

3.5.2. Uzamsal Kalibrasyon (Spatial Calibration)

Sensörlerin robot gövdesi üzerindeki göreceli konum ve yönelimlerini tanımlayan extrinsic parametreler, entegrasyonun ikinci kritik bileşenidir. Kamera–LiDAR veya GNSS–IMU çiftleri arasındaki küçük kalibrasyon hataları bile, çevresel temsilin tutarsız hâle gelmesine neden olabilmektedir. Tarımsal robotlarda titreşim ve sıcaklık değişimleri nedeniyle bu kalibrasyonların zamanla bozulması mümkündür; bu durum çevrimiçi kalibrasyon yaklaşımlarını önemli bir araştırma konusu hâline getirmiştir (Gao vd., 2022).

3.5.3. Veri Ön İşleme ve Gürültü Modellemesi

Ham sensör verileri, tarımsal ortamlarda çoğunlukla gürültü ve eksiklikler içermektedir. LiDAR nokta bulutlarında yaprak kaynaklı saçılmalar, RGB görüntülerde ışık artefaktları ve IMU verilerinde titreşim gürültüsü yaygın olarak görülmektedir. Bu nedenle sensör verileri, füzyon aşamasına geçmeden önce filtreleme, normalizasyon ve bağlamsal ön işleme adımlarından geçirilmelidir (Bai vd., 2023). Bu süreç, Bölüm 5'te ele alınacak füzyon algoritmalarının güvenilirliğini doğrudan belirlemektedir.

Tablo 1. Tarımsal robotlarda kullanılan sensör teknolojilerinin mühendislik odaklı karşılaştırılması

Sensör	Güçlü Yön	Temel Sınırlama	Tipik Kullanım	Tahmini Maliyet (Relatif)	İşlem Yüğü (Relatif)
LiDAR	Işıktan bağımsız, yüksek doğruluklu 3B algı	Yaprak/toz kaynaklı gürültü, yüksek veri hacmi	Engel algılama, sıra geometrisi çıkarımı	Yüksek	Çok Yüksek (nokta bulutu işleme)
RGB Kamera	Yüksek uzamsal çözünürlük, zengin anlamsal bilgi	Işık koşullarına yüksek hassasiyet	Meyve tespiti, sınıflandırma, görsel navigasyon	Düşük	Yüksek (DL çıkarımı)
Multispektral Kamera (MS)	Bitki sağlığı ve stres göstergeleri (NDVI, NDRE)	Düşük uzamsal çözünürlük	Bitki durumu izleme, su stresi tespiti	Orta	Orta
Hiperspektral Kamera (HS)	Ayrıntılı spektral imza, erken hastalık tespiti	Çok yüksek veri hacmi, pahalı	Araştırma, ileri seviye stres analizi	Çok Yüksek	Çok Yüksek
Termal Kamera	Düşük ışıktaki çalışma, yüzey sıcaklığı ölçümü	Ortam sıcaklığına duyarlılık	Su stresi, gece algısı	Orta	Düşük–Orta
GNSS (RTK)	Santimetre hassasiyetli mutlak konum	Örtü altında sinyal kaybı	Rota takibi, görev planlama	Yüksek	Düşük
IMU	Yüksek frekans, hızlı dinamik tepki	Zamanla sürüklenme	Hareket sürekliliği	Düşük	Çok Düşük
Radar	Toz/sis/yağmurdan etkilenmez	Düşük açısallık çözünürlük	Yakın–orta mesafe engel tespiti	Orta	Orta

Tablodan da görülebileceği üzere, tarımsal robotlarda kullanılan sensör teknolojileri yalnızca algısal yetenekleri bakımından değil; maliyet, hesaplama gereksinimi ve çevresel dayanıklılık gibi mühendislik kısıtları açısından da birbirinden belirgin biçimde ayrılmaktadır. Bu farklılıklar, tek bir sensör türüne dayalı algı yaklaşımlarının sahadaki gerçek operasyon koşullarında sürdürülebilir olmadığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Dolayısıyla sensör entegrasyonu, tarımsal robotlar için bir tercih değil; donanım kapasitesi, enerji yönetimi ve gerçek zamanlılık gereksinimleri arasında denge kurmayı amaçlayan zorunlu bir sistem tasarım problemidir. Etkin bir algı mimarisi, sensörlerin tekil doğruluk değerlerinden ziyade, birlikte çalıştıklarında sağladıkları tamamlayıcı bilgi, hata toleransı ve hesaplama verimliliği üzerinden değerlendirilmelidir.

4. Zorlu Tarımsal Ortamlarda Sensör Performansını Etkileyen Faktörler ve Füzyonun Rolü

Tarımsal üretim alanları, sensör tabanlı algı sistemlerinin performansını doğrudan etkileyen çok sayıda çevresel ve fiziksel değişkeni aynı anda barındıran karmaşık çalışma

ortamlarıdır. Açık alan koşulları, bitki örtüsünün heterojen yapısı, mevsimsel değişkenlik ve robotun kendi mekanik–elektriksel dinamikleri; sensör verilerinin doğruluğu, sürekliliği ve güvenilirliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu nedenle tarımsal robotlarda sensör performansı, yalnızca sensörlerin teknik özellikleri üzerinden değil, çevresel belirsizlikler altında nasıl davrandıkları ve bu belirsizliklerin nasıl yönetildiği üzerinden değerlendirilmelidir (Fountas vd., 2020).

Bu bölümde, tarımsal ortamlarda sensör performansını sınırlayan temel faktörler sistematik biçimde ele alınmakta; ardından çoklu sensör füzyonunun bu sınırlamaları olasılıksal ağırlıklandırma ve kovaryans temelli dengeleme mekanizmaları üzerinden nasıl telafi ettiği açıklanmaktadır.

4.1. Çevresel Etkenlerin Sensörler Üzerindeki Görelî Etkisi

Yoğun bitki örtüsü ve geometrik karmaşıklık, özellikle LiDAR ve kamera tabanlı algı sistemlerinde ölçüm gürültüsüne ve algısal boşluklara neden olmaktadır (Schaefer vd., 2021). Bu durum, sensörlerin çevresel koşullara karşı tamamlayıcı zayıflıklara sahip olduğunu ve tekil sensör kullanımının tarımsal robotlar için yetersiz kaldığını göstermektedir (Bai vd., 2023).

Tarımsal ortamlarda sensör performansını etkileyen faktörler, tekil ve izole etkilerden ziyade sensöre özgü hassasiyetler üzerinden ortaya çıkmaktadır. Gölgeleme, toz ve nem, mekanik titreşim, elektromanyetik girişim (EMI) ve yoğun yaprak örtüsü gibi etkenler, farklı sensör teknolojileri üzerinde farklı düzeylerde belirsizlik üretmektedir.

Bu ilişkinin sistematik bir özetini sunmak amacıyla Şekil 2, çevresel etkenler ile sensör teknolojileri arasındaki etkileşimi bir etki matrisi biçiminde göstermektedir.

	Kamera (RGB)	LiDAR	GNSS	IMU	Radar
Gölgeleme/Işık	●	●	●	●	●
Toz/Nem	●	●	●	●	●
Titreşim/Şok	●	●	●	●	●
Elektromanyetik Girişim (EMI)	●	●	●	●	●
Yoğun Yaprak Örtüsü	●	●	●	●	●

Kırmızı = Yüksek Etki, Turuncu = Orta Etki, Yeşil = Düşük Etki

Şekil 2. Tarımsal ortamlarda yaygın çevresel etkenlerin (gölgeleme/ışık, toz/nem, titreşim/şok, elektromanyetik girişim ve yoğun yaprak örtüsü) kamera, LiDAR, GNSS, IMU ve radar sensörleri üzerindeki görelî etkisini gösteren etki matrisi.

Şekil 2’de görüldüğü üzere, kamera sistemleri özellikle gölgeleme ve yaprak örtüsünden yüksek düzeyde etkilenirken, GNSS ölçümleri gölgeleme, elektromanyetik girişim ve yoğun

bitki örtüsü altında ciddi belirsizlik artışı yaşamaktadır. IMU sensörleri mekanik titreşim ve EMI'ye karşı hassasiyet gösterirken, radar sistemlerinin çevresel etkilere karşı görece daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Bu görsel özet, sensörlerin çevresel koşullar karşısında tamamlayıcı zayıflıklara sahip olduğunu ve tekil sensör kullanımının tarımsal ortamlarda neden yetersiz kaldığını açık biçimde ortaya koymaktadır.

4.2. Işık Koşulları ve Atmosferik Etkilerin Algı Üzerindeki Rolü

Açık tarım alanlarında ışık koşulları kontrol edilemez durumdadır. Gün içindeki güneş açısı değişimleri, bulut geçişleri ve gölgelenme, kamera tabanlı algı sistemlerinin performansını doğrudan etkilemektedir. Düşük kontrast veya aşırı parlama koşullarında, görüntü tabanlı segmentasyon ve sınıflandırma algoritmalarının hata oranı artmaktadır (Tang vd., 2020).

Atmosferik etkenler (toz, sis, nem) ise LiDAR ve radar sistemlerinde sinyal zayıflamasına ve ölçüm gürültüsüne neden olmaktadır. Bu tür koşullarda sensör verilerinin güvenilirliği zamansal olarak değişkenlik göstermektedir.

Bu değişkenlik, sensör füzyonu algoritmalarında ölçüm güvenilirliğinin kovaryans matrisi üzerinden modellenmesi yoluyla yönetilmektedir. Kamera verisinin güvenilirliğinin azaldığı koşullarda, kamera ölçümlerine ait kovaryans büyütülerek bu verilerin filtre içindeki ağırlığı azaltılmakta; LiDAR veya radar gibi daha kararlı sensörlerin etkisi artırılmaktadır. Bu yaklaşım, algısal sürekliliğin korunmasını sağlayan temel mekanizmalardan biridir (Ding vd., 2022).

