Sn. Murat KARA

"Serüven Yayınevi" tarafından 2025 Haziran ayında yayımlanacak olan "**Zıraat ve Orman Ürünleri Alanında Uluslararası Derleme, Araştırma ve Çalışmalar**" Isimli kitapta, size editörümüz olarak kitaba katkı sağlamaya davet ediyoruz."
Serüven Yayınevi Üniversitelerarası Kurul Başkanlığı (ÜAK)'nın Doçentlik Başvuru Şartlarında belirttiği tanıma göre "Tanınmış Uluslararası Yayınevi" statüsündedir. ÜAK söz konusu tanımı şu şekilde yapmıştır: "Tanınmış Uluslararası Yayınevi: En az beş yıl uluslararası düzeyde düzenli faaliyet yürüten, yayımladığı kitaplar dünyanın bilinen üniversitelerinin kataloglarında yer alan ve aynı alanda farklı yazarlara ait en az 20 kitap yayımlamış olan yayınevi"dir. (http://www.uak.gov.tr/?q=node/85#2018N)

Aynı zamanda akademisyen yazarlarımızca yayınevimize sıklıkla başvurulduğu üzere, "Akademik Teşvik Ödeneği" yönetmeliğinde belirtilen tanıma göre beş (5) yıl şartını sağlıyor olup, kurulduğu 2001 yılından itibaren uluslararası düzeyde, düzenli basım ve 20' den fazla ülkede dağıtım faaliyetlerini yürütmektedir. 17 Ocak 2020 tarihinde güncellenmiş Akademik Teşvik Yönetmeliği'ndeki tanıma göre de tüm temel alanlarda "Tanınmış Uluslararası Yayınevi" statüsündedir. "Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" (17 Ocak 2020, Resmî Gazete Sayı: 31011, Karar Sayısı: 2043) yayımlanmıştır. Adı geçen Yönetmelikte 3. maddenin 1. fıkrasının (l) bendine "düzenli faaliyet yürüten", ibaresinden sonra gelmek üzere "Türkçe dışındaki dillerde" ibaresi eklenmiştir. Yayınevimizin "TÜRKÇE DIŞINDAKİ DİLLERDE" tüm temel alanlarda en az 20 (YİRMİ) adet yayını bulunmaktadır.

"Serüven Yayınevi" 2001 yılında kurulmuş olup, kuruluşundan bu yana düzenli faaliyet yürütmektedir. Yayınevimiz 1300'ün üzerinde kitap yayımlamıştır. Serüven Yayınevi tarafından yayımlanan kitaplar Princeton Üniversitesi, Columbia Üniversitesi, Harvard Üniversitesi, Oxford Üniversitesi, Halle Wittenberg Üniversitesi, Toronto Üniversitesi, Britanya Üniversitesi, Stanford Üniversitesi, Kaliforniya Üniversitesi, Duke Üniversitesi, Chicago Üniversitesi ve Amerika Birleşik Devletleri Kongre Kütüphanesi gibi dünyanın önde gelen üniversite ve kamu kütüphanelerinin kataloglarında yer almaktadır.

Eda ALTUNEL

Genel Yayın Yönetmeni

SERÜVEN YAYINEVİ

SERÜVEN YAYINEVİ

Sn. Murat KARA

"Serüven Yayınevi" tarafından 2025 Haziran ayında yayımlanacak olan, "**Ziraat ve Orman Ürünleri Alaninda Uluslararası Derleme, Araştirma ve Çalışmalar**" isimli, birbirinden bağımsız bölümlerden oluşacak kitap için yazmış olduğunuz, "**'Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) Teorisi Çerçevesinde Sürdürülebilir Tarım**" başlıklı yazınızın editör değerlendirmesi tamamlanmış, Kabul edilerek yayınlanmasına karar verilmiştir.

"Serüven Yayınevi Üniversitelerarası Kurul Başkanlığı (ÜAK)'nın Doçentlik Başvuru Şartlarında belirttiği tanıma göre "Tanınmış Uluslararası Yayınevi" statüsündedir. ÜAK söz konusu tanımı şu şekilde yapmıştır: "Tanınmış Uluslararası Yayınevi: En az beş yıl uluslararası düzeyde düzenli faaliyet yürüten, yayımladığı kitaplar dünyanın bilinen üniversitelerinin kataloglarında yer alan ve aynı alanda farklı yazarlara ait en az 20 kitap yayımlamış olan yayınevi"dir. (http://www.uak.gov.tr/?q=node/85#2018N)

Aynı zamanda akademisyen yazarlarımızca yayınevimize sıklıkla başvurulduğu üzere, "Akademik Teşvik Ödeneği" yönetmeliğinde belirtilen tanıma göre beş (5) yıl şartını sağlıyor olup, kurulduğu 2001 yılından itibaren uluslararası düzeyde, düzenli basım ve 20' den fazla ülkede dağıtım faaliyetlerini yürütmektedir. 17 Ocak 2020 tarihinde güncellenmiş Akademik Teşvik Yönetmeliği'ndeki tanıma göre de tüm temel alanlarda "Tanınmış Uluslararası Yayınevi" statüsündedir. "Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" (17 Ocak 2020, Resmî Gazete Sayı: 31011, Karar Sayısı: 2043) yayımlanmıştır. Adı geçen Yönetmelikte 3. maddenin 1. fıkrasının (l) bendine "düzenli faaliyet yürüten", ibaresinden sonra gelmek üzere "Türkçe dışındaki dillerde" ibaresi eklenmiştir. Yayınevimizin "TÜRKÇE DIŞINDAKİ DİLLERDE" tüm temel alanlarda en az 20 (YİRMİ) adet yayını bulunmaktadır.

"Serüven Yayınevi" 2001 yılında kurulmuş olup, kuruluşundan bu yana düzenli faaliyet yürütmektedir. Yayınevimiz 1300'ün üzerinde kitap yayımlamıştır. Serüven Yayınevi tarafından yayımlanan kitaplar Princeton Üniversitesi, Columbia Üniversitesi, Harvard Üniversitesi, Oxford Üniversitesi, Halle Wittenberg Üniversitesi, Toronto Üniversitesi, Britanya Üniversitesi, Stanford Üniversitesi, Kaliforniya Üniversitesi, Duke Üniversitesi, Chicago Üniversitesi ve Amerika Birleşik Devletleri Kongre Kütüphanesi gibi dünyanın önde gelen üniversite ve kamu kütüphanelerinin kataloglarında yer almaktadır.

Eda ALTUNEL

Genel Yayın Yönetmeni

SERÜVEN YAYINEVİ

SERÜVEN YAYINEVİ

SERÜVEN YAYINEVİ

- SÖZLEŞME -

"ZIRAAT VE ORMAN ÜRÜNLERI ALANINDA ULUSLARARASI DERLEME, ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR"

İsimli kitapta yayımlanmak üzere gönderilmiş;

''Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) Teorisi Çerçevesinde Sürdürülebilir Tarım"

başlıklı çalışmanın, aşağıda imzası bulunan yazar/lar tarafından özgün olduğunu, herhangi bir başka dergi, kitap vb. gibi yayın organına yayımlanmak üzere gönderilmediğini, daha önce yayımlanmadığını; eğer, tümü ya da bir bölümü yayımlandı ise yukarıda adı geçen kitapta yayımlanabilmesi için gerekli her türlü iznin alındığını, bu orijinal Telif Hakkı Devir Formu ile birlikte Serüven Yayınevi'ne gönderildiğini beyan ve garanti ederiz.

Yayınevi ve Editörler yayımlanacak olan kitapta yer alan bölümlerde varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Yayınevi ve Editörlerin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün ya da işlevlerin doğruluğu, bütünlüğü, uygunluğu ve kullanırlığı konusunda bir yüklenimi ve iddiası bulunmamaktadır. Bu sebeple herhangi bir nedenle sorumlu tutulamazlar.

Bu vesileyle yukarıda başlığı belirtilmiş olan çalışmanın, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanununun 22. maddesi gereğince çoğaltma, 23. maddesi gereğince yayma ve 25. maddesi gereğince her türlü taşıyıcı materyal üzerinde veya elektronik ortamda kamuya iletim haklarını "Serüven Yayınevi" ne karşılıksız, koşulsuz ve süresiz olarak devredilmiş olup, çalışma ile ilgili devrettiğim hakları dilediği zaman, mekân ve koşullarda kullanmaya "Serüven Yayınevi" yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazarın aşağıdaki hakları saklıdır.

1. Yazar/yazarların gelecekteki kitaplar ve dersler gibi çalışmalarında; çalışmanın tümü ya da bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı,
2. Çalışmayı ücret karşılığı satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.

TARAFLAR:

Yazar/lar:

1. Muhsin YILDIZ
2. Murat KARA

Serüven Yayınevi
Genel Yayın Yönetmeni
Eda ALTUNEL

İMZA:

TARİH: 25 / 02 / 2025

Adres: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Tel: 05437675765, e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Ziraat ve Orman Ürünleri Alanında Uluslararası Derleme, Araştırma ve Çalışmalar



EDİTÖRLER
PROF. DR. KORAY ÖZRENK
DOÇ. DR. ALİ BOLAT

SERÜVEN YAYINEVİ

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

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

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2025

ISBN • 978-625-8559-94-1

© copyright
Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing
Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA
Telefon / Phone: 05437675765
web: www.seruvenyayinevi.com
e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume
Sertifika / Certificate No: 47083

ZİRAAT VE ORMAN ÜRÜNLERİ ALANINDA ULUSLARARASI DERLEME, ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

Editörler

PROF. DR. KORAY ÖZRENK

DOÇ. DR. ALİ BOLAT

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

TOPRAKSIZ TARIMDA BİTKİ YETİŞTİRME ORTAMI OLARAK KULLANILAN ORGANİK VE İNORGANİK MATERYALLERİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bülent YAĞMUR, Caner İsmail KAHRAMAN—1

Bölüm 2

FARKLI DOZLARDA AZOTLU GÜBRE UYGULAMALARININ KALANCHOE CALANDİVA VE CAMPANULA BİTKİLERİNİN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Bülent YAĞMUR, Gökçe ALYÖRÜK IŞIK—21