4.3. Zemin Koşulları, Mekanik Etkiler ve Elektromanyetik Girişim

Tarımsal robotlar çoğunlukla engebeli, yumuşak veya kaygan zeminlerde çalışmaktadır. Bu koşullar, robotun mekanik dinamiğini etkileyerek sensör ölçümlerinde ek belirsizlikler oluşturmaktadır. Özellikle mekanik titreşimler, IMU ölçümlerinde yüksek frekanslı gürültüye ve zamanla biriken sürüklenme hatalarına yol açmaktadır (Gao vd., 2022).

Tekerlek kayması ve zemin deformasyonu, odometri tabanlı ve ölü hesaplama tabanlı hareket tahminlerinin doğruluğunu azaltan temel faktörlerdir. Bu durum, odometri ile ölçülen tekerlek hareketi ile IMU veya GNSS üzerinden kestirilen hareket arasındaki tutarsızlıklar üzerinden tespit edilebilmektedir.

Buna ek olarak, tarımsal robotlarda sıklıkla göz ardı edilen ancak sahada kritik öneme sahip bir diğer etken EMI'dir. Motorlar, güç invertörleri ve anahtarlama sürücülerden kaynaklanan elektromanyetik parazitler, GNSS antenleri, IMU sensörleri ve düşük voltajlı veri hatları üzerinde ciddi gürültü oluşturabilmektedir. Bu tür parazitler, sensör verilerinin bütünlüğünü bozarak algısal kararlılığı azaltmaktadır. Bu nedenle sensör mimarisi tasarımında korumalı kablolama, uygun topraklama ve elektriksel izolasyon büyük önem taşımaktadır.

4.4. GNSS Kapsama Sorunları ve Konumsal Süreksizlik

Bölüm 3.3'te teknik karakteristikleri belirtilen GNSS tabanlı konumlama sistemlerinin, yoğun bitki örtüsü altında maruz kaldığı sinyal zayıflaması, sahada yalnızca veri kaybı olarak değil; otonom sürüş güvenliğini doğrudan tehdit eden konumsal süreksizlikler (positional discontinuities) olarak tezahür etmektedir. Ağaç gövdeleri ve yaprak örtüsü, uydu sinyallerinin doğrudan görüş hattını (Line-of-Sight) engelleyerek çok yollu yayılma (multipath effect) neden olmakta; bu durum robotun hesaplanan konumunda ani sıçramalara ve sanal kaymalara yol açmaktadır (Guo vd., 2018).

Bu tür konumsal süreksizlikler, özellikle ağaç sıraları arasındaki mesafenin dar olduğu ve manevra alanının kısıtlı bulunduğu meyve bahçelerinde kritik bir operasyonel risk oluşturmaktadır. GNSS sinyalinin geçici olarak güvenilirliğini yitirdiği anlarda, robotun rota

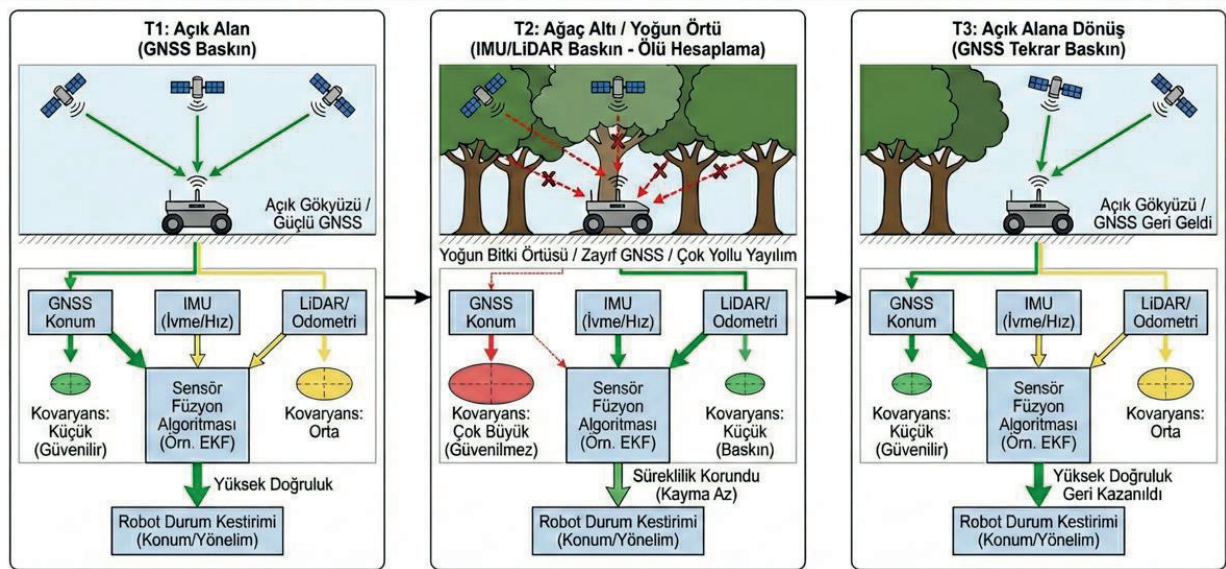
takip (path following) algoritmaları hatalı referanslar üretebilmekte ve bu durum fiziksel çarpışma veya görev başarısızlığı ile sonuçlanabilmektedir.

Sensör füzyonu mimarisi, GNSS sinyal kalitesinin (DOP değerlerinin) bozulduğu bu anlarda, sistemin güvenilirlik ağırlığını dinamik olarak Ölü Hesaplama (Dead Reckoning) moduna kaydırarak operasyonel bütünlüğü korur. Füzyon algoritması, GNSS ölçümlerine ait belirsizlik matrisini (kovaryans) genişleterek bu verilerin durum kestirimi üzerindeki etkisini azaltmakta; eş zamanlı olarak IMU ve odometri tabanlı göreceli konum verilerine öncelik vererek sürekliliği sağlamaktadır (Ding vd., 2022).

4.5. Kovaryans Tabanlı Sensör Füzyonu ile Algısal Dengeleme

Sensör füzyonu, tarımsal ortamlarda algı sistemlerinin karşılaştığı belirsizlikleri yönetmek amacıyla kullanılan temel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda sensörler, sabit doğruluk varsayımlarına göre değil; ölçüm koşullarına bağlı olarak değişen belirsizlik düzeyleri dikkate alınarak dinamik biçimde ağırlıklandırılmaktadır. Böylece algı sistemi, çevresel koşullara duyarlı ve uyarlanabilir bir yapı kazanmakta, tekil sensör zayıflıklarının sistem genelinde kritik hatalara dönüşmesi engellenmektedir.

Bu sürecin zamansal ve bağlamsal işleyişi Şekil 3’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. GNSS güvenilirliğinin çevresel örtüye bağlı olarak değiştiği bir senaryoda, sensör füzyon algoritmasının ölçüm kovaryanslarını dinamik biçimde güncelleyerek algısal dengeyi sağlamanı gösteren şematik temsil.

Şekil 3’te sunulan senaryo, tarımsal ortamlarda sensör güvenilirliğinin sabit olmadığını; aksine çevresel bağlama bağlı olarak sürekli değiştiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Açık alan koşullarında GNSS ölçümleri düşük kovaryans değerleri ile durum kestiriminde baskın rol oynarken, yoğun bitki örtüsü altına girildiğinde uydu sinyallerinin güvenilirliği azalmakta ve GNSS ölçümlerine ait belirsizlik hızla artmaktadır. Bu durumda algısal süreklilik, GNSS verisinin mutlak doğruluğuna değil; IMU ve LiDAR gibi göreceli ancak zamansal olarak kararlı sensörlerin katkısına dayanmaktadır.

Şekilde gösterilen üç aşamalı yapı, sensör füzyonunun deterministik bir ağırlıklandırma yaklaşımı yerine, ölçüm kovaryanslarını çevresel koşullara duyarlı biçimde güncelleyen

olasılıksal bir dengeleme süreci olarak çalıştığını göstermektedir. GNSS ölçümlerine ait kovaryansın genişletilmesiyle bu sensörün filtre üzerindeki etkisi sistematik olarak azaltılırken, IMU ve LiDAR ölçümleri daha yüksek güvenilirlik ağırlıkları ile durum kestirimine dâhil edilmektedir. Robotun yeniden açık alana çıkmasıyla birlikte GNSS ölçümlerinin güvenilirliği artmakta ve sensörler arası ağırlık dağılımı herhangi bir kesintiye neden olmadan yeniden dengelenmektedir.

Bu bağlamda Şekil 3, sensör füzyonunun yalnızca çoklu veri kaynaklarını bir araya getiren bir işlem olmadığını; çevresel belirsizlikler altında algısal bütünlüğü koruyan, bağlama duyarlı ve kovaryans temelli bir karar mekanizması olarak işlediğini kavramsal düzeyde ortaya koymaktadır. Sunulan bu çerçeve, bir sonraki bölümde ele alınacak olan Kalman filtresi tabanlı sensör füzyonu yaklaşımlarında kovaryans matrislerinin neden ve nasıl dinamik olarak güncellendiğinin anlaşılması için doğrudan bir kavramsal zemin oluşturmaktadır.

5. Sensör Füzyonu Yöntemleri ve Hesaplama Yaklaşımları

Tarımsal robotlarda sensör füzyonu, farklı algı modalitelerinden elde edilen ölçümlerin zamansal ve mekânsal olarak tutarlı bir durum kestirimine dönüştürülmesini amaçlayan temel bir hesaplama sürecidir. Açık ve yarı yapılandırılmış tarımsal ortamlarda sensörlerin ölçüm belirsizlikleri zamanla değiştiğinden, füzyon algoritmalarının bu belirsizlikleri olasılıksal bir çerçevede modellemesi gerekmektedir. Bu bölümde, tarımsal robotlarda yaygın olarak kullanılan sensör füzyonu yaklaşımları; durum uzayı tanımı, kinematik modelleme, ölçüm modelleri ve filtreleme algoritmaları üzerinden ele alınmaktadır.

5.1. Durum Vektörü ve Sistem Modeli

Sensör füzyonunun temelini, robotun dinamik durumunu temsil eden durum vektörü oluşturmaktadır. Diferansiyel tahrikli veya tekerlekli tarımsal robotlar için yaygın kullanılan iki boyutlu bir durum vektörü aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \theta_k \\ v_k \\ \omega_k \end{bmatrix}$$

Burada x_k ve y_k robotun dünya koordinat sistemindeki konumunu, θ_k yönelim açısını, v_k doğrusal hızı ve ω_k açısal hızı temsil etmektedir. Bu tanım, GNSS, IMU ve odometri gibi sensörlerden elde edilen ölçümlerin ortak bir çerçevede birleştirilmesine olanak tanımaktadır (Guo vd., 2018).

Robotun hareketi, ayrık zamanlı bir kinematik model ile ifade edilmektedir:

$$\mathbf{x}_k = f(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_k) + \mathbf{w}_k$$

Burada $\mathbf{u}_k$ kontrol girdilerini (tekerlek hızları veya ivme komutları), $\mathbf{w}_k$ ise süreç gürültüsünü temsil etmektedir. Tarımsal arazilerde zemin düzensizliği ve tekerlek kayması nedeniyle süreç gürültüsü genellikle zamanla değişen bir yapıya sahiptir.

5.2. Ölçüm Modelleri ve Sensör Belirsizlikleri

Sensör füzyonunda her sensör, durum vektörünün farklı bir alt kümesini ölçmektedir. GNSS sensörü doğrudan konum bilgisi sağlarken, IMU ivme ve açısal hız ölçümleri üretmekte; odometri ise tekerlek dönüşlerine dayalı hareket bilgisi sunmaktadır. Bu durum, ölçüm modelinin aşağıdaki gibi tanımlanmasına yol açmaktadır:

$$z_k = h(x_k) + v_k$$

Burada z_k sensör ölçüm vektörünü, v_k ise ölçüm gürültüsünü temsil etmektedir. Ölçüm gürültüsü, her sensör için farklı kovaryans yapısına sahiptir ve çevresel koşullara bağlı olarak dinamik biçimde değişmektedir (Ding vd., 2022).

Bu bağlamda sensör füzyonunun başarısı, ölçüm kovaryans matrislerinin doğru tanımlanmasına ve zaman içinde güncellenmesine doğrudan bağlıdır.

5.3. Kalman Filtresi ve Türevleri

Doğrusal sistemler için geliştirilen klasik Kalman filtresi, sensör füzyonunun temel yapı taşlarından biridir. Ancak tarımsal robotların hareket ve ölçüm modelleri çoğunlukla doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bu nedenle uygulamada Genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF) ve Unscented Kalman Filtresi (UKF) daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

EKF yaklaşımında, doğrusal olmayan durum ve ölçüm fonksiyonları yerel doğrusal yaklaşımlar ile ifade edilmektedir:

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1}$$

Burada K_k Kalman kazancını, $P_{k|k-1}$ durum kovaryans matrisini ve R_k ölçüm kovaryans matrisini temsil etmektedir. Ölçüm güvenilirliğinin azaldığı durumlarda R_k büyütülerek ilgili sensörün etkisi sistematik biçimde azaltılmaktadır. Bu mekanizma, Bölüm 4'te açıklanan kovaryans tabanlı algısal dengelemenin matematiksel karşılığıdır.

UKF ise doğrusal olmayan sistemlerde dağılımın daha doğru temsil edilmesini sağlayan sigma noktaları yaklaşımını kullanmakta ve özellikle ani hareket değişimlerinin olduğu tarımsal arazilerde daha kararlı sonuçlar sunabilmektedir (Bai vd., 2023).

5.4. Parçacık Filtreleri ve Çok Modlu Belirsizlikler

Tarımsal ortamlarda tekerlek kayması, zemin deformasyonu ve ani yön değişimleri, ölçüm belirsizliklerinin Gauss dağılımından sapmasına neden olabilmektedir. Bu tür durumlarda parçacık filtreleri, çok modlu olasılık dağılımlarını temsil edebilme yetenekleri sayesinde avantaj sağlamaktadır.

Parçacık filtresi yaklaşımında durum dağılımı, ağırlıklandırılmış örnekler (parçacıklar) ile temsil edilmektedir:

$$p(x_k | z_{1:k}) \approx \sum_{i=1}^N w_k^{(i)} \delta(x_k - x_k^{(i)})$$

Bu yöntem, özellikle LiDAR–kamera birlikteliğinde karmaşık çevresel yapının temsilinde etkili sonuçlar sunmaktadır (Ji vd., 2022).

5.5. Füzyon Mimarileri ve Hesaplama Yükü

Sensör füzyonu uygulamalarında iki temel mimari yaklaşım öne çıkmaktadır: gevşek bağlı (loosely coupled) ve sıkı bağlı (tightly coupled) füzyon. Gevşek bağlı yapılarda her sensör kendi ön kestirimini üretirken, sıkı bağlı yapılarda ham ölçümler doğrudan ortak bir durum uzayında birleştirilmektedir.

Sıkı bağlı füzyon, özellikle GNSS–IMU–LiDAR entegrasyonunda daha yüksek doğruluk sağlamakla birlikte, ciddi bir hesaplama yükü oluşturmaktadır. Bu nedenle tarımsal robotlarda GPU hızlandırmalı işlem, kenar bilişim (edge computing) ve sensör ön işleme

stratejileri yaygın olarak kullanılmaktadır (Tomaszewski & Kołakowski, 2023).

Bu bölümde ele alınan matematiksel modelleme ve filtreleme yaklaşımları, tarımsal robotlarda sensör füzyonunun yalnızca kavramsal değil, hesaplanabilir ve uygulanabilir bir mühendislik problemi olduğunu ortaya koymaktadır. Tanımlanan durum vektörleri, ölçüm modelleri ve filtreleme mekanizmaları, bir sonraki bölümde ele alınacak olan sensör mimarisi tasarım ilkeleri ve sistem entegrasyonu açısından doğrudan belirleyici bir rol oynamaktadır.

6. Sensör Mimarisi Tasarım İlkeleri

Tarımsal robotların gerçek saha koşullarında güvenilir ve sürdürülebilir biçimde çalışabilmesi, yalnızca kullanılan sensör türlerine değil, bu sensörlerin sistem üzerindeki fiziksel yerleşimine, zaman senkronizasyonuna, enerji tüketimine ve veri akış mimarisine doğrudan bağlıdır. Bu nedenle sensör mimarisi, donanım seçimi ile sınırlı bir problem olmayıp; mekanik, elektriksel ve hesaplamalı bileşenlerin birlikte ele alındığı çok katmanlı bir sistem tasarım sürecini ifade etmektedir.

Bu bölümde, tarımsal robotlarda sensör mimarisi tasarlanırken dikkate alınması gereken temel ilkeler; fiziksel yerleşim, zaman ve uzamsal kalibrasyon, enerji yönetimi ve veri iletişimi başlıkları altında ele alınmaktadır.

6.1. Fiziksel Yerleşim ve Mekanik Entegrasyon

Sensörlerin robot gövdesi üzerindeki fiziksel konumları, algısal performansı doğrudan etkileyen en temel tasarım parametrelerinden biridir. Kamera, LiDAR ve GNSS gibi sensörler görüş hattına ihtiyaç duyarken; IMU sensörleri titreşim ve ivme kaynaklı gürültülere son derece duyarlıdır. Bu nedenle sensör yerleşimi yapılırken robotun ağırlık merkezi, titreşim kaynakları ve görüş geometrisi birlikte değerlendirilmelidir.

LiDAR sensörlerinin yerden yüksekliği, elde edilen nokta bulutunun yoğunluğunu ve algılanan nesnelerin geometrik doğruluğunu belirlemektedir. Yüksek montaj konumu geniş görüş açısı sağlarken, düşük montaj zemine ilişkin detayların daha hassas algılanmasına olanak tanımaktadır. Tarımsal robotlarda yaygın uygulama, LiDAR sensörlerinin gövdenin üst-orta bölgesine, titreşimden izole edilmiş bir platform üzerine yerleştirilmesidir (Galati vd., 2022).

IMU sensörlerinin yerleşimi ise özel önem taşımaktadır. Tarımsal arazilerde sürekli titreşime maruz kalan robotlarda IMU'nun ağırlık merkezine yakın ve mekanik olarak izole edilmiş bir noktaya yerleştirilmesi, sürüklenme ve gürültü etkilerinin azaltılmasını sağlamaktadır (Gao vd., 2022).

6.2. Zaman Senkronizasyonu ve Veri Tutarlılığı

Sensör füzyonunun güvenilirliği, sensörlerden gelen verilerin yalnızca doğruluğuna değil, zaman uyumuna da doğrudan bağlıdır. GNSS sensörleri düşük frekansta ölçüm üretirken, IMU sensörleri yüksek frekansta çalışmakta; LiDAR ve kamera sistemleri ise tarama veya kare hızına bağlı olarak orta frekanslı veri sağlamaktadır. Bu frekans farklılıkları, zaman senkronizasyonu sağlanmadığı takdirde konum ve yönelim kestiriminde ciddi hatalara yol açabilmektedir.

Modern tarımsal robotlarda bu problem, donanım tabanlı zaman damgalama ve yazılım seviyesinde senkronizasyon politikaları ile çözülmektedir. ROS2 tabanlı mimarilerde kullanılan ApproximateTime ve ExactTime senkronizasyon yaklaşımları, sensör verilerinin zamansal olarak hizalanmasını mümkün kılmaktadır. Zaman uyumsuzluğu, ölçüm doğru olsa bile füzyon çıktısının tutarsız hâle gelmesine neden olabilmektedir (Ding vd., 2022).

6.3. Uzamsal Kalibrasyon ve Sensörler Arası Geometri

Sensör mimarisinde kritik bir diğer unsur, sensörler arasındaki uzamsal ilişkiyi tanımlayan dışsal (extrinsic) kalibrasyon parametreleridir. Kamera–LiDAR, GNSS–IMU veya IMU–odometri sistemleri arasında tanımlanan bu dönüşümler, sensör verilerinin ortak bir referans çerçevesinde birleştirilmesini sağlamaktadır.