Bölüm 3

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BAZI ENERJİ BİTKİLERİNİN KULLANIM ALANLARI VE ÖNEMİ

Mehtap ANDIRMAN—51

Bölüm 4

BİYOÇEŞİTLİLİK-EKOSİSTEM FONKSİYONLARI (BEF) TEORİSİ ÇERÇEVESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM

Muhsin YILDIZ, Murat KARA—71

Bölüm 5

TARIMSAL SULAMADA UYGULANABİLECEK AKILLI SULAMA SİSTEMLERİ

Murat YILDIRIM—97

Bölüm 6

ÇEVRESEL KİRLETİCİLER VE RUMİNANTLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Sevil ÇALIŞKAN ELEREN, Şeniz ÖZİŞ ALTINÇEKİÇ—109

Bölüm 7

HİDROPONİK YEŞİL YEM: ALTERNATİF BİR YEM KAYNAĞI

Şükrü Sezgi ÖZKAN, Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU—133

Bölüm 8

ESANSİYEL YAĞLARIN BAZI BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE KANATLI HAYVAN BESLENMESİNDEKİ ETKİLERİ

Alp ATAY—151

Bölüm 9

SİLAJ ORTAMINDA MİKROORGANİZMALARIN ROLÜ VE ETKİLERİ

Cemal POLAT—177

Bölüm 10

HİJYENİK YEM ÜRETİMİ

Cemal POLAT, Korcan DENİZHAN—195

Bölüm 11

KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA HAYVAN REFAHI VE STRES YÖNETİMİ KRİTERLERİ

Duygu KAŞIKÇI, Elif Rabia ŞANLI—215

Bölüm 12

HAYVAN ISLAHINDA GENETİK ÇEŞİTLİLİK VE VERİM İKİLEMİ: GEÇMİŞTEN GELECEĞE PERSPEKTİF

İsa YILMAZ, Ömer Faruk YILMAZ—237

Bölüm 4

BİYOÇEŞİTLİLİK-EKOSİSTEM FONKSİYONLARI (BEF) TEORİSİ ÇERÇEVESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM[1]

Muhsin YILDIZ[2], Murat KARA[3]

1 *Sorumlu Yazar : muhsinyildiz@yyu.edu.tr
2 Öğr. Gör. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, VAN,

muhsinyildiz@yyu.edu.tr Orcid No: 0000-0002-0766-5174
3 Öğr. Gör. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, VAN,

muratkara@yyu.edu.tr Orcid No: 0000-0003-1011-918X

GİRİŞ

Küresel tarım sistemleri, 21. yüzyılın başından itibaren eşi benzeri görülmemiş çoklu krizlerin eş zamanlı etkisi altında bulunmaktadır. Dünya nüfusundaki hızlı artış, kişi başına düşen doğal kaynakların azalması, iklim değişikliğinin giderek şiddetlenmesi ve ekosistem bozulmalarının hızlanması, tarımsal üretimin yalnızca miktarını değil, üretim biçimlerini de temel bir sorgulama konusu hâline getirmiştir (Foley vd., 2005; Ramankutty vd., 2018). Yirminci yüzyıl boyunca küresel gıda üretimindeki artış, büyük ölçüde yoğun tarım paradigmalarına dayanmış; yüksek verimli çeşitlerin kullanımı, sentetik gübreler, pestisitler ve mekanizasyon, özellikle Yeşil Devrim sonrasında tarımsal verimlilikte önemli artışlar sağlamıştır (Pingali, 2012). Ancak bu üretim modeli, doğal habitatların kaybı, toprak bozunumu, su kaynaklarının kirlenmesi ve biyolojik çeşitliliğin küresel ölçekte azalması gibi giderek daha görünür hâle gelen çevresel maliyetler pahasına gerçekleştirilmiştir (Foley vd., 2005; Sutton, 2011).

Biyoçeşitlilik kaybı, tarımsal sistemler açısından yalnızca bir doğa koruma sorunu olarak değerlendirilmemektedir. Artan sayıda çalışma, biyolojik çeşitliliğin azalmasının tarımsal üretkenlik, verim istikrarı ve ekosistem hizmetleri üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkiler yarattığını ortaya koymaktadır (Cardinale vd., 2012; Isbell vd., 2015). Bu bağlamda tarım, bir yandan biyoçeşitlilik kaybının başlıca sürücülerinden biri olarak öne çıkarken, diğer yandan bu kayıptan doğrudan etkilenen bir sektör konumundadır. Geleneksel yaklaşımlar, tarımsal üretim ile biyoçeşitlilik arasında kaçınılmaz bir ödünleşim (trade-off) bulunduğunu varsaymış olsa da, son yıllarda yapılan çalışmalar bu varsayımın her koşulda geçerli olmadığını göstermektedir (Tamburini vd., 2020; Kleijn vd., 2019). Özellikle Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) literatürü, biyolojik çeşitliliğin uygun biçimde yönetildiğinde tarımsal sistemlerin performansını destekleyebileceğini ortaya koymaktadır (Tilman vd., 2014; van der Plas, 2019).

BEF yaklaşımı, başlangıçta doğal ekosistemlerde geliştirilmiş olmakla birlikte, son on yılda tarımsal sistemlere uygulanabilirliği giderek daha fazla araştırılan bir çerçeve hâline gelmiştir. Bitki çeşitliliğinin üretkenlik, stabilite ve ekosistem çok işlevliliği üzerindeki etkileri; toprak mikrobiyal topluluklarının yapısı ve işleyişiyle yakından ilişkilidir (Wagg vd., 2014; Prommer vd., 2020). Cappelli ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilen kavramsal çerçeve, bitki çeşitliliğinin ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkilerinin farklı trofik seviyelerde ayrıştırılması gerektiğini vurgulamış ve bu etkilerin büyük ölçüde toprak biyotasının aracılığıyla gerçekleştiğini göstermiştir (Cappelli vd., 2020; Cappelli vd., 2022). Bu kitap bölümü, sürdürülebilir tarım sistemlerini BEF perspektifinden ele

alarak, biyoçeşitlilik, ekosistem fonksiyonları ve tarımsal üretim arasındaki ilişkileri güncel literatür ışığında tartışmayı amaçlamaktadır.

1. TARIMSAL BİYOÇEŞİTLİLİK: KAVRAMSAL ÇERÇEVE, ÖLÇEKLER VE BİLEŞENLER

Tarımsal biyoçeşitlilik, gıda üretim sistemlerinin biyolojik temelini oluşturan tüm canlı bileşenleri kapsayan çok katmanlı bir kavramdır. Bu kavram, yalnızca tarımda kullanılan bitki ve hayvan türlerini değil; aynı zamanda bu türlerin genetik varyasyonlarını, yabani akrabalarını, tarımsal peyzajlarda yaşayan yardımcı organizmaları ve toprak biyotasını da içermektedir (Thiele-Bruhn vd., 2012; Bender vd., 2016). Dolayısıyla tarımsal biyoçeşitlilik, üretim süreçlerinin sürekliliği ve dayanıklılığı açısından merkezi bir öneme sahiptir.

1.1. Tarımsal Biyoçeşitliliğin Tanımı ve Kapsamı

Tarımsal biyoçeşitlilik, genellikle üç ana düzeyde ele alınmaktadır: genetik çeşitlilik, tür çeşitliliği ve ekosistem/pesaj çeşitliliği. Genetik çeşitlilik, aynı tür içerisindeki varyasyonları kapsamakta ve tarımsal sistemlerin çevresel streslere uyum kapasitesini belirlemektedir (Zhu vd., 2000; Weis vd., 2021). Tür çeşitliliği, tarımsal alanlarda bulunan farklı bitki ve hayvan türlerinin sayısı ve bileşimini ifade ederken; peyzaj çeşitliliği, tarım alanlarıyla birlikte doğal ve yarı doğal habitatların mekânsal düzenini kapsamaktadır (Torralba vd., 2016). Bu düzeylerin her biri, ekosistem fonksiyonları üzerinde farklı fakat birbirini tamamlayıcı etkilere sahiptir. Örneğin genetik çeşitlilik, hastalık direnci ve verim istikrarı açısından kritik bir rol oynarken; tür ve peyzaj çeşitliliği, biyolojik düzenleme ve tozlaşma gibi hizmetlerin sürekliliğini sağlamaktadır (Isbell vd., 2017; Albrecht vd., 2020).

1.2. Agrobiyoçeşitliliğin Fonksiyonel Boyutu

Son yıllarda tarımsal biyoçeşitlilik çalışmalarında nicel ölçütlerden ziyade fonksiyonel çeşitlilik kavramı ön plana çıkmıştır. Fonksiyonel çeşitlilik, türlerin ekosistem süreçlerine katkı sağlayan özelliklerinin çeşitliliğini ifade etmektedir (Tilman vd., 2014). Bu yaklaşım, yalnızca tür sayısına odaklanan değerlendirmelerin, ekosistem fonksiyonlarını açıklamada yetersiz kalabileceğini ortaya koymuştur. Fonksiyonel özellikler; kök derinliği, besin alım stratejileri, büyüme hızı ve savunma mekanizmaları gibi bitkisel özelliklerin yanı sıra, mikrobiyal metabolik kapasiteleri de kapsamaktadır (Barry vd., 2019; Nemergut vd., 2014). Tarımsal sistemlerde yüksek fonksiyonel çeşitlilik, kaynak kullanım verimliliğini artırarak BEF mekanizmalarının daha etkin işlemesini sağlamaktadır.

1.3. Tarımsal Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri

Tarımsal biyoçeşitlilik, ekosistem hizmetlerinin sürekliliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu hizmetler; üretim hizmetleri (verim), düzenleyici hizmetler (hastalık baskılama, besin döngüsü), destekleyici hizmetler (toprak oluşumu) ve kültürel hizmetleri kapsamaktadır (Balvanera vd., 2006; Cardinale vd., 2012). Bitki çeşitliliği, özellikle biyolojik zararlı kontrolü ve hastalık baskılama üzerinde güçlü etkilere sahiptir. Tür zenginliği arttıkça, patojenlerin yayılımı sınırlandırılmakta ve seyreltme etkisi devreye girmektedir (Keesing vd., 2006; Halliday vd., 2020). Aynı zamanda polinatör çeşitliliği ve bolluğu, peyzaj ölçeğinde biyoçeşitlilikle doğrudan ilişkilidir (Albrecht vd., 2020).

1.4. Tarımsal Biyoçeşitlilik Kaybının Sürücüleri

Küresel ölçekte tarımsal biyoçeşitlilik, başta tarımsal yoğunlaştırma olmak üzere çok sayıda baskı altındadır. Monokültürlerin yaygınlaşması, geleneksel çeşitlerin terk edilmesi ve habitatların parçalanması, genetik ve tür çeşitliliğinde ciddi azalışlara yol açmıştır (Bruinsma, 2003; Pingali, 2012). Kimyasal girdilerin yoğun kullanımı, yalnızca hedef organizmaları değil, aynı zamanda faydalı organizmaları da olumsuz etkilemektedir (Carvalho, 2017). Bu durum, ekosistem fonksiyonlarının biyolojik temellerini zayıflatarak tarımsal sistemlerin kırılganlığını artırmaktadır (de Graaff vd., 2019).