Tarımsal robotlarda titreşim, sıcaklık değişimi ve uzun süreli operasyonlar, bu kalibrasyon parametrelerinin zamanla sapmasına neden olabilmektedir. Bu durum, özellikle kamera–LiDAR tabanlı algı sistemlerinde geometrik tutarsızlıklara yol açmaktadır. Bu nedenle güncel yaklaşımlar, çevrim içi (online) kalibrasyon ve kendini denetleyen füzyon mimarilerine yönelmektedir (Ding vd., 2022).

6.4. Enerji Yönetimi ve Hesaplama Kaynakları

Tarımsal robotlar genellikle batarya ile çalışan sistemlerdir ve sensörlerin enerji tüketimi operasyon süresi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. LiDAR ve kamera sistemleri yüksek enerji tüketirken, IMU ve odometri sensörleri daha düşük güç gereksinimine sahiptir. Bu nedenle sensör mimarisi tasarlanırken, sensörlerin görev bağlamına göre dinamik olarak etkinleştirilmesi önemli bir strateji hâline gelmektedir.

Ayrıca sensör füzyonu algoritmalarının hesaplama gereksinimleri, gömülü sistem kaynaklarını zorlayabilmektedir. Bu bağlamda GPU hızlandırmalı işlem, kenar bilişim (edge computing) ve sensör verilerinin ön işlenmesi gibi yaklaşımlar, tarımsal robotlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Tomaszewski & Kołakowski, 2023).

6.5. İletişim Altyapısı ve Sistem Dayanıklılığı

Sensör mimarisinin son katmanı, veri iletimi ve sistem dayanıklılığıdır. Yüksek bant genişliği gerektiren sensörlerin aynı veri hattını paylaşması, gecikmelere ve veri kayıplarına yol açabilmektedir. Bu nedenle modern tarımsal robotlarda ayrık Controller Area Network (CAN) hatları, yüksek hızlı Ethernet bağlantıları ve dağıtık işlem düğümleri tercih edilmektedir.

Tarımsal ortamların toz, nem ve sıcaklık değişimleri gibi zorlu koşulları göz önüne alındığında, sensör yuvalarının Ingress Protection (IP) koruma sınıfına sahip olması, sızdırmazlık ve mekanik dayanıklılık açısından kritik önem taşımaktadır. Sensör mimarisi, yalnızca performans değil, uzun vadeli operasyonel güvenilirlik hedefiyle tasarlanmalıdır.

7. Zorluklar, Gelişim Alanları ve Gelecek Yönelimleri

Tarımsal robotlarda sensör entegrasyonu ve sensör füzyonu alanında son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da saha koşullarının değişkenliği ve görev çeşitliliği mevcut çözümlerin sınırlarını belirgin hâle getirmektedir. Özellikle uzun süreli operasyonlar, mevsimsel çevresel değişimler ve heterojen arazi koşulları; algısal süreklilik, hesaplama verimliliği ve bakım gereksinimleri açısından yeni zorluklar doğurmaktadır. Bu bölümde, mevcut yaklaşımların karşılaştığı temel sınırlamalar ile bu sınırlamaları aşmaya yönelik güncel araştırma eğilimleri ele alınmaktadır.

7.1. Uzun Süreli Operasyonlarda Algısal Kararlılık

Tarımsal robotların saatlerce veya günlerce kesintisiz çalışması, sensör kalibrasyonlarının ve ölçüm belirsizliklerinin zamanla değişmesine neden olmaktadır. Titreşim, sıcaklık farkları ve mekanik yıpranma; özellikle kamera–LiDAR dışsal kalibrasyonlarında ve IMU sürüklenmesinde algısal tutarlılığı zayıflatmaktadır. Bu durum, füzyon algoritmalarının başlangıçta doğru tanımlanmış parametrelerle dahi zamanla performans kaybetmesine yol açabilmektedir (Ding vd., 2022).

Bu bağlamda çevrim içi (online) kalibrasyon ve kendini denetleyen füzyon yaklaşımları,

uzun süreli saha operasyonları için kritik bir gelişim alanı olarak öne çıkmaktadır. Sensörler arası tutarsızlıkların algılanarak kalibrasyon parametrelerinin otomatik güncellenmesi, insan müdahalesi ihtiyacını azaltmakta ve operasyonel sürekliliği artırmaktadır.

7.2. Hesaplama Yüğü ve Gerçek Zamanlılık Sınırları

Sensör füzyonu, özellikle LiDAR nokta bulutları ve yüksek çözünürlüklü görüntülerle çalışıldığında ciddi bir hesaplama yüğü oluşturmaktadır. Gömülü sistem kaynaklarının sınırlı olduğu tarımsal robotlarda bu durum, gerçek zamanlı navigasyon ve engel kaçınma görevlerinde gecikmelere neden olabilmektedir. Bu problem, yalnızca donanım yükseltmesiyle değil, hesaplama mimarisinin yeniden yapılandırılması ile ele alınmaktadır (Tomaszewski & Kołakowski, 2023).

Güncel çalışmalar, görev-bağlamlı sensör etkinleştirme, ön işleme ile veri indirgeme ve kenar bilişim (edge computing) yaklaşımlarının hesaplama yükünü etkin biçimde azalttığını göstermektedir. Böylece robot, her an tüm sensörleri maksimum kapasitede çalıştırmak yerine, görev gereksinimine uygun bir algı yapılandırması oluşturmaktadır.

7.3. Çevresel Belirsizliklere Uyum ve Öğrenme Tabanlı Yaklaşımlar

Klasik olasılıksal füzyon yöntemleri (EKF, UKF, parçacık filtreleri), sensör belirsizliklerinin matematiksel olarak modellenmesinde güçlü araçlar sunmaktadır. Ancak tarımsal ortamlardaki karmaşık ve zamanla değişen belirsizlik yapıları, bu modellerin sabit varsayımlarını zorlayabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda öğrenme tabanlı ve hibrit füzyon yaklaşımları dikkat çekmektedir (Espinell vd., 2024).

Derin öğrenme tabanlı modeller, sensör verilerindeki bağlamsal örüntüleri öğrenerek gürültü ve veri kayıplarına karşı daha esnek çözümler sunabilmektedir. Bununla birlikte, bu yaklaşımların veri bağımlılığı ve açıklanabilirlik eksikliği, tarımsal robotlar için hâlen çözülmesi gereken önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle fizik tabanlı modeller ile öğrenme tabanlı yöntemlerin birlikte kullanıldığı hibrit füzyon çerçeveleri, gelecek çalışmaların odak noktası hâline gelmektedir.

7.4. Çoklu Robot Sistemleri ve Paylaşımlı Algı

Geniş tarım alanlarında tek bir robotun algı kapasitesi sınırlı kalabilmektedir. Bu durum, çoklu robot sistemleri ve paylaşımlı algı yaklaşımlarını ön plana çıkarmaktadır. Birden fazla robotun sensör verilerini paylaşarak ortak bir çevresel temsil oluşturmaları, lokalizasyon doğruluğunu artırmakta ve görev süresini kısaltmaktadır (Mammarella vd., 2022).

Dağıtık füzyon mimarileri, merkezi sistemlere kıyasla iletişim gecikmelerine ve veri kayıplarına karşı daha dayanıklı çözümler sunmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar, veri tutarlılığı, senkronizasyon ve ağ güvenliği gibi yeni mühendislik problemlerini de beraberinde getirmektedir.

7.5. Saha Dayanıklılığı ve Bakım Odaklı Tasarım

Tarımsal robotların yaygınlaşmasının önündeki önemli engellerden biri, sensör sistemlerinin uzun vadeli saha dayanıklılığıdır. Toz, nem, kimyasal temas ve sıcaklık değişimleri; sensörlerin fiziksel bütünlüğünü ve ölçüm güvenilirliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle gelecek yönelimler, yalnızca algı doğruluğunu değil, bakım kolaylığı ve dayanıklılığı da tasarımın merkezine almaktadır (Fountas vd., 2020).

Modüler sensör mimarileri, hızlı değiştirilebilir sensör yuvaları ve otomatik sağlık izleme (self-diagnosis) mekanizmaları, tarımsal robotların gerçek saha koşullarında sürdürülebilir biçimde çalışmasını mümkün kılacak önemli tasarım yaklaşımlarıdır.

8. Sonuç

Tarımsal robotların açık ve yarı yapılandırılmış üretim alanlarında güvenilir biçimde çalışabilmesi, sensör teknolojilerinin doğru seçimi kadar bu sensörlerden elde edilen verilerin tutarlı, zamansal ve mekânsal olarak bütünleşik bir algı yapısına dönüştürülmesine bağlıdır. Bu kitap bölümünde, tarımsal robotlarda kullanılan temel sensör sistemleri, bu sensörlerin çevresel ve fiziksel koşullar altında karşılaştığı sınırlamalar, sensör füzyonu yaklaşımları ve sensör mimarisi tasarım ilkeleri bütüncül bir Algısal Sistem Mimarisi (Perceptual System Architecture) çerçevesinde ele alınmıştır.

Tarımsal ortamların yüksek belirsizlik içeren doğası, tek bir sensör türüne dayalı algı sistemlerinin operasyonel süreklilik ve doğruluk açısından yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Yoğun bitki örtüsü, değişken ışık koşulları, zemin kaynaklı titreşimler ve elektromanyetik girişim gibi etkenler; kamera, LiDAR, GNSS ve IMU gibi sensörlerin her birini farklı biçimlerde etkilemektedir. Bu nedenle sensör füzyonu, tarım robotlarının otonom yeteneklerini destekleyen isteğe bağlı bir iyileştirme değil, zorunlu bir mühendislik bileşeni hâline gelmiştir (Fountas vd., 2020).

Bölüm kapsamında sunulan analizler, sensör füzyonunun yalnızca veri birleştirme işlemi olmadığını; ölçüm belirsizliklerinin kovaryans temelli olarak modellenmesi, güvenilirlik ağırlıklarının dinamik biçimde güncellenmesi ve sensörler arası tamamlayıcılığın sistematik olarak kullanılmasıyla anlam kazandığını ortaya koymaktadır. Özellikle GNSS süreksizlikleri, kamera tabanlı algının ışık hassasiyeti ve IMU sürüklenmesi gibi sorunların, olasılıksal filtreleme yaklaşımlarıyla dengelenebildiği gösterilmiştir (Ding vd., 2022; Guo vd., 2018).