1.5. Tarımsal Biyoçeşitliliğin Sürdürülebilirlik Açısından Önemi

Tarımsal biyoçeşitlilik, sürdürülebilir tarımın yalnızca bir bileşeni değil; aynı zamanda temel belirleyicisidir. Çeşitlilik temelli sistemler, üretkenliği korurken çevresel baskıları azaltabilmekte ve iklim değişikliğine uyum kapasitesini artırabilmektedir (Isbell vd., 2015; Herrero vd., 2020). Bu bağlamda tarımsal biyoçeşitliliğin korunması, yalnızca doğa koruma politikalarının değil; tarımsal üretim stratejilerinin de ayrılmaz bir parçası olmalıdır. BEF yaklaşımı, bu bütünleşmenin bilimsel temelini oluşturarak sürdürülebilir tarımın ekolojik mantığını güçlendirmektedir.

2. BİYOÇEŞİTLİLİK–EKOSİSTEM FONKSİYONLARI (BEF) TEORİSİ

Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (Biodiversity–Ecosystem Functioning; BEF) teorisi, ekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin ekosistem süreçlerini ve hizmetlerini hangi mekanizmalar aracılığıyla etkilediğini açıklamayı amaçlayan disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Bu teori, 1990'lı yıllardan itibaren deneysel ekoloji, biyocoğrafya ve sistem ekolojisi alanlarında yürütülen çalışmalarla gelişmiş; özellikle kontrollü çeşit-

lilik deneyleri sayesinde güçlü ampirik temeller kazanmıştır (Tilman vd., 2014; Cardinale vd., 2011). BEF yaklaşımı, uzun süre tarımsal sistemlere doğrudan uygulanabilir görülmemiştir. Bunun temel nedeni, tarımsal sistemlerin yüksek düzeyde yönetilen ve insan müdahalesine açık yapılar olarak değerlendirilmesidir. Ancak son yirmi yılda artan sayıda çalışma, BEF ilişkilerinin tarımsal ekosistemlerde de güçlü biçimde işlediğini ve sürdürülebilir tarımın ekolojik temelini oluşturduğunu ortaya koymuştur (Letourneau vd., 2011; Duru vd., 2015).

2.1. BEF Teorisinin Tarihsel Gelişimi

BEF araştırmaları, başlangıçta tür zenginliği ile birincil üretkenlik arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına odaklanmıştır. Yachi ve Loreau'nun (1999) ortaya koyduğu sigorta hipotezi, biyoçeşitliliğin çevresel dalgalanmalara karşı ekosistem fonksiyonlarını stabilize ettiğini ileri sürerek BEF literatürüne yön vermiştir. Bunu takiben Loreau ve Hector (2001), çeşitlilik–üretkenlik ilişkisini nicel olarak ayırarak tamamlayıcılık ve seçilim etkisi kavramlarını literatüre kazandırmıştır. 2000'li yılların başında yürütülen geniş ölçekli meta-analizler, biyoçeşitliliğin üretkenlik, besin döngüsü ve biyokütle üretimi üzerinde tutarlı ve pozitif etkiler yarattığını göstermiştir (Balvanera vd., 2006; Cardinale vd., 2006). Daha sonraki çalışmalar ise BEF ilişkilerinin yalnızca üretkenlikle sınırlı olmadığını, ekosistem stabilitesi ve çok işlevliliği kapsadığını ortaya koymuştur (Isbell vd., 2018; van der Plas, 2019).

2.2. BEF Mekanizmaları: Tamamlayıcılık, Seçilim ve Sigorta Etkileri

BEF teorisinin merkezinde yer alan mekanizmalar, biyoçeşitliliğin ekosistem fonksiyonlarını neden ve nasıl etkilediğini açıklamaktadır.

2.2.1 Tamamlayıcılık Mekanizması

Tamamlayıcılık, farklı türlerin kaynakları farklı biçimlerde kullanması veya ekosistemde farklı işlevsel roller üstlenmesi sayesinde toplam fonksiyonel çıktının artmasını ifade eder. Bu mekanizma, özellikle farklı kök mimarilerine, büyüme hızlarına veya besin alım stratejilerine sahip bitkilerin birlikte bulunduğu sistemlerde belirgin hâle gelmektedir (Fargione vd., 2007; Barry vd., 2019). Tarımsal sistemlerde tamamlayıcılık, birlikte ekim (intercropping) ve polikültür uygulamalarında açıkça gözlemlenmektedir. Örneğin, azot bağlayan baklagiller ile tahılların birlikte yetiştirilmesi, besin kullanım verimliliğini artırarak toplam verimi yükseltebilmektedir (Brooker vd., 2015; Li vd., 2020).

2.2.2. Seçilim Etkisi

Seçilim etkisi, çeşitlilik arttıkça yüksek performanslı türlerin sistemde bulunma olasılığının yükselmesine dayanır. Bu mekanizma, özellikle kısa vadeli üretkenlik artışlarını açıklamada önemlidir (Cardinale vd., 2011). Ancak seçilim etkisine aşırı bağımlı sistemler, belirli türlerin başarısına bağlı hâle gelerek uzun vadede kırılganlaşabilmektedir. Tarımsal sistemlerde seçilim etkisi, yüksek verimli tek çeşitlerin yaygın kullanımında kendini göstermektedir. Bu yaklaşım kısa vadede verim artışı sağlasa da, hastalık salgınları ve çevresel stresler karşısında sistemin dayanıklılığını azaltmaktadır (Pingali, 2012; Bennett vd., 2012).

2.2.3. Sigorta Mekanizması

Sigorta mekanizması, türlerin çevresel değişkenliklere farklı tepkiler vermesi sayesinde ekosistem fonksiyonlarının zaman içinde daha istikrarlı kalmasını açıklar (Yachi & Loreau, 1999). Bu mekanizma, iklim değişikliği bağlamında tarımsal sistemlerin dayanıklılığı açısından özel bir önem taşımaktadır. Uzun dönemli deneyler, bitki çeşitliliğinin aşırı hava olayları sırasında verim kayıplarını azalttığını ve üretkenliğin daha hızlı toparlanmasını sağladığını göstermektedir (Isbell vd., 2015; Isbell vd., 2017). Bu bulgular, tarımsal biyoçeşitliliğin iklim adaptasyonu açısından stratejik bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

2.3. BEF ve Ekosistem Çok İşlevliliği

BEF literatüründeki önemli bir paradigma kayması, ekosistem fonksiyonlarının tek tek değil, ekosistem çok işlevliliği perspektifiyle ele alınmasıdır. Ekosistem çok işlevliliği, bir sistemin aynı anda birden fazla fonksiyonu yüksek düzeyde yerine getirme kapasitesini ifade eder (Maestre vd., 2012). Araştırmalar, yüksek biyoçeşitliliğin ekosistem çok işlevliliğini güçlü biçimde desteklediğini göstermektedir (Wagg vd., 2014; van der Plas vd., 2016). Tarımsal sistemlerde bu durum, yalnızca yüksek verim değil; aynı zamanda düşük besin kaybı, yüksek karbon depolama ve etkili biyolojik düzenleme anlamına gelmektedir.

2.4. Tarımsal Sistemlerde BEF'nin Uygulanabilirliği

Tarımsal sistemler uzun süre BEF ilişkilerinin "bozulduğu" veya "geçersiz" olduğu sistemler olarak değerlendirilmiştir. Ancak son dönemde yapılan sentez çalışmaları, bu varsayımın geçerliliğini yitirdiğini göstermektedir (Letourneau vd., 2011; Iverson vd., 2014). Cappelli ve çalışma arkadaşlarının çalışmaları, bitki çeşitliliğinin ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkilerinin farklı trofik seviyelerde ayrıştırılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu yaklaşım, bitki çeşitliliğinin doğrudan etkilerinin yanı

sıra, otçullar, patojenler ve toprak mikroorganizmaları aracılığıyla dolaylı etkiler yarattığını göstermektedir (Cappelli vd., 2020; Cappelli vd., 2022).

2.5. BEF Teorisinin Sınırları ve Eleştiriler

BEF teorisi güçlü ampirik desteklere sahip olsa da, bazı sınırlamalara da sahiptir. Deneysel çalışmaların çoğu kontrollü koşullarda yürütülmüş olup, gerçek tarım sistemlerinin karmaşıklığını tam olarak yansıtmayabilir (Manning vd., 2019). Ayrıca tür zenginliği ile fonksiyonel çeşitlilik arasındaki ilişkinin her zaman doğrusal olmadığı; çevresel streslerin BEF ilişkilerini modüle edebileceği gösterilmiştir (Steudel vd., 2012). Bu bulgular, BEF yaklaşımının bağlama duyarlı bir çerçeve olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

3. BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ – TOPRAK MİKROBİYOMU – EKOSİSTEM FONKSİYONLARI ARASINDAKİ BAĞLANTILAR

Bitki çeşitliliği ile ekosistem fonksiyonları arasındaki ilişkinin anlaşılmasında toprak mikrobiyomu merkezi bir ara yüz olarak ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bitki çeşitliliğinin ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkilerinin büyük ölçüde toprakta yaşayan mikroorganizmalar tarafından aracılık edildiğini göstermektedir (Wagg vd., 2014; Cappelli vd., 2022). Bu bulgular, BEF teorisinin tarımsal sistemlerde neden yalnızca bitkisel üretime indirgenemeyeceğini ve çok trofikli bir perspektif gerektirdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Toprak mikrobiyomu; bakteriler, mantarlar, arkeler, protistler ve virüslerden oluşan son derece karmaşık bir topluluk olup, toprak ekosistemlerinin biyokimyasal işleyişinin temel belirleyicisidir (Philippot vd., 2013; Nemergut vd., 2014). Karbon ve azot döngüsü, organik madde oluşumu, toprak agregasyonu ve bitki sağlığı gibi kritik süreçler, büyük ölçüde bu mikrobiyal toplulukların bileşimi ve fonksiyonel kapasitesi tarafından yönlendirilmektedir (Schimel & Schaeffer, 2012; Lehmann vd., 2017).