Sensör mimarisi tasarımına ilişkin değerlendirmeler, algısal başarının yalnızca algoritmik tercihlerle değil; sensör yerleşimi, titreşim izolasyonu, enerji yönetimi ve iletişim altyapısı gibi fiziksel ve sistem düzeyi kararlarla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, tarımsal robotlar için geliştirilecek algı sistemlerinin görev profiline ve saha koşullarına özgü olarak tasarlanması, uzun vadeli performans ve güvenilirlik açısından kritik önem taşımaktadır (Galati vd., 2022).

Gelecek yönelimler incelendiğinde, sensör füzyonunun tekil robot sistemlerinden çoklu robot iş birliklerine, sabit parametrelili modellerden çevrim içi uyarlamalı ve öğrenme destekli yapılara doğru evrildiği görülmektedir. Paylaşımlı algı, dağıtık füzyon mimarileri ve hibrit fizik-öğrenme tabanlı yaklaşımlar; tarımsal robotların ölçeklenebilirliğini ve çevresel belirsizliklere uyum yeteneğini artırma potansiyeline sahiptir (Espinell vd., 2024; Mammarella vd., 2022).

Sonuç olarak, sensör sistemleri ve sensör füzyonu, tarımsal robotların yalnızca algılama kabiliyetini değil; navigasyon doğruluğunu, enerji verimliliğini ve görev sürekliliğini belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu kitap bölümünde sunulan kavramsal çerçeve, karşılaştırmalı analizler ve tasarım ilkeleri; tarımsal robotik alanında geliştirilecek yeni sistemler için teknik bir referans ve tasarım rehberi niteliği taşımaktadır. Disiplinler arası yaklaşımlar ve sahaya özgü deneysel doğrulamalarla desteklenen sensör entegrasyonu çalışmaları, tarımın dijital dönüşümünde otonom robotların etkin ve güvenilir biçimde kullanılmasının önünü açacaktır.

Kaynaklar

- Bai, Y., Zhang, B., Xu, N., Zhou, J., Shi, J., & Diao, Z. (2023). Vision-based navigation and guidance for agricultural autonomous vehicles and robots: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107584. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2022.107584>
- Ding, H., Zhang, B., Zhou, J., Yan, Y., Tian, G., & Gu, B. (2022). Recent developments and applications of simultaneous localization and mapping in agriculture. *Journal of Field Robotics*, 39(6), 956-983. <https://doi.org/10.1002/ROB.22077;SUBPAGE:STRING:FULL>
- Fountas, S., Mylonas, N., Malounas, I., Rodias, E., Santos, C. H., & Pekkeriet, E. (2020). Agricultural Robotics for Field Operations. *Sensors* 2020, Vol. 20, Page 2672, 20(9), 2672. <https://doi.org/10.3390/S20092672>
- Galati, R., Mantriota, G., & Reina, G. (2022). RoboNav: An Affordable Yet Highly Accurate Navigation System for Autonomous Agricultural Robots. *Robotics* 2022, Vol. 11, Page 99, 11(5), 99. <https://doi.org/10.3390/ROBOTICS11050099>
- Gao, P., Lee, H., Jeon, C. W., Yun, C., Kim, H. J., Wang, W., Liang, G., Chen, Y., Zhang, Z., & Han, X. (2022). Improved Position Estimation Algorithm of Agricultural Mobile Robots Based on Multisensor Fusion and Autoencoder Neural Network. *Sensors* 2022, Vol. 22, Page 1522, 22(4), 1522. <https://doi.org/10.3390/S22041522>
- Guo, J., Li, X., Li, Z., Hu, L., Yang, G., Zhao, C., Fairbairn, D., Watson, D., & Ge, M. (2018). Multi-GNSS precise point positioning for precision agriculture. *Precision Agriculture* 2018 19:5, 19(5), 895-911. <https://doi.org/10.1007/S11119-018-9563-8>
- Ji, T., Sivakumar, A. N., Chowdhary, G., & Driggs-Campbell, K. (2022). Proactive Anomaly Detection for Robot Navigation with Multi-Sensor Fusion. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(2), 4975-4982. <https://doi.org/10.1109/LRA.2022.3153989>
- Schaefer, A., Büscher, D., Vertens, J., Luft, L., & Burgard, W. (2021). Long-term vehicle localization in urban environments based on pole landmarks extracted from 3-D lidar scans. *Robotics and Autonomous Systems*, 136, 103709. <https://doi.org/10.1016/J.ROBOT.2020.103709>
- Tang, Y., Chen, M., Wang, C., Luo, L., Li, J., Lian, G., & Zou, X. (2020). Recognition and Localization Methods for Vision-Based Fruit Picking Robots: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 11, 520170. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00510/BIBTEX>
- Tomaszewski, L., & Kołakowski, R. (2023). Mobile Services for Smart Agriculture and Forestry, Biodiversity Monitoring, and Water Management: Challenges for 5G/6G Networks. *Telecom* 2023, Vol. 4, Pages 67-99, 4(1), 67-99. <https://doi.org/10.3390/TELECOM4010006>

- Wu, J., Ling, C., Chen, Y., Li, Z., Song, F., Raghavan, G. S. V., Jin, G., & Song, C. (2021). Monitoring and control of microwave drying with volatiles detection of celery stalks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106256. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2021.106256>
- Zhou, D., Fan, Y., Deng, G., He, F., & Wang, M. (2020). A new design of sugarcane seed cutting systems based on machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105611. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2020.105611>

BÖLÜM 6

İTALYAN ÇİMİ (*Lolium italicum* L.) ÜRETİMİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ¹

Mustafa YILDIRIM², Osman ÖZBEK³, Osman GÖKDOĞAN⁴

¹ Bu çalışma Mustafa YILDIRIM'ın yüksek lisans tez çalışmasından özetlenmiştir.

² Y. Müh., Jandarma Genel Komutanlığı, Jandarma Komando Tabur Komutanlığı, Ankara, ORCID ID: 0009-0001-9705-1327, e-mail: my151525012@gmail.com

³ Doç. Dr., Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Konya, ORCID ID: 0000-0003-0034-9387, e-mail: ozbek@selcuk.edu.tr

⁴ Prof. Dr. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Isparta, ORCID ID: 0000-0002-4933-7144, osmangokdogan@gmail.com

Giriş

İtalyan çiminin anavatanı Güney ve Batı Avrupa ile Kuzey Afrika ve Güney Batı Asya'dır (Soya ve ark. 1997). Tek yıllık olması yanında yüksek rakımlarda iki yıllık olarak yetişebilen İtalyan çimi buğdaygil yem bitkisi, yeşil ot olarak biçilerek, bazen de kuru ot olarak silajı yapılabilmektedir (Özköse ve Acar, 2018).

İtalyan çimi, hayvanlara yem olarak verilen yonca, arpa, yulaf, mısır silajı ve fiğ çeşitlerine göre besin değeri daha yüksek kaba yem olup, bu yemle beslenen hayvanlarda süt ve et verimindeki fark edilebilir bir artışa ulaştığı gibi gebe kalma oranının da yükselttiği tespit edilmiştir. İtalyan çiminde, biçim sayısında bölgenin iklim koşulları, toprak yapısı gibi çevresel koşullar etkili olmaktadır. Biçim dönemine göre İtalyan çiminin besin değerleri ve verimliliği farklılık gösterebilmektedir. Farklı bölgelerde değişen koşullara göre 4-6 biçim ve dekara 7-8 ton civarında yeşil ot alınabilir (Şimşek, 2019).

Hayvanlardan verim alabilmek amacıyla özellikle kış aylarında onlara verilebilecek en değerli kaba yem silajlardır. Silaj, yeşil yem bitkileri veya yeşil yem bitkileri ile diğer yem maddelerinin birlikte fermentasyonu ile elde edilen öz sulu, besleyici bir yemdir (Anonim 1990).

Ülkemizde en çok silaj mısırdan yapılmaktadır. İtalyan çimi (*Lolium Italicum* L.) buğdaygil yem bitkisi silajının besin madde içeriğinin iyi olması, hayvanlar tarafından sevilerek yenmesi, aynı zamanda süt sığırcılığında olumlu sonuçlar vermesi nedeni ile son zamanlarda ekimi yaygınlaşmaktadır. İtalyan çimi (*Lolium Italicum* L.) buğdaygil yem bitkisinin silajı yapılarak ve kuru ot olarak ruminantlara verilmektedir. İlk olarak İtalya'da yetişmeye başlanmış İtalyan çimi günümüzde dünyanın serin iklim kuşağına sahip olan hemen her yerinde yetişmektedir (Tosun, 1974).

Herhangi bir tarımsal üretim kolunda birim alanda üretilen ürünün enerji eşdeğeri ile üretim için harcanan enerji miktarı arasındaki oran, başarılı ve kârlı bir üretim için gösterge ve kıyas değeri olarak kullanılmaktadır. Çevresel duyarlılığın hızla arttığı günümüzde enerjinin etkin kullanımı, önemli bir değerdir. Ayrıca tarımsal üretimde, üretim teknikleri arasında birim alan başına maliyet analizleri yapılırken, enerji eşdeğerleri göz önünde bulundurulması gereken önemli bir yaklaşımdır (Erdoğan, 2009).

Enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve bunların küresel iklim değişikliklerine olan potansiyel etkileri en çok konuşulan konulardandır. Buna bağlı olarak, daha çok enerji kullanımı, insan sağlığını etkileyen ve sera gazı emisyonları gibi önemli çevresel sorunları ortaya çıkarmaktadır, bu nedenle girdilerin daha ekonomik kullanılması sürdürülebilir tarımsal üretim açısından önemli bir hale gelmektedir (Şanlı ve ark. 2017).

Enerjinin verimli kullanılması tarımın sürdürülebilir olması için gereklidir. Artan insan nüfusuna bağlı olarak gıda tüketiminin hızla artması, ayrıca ekilen alanların sınırlı olması tarımsal üretimde zirai ilaçların, kimyasal gübrelerin ve tarım makinelerinin kullanılmasına sebep olmuştur. Yüksek miktarda enerji kullanımı sağlığımız ve risk altında olan doğal yaşam alanlarımız açısından önem arz etmektedir (Erdal ve ark., 2007).

İtalyan çimi üretimindeki enerji bilançosunu yaparak enerjiyi en etkili şekilde kullanmak ve çevresel duyarlılığın hızla arttığı günümüzde enerji tüketiminden kaynaklı emisyonların belirlemek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Çalışma ile bu konuda çalışan araştırmacıların yapacakları yeni çalışmalara ışık tutabilmek amaçlanmıştır. Ayrıca konuyla ilgili olarak yapılan enerji çalışmalarının tarımsal sistemlerin enerji tüketimi açısından tanımlanıp gruplandırılmasında da önemli bir rol oynayacaktır.

Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Mohammadi ve ark. (2008), İran’da yürüttükleri bir çalışmada, patates üretimindeki enerji bilançosu ve ekonomik analizini hesaplamak amacı ile 100 patates üreticisi ile yüz yüze görüşerek veriler toplanmışlardır. Araştırma sonucunda patates üretiminde toplam enerji tüketimini 81624.96 MJ ha⁻¹ olarak, ortalama patates verimini ise 28453.61 kg ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Toplam enerji girdisinin %40 ile gübre enerjisinden, %20 ile yakıt enerjisinden ve ekipman kullanımından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Davoodi ve Houshyar (2009), ayçiçeği ve kolza bitkileri için enerji bilançosu karşılaştırması yapmışlardır. Kolza için enerji oranını 2.9, enerji üretkenliğini 0.12 kg MJ⁻¹, özgül enerjiyi 8.27 MJ kg⁻¹ olarak hesaplamışlar, ayçiçeği üretimi için ise enerji oranını 2.17, enerji üretkenliğini 0.079 kg MJ⁻¹ ve özgül enerji değerini 12.52 MJ kg⁻¹ olarak hesaplamışlardır.

Banaeian ve ark. (2011), İran’ın Tahran bölgesinde serada üretilen çilek meyvesinin enerji kullanım etkinliğini belirlemek amacıyla, anket yöntemi ile elde ettikleri verileri kullanarak, toplam enerji çıktısını 121891.33 MJ ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Enerji girdileri içerisinde en büyük payın %78 ile yakıt enerjisinden oluştuğunu, bunu sırası ile %10 ile gübre enerjisinin ve %4.5 ile elektrik enerjisinin takip ettiğini belirtmişlerdir.

Gökdoğan ve Sevim (2016), Aksaray ili Eskişehir ilçesinin 12 köyündeki 151 işletmede, basit tesadüfi örnekleme yöntemi ile yüz yüze anket çalışması yapmışlardır. Buğday üretimindeki enerji girdisini 25 876.29 MJ ha⁻¹, enerji çıktısını 76990.96 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmışlar, enerji çıktı/girdi oranını 2.97 olarak elde etmişlerdir. Ayrıca buğday üretimindeki enerji verimliliğini 0.20 kg MJ⁻¹, spesifik enerjiyi 4.94 MJ kg⁻¹ ve net enerjiyi ise 51114.67 MJ ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır.

Baran ve ark. (2017), ceviz üretiminde enerji kullanım etkinliğini belirlemek amacıyla Kırşehir, Konya, Nevşehir ve Niğde illerinde çalışma yürütmüşlerdir. Enerji kullanım etkinliğini 0.61, enerji verimliliğini 0.03 kg MJ⁻¹, spesifik enerjiyi 30.20 MJ kg⁻¹ ve net enerjiyi ise 9313.02 MJ ha⁻¹ olarak belirlemişlerdir.

Gökdoğan ve ark. (2017), Adıyaman ilinde organik dut yetiştiriciliğinde enerji kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada, enerji kullanım etkinliğini 5.62, enerji verimliliğini 0.66 kg MJ⁻¹, spesifik enerjiyi 1.51 MJ kg⁻¹ ve net enerji değerini 30937.37 MJ ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Toplam enerji girdileri içerisinde doğrudan enerji miktarını %88.20, dolaylı enerjiyi %11.80, yenilenebilir enerjiyi %88.10 ve yenilenemez enerjiyi %11.90 olarak saptamışlardır.

Taghavifar ve Mardani (2015), İran’da elma üretiminde enerji kullanımı çalışması yapmışlardır. Çalışmada toplam enerji girdisini 77064.24 MJ ha⁻¹, enerji çıktısını 80269.52 MJ ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Doğrudan enerjinin toplam enerji girdileri içindeki payının %65.97, dolaylı enerjinin payının %33.76, yenilenebilir enerji kaynakları payının %45.37, yenilenemeyen enerji kaynakları payının ise %46.97 olduğunu hesaplamışlardır.

Baran ve ark. (2019), Adana koşullarında yetiştirilen nohut üretiminde, enerji çıktı/girdi oranını 1.82, özgül enerji değerini 9.99 MJ kg⁻¹, enerji üretkenliğini 0.10 kg MJ⁻¹ net enerji verimi ise 8319.86 MJ ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır.

Oğuz ve ark. (2019), Niğde ilinde nektarin üretiminin enerji bilançosunu belirlemek için yaptıkları çalışmada toplam girdi enerjisini 29893.35 MJ ha⁻¹, toplam enerji çıkışını ise 55731.09 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Nektarin üretiminde enerji girdileri sırasıyla kimyasal gübre enerjisi 12900.69 MJ ha⁻¹ (%43.15), elektrik enerjisi 6698.27 MJ ha⁻¹ (%22.41), sulama suyu enerjisi 4142.05 MJ ha⁻¹ (%13.86), insan işgücü enerjisi 1826.29 MJ ha⁻¹ (%6.11), kimyasal enerjisi 1660.69 MJ ha⁻¹ (%5.56), dizel yakıt enerjisi 1 479.26 MJ ha⁻¹ (%4.95), makine enerjisi 1134.65 MJ ha⁻¹ (%3.80) ve organik gübre enerjisi 51.45 MJ ha⁻¹ (%0.17) olarak hesaplanmıştır. Enerji kullanım etkinliği, spesifik enerji, enerji verimliliği ve net enerji hesaplamaları 1.86, 1.02 MJ kg⁻¹, 0.98 kg/MJ ve 25837.74 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Çıtıl ve ark. (2020), Konya koşullarına İtalyan çiminde 2081 kg da⁻¹ yeşil ot, 468 kg da⁻¹ kuru ot verimi almışlardır. Denemede kullanılan makinelere ait toplam yakıt tüketiminin 116.6 L ha⁻¹ olduğunu, toplam enerji çıktısını 81572.40 MJ ha⁻¹ ve toplam enerji girdisini 34197.97 MJ ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Bunlara bağlı olarak net enerji verimliliğini 47374.43 MJ ha⁻¹ ve enerji oranını 2.39, enerji verimliliğini 0.14 kg MJ⁻¹ ve net enerji oranını da 0.58 olarak hesaplamışlardır.

Aydın (2020) tarafından Kocaeli ilinde fındık üretiminde enerji kullanımı ve maliyet analizi üzerine yaptığı çalışmada fındık üretiminde toplam enerji tüketimini 20093.69 MJ ha⁻¹ olarak hesaplamıştır. Enerji kullanımının en yüksek olduğu girdi 7400.34 MJ ha⁻¹ ile gübreleme olduğu, enerji tüketiminde ikinci sırada yakıt enerjisinin, üçüncü sırada ise ilaç enerjisinin olduğu belirlenmiştir. Toplam üretim giderlerinin 5342.43 MJ ha⁻¹ olduğu belirlenmiştir.

Baran ve ark. (2021), Diyarbakır ili Bismil ilçesinde pamuk yetiştiriciliğinin enerji bilançosunu hesaplamak amacı ile 73 farklı işletme ile yüz yüze anket yaparak analiz belirlemişlerdir. Pamuk yetiştiriciliğinde enerji girdisini 54617.62 MJ ha⁻¹ ve enerji çıktısını 65984.42 MJ ha⁻¹ olarak hesaplamıştır.

Semerci ve ark. (2019), tarafından Hatay ilinde pamuk üretiminde enerji kullanım etkinliğini belirlemek için yaptıkları çalışmada enerji girdisi ve çıktısı 57134.25 MJ ha⁻¹ ve 63270.54 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Enerji girdileri olarak 20914.02 MJ ha⁻¹ (%36.61) elektrik enerjisi, 15466.06 MJ ha⁻¹ (%27.07) kimyasal gübre enerjisi, 13828.61 (%24.20) MJ ha⁻¹ dizel yakıt enerjisi, 4378.50 MJ ha⁻¹ (%7.66) sulama enerjisi, 1136.59 MJ ha⁻¹ (%1.99) makine enerjisi, 830.85 MJ ha⁻¹ (%1.45), tohum enerjisi 311.99 MJ ha⁻¹ (%0.55) ve insan işgücü 267.62 MJ ha⁻¹ (%0.47)'dir. Pamuk üretiminde enerji girdilerinin %68.94'ü doğrudan enerji, %31.06'sı dolaylı enerji, %8.67'si yenilenebilir enerji, %91.33'ü yenilenemez enerji olarak sınıflandırılmıştır. Enerji kullanım etkinliği, spesifik enerji, enerji verimliliği ve net enerji 1.11, 10.66 MJ kg⁻¹, 0.09 kg MJ⁻¹ ve 6 136.29 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında yapılan bütün hesaplamalar 2023 yılı içerisinde yapılmış olup Konya ilinde İtalyan çimi üretimi yapan işletmelerden 2022 yılı hasat sezonuna ait verilerden elde edilmiştir. Veriler Konya ilinde toplam İtalyan çimi üretiminin %90.5'ine sahip olan Karapınar ve Ereğli ilçelerinden elde edilmiştir. Ayrıca Tarım ve Orman İl ve İlçe Müdürlüklerinden ek veriler elde edilmiştir. Toplanan veriler sınıflandırılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Konya ili İç Anadolu bölgesinin güney tarafında yer almakta, Ankara, Aksaray, Niğde, Mersin, Karaman, Antalya, Isparta ve Eskişehir illerine komşu olup 36° 22' ve 39° 08' kuzey paralelleri ile 31° 14' ve 34° 05' doğu meridyenleri arasında yer alıp toplamda 31 ilçeye sahiptir. Türkiye yüzölçümünün %5.24'lük kısmına karşılık gelerek göllerde dahil olmak üzere 40832 km²'lik alan ile Türkiye'nin en büyük yüzölçümüne sahiptir. Bu yüzölçümü içerisinde tarım arazisi olarak kullanılan alan 18500 km² ile toplam yüzölçümünün %46.2'lik kısmını oluşturmaktadır (Anonim, 2021).