3.1. Bitki Çeşitliliğinin Toprak Mikrobiyal Topluluk Yapısına Etkileri

Bitkiler, kökleri aracılığıyla toprağa önemli miktarda karbon aktarır. Bu karbon, kök salgıları (root exudates), ince kök döküntüleri ve rizodepozisyon yoluyla toprak mikrobiyal topluluklarının ana enerji kaynağını oluşturur (Philippot vd., 2013). Farklı bitki türleri, kimyasal bileşim açısından farklı kök salgıları üreterek toprakta farklı mikrobiyal nişlerin oluşmasına neden olmaktadır (Hu vd., 2018; Fitzpatrick vd., 2018). Bitki çeşitliliğinin artması, bu kimyasal girdilerin çeşitlenmesine ve sonuç olarak mikrobiyal tür zenginliği ile fonksiyonel çeşitliliğin artmasına yol

açmaktadır (Zak vd., 2003; McDaniel vd., 2014). Uzun dönemli deneysel çalışmalar, yüksek bitki çeşitliliğine sahip sistemlerde bakteri ve mantar topluluklarının daha dengeli ve fonksiyonel olarak tamamlayıcı yapılar sergilediğini göstermektedir (Bååth & Anderson, 2003; Wagg vd., 2019). Buna karşılık monokültür sistemlerde, sınırlı ve homojen karbon girdileri mikrobiyal toplulukları dar bir fonksiyonel spektruma hapseder. Bu durum, toprak ekosistem fonksiyonlarının birkaç baskın mikrobiyal gruba bağımlı hâle gelmesine ve sistemin çevresel streslere karşı kırılganlaşmasına yol açmaktadır (Kozdrój & van Elsas, 2001; de Graaff vd., 2019).

3.2. Rizosfer Dinamikleri ve Bitki–Mikroorganizma Etkileşimleri

Rizosfer, bitki kökleri ile toprak mikroorganizmaları arasındaki yoğun etkileşimlerin gerçekleştiği, son derece dinamik bir mikrohabitat olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede bitkiler ve mikroorganizmalar arasında karşılıklı faydaya dayalı simbiyotik ilişkiler gelişir (Philippot vd., 2013; Finkel vd., 2017). Bitki çeşitliliği arttıkça, rizosferdeki mikrobiyal topluluklar daha karmaşık hâle gelmekte ve bitki–toprak geri besleme (plant–soil feedback) süreçleri çeşitlenmektedir (Mariotte vd., 2018; Thakur vd., 2021). Çeşitlilik temelli sistemlerde pozitif geri beslemeler baskın hâle gelirken, düşük çeşitlilikli sistemlerde patojen birikimi ve negatif geri beslemeler daha yaygın görülmektedir (Bennett vd., 2012; Hannula vd., 2020). Mikorizal mantarlar, bu etkileşimlerin en iyi bilinen örneklerinden biridir. Mikorizal çeşitlilik, bitkilerin besin alımını, stres toleransını ve üretkenliğini artırarak ekosistem fonksiyonlarını güçlendirmektedir (van der Heijden vd., 1998; Bender & van der Heijden, 2015).

3.3. Mikrobiyal Ağ Yapısı ve Fonksiyonel Dayanıklılık

Toprak mikrobiyomu, yalnızca türlerin bir araya gelmesinden oluşan rastgele bir topluluk değil; karmaşık etkileşim ağlarıyla organize olmuş bir sistemdir. Son yıllarda ağ analizi yöntemleri, mikrobiyal toplulukların yapısal özelliklerini ve bu yapıların ekosistem fonksiyonlarıyla ilişkisini ortaya koymada önemli araçlar sunmuştur (Banerjee vd., 2019). Araştırmalar, bitki çeşitliliğinin mikrobiyal ağ karmaşıklığını ve bağlantılılığını artırdığını göstermektedir (Wagg vd., 2019; Banerjee vd., 2019). Daha karmaşık ağlar, fonksiyonel yedeklilik sağlayarak belirli türlerin kaybı durumunda ekosistem fonksiyonlarının korunmasına katkıda bulunmaktadır (Nemergut vd., 2014). Yoğun tarım uygulamaları ise mikrobiyal ağların sadeleşmesine ve kilit türlerin kaybına yol açarak sistemin dayanıklılığını zayıflatmaktadır (Banerjee vd., 2019; de Graaff vd., 2019). Bu durum, BEF ilişkilerinin toprak biyotasının yapısal özelliklerine ne derece bağımlı olduğunu göstermektedir.

3.4. Karbon Döngüsü, Toprak Organik Maddesi ve Mikrobiyal Nekromas

Toprak karbonunun önemli bir bölümü, bitkilerden doğrudan gelen kalıntılardan ziyade mikrobiyal kökenli organik maddeden oluşmaktadır. Mikrobiyal nekromas, yani ölü mikrobiyal hücrelerin kalıntıları, toprak organik maddesinin kalıcı fraksiyonlarının oluşumunda kilit bir rol oynamaktadır (Kallenbach vd., 2016; Liang vd., 2019). Bitki çeşitliliği, mikrobiyal biyokütle üretimini ve karbon kullanım verimliliğini artırarak daha fazla mikrobiyal nekromas oluşumunu teşvik etmektedir (Prommer vd., 2020; Domeignoz-Horta vd., 2021). Bu süreç, toprakta karbonun uzun süreli depolanmasını destekleyerek tarımsal sistemlerin iklim değişikliğiyle mücadele potansiyelini güçlendirmektedir (Lal, 2004; Lehmann vd., 2020).

3.5. Azot Döngüsü ve Sera Gazı Dinamikleri

Toprak mikrobiyomu, azot döngüsünün tüm aşamalarında görev alan fonksiyonel grupları içermektedir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri, mikrobiyal topluluk bileşimi tarafından doğrudan kontrol edilmektedir (Philippot vd., 2011; Daims vd., 2015). Bitki çeşitliliği, bu süreçlerin dengesini etkileyerek N_2O gibi güçlü sera gazlarının salımını düzenleyebilmektedir. Çeşitlilik temelli tarım sistemlerinde, N_2O'yu N_2'ye dönüştüren mikrobiyal grupların bolluğu artmakta ve sera gazı emisyonları azalabilmektedir (Domeignoz-Horta vd., 2016; Domeignoz-Horta vd., 2018).

3.6. Hastalık Baskılama ve Toprak Baskılayıcı Özellikleri

Toprak mikrobiyal çeşitliliği, bitki hastalıklarının doğal yollarla baskılanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Çeşitli mikrobiyal topluluklar, patojenlerle rekabet ederek, antibiyotik bileşikler üreterek veya bitki savunma mekanizmalarını aktive ederek hastalık baskısını azaltmaktadır (Qiu vd., 2019; Hannula vd., 2020). Bitki çeşitliliğinin artması, bu biyolojik baskılama mekanizmalarını güçlendirerek pestisit kullanımına olan bağımlılığı azaltmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir tarım sistemlerinde biyoçeşitliliğin hem ekolojik hem de ekonomik değerini ortaya koymaktadır (Letourneau vd., 2011; Tamburini vd., 2020).

4. TROFİK SEVİYELER ARASI ETKİLEŞİMLER, HASTALIK DİNAMİKLERİ VE BEF

Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) ilişkileri, yalnızca birincil üreticilerle sınırlı değildir; aksine trofik seviyeler arası etkileşimler yoluyla şekillenen çok katmanlı süreçlerin sonucudur. Tarımsal ekosis-

temlerde bitkiler, otçullar, patojenler, doğal düşmanlar ve toprak biyotası arasındaki etkileşimler, hem üretkenliği hem de ekosistem stabilitesini belirlemektedir (Cardinale vd., 2012; Manning vd., 2019). Bu bağlamda biyoçeşitlilik, yalnızca tür sayısının artışı değil, aynı zamanda trofik ağların karmaşıklığının ve işlevsel bütünlüğünün korunması anlamına gelmektedir.

4.1. Bitki Çeşitliliği ve Otçul–Doğal Düşman Etkileşimleri

Bitki çeşitliliği, otçul böcek topluluklarının yapısını ve yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Tek tip bitki örtüsü, uzmanlaşmış zararlı türler için elverişli koşullar yaratırken; çeşitlilik temelli sistemler, zararlıların konukçu bulmasını zorlaştırmakta ve popülasyon artışını sınırlandırmaktadır (Letourneau vd., 2011; Albrecht vd., 2020). Çeşitli bitki toplulukları, doğal düşmanlar için daha fazla barınak, besin ve yaşam alanı sağlayarak biyolojik kontrolü güçlendirmektedir. Meta-analizler, polikültür sistemlerde zararlı baskısının azaldığını ve doğal düşman etkinliğinin arttığını ortaya koymuştur (Iverson vd., 2014; Tamburini vd., 2020). Bu durum, BEF çerçevesinde üstten-aşağı (top-down) kontrol mekanizmalarının önemini vurgulamaktadır.

4.2. Bitki Çeşitliliği ve Hastalık Dinamikleri: Seyreltme Etkisi

Biyoçeşitliliğin hastalık dinamikleri üzerindeki etkileri, seyreltme etkisi (dilution effect) kavramı çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu hipoteze göre, yüksek konukçu çeşitliliği patojenlerin yayılmasını sınırlandırarak hastalık riskini azaltmaktadır (Keesing vd., 2006). Tarımsal sistemlerde yapılan çalışmalar, bitki tür ve çeşitliliğinin fungal ve bakteriyel hastalıkların şiddetini azalttığını göstermektedir (Zhu vd., 2000; Kristoffersen vd., 2020). Özellikle genetik olarak çeşitli ekin karışımları, patojenlerin hızlı adaptasyonunu engelleyerek hastalık dayanıklılığını artırmaktadır (Reiss & Drinkwater, 2018; Weis vd., 2021). Ancak seyreltme etkisinin her koşulda geçerli olmadığı da vurgulanmaktadır. Halliday vd. (2020), biyoçeşitlilik kaybının seyreltme etkisini zayıflattığını ve hastalık riskini artırdığını göstermiştir. Bu bulgular, hastalık–çeşitlilik ilişkilerinin bağlama duyarlı olduğunu ve yönetim pratiklerinin belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır.