Çalışmanın ana materyalini Konya ili ve ilçelerinde, İtalyan çimi üreticileri ile yüz yüze yapılan anketlerden elde edilen veriler oluşturmuştur. Çalışma alanındaki İtalyan çimi üretiminin yoğun olarak yapıldığı Karapınar ve Ereğli ilçelerinde tam sayım yöntemi kullanılarak anket sayısı belirlenmiştir (Güneş ve Arıkan, 1998; Çiçek ve Erkan, 1996). Çalışma alanında ulaşılabilen toplam 58 işletme ile yüz yüze anket çalışması yapılmış ve veriler toplanmıştır. Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı enerji eşdeğerleri Tablo 1'de verilmiştir. Enerji oranı Öztürk (2011)'e göre hesaplanmıştır.

Tablo 1. Tarımsal üretimde girdilerin enerji eşdeğerleri

Girdiler	Birim	Enerji eşdeğeri (MJ birim ⁻¹)	Kaynaklar
İnsan işgücü	h	1.96	Mani ve ark., 2007; Karaağaç ve ark., 2011
Traktör	h	25.40	Singh, 2002; Akbolat ve ark., 2014
Kulaklı pulluk	h	18.70	Singh, 2002; Akbolat ve ark., 2014
Toprak frezesi	h	23.60	Singh, 2002; Akbolat ve ark., 2014
Kültivatör	h	14.00	Singh, 2002; Akbolat ve ark., 2014
Ekim makinesi	h	22.00	Alluvione ve ark., 2011
Mineral gübre dağıtma makinesi	h	11.00	Alluvione ve ark., 2011
Çayır biçme makinesi	h	33.77	Kern, 1994
Ot tırmığı	h	41.17	Kern, 1994
Balya makinesi	h	49.72	Kern, 1994
Dizel yakıt	L	56.31	Singh, 2002; Demircan ve ark., 2006
Kimyasal gübreler			
N	kg	60.60	Singh, 2002; Özalp ve ark., 2018
P	kg	11.10	Mandal ve ark., 2002; Özalp ve ark., 2018;
Tohum	kg	20.38	Çıtıl ve ark., 2020
Sulama suyu	m ³	2.93	Çalışır, 2007; Çıtıl ve ark., 2020
Çıktı	Birim	Enerji eşdeğeri (MJ birim ⁻¹)	Kaynak
Ürün	kg (%22.48 kuru madde)	17.43	Çıtıl ve ark., 2020

İtalyan çimi üretiminde kullanılan insan iş gücü miktarına karşılık gelen enerji tüketiminin belirlenmesinde birim alanda harcanan çalışma saati dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda gerekli insan iş gücü eşdeğeri 1.96 MJ h⁻¹ olarak kullanılmıştır (Mani ve ark., 2007; Karaağaç ve ark., 2011).

Toprak işlemeden hasat işlemine kadar olan süreçte tarımsal mekanizasyon işlemlerinde kullanılan ekipman enerji eşdeğerleri; Traktör, kulaklı pulluk, toprak frezesi, kültivatör, ekim makinesi, mineral gübre dağıtma makinesi, çayır biçme makinesi, ot tırmığı ve balya makinesi için sırasıyla, 25.40 MJ h⁻¹, 18.70 MJ h⁻¹, 23.60 MJ h⁻¹, 14.00 MJ h⁻¹, 22.00 MJ h⁻¹, 11.00 MJ h⁻¹, 33.77 MJ h⁻¹, 41.17 MJ h⁻¹ ve 49.72 MJ h⁻¹ olarak alınmıştır (Singh, 2002; Akbolat ve ark., 2014).

Üretim için harcanan enerji girdilerinin en büyük kısmını yakıt ve yağ enerjileri oluşturmaktadır. Çalışmada dizel yakıt enerji eşdeğerini 56.31 MJ L⁻¹ olarak kabul edip,

hesaplamalar bu değere göre yapılmıştır (Singh, 2002; Demircan ve ark. 2006). Bu değer, benzer çalışma yapan araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan değerdir (Baran ve ark., 2019).

İtalyan çimi üretiminde herhangi bir ilaçlama işlemi kullanılmayıp kimyasal gübreler kullanılmaktadır. Ekim esnasında taban gübresi olarak DAP (Diamonyum fosfat) ve her biçimde üre olmak üzere iki çeşit kimyasal gübre kullanılmıştır. Kimyasal gübre enerji eşdeğerleri N için 60.60 MJ kg^{-1} ve P için 11.10 MJ kg^{-1} olarak kullanılmıştır (Singh, 2002; Mandal ve ark., 2002; Özalp ve ark., 2018).

İtalyan çimine ait enerji eşdeğerlerinin belirlenmesinde IKA marka, EN 61010, EN 50082, EN 55014 ve EN 60555 standartlarına göre ölçüm yapabilen kalorimetre cihazında belirlenmiştir (Çıtıl ve ark., 2020).

Sulama uygulamalarında kullanılan enerji girdileri doğrudan ve dolaylı enerji kaynaklarından oluşur. Sulamada motor ve pompa gibi ekipmanları çalıştırmak için kullanılan yakıt ve elektrik enerjileri doğrudan enerji olarak değerlendirilir. Sulamada kullanılan birim enerji eşdeğeri 2.93 MJ/m^3 olarak alınmıştır (Çalışır, 2007).

Sonuçlar ve Tartışma

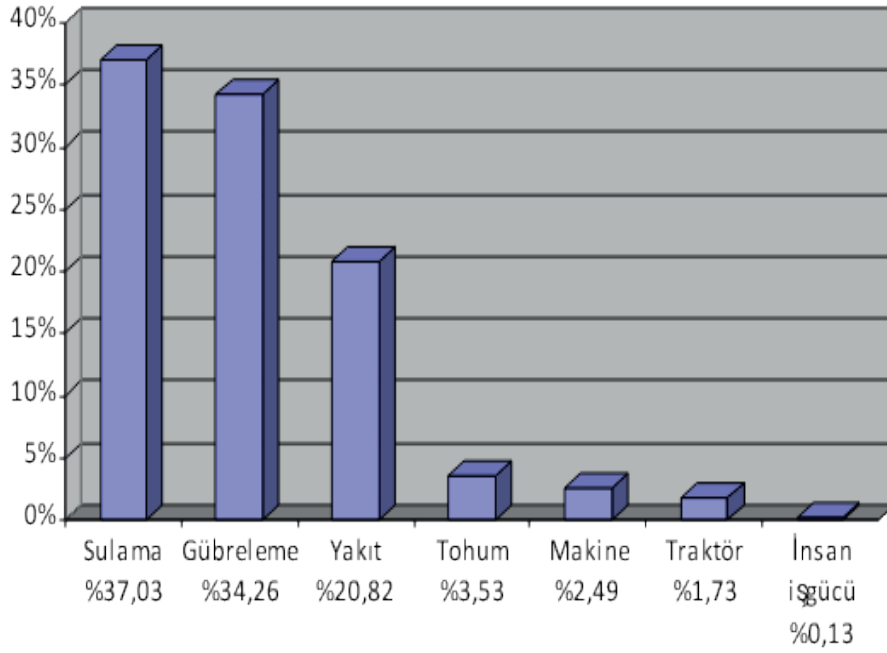
Çalışmada anket yapılan 58 işletmeden elde edilen veriler değerlendirilmiş, hesaplanan değerlere ilişkin sonuçlara dayanarak İtalyan çimi üretiminde enerji etkinliği hesaplamaları yapılmıştır. Anket verilerine göre toplam 3383 da ekili alandan yeşil ot verimi $20316.29 \text{ kg ha}^{-1}$ ve kuru ot verimi ise $4567.10 \text{ kg ha}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. İtalyan çimi üretiminin enerji bilançosu Tablo 2’de, enerji girdilerinin yüzdesel dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.

İtalyan çimi üretiminde 2022 yılı verilerine göre oransal dağılım %0.13 insan işgücü enerjisi, %1.73 traktör enerjisi, %2.49 makine enerjisi, %3.53 tohum enerjisi, %20.82 yakıt enerjisi, %34.26 gübre enerjisi ve %37.03 sulama enerjisinden oluşmaktadır. İtalyan çimi üretiminde verim $20316.29 \text{ kg ha}^{-1}$ olarak hesaplanırken, toplam enerji girdisi $29134.10 \text{ MJ ha}^{-1}$ ve toplam enerji çıktısı $79604.58 \text{ MJ ha}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. İtalyan çimi üretiminin enerji bilançosu

Girdiler	Birim	Enerji eşdeğeri (MJ birim ⁻¹)	Hektara enerji girdisi (birim ha ⁻¹)	Enerji değeri (MJ ha ⁻¹)	Oran (%)
İnsan işgücü	h	1.96	19.90	39.04	0.13
Traktör	h	25.40	19.90	505.46	1.73
Kulaklı pulluk	h	18.70	1.68	31.34	0.11
Toprak frezesi	h	23.60	1.53	36.03	0.12
Kültivatör	h	14.00	1.23	17.17	0.06
Ekim makinesi	h	22.00	0.87	19.16	0.06
Mineral gübre dağıtma makinesi	h	11.00	0.91	10.05	0.03
Çayır biçme makinesi	h	33.77	1.76	59.44	0.20
Ot tırnığı	h	41.17	3.69	151.91	0.52
Balya makinesi	h	49.72	8.14	404.76	1.39
Dizel yakıt	L	56.31	107.64	6060.94	20.82
Azot	kg	60.60	142.15	8614.29	29.56
Fosfor	kg	11.10	123.08	1366.19	4.70
Tohum	kg	20.38	50.56	1030.45	3.53
Sulama suyu	m ³	2.93	3682.79	10790.57	37.03
Toplam	-	-	-	29134.10	100.00
Çıktı	Birim	Enerji eşdeğeri (MJ birim ⁻¹)	Hektara enerji çıktısı (birim ha ⁻¹)	Enerji değeri (MJ ha ⁻¹)	Oran (%)
Ürün	kg (22.48% k.m.)	17.43	4567.10	79604.58	100.00