4.3. Patojen–Bitki–Toprak Etkileşimleri

Bitki hastalıklarının dinamikleri, yalnızca konukçu ve patojen etkileşimleriyle değil, aynı zamanda toprak mikrobiyomu tarafından da şekillendirilmektedir. Toprak biyotasının çeşitliliği, patojen baskısını azaltarak hastalık baskılayıcı toprakların oluşumuna katkı sağlamaktadır (Qiu

vd., 2019). Cappelli vd. (2020), bitki çeşitliliğinin patojen bolluğunu ve etkisini sınırladığını; bunun da büyüme-savunma dengesi üzerinden gerçekleştiğini göstermiştir. Çeşitlilik temelli sistemlerde bitkiler, savunma yatırımlarını daha dengeli biçimde gerçekleştirebilmekte ve patojenlere karşı daha dayanıklı hâle gelmektedir.

4.4. Trofik Karmaşıklık ve Ekosistem Stabilitesi

Trofik seviyeler arası etkileşimlerin çeşitliliği, ekosistem stabilitesinin temel belirleyicilerinden biridir. Çok katmanlı trofik ağlar, fonksiyonel yedeklilik ve geri besleme mekanizmaları sağlayarak çevresel şoklara karşı dayanıklılığı artırmaktadır (Tilman vd., 2014; Isbell vd., 2018).Tarımsal ekosistemlerde bu durum, üretkenliğin yalnızca yüksek ortalama değerler göstermesi değil; aynı zamanda yıllar arası dalgalanmaların azalması anlamına gelmektedir. Uzun dönemli deneyler, çeşitlilik temelli sistemlerde verim istikrarının belirgin biçimde arttığını ortaya koymuştur (Isbell vd., 2015; German vd., 2017).

4.5. BEF Perspektifinden Zararlı ve Hastalık Yönetimi

BEF çerçevesi, zararlı ve hastalık yönetimine kimyasal girdilere dayalı yaklaşımların ötesinde, ekosistem temelli çözümler sunmaktadır. Bitki çeşitliliğinin artırılması, doğal düşmanların desteklenmesi ve toprak biyotasının korunması, entegre zararlı yönetiminin (IPM) ekolojik temelini oluşturmaktadır (Duru vd., 2015; Kleijn vd., 2019). Örneğin, "push–pull" stratejisi gibi çeşitlilik temelli uygulamalar, zararlı baskısını azaltırken verimi koruyabilmektedir (Khan vd., 2010). Bu tür uygulamalar, BEF ilişkilerinin pratik tarım uygulamalarına nasıl dönüştürülebileceğini göstermektedir.

5. BİYOÇEŞİTLİLİĞİ ARTIRMAYA YÖNELİK TARIMSAL ÇEŞİTLENDİRME STRATEJİLERİ VE UYGULAMALARI

Tarımsal çeşitlendirme, üretim sistemlerinde tür, genotip, işlevsel grup ve peyzaj düzeylerinde çeşitliliğin artırılmasını amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır. Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) perspektifinden bakıldığında, çeşitlendirme stratejileri yalnızca üretkenliği artırmaya yönelik teknikler değil; aynı zamanda ekosistem stabilitesini, çok işlevliliği ve uzun vadeli sürdürülebilirliği destekleyen ekolojik müdahaleler olarak değerlendirilmektedir (Duru vd., 2015; Kleijn vd., 2019). Endüstriyel tarımın hâkim olduğu sistemlerde çeşitliliğin azalması, verim artışına kısa vadede katkı sağlamış olsa da; toprak bozulması, biyolojik düzenleme kaybı ve çevresel dışsallıklar gibi ciddi sorunlara yol açmış-

tır (Pingali, 2012; Foley vd., 2005). Bu bağlamda tarımsal çeşitlendirme, sürdürülebilir tarımın temel stratejilerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

5.1. Bitki Tür Çeşitliliğine Dayalı Stratejiler

5.1.1. Birlikte Ekim (Intercropping) Sistemleri

Birlikte ekim, iki veya daha fazla bitki türünün aynı alanda eş zamanlı olarak yetiştirilmesini ifade etmektedir. Bu sistemler, tamamlayıcılık mekanizmaları sayesinde kaynak kullanım verimliliğini artırmakta ve toplam üretkenliği yükseltmektedir (Brooker vd., 2015; Li vd., 2020). Meta-analizler, birlikte ekim uygulamalarının hem verim artışı sağladığını hem de besin kayıplarını azalttığını göstermektedir (Iverson vd., 2014; Li vd., 2020). Ayrıca birlikte ekim, rizosfer çeşitliliğini artırarak toprak mikrobiyal toplulukların fonksiyonel kapasitesini güçlendirmektedir (Stefan vd., 2021).

5.1.2. Polikültür ve Karışık Ekili Sistemler

Polikültür sistemler, çok sayıda bitki türünün veya işlevsel grubun birlikte yetiştirildiği tarımsal üretim biçimleridir. Bu sistemlerde zararlı ve hastalık baskısının azaldığı, doğal düşmanların etkinliğinin arttığı ve üretkenliğin daha istikrarlı hâle geldiği gösterilmiştir (Letourneau vd., 2011; Tamburini vd., 2020). Antik "üç kız kardeş" (mısır–fasulye–kabak) sistemi gibi geleneksel polikültür örnekleri, tamamlayıcılık ve niş ayrışmasının tarımsal üretimde uzun süredir başarıyla kullanıldığını göstermektedir (Zhang vd., 2014).

5.2. Genetik Çeşitliliğe Dayalı Stratejiler

5.2.1. Çeşit Karışımları (Cultivar Mixtures)

Aynı tür içinde genetik olarak farklı çeşitlerin birlikte ekilmesi, tarımsal biyoçeşitliliğin önemli bir bileşenidir. Çeşit karışımları, hastalık yayılımını sınırlandırarak verim istikrarını artırmaktadır (Zhu vd., 2000; Kristoffersen vd., 2020). Meta-analitik çalışmalar, çeşit karışımlarının ortalama verimi düşürmeden hatta bazı durumlarda artırarak hastalık riskini azalttığını göstermektedir (Reiss & Drinkwater, 2018; Weis vd., 2021). Bu durum, BEF çerçevesinde genetik çeşitliliğin sigorta mekanizmasıyla doğrudan ilişkilidir.

5.3. Zamansal Çeşitlilik: Ekim Nöbeti ve Örtü Bitkileri

5.3.1. Ekim Nöbeti (Crop Rotation)

Ekim nöbeti, farklı bitki türlerinin aynı arazide zamansal olarak ardışık biçimde yetiştirilmesini ifade eder. Bu uygulama, patojen ve zararlı döngülerini kırarak hastalık baskısını azaltmakta ve toprak besin dengesini iyileştirmektedir (Bennett vd., 2012). Uzun dönemli çalışmalar, çeşitlendirilmiş ekim nöbetlerinin toprak mikrobiyal çeşitliliğini ve fonksiyonel yedekliliği artırdığını göstermektedir (McDaniel vd., 2014; Garland vd., 2021).

5.3.2. Örtü Bitkileri (Cover Crops)

Örtü bitkileri, ana ürün yetiştirilmediği dönemlerde toprağı örterek erozyonu önleyen ve ekosistem hizmetlerini destekleyen önemli bir çeşitlendirme aracıdır. Örtü bitkilerinin toprak karbonunu artırdığı, azot sızıntısını azalttığı ve mikrobiyal aktiviteyi güçlendirdiği gösterilmiştir (Blanco-Canqui vd., 2015; Valkama vd., 2015).

Fonksiyonel çeşitliliği yüksek örtü bitkisi karışımları, tek tür örtü bitkilerine kıyasla daha fazla ekosistem hizmeti sunmaktadır (Finney & Kaye, 2017; Wagg vd., 2020).

5.4. Mekânsal Çeşitlilik: Agroormancılık ve Peyzaj Düzeyi Uygulamaları

5.4.1. Agroormancılık Sistemleri

Agroormancılık, tarımsal üretimin ağaç ve çalı türleriyle entegre edildiği çok katmanlı sistemlerdir. Bu sistemler, biyolojik çeşitliliği artırarak karbon depolama, mikroiklim düzenleme ve habitat sağlama gibi çoklu ekosistem hizmetleri sunmaktadır (Torralba vd., 2016). Meta-analizler, agroormancılık sistemlerinin hem biyoçeşitlilik hem de bazı durumlarda verim açısından monokültür sistemlere üstünlük sağladığını göstermektedir (Torralba vd., 2016).

5.4.2. Peyzaj Düzeyi Uygulamaları

Tarımsal peyzajlarda çiçek şeritleri ve canlı çitler, polinatörler ve doğal düşmanlar için habitat sağlayarak biyolojik kontrolü ve tozlaşma hizmetlerini desteklemektedir (Albrecht vd., 2020). Bu uygulamalar, BEF ilişkilerinin tarla ölçeğinin ötesinde peyzaj ölçeğinde de geçerli olduğunu göstermektedir.

5.5. Çeşitlendirme Stratejilerinin Sınırları ve Yönetim Zorlukları

Her ne kadar çeşitlendirme stratejileri ekolojik açıdan güçlü faydalar sunsa da, uygulamada bazı zorluklarla karşılaşılmaktadır. Artan yönetim karmaşıklığı, bilgi eksikliği ve kısa vadeli ekonomik baskılar, bu uygulamaların benimsenmesini sınırlayabilmektedir (German vd., 2017; Mendez-Giménez vd., 2020). Bu nedenle çeşitlendirme stratejilerinin başarısı, yalnızca ekolojik ilkelerin değil; aynı zamanda sosyo-ekonomik ve kurumsal faktörlerin dikkate alındığı bütüncül yaklaşımlara bağlıdır.

6. BİYOÇEŞİTLİLİK, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIMSAL DAYANIKLILIK

İklim değişikliği, günümüz tarımsal ekosistemleri için en büyük çevresel baskılardan birini oluşturmaktadır. Artan sıcaklıklar, yağış rejimlerindeki düzensizlikler, aşırı hava olaylarının sıklığı ve yoğunluğu ile birlikte biyotik stres faktörlerinin (zararlılar ve patojenler) yayılımındaki değişimler, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir (Liang vd., 2017; Ramankutty vd., 2018). Bu bağlamda tarımsal sistemlerin dayanıklılığı (resilience), yalnızca üretim miktarını değil, aynı zamanda üretimin sürekliliğini ve çevresel şoklara karşı toparlanma kapasitesini ifade eden kritik bir kavram hâline gelmiştir. Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) çerçevesi, iklim değişikliği karşısında tarımsal dayanıklılığın ekolojik temellerini anlamak için güçlü bir teorik altyapı sunmaktadır. Çok sayıda deneysel ve gözlemsel çalışma, biyolojik çeşitliliğin iklimsel dalgalanmalara karşı ekosistem fonksiyonlarını stabilize ettiğini ve üretkenliğin zamansal varyasyonunu azalttığını göstermektedir (Yachi & Loreau, 1999; Isbell vd., 2015).

6.1. İklim Değişikliği Bağlamında Tarımsal Dayanıklılık Kavramı

Tarımsal dayanıklılık, bir tarım sisteminin çevresel stresler karşısında fonksiyonlarını sürdürebilme, bozulma sonrasında toparlanabilme ve uzun vadede adaptasyon kapasitesini koruyabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu kavram, yalnızca biyofiziksel süreçleri değil, aynı zamanda sosyal-ekolojik etkileşimleri de kapsamaktadır (Folke vd., 2005; Ostrom, 2009). Monokültüre dayalı yüksek girdili tarım sistemleri, genellikle kısa vadede yüksek üretkenlik sağlasa da, iklimsel belirsizlikler karşısında düşük dayanıklılık sergilemektedir. Buna karşılık çeşitlilik temelli sistemler, fonksiyonel yedeklilik ve türler arası tamamlayıcılık sayesinde çevresel şokların etkisini sönümleyebilmektedir (Tilman vd., 2014; Isbell vd., 2018).

6.2. Biyoçeşitlilik ve Üretkenliğin İklimsel Stabilitesi

BEF literatürünün en güçlü bulgularından biri, biyoçeşitliliğin ekosistem üretkenliğinin zamansal stabilitesini artırdığıdır. Uzun dönemli deneyler, bitki çeşitliliğinin arttığı sistemlerde üretkenliğin yıllar arası dalgalanmasının azaldığını ve ekstrem iklim olaylarından sonra toparlanmanın daha hızlı gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Tilman vd., 2014; Isbell vd., 2015). Tarımsal sistemlerde bu durum, kuraklık, aşırı yağış veya sıcaklık stresleri sırasında verim kayıplarının sınırlanması anlamına gelmektedir. Isbell vd. (2015), bitki çeşitliliğinin aşırı iklim koşullarında üretkenliği koruduğunu ve bu etkinin BEF mekanizmalarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir.

6.3. Sigorta Hipotezi ve İklimsel Belirsizlik

İklim değişikliği, çevresel koşulların öngörülebilirliğini azaltmakta ve tarımsal sistemlerde belirsizliği artırmaktadır. Bu bağlamda sigorta hipotezi, BEF teorisinin iklim değişikliğiyle ilişkili en önemli kavramsal çerçevelerinden biridir. Hipoteze göre, türlerin çevresel değişkenlere farklı tepkiler vermesi, ekosistem fonksiyonlarının tamamının aynı anda olumsuz etkilenmesini engeller (Yachi & Loreau, 1999). Tarımsal biyoçeşitlilik, özellikle genetik ve tür düzeyindeki çeşitlilik yoluyla bu sigorta etkisini güçlendirmektedir. Çeşit karışımları ve polikültür sistemler, iklimsel stresler karşısında en azından bazı tür veya genotiplerin performans göstermesini sağlayarak üretimin sürekliliğini desteklemektedir (Reiss & Drinkwater, 2018; Weis vd., 2021).

6.4. Toprak Biyoçeşitliliği, Karbon Depolama ve İklim Düzenleme

Toprak, tarımsal sistemlerin iklim değişikliğiyle etkileşiminde merkezi bir rol oynamaktadır. Toprak organik karbonu, hem üretkenlik hem de sera gazı dengesi açısından kritik bir ekosistem bileşenidir. Biyoçeşitlilik, özellikle bitki çeşitliliği ve toprak mikrobiyal çeşitliliği yoluyla karbon döngüsünü düzenlemektedir (Lal, 2004; Lange vd., 2015). Araştırmalar, bitki çeşitliliğinin mikrobiyal biyokütle ve karbon kullanım verimliliğini artırarak toprakta daha kalıcı organik madde birikimini teşvik ettiğini göstermektedir (Prommer vd., 2020; Domeignoz-Horta vd., 2021). Bu süreçler, tarımsal sistemlerin iklim değişikliğini hafifletme (mitigation) potansiyelini güçlendirmektedir.

6.5. İklim Değişikliği, Zararlılar ve Hastalık Riskleri

İklim değişikliği, tarımsal zararlı ve patojenlerin dağılımını ve popülasyon dinamiklerini de önemli ölçüde etkilemektedir. Artan sıcaklıklar ve değişen yağış rejimleri, birçok zararlı tür için daha elverişli koşullar

yaratmakta ve hastalık baskısını artırmaktadır (Savary vd., 2019). Biyoçeşitlilik temelli tarım sistemleri, bu riskleri azaltmada önemli bir tampon işlevi görmektedir. Çeşitli bitki toplulukları ve genetik olarak heterojen ekinler, patojenlerin yayılımını sınırlandırmakta ve hastalık şiddetini azaltmaktadır (Zhu vd., 2000; Halliday vd., 2020). Bu durum, BEF ilişkilerinin iklim değişikliği bağlamında dolaylı ama kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

6.6. BEF, Adaptasyon ve Uzun Vadeli Tarımsal Sürdürülebilirlik

BEF yaklaşımı, tarımsal adaptasyonu yalnızca teknik çözümlerle sınırlamaz; ekosistemlerin kendi kendini düzenleme kapasitesinin güçlendirilmesini hedefler. Çeşitlilik temelli sistemler, değişen iklim koşullarına uyum sağlama konusunda daha yüksek esneklik sunmaktadır (Isbell vd., 2017; Herrero vd., 2020). Bu bağlamda biyoçeşitlilik, tarımsal sistemler için pasif bir "doğa koruma" unsuru değil; aktif bir adaptasyon stratejisi olarak değerlendirilmelidir.

7. BİYOÇEŞİTLİLİK TEMELLİ TARIMIN SOSYO-EKONOMİK VE POLİTİK BOYUTLARI

Biyoçeşitlilik temelli tarım uygulamalarının ekolojik yararları güçlü biçimde belgelenmiş olmasına rağmen, bu uygulamaların yaygınlaşması büyük ölçüde sosyo-ekonomik ve politik koşullara bağlıdır. Tarımsal üretim sistemleri yalnızca biyofiziksel süreçlerden ibaret değildir; aynı zamanda ekonomik teşvikler, kurumsal yapılar, bilgi sistemleri ve güç ilişkileri tarafından şekillenen karmaşık sosyal-ekolojik sistemlerdir (Ostrom, 2009; Folke vd., 2005). Bu nedenle BEF yaklaşımının pratik tarım politikalarına dönüştürülebilmesi, ekolojik kanıtların sosyal ve ekonomik bağlamda ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

7.1. Sosyal-Ekolojik Sistemler Perspektifinde Tarım ve Biyoçeşitlilik

Tarımsal sistemler, insan toplulukları ile doğal ekosistemler arasındaki etkileşimlerin yoğunlaştığı sosyal-ekolojik sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemlerde üretim kararları, yalnızca ekolojik uygunlukla değil; piyasa koşulları, arazi mülkiyeti, bilgiye erişim ve politik düzenlemelerle de şekillenmektedir (Folke vd., 2005; Ostrom, 2009). BEF yaklaşımı, tarımsal sürdürülebilirliği yalnızca biyolojik çeşitliliğin korunmasıyla değil, aynı zamanda bu çeşitliliği mümkün kılan kurumsal yapıların güçlendirilmesiyle ilişkilendirmektedir. Çeşitlilik temelli tarım sistemleri, genellikle yerel bilgiye, uzun vadeli yönetim perspektifine ve kolektif eylem biçimlerine dayanmaktadır (Blesh & Wittman, 2015).

7.2. Küçük Ölçekli Çiftçiler ve Biyoçeşitlilik Temelli Üretim

Küresel tarımsal üretimin önemli bir bölümü küçük ölçekli çiftçiler tarafından gerçekleştirilmektedir. Düşük girdili ve çeşitlilik temelli üretim sistemleri, özellikle bu çiftçiler için hem ekonomik hem de ekolojik açıdan avantajlar sunabilmektedir (Lowder vd., 2014; Fan & Rue, 2020). Araştırmalar, küçük ölçekli çiftliklerin genellikle daha yüksek ürün çeşitliliğine sahip olduğunu ve bu çeşitliliğin üretim risklerini azalttığını göstermektedir. Biyoçeşitlilik temelli sistemler, iklimsel belirsizlikler karşısında geçim güvenliğini artırarak gıda egemenliği hedefleriyle de örtüşmektedir (Walsh-Dilley vd., 2016; Cook vd., 2012).

7.3. Ekonomik Teşvikler, Maliyetler ve Getiriler

Biyoçeşitlilik temelli tarım uygulamalarının benimsenmesinde ekonomik faktörler belirleyici bir rol oynamaktadır. Çeşitlendirme uygulamaları, kısa vadede artan yönetim maliyetleri ve bilgi gereksinimi nedeniyle çiftçiler açısından riskli algılanabilmektedir (German vd., 2017). Bununla birlikte uzun vadeli analizler, çeşitlilik temelli sistemlerin girdi maliyetlerini azalttığını, verim istikrarını artırdığını ve çevresel dışsallıkları düşürdüğünü ortaya koymaktadır (Tamburini vd., 2020). Ayrıca biyolojik zararlı kontrolü, besin döngüsü verimliliği ve toprak sağlığı gibi ekosistem hizmetleri, ekonomik değer üretmektedir; ancak bu değerler çoğu zaman piyasa mekanizmalarında yeterince temsil edilmemektedir (Sutton, 2011).

7.4. Tarım Politikaları ve Kurumsal Çerçeveler

Tarımsal biyoçeşitliliğin korunması ve teşvik edilmesi, büyük ölçüde politika araçlarının niteliğine bağlıdır. Mevcut tarım destekleme politikaları, çoğu ülkede yüksek girdili ve tek ürünlü sistemleri teşvik etmekte; bu durum çeşitlilik temelli yaklaşımların yaygınlaşmasını sınırlamaktadır (Pingali, 2012; Foley vd., 2005). Agro-çevresel destek programları, biyoçeşitlilik temelli uygulamaların teşvik edilmesi için önemli araçlar sunmaktadır. Ancak bu programların başarısı, yerel bağlamlara uyarlanmasına ve çiftçilerin karar süreçlerine aktif olarak dahil edilmesine bağlıdır (Mendez-Giménez vd., 2020; Vollan vd., 2011).

7.5. Bilgi Sistemleri, Katılımcı Yaklaşımlar ve Yönetişim

BEF yaklaşımının tarımda uygulanabilmesi, yalnızca bilimsel bilgi üretimiyle değil; bu bilginin çiftçilere, politika yapıcılara ve diğer paydaşlara etkili biçimde aktarılmasıyla mümkündür. Katılımcı araştırma yöntemleri, çiftçi-bilim insanı iş birlikleri ve açık bilgi ağları, çeşitlilik temelli uygulamaların benimsenmesini kolaylaştırmaktadır (Stokstad, 2011).

Adaptif yönetişim yaklaşımları, tarımsal sistemlerin dinamik doğasını dikkate alarak öğrenmeye dayalı yönetim modellerini teşvik etmektedir. Bu yaklaşımlar, BEF ilişkilerinin bağlama duyarlı niteliğini tarım politikalarına entegre etme potansiyeli sunmaktadır (Folke vd., 2005; Ostrom, 2009).

7.6. Biyoçeşitlilik, Gıda Sistemleri ve Toplumsal Dönüşüm

Biyoçeşitlilik temelli tarım, yalnızca tarla ölçeğinde değil; gıda sistemlerinin bütününde dönüşüm gerektirmektedir. Küresel gıda rejimleri, üretim, dağıtım ve tüketim ilişkileri üzerinden tarımsal biyoçeşitlilik üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır (McMichael, 2009). Bu bağlamda BEF yaklaşımı, gıda sistemlerini yalnızca verimlilik değil; ekolojik bütünlük, sosyal adalet ve uzun vadeli dayanıklılık temelinde yeniden düşünmeyi gerektirmektedir (Herrero vd., 2020).

8. GENEL DEĞERLENDİRME, SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇIKARIMLAR

Bu kitap bölümünde, sürdürülebilir tarım sistemlerinin biyoçeşitlilik ile olan çok yönlü ilişkileri, Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) teorik çerçevesi temel alınarak kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Sunulan kuramsal yaklaşımlar, deneysel bulgular ve sentez çalışmalar, biyoçeşitliliğin tarımsal ekosistemlerde yalnızca bir "doğa koruma" unsuru değil; üretkenlik, stabilite, dayanıklılık ve çok işlevlilik açısından temel bir yapı taşı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Tilman vd., 2014; Cardinale vd., 2012).

8.1. BEF Perspektifinden Temel Bulguların Sentezi

Bu bölüm boyunca ele alınan çalışmalar, biyoçeşitliliğin tarımsal sistemlerde üç ana eksen boyunca kritik rol oynadığını göstermektedir. İlk olarak, bitki ve genetik çeşitlilik, tamamlayıcılık ve sigorta mekanizmaları yoluyla üretkenliği ve verim istikrarını artırmaktadır (Loreau & Hector, 2001; Isbell vd., 2015). İkinci olarak, toprak mikrobiyal çeşitliliği ve trofik etkileşimler, besin döngüsü, karbon depolanması ve hastalık baskılanması gibi temel ekosistem süreçlerini düzenlemektedir (Wagg vd., 2014; Philippot vd., 2013). Üçüncü olarak ise, çeşitlilik temelli sistemler iklim değişikliği gibi küresel çevresel baskılar karşısında tarımsal dayanıklılığı güçlendirmektedir (Isbell vd., 2017; Ramankutty vd., 2018). Bu bulgular, tarımsal sürdürülebilirliğin yalnızca girdi optimizasyonu veya teknolojik yenilikler yoluyla değil; ekosistemlerin içsel düzenleyici mekanizmalarının güçlendirilmesiyle sağlanabileceğini göstermektedir.

8.2. Sürdürülebilir Tarım İçin Kavramsal ve Uygulamalı Çıkarımlar

BEF yaklaşımı, sürdürülebilir tarım kavramını yeniden tanımlamaktadır. Geleneksel yaklaşımlar genellikle kısa vadeli verim artışına odaklanırken, BEF perspektifi uzun vadeli fonksiyonel sürekliliği ve ekosistem sağlığını ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda sürdürülebilir tarım, yüksek ortalama verimden ziyade istikrarlı, esnek ve çevresel açıdan uyumlu üretim sistemleri anlamına gelmektedir (German vd., 2017; Tamburini vd., 2020). Uygulama düzeyinde, polikültür sistemler, çeşit karışımları, örtü bitkileri, agroormancılık ve peyzaj ölçeğinde çeşitlendirme gibi stratejiler, BEF ilişkilerinin somut tarımsal pratiklere dönüştürülmesinde etkili araçlar sunmaktadır (Duru vd., 2015; Kleijn vd., 2019).

8.3. Politika ve Yönetişim Açısından Sonuçlar

Bu bölümde ele alınan bulgular, mevcut tarım politikalarının önemli ölçüde yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Çoğu ülkede tarımsal destek mekanizmaları, hâlen yüksek girdili ve tek ürünlü sistemleri teşvik etmektedir. Oysa BEF temelli kanıtlar, çeşitlilik temelli sistemlerin uzun vadede hem ekonomik hem de ekolojik açıdan daha avantajlı olduğunu göstermektedir (Pingali, 2012; Foley vd., 2005). Bu nedenle tarım politikalarının, biyoçeşitliliği bir maliyet unsuru olarak değil; üretkenliğin ve dayanıklılığın temel girdisi olarak tanıması gerekmektedir. Agro-çevresel destekler, sonuç odaklı teşvik mekanizmaları ve katılımcı yönetişim modelleri, bu dönüşüm için kritik araçlar sunmaktadır (Mendez-Giménez vd., 2020; Ostrom, 2009).

8.4. Araştırma Boşlukları ve Gelecek Çalışmalar İçin Öncelikler

Her ne kadar BEF literatürü güçlü ampirik kanıtlar sunmuş olsa da, tarımsal sistemlerde hâlen önemli araştırma boşlukları bulunmaktadır. Özellikle uzun vadeli, çok ölçekli ve sosyo-ekolojik boyutları içeren çalışmaların sayısı sınırlıdır (Manning vd., 2019). Ayrıca biyoçeşitlilik–fonksiyon ilişkilerinin farklı iklim kuşakları, toprak tipleri ve yönetim rejimleri altında nasıl değiştiği daha ayrıntılı biçimde incelenmelidir (van der Plas, 2019). Gelecek araştırmaların, bitki–toprak–mikrop–insan etkileşimlerini bütüncül biçimde ele alan disiplinler arası yaklaşımlara yönelmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, BEF teorisinin tarımsal uygulamalara entegrasyonunu güçlendirecek ve sürdürülebilir gıda sistemlerine geçişi destekleyecektir.

9. SONUÇ

Bu kitap bölümünde sunulan sentez, tarımsal biyoçeşitliliğin ekosistem fonksiyonları üzerindeki belirleyici rolünü Biyoçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) yaklaşımı çerçevesinde açık biçimde ortaya koymaktadır. Bitki tür ve genetik çeşitliliği, tamamlayıcılık ve sigorta mekanizmaları aracılığıyla üretkenliği ve verim istikrarını desteklerken; toprak mikrobiyomu ve trofik etkileşimler besin döngüsü, karbon depolanması ve hastalık baskılanması gibi temel süreçlerin düzenlenmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. Bu durum, tarımsal sürdürülebilirliğin yalnızca girdilerin yönetimiyle değil, ekosistemlerin biyolojik bütünlüğünün korunmasıyla sağlanabileceğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bölümde ele alınan bulgular, biyoçeşitliliğin tarımsal sistemlerde iklim değişikliği ve çevresel belirsizlikler karşısında dayanıklılığı artıran temel bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır. BEF yaklaşımı, tarımı kısa vadeli verim artışına odaklanan bir üretim faaliyeti olmaktan çıkararak, uzun vadeli üretkenlik, stabilite ve ekosistem temelli yönetim hedefleri doğrultusunda yeniden konumlandırmaktadır. Bu çerçevede tarımsal biyoçeşitliliğin korunması ve etkin biçimde yönetilmesi, sürdürülebilir gıda sistemlerinin oluşturulması açısından stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Albrecht, M., et al. (2020). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: A quantitative synthesis. Ecology Letters, 23(10), 1488–1498.

Balvanera, P., et al. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. Ecology Letters, 9(10), 1146–1156.

Banerjee, S., et al. (2019). Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. The ISME Journal, 13(7), 1722–1736.

Bååth, E., & Anderson, T.-H. (2003). Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. Soil Biology and Biochemistry, 35(7), 955–963.

Barry, K. E., et al. (2019). The future of complementarity: Disentangling causes from consequences. Trends in Ecology & Evolution, 34(2), 167–180.

Bender, S. F., & van der Heijden, M. G. A. (2015). Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. Journal of Applied Ecology, 52(1), 228–239.

Bender, S. F., et al. (2016). An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. Trends in Ecology & Evolution, 31(6), 440–452.

Bennett, A. J., et al. (2012). Meeting the demand for crop production: The challenge of yield decline in crops grown in short rotations. Biological Reviews, 87(1), 52–71.

Blanco-Canqui, H., et al. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. Agronomy Journal, 107(6), 2449–2474.

Blesh, J., & Wittman, H. (2015). 'Brasilience': Assessing resilience in land reform settlements in the Brazilian Cerrado. Human Ecology, 43(4), 531–546.

Brooker, R. W., et al. (2015). Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. New Phytologist, 206(1), 107–117.

Bruinsma, J. (2003). World agriculture: Towards 2015/2030. An FAO perspective. London, UK: Earthscan.

Cappelli, S. L., et al. (2020). Sick plants in grassland communities: A growth-defense trade-off is the main driver of fungal pathogen abundance and impact. Ecology Letters, 23(9), 1349–1359.

Cappelli, S. L., et al. (2022). Partitioning the effects of plant diversity on ecosystem functions at different trophic levels. Ecological Monographs, 92(1), e01494.

Cardinale, B. J., et al. (2006). Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. Nature, 443(7114), 989–992.

Cardinale, B. J., et al. (2011). The functional role of producer diversity in ecosystems. American Journal of Botany, 98(3), 572–592.

Cardinale, B. J., et al. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. Nature, 486(7401), 59–67.

Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. Food and Energy Security, 6(2), 48–60.

Cook, G. A., et al. (2012). Persistence on reducing constraints for smallholder entrepreneurship in Africa: The case of soil fertility in Northern Ghana. Current Opinion in Environmental Sustainability, 4(5), 489–496.

Daims, H., et al. (2015). Complete nitrification by Nitrospira bacteria. Nature, 528(7583), 504–509.

de Graaff, M. A., et al. (2019). Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: A meta-analysis. Advances in Agronomy, 155, 1–44.

Domeignoz-Horta, L. A., et al. (2016). Non-denitrifying nitrous oxide-reducing bacteria – an effective N_2O sink in soil. Soil Biology and Biochemistry, 103, 376–379.

Domeignoz-Horta, L. A., et al. (2018). Peaks of in situ N_2O emissions are influenced by N_2O-producing and reducing microbial communities across arable soils. Global Change Biology, 24(8), 360–370.

Domeignoz-Horta, L. A., et al. (2021). Direct evidence for the role of microbial community composition in the formation of soil organic matter composition and persistence. ISME Communications, 1(1), 64.

Duru, M., et al. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: A review. Agronomy for Sustainable Development, 35(4), 1259–1281.

Fan, S., & Rue, C. (2020). The role of smallholder farms in a changing world. In S. Gómez y Paloma et al. (Eds.), The role of smallholder farms in food and nutrition security (pp. 13–28).

Fargione, J., et al. (2007). From selection to complementarity: Shifts in the causes of biodiversity–productivity relationships in a long-term biodiversity experiment. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(3), 871–875.

Finkel, O. M., et al. (2017). Understanding and exploiting plant beneficial microbes. Current Opinion in Plant Biology, 38, 155–163.

Finney, D. M., & Kaye, J. P. (2017). Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. Journal of Applied Ecology, 54(2), 509–517.

Fitzpatrick, C. R., et al. (2018). Assembly and ecological function of the root microbiome across angiosperm plant species. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(8), E1157–E1165.

Foley, J. A., et al. (2005). Global consequences of land use. Science, 309(5734), 570–574.

Folke, C., et al. (2005). Adaptive governance of social–ecological systems. Annual Review of Environment and Resources, 30(1), 441–473.

Garland, G., et al. (2021). Crop cover is more important than rotational diversity for soil multifunctionality and cereal yields in European cropping systems. Nature Food, 2(1), 28–37.

German, R. N., et al. (2017). Relationships among multiple aspects of agriculture's environmental impact and productivity: A meta-analysis to guide sustainable agriculture. Biological Reviews, 92(2), 716–738.

Halliday, F. W., et al. (2020). Biodiversity loss underlies the dilution effect of biodiversity. Ecology Letters, 23(11), 1611–1622.

Hannula, S. E., et al. (2020). Structure and ecological function of the soil microbiome affecting plant–soil feedbacks in the presence of a soil-borne pathogen. Environmental Microbiology, 22(2), 660–676.

Herrero, M., et al. (2020). Articulating the effect of food systems innovation on the Sustainable Development Goals. The Lancet Planetary Health, 5(1), e50–e62.

Hu, L., et al. (2018). Root exudate metabolites drive plant–soil feedbacks on growth and defense by shaping the rhizosphere microbiota. Nature Communications, 9(1), 2738.

Isbell, F., et al. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. Nature, 526(7574), 574–577.

Isbell, F., et al. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. Journal of Ecology, 105(4), 871–879.

Isbell, F., et al. (2018). Quantifying effects of biodiversity on ecosystem functioning across times and places. Ecology Letters, 21(5), 763–778.

Iverson, A. L., et al. (2014). Do polycultures promote win-win or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. Journal of Applied Ecology, 51(6), 1593–1602.

Kallenbach, C. M., et al. (2016). Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. Nature Communications, 7(1), 13630.

Keesing, F., et al. (2006). Effects of species diversity on disease risk. Ecology Letters, 9(4), 485–498.

Khan, Z. R., et al. (2010). Exploiting phytochemicals for developing a push–pull crop protection strategy for cereal farmers in Africa. Journal of Experimental Botany, 61(15), 4185–4196.

Kleijn, D., et al. (2019). Ecological intensification: Bridging the gap between science and practice. Trends in Ecology & Evolution, 34(2), 154–166.

Kozdrój, J., & van Elsas, J. D. (2001). Structural diversity of microorganisms in chemically perturbed soil assessed by molecular and cytochemical approaches. Journal of Microbiological Methods, 43(3), 197–212.

Kristoffersen, R., et al. (2020). Control of Septoria tritici blotch by winter wheat cultivar mixtures: Meta-analysis of 19 years of cultivar trials. Field Crops Research, 249, 107696.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123(1–2), 1–22.

Lange, M., et al. (2015). Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. Nature Communications, 6(1), 6707.

Lehmann, A., et al. (2017). Soil biota contributions to soil aggregation. Nature Ecology & Evolution, 1(12), 1826–1835.

Lehmann, J., et al. (2020). Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. Nature Geoscience, 13(8), 529–534.

Letourneau, D. K., et al. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. Ecological Applications, 21(1), 9–21.

Li, C., et al. (2020). Syndromes of production in intercropping impact yield gains. Nature Plants, 6(6), 653–660.

Liang, C., et al. (2019). Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. Global Change Biology, 25(11), 3578–3590.

Liang, X.-Z., et al. (2017). Determining climate effects on US total agricultural productivity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(12), E2285–E2292.

Loreau, M., & Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. Nature, 412(6842), 72–76.

Lowder, S. K., et al. (2014). What do we really know about the number and distribution of farms and family farms worldwide? FAO ESA Working Paper No. 14-02.

Maestre, F. T., et al. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. Science, 335(6065), 214–218.

Manning, P., et al. (2019). Transferring biodiversity–ecosystem function research to the management of real-world ecosystems. In N. Eisenhauer et al. (Eds.), Mechanisms underlying the relationship between biodiversity and ecosystem function (pp. 323–356). Academic Press.

Mariotte, P., et al. (2018). Plant–soil feedback: Bridging natural and agricultural sciences. Trends in Ecology & Evolution, 33(9), 128–142.

McDaniel, M. D., et al. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. Ecological Applications, 24(4), 560–570.

McMichael, P. (2009). A food regime genealogy. Journal of Peasant Studies, 36(1), 139–169.

Mendez-Giménez, P., et al. (2020). Using environmental knowledge brokers to promote deep green agri-environment measures. Ecological Economics, 176, 106722.

Nemergut, D. R., et al. (2014). When, where and how does microbial community composition matter? Frontiers in Microbiology, 5, 497.

Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social–ecological systems. Science, 325(5939), 419–422.

Philippot, L., et al. (2011). Importance of denitrifiers lacking the genes encoding the nitrous oxide reductase for N_2O emissions from soil. Global Change Biology, 17(3), 1497–1504.

Philippot, L., et al. (2013). Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. Nature Reviews Microbiology, 11(11), 789–799.

Pingali, P. L. (2012). Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(31), 12902–12908.

Prommer, J., et al. (2020). Increased microbial growth, biomass, and turnover drive soil organic carbon accumulation at higher plant diversity. Global Change Biology, 26(2), 669–681.

Qiu, Y., et al. (2019). Deciphering underlying drivers of disease suppressiveness against pathogenic Fusarium oxysporum. Frontiers in Microbiology, 10, 2535.

Ramankutty, N., et al. (2018). Trends in global agricultural land use: Implications for environmental health and food security. Annual Review of Plant Biology, 69(1), 789–815.

Reiss, E. R., & Drinkwater, L. E. (2018). Cultivar mixtures: A meta-analysis of the effect of intraspecific diversity on crop yield. Ecological Applications, 28(1), 62–77.

Savary, S., et al. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nature Ecology & Evolution, 3(3), 430–439.

Schimel, J. P., & Schaeffer, S. M. (2012). Microbial control over carbon cycling in soil. Frontiers in Microbiology, 3, 348.

Stefan, L., et al. (2021). Positive effects of crop diversity on productivity driven by changes in soil microbial composition. Frontiers in Microbiology, 12, 680749.

Steudel, B., et al. (2012). Biodiversity effects on ecosystem functioning change along environmental stress gradients. Ecology Letters, 15(12), 1397–1405.

Stokstad, E. (2011). Open-source ecology takes root across the world. Science, 334(6054), 308–309.

Sutton, M. A. (Ed.). (2011). The European nitrogen assessment: Sources, effects, and policy perspectives. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Tamburini, G., et al. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. Science Advances, 6(45), eaba1715.

Thakur, M. P., et al. (2021). Plant–soil feedbacks and temporal dynamics of plant diversity–productivity relationships. Trends in Ecology & Evolution, 36(7), 651–661.

Thiele-Bruhn, S., et al. (2012). Linking soil biodiversity and agricultural soil management. Current Opinion in Environmental Sustainability, 4(5), 523–528.

Tilman, D., et al. (2014). Biodiversity and ecosystem functioning. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 45(1), 471–493.

Torralba, M., et al. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment, 230, 150–161.

Valkama, E., et al. (2015). Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. Agriculture, Ecosystems & Environment, 203, 93–101.

van der Heijden, M. G. A., et al. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature, 396(6706), 69–72.

van der Plas, F., et al. (2016). Jack-of-all-trades effects drive biodiversity–ecosystem multifunctionality relationships in European forests. Nature Communications, 7(1), 11109.

van der Plas, F. (2019). Biodiversity and ecosystem functioning in naturally assembled communities. Biological Reviews, 94(4), 1220–1245.

Vollan, B., et al. (2011). How to ensure a credible and efficient IPBES? Environmental Science & Policy, 14(8), 1188–1194.

Wagg, C., et al. (2014). Soil biodiversity and community composition determine ecosystem multifunctionality. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(14), 5265–5270.

Wagg, C., et al. (2019). Fungal–bacterial diversity and microbiome complexity predict ecosystem functioning. Nature Communications, 10(1), 4841.

Wagg, C., et al. (2020). Full-season cover crops and the traits that promote agroecosystem services. Agriculture, 11(9), 830.

Walsh-Dilley, M., et al. (2016). Rights for resilience: Food sovereignty, power, and resilience in development practice. Ecology and Society, 21(1), 11.

Weis, S. E., et al. (2021). Ecological and evolutionary approaches to improving crop variety mixtures. Nature Ecology & Evolution, 5(8), 1068–1077.

Yachi, S., & Loreau, M. (1999). Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. Proceedings of the National Academy of Sciences, 96(4), 1463–1468.

Zak, D. R., et al. (2003). Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: Are there any links? Ecology, 84(8), 2042–2050.

Zhang, C., et al. (2014). Root foraging elicits niche complementarity-dependent yield advantage in the ancient “three sisters” (maize/bean/squash) polyculture. Annals of Botany, 114(8), 1719–1733.

Zhu, Y., et al. (2000). Genetic diversity and disease control in rice. Nature, 406(6797), 718–722.