İtalyan çimi üretiminde enerji verimliliğinin belirlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada, enerji girdilerinin toplam enerji girdisi içerisindeki oranları sırasıyla gübreleme %47.98, sulama %31.55, yakıt %13.98, makine %2.40, traktör %1.72 ve insan işgücü %0.08 olarak belirlenmiştir. İtalyan çimi üretimindeki sulama işlemlerinde anketler sonucu farklı ve çeşitli sulama şekilleri ile karşılaşılmış, sulama değeri daha önceki yapılmış çalışmalardan elde edilmiştir ve çalışmada 3682.79 m³ ha⁻¹ olarak alınmıştır (Çıtıl ve ark., 2020). İtalyan çimi üretiminde toplam enerji girdisi 29134.10 ve çıktı enerjisi 79604.58 olmak üzere enerji oranı 2.73 olarak hesaplanmıştır. Çıtıl ve ark. (2020) İtalyan çiminde enerji oranını 2.39 olarak hesaplamışlardır.



Şekil 1. Enerji girdilerinin yüzdesel dağılımı

İtalyan çimi üretiminde enerji girdilerinin sınıflandırılması Tablo 3’de verilmiştir. Enerji kullanımı doğrudan, dolaylı, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak sınıflandırılmıştır (Baran ve ark. 2019). Toplam girdi enerjisi içerisinde yenilenemez enerji girdileri (%59.29) yenilenebilir enerji girdileri (%40.71), doğrudan enerji girdileri (%57.94), dolaylı enerji girdileri (%42.06) olarak hesaplanmıştır. İtalyan çimi üzerine daha önce yapılmış bir çalışmada Çıtıl ve ark. (2020) enerji girdilerinde yenilenemeyen enerji girdisini %65.38, yenilenebilir enerji girdisini %34.62, dolaylı enerji girdisini %54.38, doğrudan enerji girdisini %45.62 olarak hesaplamışlardır.

Tablo 3. İtalyan çimi üretiminde enerji girdilerinin sınıflandırılması

Enerji türleri	Enerji girdisi (MJ ha ⁻¹)	Oran(%)
Doğrudan enerji	16880.63	%57.94
Dolaylı enerji	12253.47	%42.06
Toplam enerji girdisi	29134.10	%100
Yenilenebilir enerji	11860.69	%40.71
Yenilenemez enerji	17273.41	%59.29
Toplam enerji girdisi	29134.10	%100

Sonuç olarak üretim girdileri içerisinde en yüksek orana sulama enerjisi sahip olmaktadır. Sulama enerjisini azaltmak için sulama işlemlerinde salma sulama yerine damla sulama veya yağmurlama sulama tercih edilmelidir. Üretim sonucu ortaya çıkabilecek olan çevresel sorunlara önlem olarak sürdürülebilir tarım için yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımda kullanılması önem arz etmektedir.

İtalyan çimi üretiminde kullanılan ekipmanlar çeki gücü olarak traktör kullanmakta olup, yakıt girdisinin sebebi olmaktadır. Üretimde kullanılan tarım makinelerini güç gereksinimleri göz önünde bulundurularak uygun makine seçimi yapılarak yakıt açısından tasarruf sağlanabilir.

İtalyan çimi bir buğdaygil yem bitkisi olduğu için hububat ve yonca üretim işlemlerinde kullanılan ekipmanlara ek makine ihtiyacına gerek olmadan üretim yapılabilir. Özellikle tarımsal hayvancılık yapan işletmelerin, hayvan beslemesinde İtalyan çimi kullanması bu sebeple ekonomik açıdan fayda sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Akbolat, D., Ekinci, K., Demircan, V. (2014). Carbon dioxide emissions depending on inputs used in the cultivation of some agricultural products. *Fresenius Environ Bull*, 23(3), 795-800.
- Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., Grignani, C. (2011). EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy*, 36, 4468-4481.
- Anonim. (1990). Hayvan Yemleri Silaj Yapım Kuralları, TS 8476.
- Anonim. (2021). Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Koordinasyon ve Tarımsal Veriler Şube Müdürlüğü Enformasyon Birimi, Konya Tarımı Birifingi. <https://konya.tarimorman.gov.tr/Belgeler/liflet/KonyaTar%C4%B1m%C4%B12021kitab%C4%B1son.pdf>.
- Aydın, A. (2020). Fındık Üretiminde Enerji ve Maliyet Analizleri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Banaeian, N., Omid, M., Ahmadi, H. (2011). Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran Province of Iran. *Energy Conversion & Management*, 52, 1020-1025.
- Baran, M.F., Gökdoğan, O., Oğuz, H.İ. (2017). Determining the energy usage efficiency of walnut (*Juglans Regia* L.) cultivation in Turkey, *Erwerbs-Obstbau*, 59, 77-82.
- Baran, M.F., Karaağaç, H.A., Bolat, A., Çil, A., Çil, A.N. (2019). Yerfıstığı üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 103-111.
- Baran, M.F., Gökdoğan, O., Yılmaz, Y. (2021). Determination of energy balance and greenhouse gas emissions (GHG) of cotton cultivation in Turkey: A case study from Bismil district of Diyarbakır province. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 322-332.
- Çalışır, S. (2007). The evaluation of performance and energy usage in submersible deep well irrigation pumping plants. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin Amerika*, 38(1), 9-17.
- Çıtıl, E., Marakoğlu, T., Kırılmaz, H., Çarman, K. (2020). İtalyan çimi tarımının mekanizasyon özelliklerinin ve enerji verimliliğinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(3), 336-346.
- Çiçek, A., Erkan, O. (1991). Tokat ili Kazova bölgesinde şeker pancarı üretimi ve üretim girdilerinin ekonometrik analizi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 2, 41-54.
- Davoodi, M.J.Ş., Housyar, E. (2009). Energy consumption of canola and sunflower production in Iran. *American-Eurasian J Agric & Environ Sci*, 6(4), 381-384.
- Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H.M., Akbolat, D., Ekinci, Ç. (2006). Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province. *Energy Conversion and Management*, 47, 1761-1769.
- Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat Province of Turkey, *Energy*, 32(1), 35- 41.
- Erdoğan, Y. (2009). Tarımsal Üretimde Enerji Girdi Çıktı Analizlerinde Kullanılacak Internet Tabanlı Bir Yazılımın Geliştirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Gökdoğan, O., Sevim, B. (2016). Determination of energy balance of wheat production in Turkey: A case study of Eskişehir district of Aksaray province. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(04), 36-43.
- Gökdoğan, O., Oğuz, H.İ., Baran, M.F. (2017). Energy input-output analysis in organic mulberry (*Morus spp.*) production in Turkey: A case study Adıyaman-Tut region. *Erwerbs-Obstbau*, 59, 325-330.

- Güneş, T., Arıkan, R. (1998). Tarım Ekonomisi İstatistiği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1049, Ankara.
- Karaağaç, M.A., Aykanat, S., Cakır, B., Eren, Ö., Turgut, M.M., Barut, Z.B., Öztürk, H.H. (2011). Energy balance of wheat and maize crops production in Hacıali undertaking. 11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture Congress, 21-23 September, 388-391, Istanbul, Turkey.
- Kern, J.D. (1994). Energetics of a sustainable crop-livestock system. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Agricultural Engineering. Master of Science, Blacksburg, Virginia.
- Mandal, K.G., Saha, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M., Bandyopadhyay, K.K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, 23, 337-345.
- Mani, I., Kumar, P., Panwar, J.S., Kant, K. (2007). Variation in energy consumption in production of wheat-maize with varying altitudes in hill regions of Himachal Pradesh, India. *Energy*, 32, 2336-2339.
- Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion Management*, 49, 3566-3570.
- Oğuz, H.I., Erdoğan, O., Gökdoğan, O. (2019). Energy use efficiency and economic analysis of nectarine (*Prunus persica* var. *nucipersica*) production: a case study from Niğde Province. *Erwerbs-Obstbau*, 61(4), 323-329.
- Özalp, A., Yılmaz, S., Ertekin, C., Yılmaz, I. (2018). Energy analysis and emissions of greenhouse gases of pomegranate production in Antalya province of Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 60, 321-329.
- Özköse, A., Acar, R. (2018). Tek yıllık çim: İtalyan çimi. *Tarlasera*, 89, 78-80.
- Öztürk, H.H. (2011). Bitkisel Üretimde Enerji Yönetimi. Hasad Yayıncılık Ltd.Şti. ISBN: 978-975-8377-78-7.
- Semerci, A., Baran, M.F., Gokdogan, O., Celik, A.D. (2019). Determination of energy use efficiency of cotton production in Turkey: A case study from Hatay province. *Fresenius Environ Bull*, 27(4), 1829-1835.
- Singh, J.M. (2002). On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. Master of Science. Germany: International Institute of Management, University of Flensburg.
- Soya, H., Avcıoğlu, R., Geren, H. (1997). Yem bitkileri, İstanbul, Hasad Yayıncılık.
- Şanlı B., Bayrakdar, S., İncekara, B. (2017). Küresel iklim değişikliğinin etkileri ve bu etkileri önlemeye yönelik uluslararası girişimler. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 201-212.
- Şimşek, A. (2019). İtalyan çimi (*Lolium multiflorum*) silaj asiditesinin nötralizasyonuna yönelik bir çalışma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootehni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Taghavifar, H., Mardani, A. (2015). Prognostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using artificial neural network. *Journal of Cleaner Production*, 87, 159-167.
- Tosun, F. (1974). Baklagil ve Buğdaygil Yem Bitkileri Kültürü, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum.