

Sürdürülebilir Tarım Yöntemlerinin İklim Değişikliği ve Gıda Güvenliği Çerçevesinde Karşılaştırılması

Comparison of Sustainable Agriculture Methods in the Context of Climate Change and Food Safety

Aylin Güngör¹ , Hasan Özcan² 

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Aksaray Üniversitesi

² Prof. Dr., Aksaray Üniversitesi

Özet

Sürdürülebilir tarım, iklim değişikliğinin yarattığı zorlukların değerlendirilmesinde ve küresel gıda güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Çevresel bozulma arttıkça, sürdürülebilir tarım yöntemlerine geçiş, iklimle ilgili riskleri azaltmak ve doğal kaynakları korumak için elzem hale gelmektedir. Sürdürülebilir tarım, iklim değişikliğinin yol açtığı çevresel, ekonomik ve sosyal zorlukları aşmak ve küresel gıda güvenliğini güçlendirmek için kritik bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, sürdürülebilir tarım uygulamalarının iklim değişikliği karşısında tarımsal verimliliği koruma ve çevresel dayanıklılığı artırma potansiyelini incelemeyi amaçlamaktadır.

Alan yazın taramasına dayalı karşılaştırmalı analiz şeklinde yürütülen bu çalışmada, sürdürülebilir tarım ve iklim değişikliği arasındaki ilişki incelenmiş, tarımsal verimliliği korurken çevresel dayanıklılığı artıran yöntemler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmanın amacı, sürdürülebilir tarım uygulamalarının iklim değişikliğinin etkileri karşısında tarımsal verimliliği koruma ve çevresel dayanıklılığı artırma potansiyelini alan yazın eşliğinde incelemektir. Bu kapsamda rejeneratif tarım, agroekoloji, organik tarım, dikey-kentsel tarım, permakültür ve dijital tarım gibi yöntemler; küresel iklim değişikliği, gıda güvenliği, biyoçeşitlilik, su kaynakları ve verimlilik boyutları açısından değerlendirilmiştir.

Araştırmadan elde edilen bulgular, sürdürülebilir tarım uygulamalarının yalnızca mevcut tarımsal sistemlerin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını artırmadığını, aynı zamanda gelecekte yeşil anlaşmalar, karbon nötr tarım hedefleri, yapay zekâ ve robotik teknolojiler ile küresel iş birlikleri çerçevesinde dönüşümün anahtar unsurlarından biri olacağını göstermektedir. Aynı zamanda bu yaklaşımların entegrasyonunun, tarımsal sistemlerin direnç kazanmasında ve gelecekteki küresel gıda sistemlerinin şekillenmesinde belirleyici rol oynadığı ifade edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir tarım, iklim değişikliği, gıda güvenliği, karşılaştırmalı analiz, alan yazın taraması.

Abstract

Sustainable agriculture plays a significant role in addressing the challenges posed by climate change and ensuring global food security. As environmental degradation increases, transitioning to sustainable agricultural practices has become essential for mitigating climate-related risks and conserving natural resources. Sustainable agriculture stands out as a critical strategy for overcoming the environmental, economic and social challenges caused by climate change and strengthening global food security. This study aims to examine the potential of sustainable agriculture practices to maintain agricultural productivity and increase environmental resilience in the face of climate change.

Based on a literature review, this comparative study examines the relationship between sustainable agriculture and climate change, comparing methods that increase environmental resilience while maintaining agricultural productivity. The aim of the study is to examine, with the help of the literature, the potential of sustainable agricultural practices to maintain agricultural productivity and increase environmental resilience in the face of the effects of climate change. In this context, methods such as regenerative agriculture, agroecology, organic farming, vertical-urban farming, permaculture, and digital

agriculture were evaluated in terms of global climate change, food security, biodiversity, water resources, and productivity.

The findings from the research show that sustainable agricultural practices not only increase the resilience of existing agricultural systems to climate change, but will also be one of the key elements of transformation in the future, within the framework of green agreements, carbon-neutral agriculture targets, artificial intelligence and robotic technologies, and global collaborations. It can also be stated that the integration of these approaches plays a decisive role in making agricultural systems more resilient and shaping future global food systems.

Keywords: Sustainable agriculture, climate change, food security, comparative study, literature review.

Atif için (how to cite): Güngör, A., & Özcan, H. (2025). Sürdürülebilir tarım yöntemlerinin iklim değişikliği ve gıda güvenliği çerçevesinde karşılaştırılması. *Fenerbahçe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(2), 246–258.

1. Giriş

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (BM-GTÖ) [Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO] göre, "Sürdürülebilir tarım, toprağı, suyu, bitki ve hayvan genetik kaynaklarını korur, çevresel olarak bozucu değildir, teknik olarak uygundur, ekonomik olarak uygulanabilir ve sosyal olarak kabul edilebilirdir" (BM-GTÖ, 2014). Bu yaklaşım, artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılarken doğanın dengesini korumayı, çevresel etkileri azaltmayı ve gelecek nesillerin gıda güvenliğini sağlamayı hedeflemektedir (Gündüz, 2024). Dolayısıyla sürdürülebilir tarım yalnızca üretimi sürdürmekle kalmaz; doğal kaynakların korunması, biyoçeşitliliğin desteklenmesi ve iklim değişikliğiyle mücadele gibi çok yönlü amaçları da kapsar.

Küresel düzeyde sürdürülebilir tarım politikaları, BM-GTÖ, Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü (EİKÖ) [Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD] ve Dünya Bankası gibi kuruluşların oluşturduğu çerçeveler doğrultusunda şekillenmektedir. 1992 Rio Zirvesi ile başlayan süreç, 2002 Johannesburg Zirvesi, 2015 Paris Anlaşması ve 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) gibi küresel girişimlerle devam etmiş; bu belgeler tarımın iklim değişikliğiyle mücadeledeki kritik rolünü açıkça ortaya koymuştur (BM-GTÖ, 2014; BM-İDÇS, 2015). Avrupa Birliği (AB), bu alanda öncü bir aktör olarak Ortak Tarım Politikası (OTP) [Common Agricultural Policy, CAP] ve Avrupa Yeşil Mutabakatı ile tarımsal üretimi karbon nötr hedefleriyle uyumlu hale getirmeyi amaçlamaktadır (Boix-Fayos vd., 2023). Ancak, AB'nin Ortak Tarım Politikasının biyoçeşitlilik, iklim, toprak ve arazi bozulması gibi sürdürülebilirlik alanlarında yetersiz kaldığı belirtilmektedir (Pe'er vd., 2020). Bu durum, küresel ölçekte sürdürülebilir tarıma yönelik politika ve uygulamaların güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, tarımsal üretimde karşılaşılan başlıca sorunlar arasında iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması, sulama verimliliğinin düşmesi, artan sıcaklıkların bitki çeşitliliği üzerindeki olumsuz etkileri ve hızla artan nüfus karşısında mevcut gıda sistemlerinin yetersiz kalması yer almaktadır. Ayrıca, dijital tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılmasında politika eksiklikleri ve çiftçilerin bu teknolojilere uyum sağlayabilmesi için gerekli eğitim programlarının yetersizliği de literatürde sıklıkla vurgulanan bir diğer problem olarak dikkat çekmektedir (Pylianidis vd., 2021; Sharma vd., 2024).

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir tarım uygulamalarının iklim değişikliği karşısında tarımsal verimliliği koruma ve çevresel dayanıklılığı artırma potansiyelini alan yazın eşliğinde incelemektir. Bu kapsamda rejeneratif tarım, agroekoloji, organik tarım, dikey-kentsel tarım, permakültür ve dijital tarım gibi yöntemler; küresel iklim değişikliği, gıda güvenliği, biyoçeşitlilik, su kaynakları ve verimlilik boyutları açısından değerlendirilmektedir.

1.2. Yöntem

Çalışma nitel araştırma geleneğine sahip alan yazın taramasına dayalı olarak yürütülen bir karşılaştırmalı analiz çalışmasıdır. Bu çalışmada, sürdürülebilir tarım ve iklim değişikliği arasındaki ilişki incelenmekte olup tarımsal verimliliği korurken çevresel dayanıklılığı artıran yöntemler karşılaştırmalı olarak ele alınmaya çalışılmaktadır. Çalışmanın araştırma sorusu aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

Sürdürülebilir tarım yöntemleri iklim değişikliğiyle mücadelede ve gıda güvenliğinin sağlanmasında nasıl bir rol oynamaktadır?

Çalışmada, konunun uluslararası bağlam ve bağlantılarının harmanlanmasına yer verilmekte, ardından sürdürülebilir tarım yöntemlerini tanıtan bir bölümle devam edilmekte, sonraki bölümlerde bu yöntemlerin iklim değişikliği, gıda güvenliği ve biyolojik çeşitlilik bağlamındaki etkileri tartışılmakta, son bölümde ise su yönetimi stratejileri incelenmekte ve genel sonuçlar sunulmaktadır.

2. Sürdürülebilir Tarım Yöntemleri

Sürdürülebilir tarım yöntemleri, küresel talep artışını ve doğal kaynakların hızla tükenmesini göz önünde bulundurduğça, mevcut üretim sistemlerini çevresel etkileri azaltarak daha sürdürülebilir modellere dönüştürmeyi gerektirmektedir. Bu yaklaşımın ana hedefi, çevresel sürdürülebilirliği sağlarken çiftlik verimliliğini korumak ya da artırmaktır (Pe'er vd., 2020). Bu doğrultuda geliştirilen çeşitli sürdürülebilir tarım yöntemleri bulunmaktadır.

2.1. Organik Tarım

Organik tarım, çevreye ve insan sağlığına duyarlı bir üretim yöntemi olarak sentetik kimyasal gübre ve ilaç kullanımını yasaklamakta; bunun yerine organik ve yeşil gübreleme, ekim nöbeti, toprak koruma uygulamaları, bitki direncini artırıcı teknikler ile doğal dengeyi destekleyen faydalı böcek ve parazitlerin kullanımını teşvik etmektedir (Panday vd., 2024).

Organik tarım, toprak sağlığını, ekosistemi ve insan yaşamını korumayı amaçlayan; biyoçeşitliliği destekleyen, yenilenebilir kaynakların kullanımına öncelik veren ve yerel koşullara uyum sağlayarak organik girdileri esas alan bir üretim modeli olup, bu sistemde ürünlerin organik üretim esaslarına uygunluğunun doğrulanabilmesi için 'Organik' sertifikasına sahip olması zorunlu görülmekte ve söz konusu sertifikasyon süreci, üretimden işleme ve paketlemeye kadar tüm aşamaların organik tarım standartlarına uygun biçimde gerçekleştirildiğini güvence altına almaktadır (Khan vd., 2024).

Günümüzde organik tarım popülerlik kazansa da başlangıç noktası oldukça eskilere dayanmaktadır. Özellikle I. Dünya Savaşı sonrasında, gelişmiş ülkelerde artan kentleşme ve tarımsal endüstrileşme ile birlikte toprak, kimyasallara maruz kalmış, bu durum doğal üretim yöntemlerine olan talebi artırmıştır (Heckman, 2006). Organik tarım günümüzde ticari bir sistemde yerini aldığı için bazı ilkelere dayandırılarak standartları oluşturulmuştur (Altındaş vd., 2019). Bu ilke ve standartlar çerçevesinde hem insan sağlığına uygun üretilmektedir hem de biyoçeşitliliği ve toprağın sağlığını korumaktadır.

2.2. Agroekoloji

Agroekoloji, ekolojik ilkelerin tarım ve gıda sistemlerine uyarlanmasını temel alan kapsamlı bir yaklaşımdır. Bu model, doğayı ve biyoçeşitliliği koruyarak, yerel üretimi teşvik eden, sağlıklı, güvenli, adil ve kapsayıcı bir tarımsal ekosistem oluşturmayı amaçlar (Taşçıoğlu, 2024). Agroekoloji, tarımsal ürünlerin çevreyle olan ilişkisini inceleyen bir ana bilim dalıdır. Sadece günümüzü değil, gelecek nesillerin ve çevrenin sağlığını da gözetenek sürdürülebilir tarımı hedefler. Agroekoloji'nin dayandığı bazı unsurlar bulunmaktadır. BM-GTÖ'ye göre sıralanan bu unsurlar: çeşitlilik, sinerjiler, verimlilik, dirençlilik, geri dönüşüm, bilginin iş birliği içerisinde oluşturulup paylaşılması, insan ve sosyal değerler, kültür ve beslenme gelenekleri, sorumlu yönetim ile döngüsel ve dayanışmacı ekonomidir (BM-GTÖ, 2018). Bu unsurlar çerçevesinde ülkeler, gıda ve tarım sistemlerini dönüştürerek sürdürülebilir tarımı geniş ölçekte yaygınlaştırılabilir. Agroekolojik sistemler ve yaklaşımlar, politika yapıcılar, uygulayıcılar ve paydaşlar için yol gösterici bir çerçeve sunar (Boix-Fayos vd., 2023). Agroekoloji, doğal kaynakların etkin kullanımını teşvik ederek ekosistemleri daha verimli hale getirir. Özellikle güneş radyasyonu, atmosferik karbon ve nitrojen gibi bol ve ücretsiz doğal kaynaklardan maksimum düzeyde faydalanmayı hedefler (Han vd., 2024). Bu yaklaşım, biyolojik süreçleri destekleyerek besin sistemini ve suyun geri kazanımını sağlar. Böylece üreticiler, dış kaynaklara olan bağımlılıklarını azaltırken hem maliyetlerini düşürür hem de çevresel etkileri en aza indirir; çünkü doğal sistemlerle uyum içinde çalışan bir tarım modeli hem ekolojik dengeyi korur hem de uzun vadede üreticilerin ekonomik sürdürülebilirliğini güvence altına alır (BM-GTÖ, 2018).

2.3. Rejeneratif Tarım

Toprağın karbon tutma kapasitesini geliştirerek toprak sağlığını arttıran alternatif bir gıda üretim yaklaşımıdır. Çevresel ve sosyal etkileri azaltabileceği veya hatta olumlu katkılar sağlayabileceği öne sürülen rejeneratif tarım son dönemlerde çiftçiler, perakendeciler, bilim insanları, tüketiciler, karar alıcılar ve medya tarafından giderek artan bir ilgi görmektedir (Newton vd., 2020). Ancak, yaygın kullanıma rağmen "rejeneratif tarım" kavramının yasal veya düzenleyici açıdan net bir tanımı bulunmamakta olup, genel kabul gören ortak bir çerçeve de oluşturulmamıştır.

Rejeneratif tarım ile ilgili dört temel ilke toprağın güçlendirilmesi, bitki çeşitliliğinin maksimize edilmesi, hayvanların toprağa (otlamaya) geri döndürülmesi ve ekosistem ile biyoçeşitliliğin iyileştirilmesidir (Newton vd., 2020; Sharma vd., 2024). Rejeneratif tarıma geçiş sürecinde, kimyasal gübreler ve geleneksel uygulamaların bozduğu toprak yapısı nedeniyle verimlilikte geçici düşüşler yaşanabilir; ancak bu yöntem, havadaki karbonu toprakta depolayarak iklim değişikliğinin etkilerini azaltır ve besin değeri yüksek ürünlerin elde edilmesini sağlar (Han vd., 2024; Taşçıoğlu, 2024).

2.4. Dikey ve Kentsel Tarım

Dikey ve kentsel tarım, şehirlerde kaynak kullanımını optimize eden, kısıtlı kaynaklarla daha sürdürülebilir bir şekilde gıda üretmeyi sağlayan bir yöntemdir. Amaç, daha az alan kullanarak suyu daha verimli harcamak ve besinleri tekrar kullanabilmektir. Toprak yerine hidroponik veya akvaponik gibi sistemler kullanılarak bitkiler üst üste katmanlar halinde yetiştirilir (Datta vd., 2023). Kentsel ve yarı kentsel bölgelerde ekolojik dönüşümü desteklemek, gıda sistemlerinin dayanıklılığını artırmak ve beslenme güvenliğini sağlamak için önerilen yaklaşımlardan biridir. BM-GTÖ tarafından, Sürdürülebilir Kentsel Tarım ve Gıda Sistemleri için Küresel Ortaklık (SKTGS-KO) [Global Partnership on Sustainable Urban Agriculture and Food Systems, RUAF] ve Rikolto ile ortaklaşa hazırlanan rapora göre bu yaklaşım; kentsel, yarı kentsel ve kırsal alanlar arasındaki bağlantıları güçlendirerek sürdürülebilir ve dirençli gıda sistemlerinin oluşumunu teşvik eden bir model olarak tanımlanmaktadır (BM-GTÖ, SKTGS-KO & Rikolto, 2022).

Bununla birlikte, dikey ve kentsel tarımın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Yüksek kurulum ve işletme maliyetleri, enerji tüketimindeki artış nedeniyle sürdürülebilirlik açısından sorun yaratabilmekte; ayrıca bu yöntemin teknolojiye olan yüksek bağımlılığı, özellikle gelişmekte olan ülkeler için önemli bir engel oluşturmaktadır (Pylaniadis vd., 2021). Tablo 1'de Dikey ve Kentsel Tarım yöntemine ilişkin bazı faydalar ve sınırlılıklar paylaşılmaktadır.

Tablo 1: Kentsel ve Dikey Tarımın Faydaları ve Sınırlılıkları

<i>Faydalar</i>	<i>Sınırlılıklar</i>
<i>Yerel üretim</i>	Teknik bilgi gereksinimi
<i>Düşük taşıma maliyeti</i>	Yüksek enerji maliyeti
<i>Geri dönüşüm ve kompost kullanımı</i>	Ürün çeşitliliğinde sınırlama
<i>Su tasarrufu</i>	Yasal düzenlemeler ve yeterli alan
<i>Şehir içi erişilebilirlik</i>	Süreç geri dönüşü
<i>Topluluk dayanışması</i>	Su kalitesi veya erişimi
<i>Atık kullanımı</i>	

Yerel kaynakları ve ekolojiyi kullanması beslenme zincirine katkı sağlayabilir. Güneş enerjisini aktif kullanarak enerji tasarrufu sağlanabilir. Yağmur sularının depolanması ile su tasarrufu sağlanabilir. Bu tarım türü ulusal veya küresel çapta büyük bir fayda getirmese de bulunduğu bölgede özellikle deprem gibi olağanüstü durumlarda büyük faydalara sahiptir.

2.5. Dijital Tarım (Hassas Tarım)

IoT (Nesnelerin İnterneti), yapay zekâ ve veri analizleriyle su ve gübre yönetimini sağlayarak verimliliği, sürdürülebilirliği ve karlılığı arttırmayı amaçlayan teknolojik bir tarım türüdür. Bu sistem, sensörler, dronlar, uydular ve çeşitli teknolojiler aracılığıyla geniş çapta veri toplayıp analiz etmeye ve bu veriler doğrultusunda kararlar almaya dayanmaktadır (Sharma vd., 2024).

Dijital tarım uygulamaları, kaynakları daha verimli kullanmayı sağlayarak girdi maliyetlerini düşürmeye ve çevresel etkileri azaltmaya katkıda bulunur. Bu sayede, sürdürülebilir tarım hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynayabilir. Sürdürülebilir tarım yaklaşımlarına, özellikle rejeneratif tarıma geçişte dijital

araçlar kritik bir rol oynayabilir. Dijital teknolojiler, küçük ölçekli çiftçilerin bu yöntemlere daha kolay uyum sağlamasına destek olabilir (Sharma vd., 2024).

Dijital tarımın yaygınlaşmasında, teknoloji maliyetlerinin düşmesi, internet bağlantı hızlarının artması ve iş gücü maliyetlerindeki yükseliş gibi faktörlerin önemli rol oynayacağı düşünülmektedir. Bu alanda Şekil 1'de verildiği üzere Fasal, Precision Agriculture for Development (PAD), Trimble, Amazon Web Services (AWS), eXabit, Farm 2050, Hello Tractors, Jasper, Watson, Google, Microsoft, Dell ve Intel gibi birçok şirket dijital tarım teknolojileri ve çözümleri geliştirmekte ve uygulamaktadır (Sharma vd., 2024).



Şekil 1: Dijital Tarımda Etkili Olan Şirketler.

Ancak, küçük ölçekli çiftçilerin bu teknolojileri kullanamamaları, bilgi eksiklikleri ve finansal kaynak yetersizlikleri, dijital tarıma geçişi zorlaştırmakta ve süreci yavaşlatmaktadır. Birçok ülke ve hükümet, çiftçilerin dijital tarım teknolojilerine uyum sağlaması için gerekli politika ve eğitim programlarını geliştirme konusunda yeterince başarılı olamamışlardır (Boix-Fayos vd., 2023; Pylaniadis vd., 2021; Sharma vd., 2024). Özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde teknolojiye erişim sınırlıyken Hollanda, akıllı tarım uygulamalarında etik ve inovatif bir çerçeveye smart farming sistemlerini benimsemektedir (van der Burg vd., 2019). Singapur ise "30 by 30" hedefi doğrultusunda dikey tarım ve yapay zekâ-İoT entegrasyonu gibi teknolojileri, politika ve teşviklerle destekleyerek gıda sistemlerini dönüştürmeyi amaçlamaktadır (BM-GTÖ, RUAİ & Rikolto, 2022; Singapore Food Agency, 2020). Bu farklı uygulamalar, ülkelerin dijital tarım kapasitesine yönelik başarılarının ve eksikliklerinin net bir karşılaştırmasını sunmaktadır.

2.6. Permakültür

Sürdürülebilir tarım yöntemlerinin yanında doğanın işleyişini örnek alarak, ekolojik dengeyi koruyan ve sürdürülebilirliği esas alan bir diğer tarım ve arazi yönetim modeli de permakültür yöntemidir (Çakmakçı vd., 2023). Permakültür, kalıcı tarım anlamına gelen doğa ile uyumlu sürdürülebilir tarımı destekleyen bir tarım türüdür. Permakültür, toprağın ve suyun kalitesini artırmayı, arazi kullanımını ve zararlı yönetimini bütünlük bir şekilde ele almayı, ekin rotasyonunu teşvik etmeyi ve ekosistem çeşitliliğini desteklemeyi hedefleyen kapsamlı bir yaklaşımdır (McLennon vd., 2021). Bu yaklaşım, doğal ekosistemleri güçlendirerek sürdürülebilir geçim kaynakları oluşturmayı, toprak ve bitki sistemleri arasındaki dengeyi iyileştirmeyi ve dış kaynaklara olan ihtiyacı en aza indirmeyi hedeflemektedir. Permakültür, agroekoloji, organik tarım ve rejeneratif tarım ile sürekli ilişkilidir. Yağmur suyu hasadı, balkon ve şehir bahçeciliği, toprağı zenginleştirme ve gıda ormanları gibi uygulamaları bulunmaktadır.

3. Küresel İklim Değişikliği Bağlamında Değerlendirme

Yirmi birinci yüzyılın en temel problemlerinden biri olan küresel iklim değişikliği, tarım açısından çok sayıda somut riski gündeme getirmektedir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nin (HİDP)

[Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC] güncel verilerine göre, 2014–2023 döneminde insan faaliyetlerinden kaynaklanan küresel ısınma ortalama 1.19 °C, 2023 yılı özelinde ise 1.31 °C olarak ölçülmüştür (Forster vd., 2024). Bu artış, şiddetli yağışlar, kuraklık, sıcak hava dalgaları, deniz seviyesi yükselmesi ve seller gibi ekstrem hava olaylarının sıklığını ve şiddetini artırmaktadır (HİDP, 2023). Dünya Ekonomik Forumu (DEF) [World Economic Forum, WEF] tarafından yayımlanan *Doğa ve İklim Durumu 2025* [State of Nature and Climate 2025] raporuna göre 2023 yılı sanayi öncesi ortalamaya kıyasla 1.54 °C ile rekor seviyede sıcaklık artışı göstermiştir ve aşırı hava olayları uzun vadede en büyük küresel risk olarak tanımlanmıştır (DEF, 2025).

BM-GTÖ'nün Dünya Toprak Kaynaklarının Durumu (*Status of the World's Soil Resources*) raporuna göre dünyada her yıl yaklaşık 75 milyar ton verimli toprak erozyon nedeniyle kaybedilmektedir (BM-GTÖ, 2015). BM-GTÖ'nün güncel değerlendirmelerinde bu kayıp 24 milyar ton düzeyinde ifade edilmektedir (BM-GTÖ, 2022). Toprak bozulmaları ve erozyon, gıda üretimini doğrudan tehdit etmekte olup, Dünya Bankası'nın (DB) [World Bank] uzun vadeli projeksiyonlarına göre 2050 yılına kadar küresel tarımsal üretimde %10'a varan azalmalar ve ortalama kalori kayıplarında %6'lık düşüş beklenmektedir (DB, 2023).

Bu bulgular, tarımsal üretimdeki azalma ve su kaynaklarının kalitesindeki bozulmaların yalnızca gözlemsel değil, aynı zamanda sayısal olarak da belgelenmiş olduğunu ortaya koymaktadır (Boix-Fayos vd., 2023; Han vd., 2024; Srivastav vd., 2021).

Tablo 2'de, iklim değişikliğiyle mücadelede öne çıkan altı farklı tarım yöntemlerini: rejeneratif tarım, agroekoloji, organik tarım, dikey-kentsel tarım, permakültür ve dijital tarımı çok boyutlu kriterler üzerinden karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Her bir yöntemin tanımı, iklim değişikliğiyle mücadeledeki katkısı, karbon emisyonları ve sekestrasyonu, biyoçeşitlilik desteği, su yönetimi ve teknolojik yeniliklerle ilişkisi değerlendirilmektedir. Burada, sürdürülebilir tarıma yönelik farklı yaklaşımların çevresel etkileri kıyaslanarak iklim krizi karşısında etkili çözüm önerilerinin görünür kılınması amaçlanmaktadır (Boix-Fayos vd., 2023; Boz, 2021; Gençler, 2009; Gündüz, 2024; Han vd., 2024; Meemken vd., 2018; Newton vd., 2020; Pylianidis vd., 2021; Srivastav, 2021).

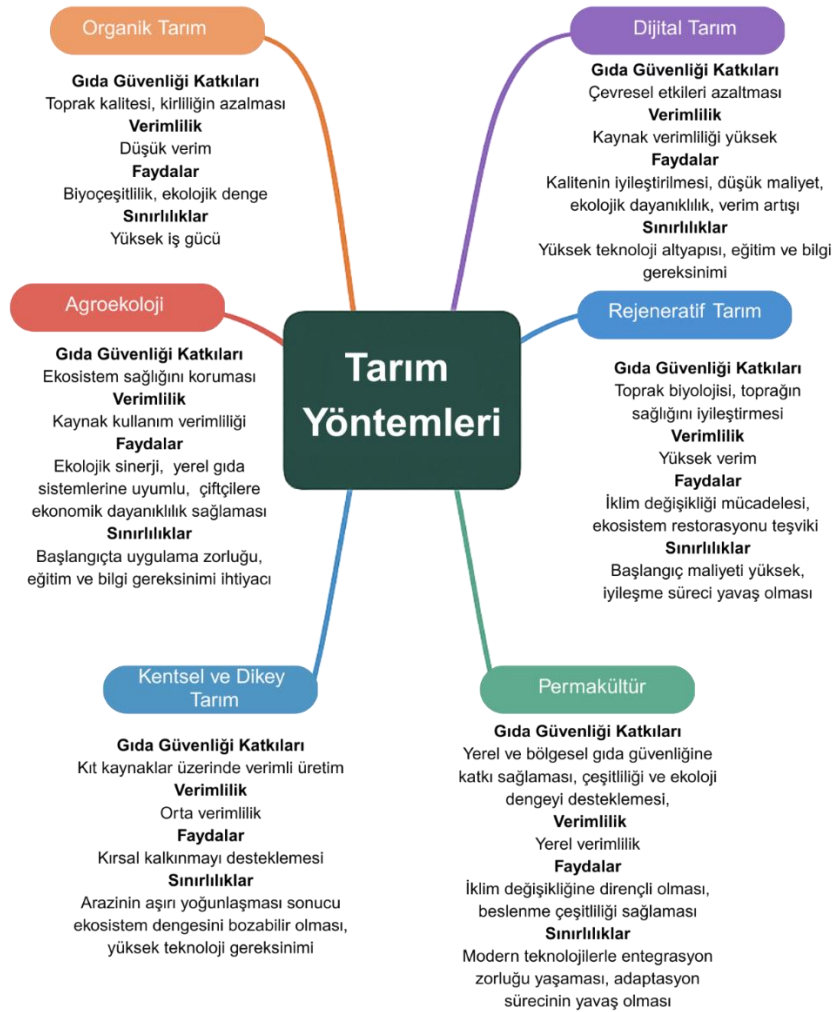
Küresel iklim değişikliğinin tarım üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için yalnızca yerel ölçekli çözümler yeterli olmamaktadır. Bu noktada küresel iş birlikleri ve uluslararası politika çerçeveleri kritik bir rol üstlenmesi beklenmektedir. BM-GTÖ, IPCC ve Dünya Bankası gibi kuruluşlar, üye ülkelerle birlikte iklim değişikliğiyle mücadelede sürdürülebilir tarım yöntemlerini destekleyen yol haritaları geliştirmektedir (BM-GTÖ, 2014; DB, 2023; IPCC, 2023). Özellikle BM-GTÖ'nün agroekolojiye ilişkin çalışmaları, biyoçeşitliliği korumak ve gıda güvenliğini artırmak için bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır (BM-GTÖ, 2018). AB'nin Ortak Tarım Politikası çevresel hedeflerle uyumlu olacak şekilde yeniden yapılandırılmakta ve karbon nötr tarım uygulamalarını teşvik etmektedir (Pe'er vd., 2020). Benzer şekilde, Dünya Ekonomik Forumu'nun *Doğa ve İklim Durumu* [State of Nature and Climate] 2025 raporu, uluslararası düzeyde iş birliği yapılmadığı takdirde aşırı hava olaylarının küresel ekonomi ve gıda güvenliği açısından en büyük risk olmaya devam edeceğini vurgulamaktadır (DEF, 2025). Bu bağlamda, sürdürülebilir tarım politikalarının güçlendirilmesi, bilgi paylaşımı ve uluslararası ortaklıkların artırılması, iklim değişikliği karşısında tarım sistemlerinin dayanıklılığını artırmak için kaçınılmazdır.

Yöntem	Tanım	İklim Değişikliği İle Mücadelede Yöntemler	Karbon Emisyonları ve Karbon Sekestrasyonu	Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Desteği	Sürdürülebilirlik ve Su Yönetimi	Teknolojik ve Yenilikçi Yöntemler
Rejeneratif Tarım	Doğal kaynakları iyileştirme ve sürdürülebilir tarım uygulamaları	Toprak sağlığını iyileştirir, karbon sekestrasyonunu artırır, biyoçeşitliliği destekler	Toprakta karbon depolama ve emisyon azaltma yöntemleri kullanılır (no-till, kompost)	Ekosistem hizmetlerini iyileştirir, biyoçeşitliliği artırır	Su yönetimi ve su tutma kapasitesini artırma, doğal sulama sistemleri	Doğal ekosistemlerle uyumlu, yerel bilgiye dayalı uygulamalar
Agroekoloji	Tarımı ekolojik ilkelerle uyumlu hale getiren bir sistem yaklaşımı	Kimyasal kullanımı azaltır, biyolojik çeşitliliği artırır, yerel ve ekosistem temelli çözümler	Toprakta karbon tutulumunu artırarak uzun vadeli karbon depolama	Polikültür, agroforestri ve toprak sağlığını korur	Suyu verimli kullanma, sulama teknikleri, yerel su yönetimi	Yerel bilgiye dayalı, düşük teknoloji, doğal ekosistemlerle uyumlu
Organik Tarım	Kimyasal girdilerden kaçınarak doğal yöntemlerle tarım yapma	Kimyasal gübre ve pestisit kullanımını yasaklar, doğal gübrelerle toprak sağlığını korur	Karbon emisyonları azaltılır, toprak organik maddesi artırılır	Biyoçeşitlilik, ekosistem dengesi korunur	Suyu verimli kullanma, doğal gübre kullanımı, sulama yönetimi	Organik sertifikasyon ve standartlara dayalı sistemler
Dikey ve Kentsel Tarım	Şehir içi alanlarda dikey olarak yapılan tarım uygulamaları	Kentsel alanlarda tarıma olanak tanır, karbon ayak izini azaltır, gıda tedarik zincirini kısaltır	Gıda üretiminde enerji verimliliği artırılır, ulaşım emisyonları azaltılır	Biyoçeşitliliği kısıtlıdır, ancak yerel gıda üretimi sağlanır	Su verimliliği artırılır, kapalı sistemlerde su yönetimi yapılır	Akıllı sulama ve büyüme sistemleri, sensörler kullanılır
Permakültür	Doğal ekosistemlerden ilham alarak sürdürülebilir tarım ve yaşam tasarımı	Doğal kaynakları iyileştirme, toprak ve suyun korunması, karbon emisyonları azaltma	Toprak sağlığını iyileştirir ve doğal karbon depolama süreçlerini destekler	Doğal biyoçeşitliliği artırır, ekosistem hizmetlerini destekler	Su toplama, sulama ve su yönetimi, yerel ekosistemle uyumlu	Doğal yöntemlerle tasarım ve sistem kurulumu, düşük teknoloji
Dijital Tarım	Tarımda dijital teknolojilerin kullanımı (IoT, yapay zekâ, veri analizi)	Karbon emisyonlarını izlemek, verimliliği artırmak, su ve enerji kullanımını optimize etmek	Verimlilik artışı ve enerji tasarrufu sağlanarak dolaylı olarak emisyonlar azalır	Biyoçeşitliliği korumaya yönelik sistemlerin geliştirilmesi	Su yönetimi ve sulama sistemleri optimize edilir, verimli kullanılır	Akıllı cihazlar, IoT, sensörler, yapay zekâ ile tarımda optimizasyon

Tablo 2: Sürdürülebilir Tarım Yöntemlerinin İklim Değişikliği Bağlamında Değerlendirilmesi

4. Gıda Güvenliği ve Verimlilik Açısından Değerlendirme

Sürdürülebilir tarımın ana hedeflerinden biri, küresel gıda talebinin artışını karşılamak ve gıda güvenliğini temin etmektir (Pineiro vd., 2020). Aşağıdaki şekilde, farklı tarım yöntemlerinin gıda güvenliğine katkıları, çevresel etkileri, ekonomik sürdürülebilirlikleri ve karşılaştıkları zorluklar karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir. Her bir yaklaşımın güçlü yönleri kadar sınırlılıkları da vurgulanarak uygulama alanlarına göre değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Organik, agroekolojik ve rejeneratif tarım sistemleri daha çok ekosistem sağlığına odaklanırken; dijital, dikey ve kentsel tarım gibi yenilikçi yöntemler teknolojik verimlilik ve alan optimizasyonu sağlamaktadır. Geleneksel tarım ise yerel bilgi ve iklim direnci açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte her yöntemin farklı ölçeklerde maliyet, bilgi ve altyapı gereksinimleri olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 2 ile sunulmaya çalışılan bu karşılaştırma tarım politikalarının planlanmasında ve sürdürülebilir üretim stratejilerinin geliştirilmesinde yol gösterici olabilir (BM-GTÖ, RUAF & Rikolto, 2022; Boix-Fayos vd., 2023; Datta vd., 2023; Kanter vd., 2016; Meemken vd., 2018; Olde vd., 2016; Pineiro vd., 2020; Pylianidis vd., 2021; Saikanth vd., 2023).



Şekil 2: Sürdürülebilir Tarım Yöntemlerinin Gıda Güvenliği ve Verimlilik Açısından Değerlendirilmesi

5. Sürdürülebilir Tarımın Biyolojik Çeşitliliğe Etkisi

Modern tarım uygulamaları ve doğal yaşam yapısının yok edilmesi, yönetim biyoçeşitliliğinin kurulmasına yol açtığı söylenebilir. Bu durum, küresel ölçekte biyoçeşitlilik kaybının kapsamlı sebeplerinden biri olarak gıda üretimi ile ilişkilendirilebilir. Özellikle 1980'li yıllardan sonra Türkiye'de serbest piyasa düzeninin hâkim olması ve ithalat üzerindeki devlet tekelinin ile mısır, ayçiçeği gibi bazı ürünlerde piyasaya sürülmesinin arttırılması gözlemlenmiştir (Şahin, 2019). Bu değişiklikler, yerel tarımsal çeşitliliğin oluşumuna neden olmuş olabilir. Bunun yanı sıra, tek tip ürün özellikleri ve kimyasal grupların aşırı kullanımı ve biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkilenebilir. Örneğin, bu kimyasalların korunan kuş türleri ve sürüngenler gibi bazı hayvan gruplarının yaşam alanlarını tehdit altına almaktadır.

Sürdürülebilir tarım, biyoçeşitliliği koruma ve artırma hedefiyle çeşitli yaklaşımları benimser. Agroekoloji, organik ve rejeneratif tarım gibi yöntemler, doğal süreçleri destekleyerek toprak sağlığını iyileştirir ve tür çeşitliliğini artırır (Boix-Fayos vd., 2023; Meemken vd., 2018). Ancak, İyi Tarım Uygulamalarının (İTU) biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri, uygulama şekline ve bölgesel koşullara göre değişiklik gösterebilir. Bu uygulamalar, çeşitlendirilmiş çiftçilik ve ürün rotasyonu, agroforestri, sentetik girdi azaltımıdır (Leblebici, 2010).

Sürdürülebilir tarımın biyolojik çeşitlilik bakımından önemini değerlendirirsek, girdi bağımlılığını azaltarak çiftçilere ekonomik fayda sağlayabilir, uygulamaların yerel koşullara uyarlanması ve çiftçilere destek sağlayabilir, toprak sağlığını iyileştirir, su kaynaklarını korur ve iklim değişikliğiyle mücadelede katkıda bulunabilir.

6. Su Kaynaklarının Korunması

Tarımda su kaynaklarının etkin kullanımı, özellikle kurak bölgeler için büyük bir önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, sürdürülebilir sulama sistemleri ve düşük su tüketimli tarım yöntemleri, suyun verimli şekilde yönetilmesine yardımcı olmaktadır. Damla sulama, geleneksel sulama yöntemlerine kıyasla daha az su kullanarak bitki köklerine doğrudan su ulaştırır ve böylece buharlaşma ile yüzey akışını en aza indirir (McLennan vd., 2021). Yapılan araştırmalar, bu yöntemin %30 ila %60 oranında su tasarrufu sağlayabildiğini göstermektedir. Öte yandan, yağmur suyu toplama sistemleri, özellikle su sıkıntısı çeken bölgelerde tarımsal sulamaya önemli bir katkı sunmaktadır. Hindistan ve Tunus gibi ülkelerde bu yöntemin yeraltı suyu kullanımını azalttığı ve su güvenliğini sağladığı belirtilmiştir (Srivastav vd., 2021). Ayrıca, güneş panellerinin temizlenmesi sırasında ortaya çıkan atık suyun tarımsal sulamada yeniden kullanılması da değerlendirilebilecek alternatiflerden biridir.

Kurak bölgelerde suyun verimli kullanımını sağlayan bir diğer yöntem ise agroekoloji uygulamalarıdır. Doğal kaynakları korumaya odaklanan bu yaklaşım, özellikle küçük ölçekli çiftçilerin sürdürülebilir tarım yapmasına olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, agrofotovoltaik sistemler, tarımsal üretim ile yenilenebilir enerjiyi birleştirerek güneş panellerinin sağladığı gölge etkisiyle bitkilerin su kaybını azaltabilir ve sulama verimliliğini artırabilir (Weselek vd., 2019). Bazı araştırmalar, bu sistemlerin toprak nemini koruyarak tarımsal verimi olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Aynı şekilde, toprakta nemin korunmasına katkı sağlayan örtü bitkileri hem erozyonu önlemekte hem de yabancı otların yayılmasını engelleyerek suyun daha etkili kullanılmasına yardımcı olmaktadır (Taşçıoğlu, 2024). Mikro sulama yöntemleri ise suyun yalnızca ihtiyaç duyulan alanlara yönlendirilmesini sağlayarak su tasarrufunu artırırken, aynı zamanda toprak tuzluluğunu ve nitrat seviyelerini kontrol altına almayı mümkün kılmaktadır (Srivastav vd., 2021).

Sürdürülebilir tarım uygulamalarının su ayak izini en aza indirmesi için çeşitli stratejiler geliştirilmektedir. Damla sulama ve mikro sulama sistemleri, yağmur suyu toplama, agrofotovoltaik sistemlerin kullanımı, örtü bitkileriyle toprağın nem dengesinin korunması, su tasarrufu sağlayan pirinç yetiştirme yöntemleri gibi uygulamalar, tarımda su kullanımını optimize eden başlıca yaklaşımlar arasındadır (Weselek vd., 2019). Ayrıca, toprak işleme tekniklerinin suyu daha iyi tutacak şekilde düzenlenmesi ve kuraklığa dayanıklı bitki türlerinin tercih edilmesi de su kaynaklarının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Mikrobiyal inokulantlar gibi biyoteknolojik çözümler, bitkilerin besin kullanım verimliliğini artırarak tarımsal üretimin daha sürdürülebilir hale gelmesini sağlamaktadır (Datta vd., 2023). Ancak, bu yöntemlerin her bölgede aynı düzeyde etkili olmayacağı unutulmamalıdır. Yerel iklim ve toprak koşullarına göre en uygun stratejilerin belirlenmesi, su kaynaklarının korunması ve tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

7. Sonuç ve Öneriler

Sürdürülebilir tarım, ekolojik dengeyi koruyarak gıda güvenliğini sağlamanın, doğal kaynakları verimli kullanmanın ve gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakmanın temel yollarından biri olarak öne çıkmaktadır. İklim değişikliği, su kıtlığı, biyoçeşitlilik kaybı ve artan nüfus baskısı, geleneksel tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğini zorlamakta ve yeni yaklaşımları zorunlu kılmaktadır (BM-GTÖ, 2022; IPCC, 2023). Bu bağlamda, organik tarım, agroekoloji, rejeneratif tarım, dikey tarım ve dijital tarım gibi yenilikçi yöntemler, doğa temelli çözümler ve teknoloji destekli uygulamalar aracılığıyla tarımın çevresel etkilerini azaltma potansiyeline sahiptir.

Gelecekte tarımın şekillenmesinde, yeşil mutabakatlar ve karbon nötr tarım hedefleri belirleyici olacaktır. Bu hedefler, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını, bozulan ekosistemlerin onarılmasını ve tarımsal üretimde çevresel uyumun artırılmasını gerektirmektedir (Bless vd., 2023; Sharma vd., 2024). Aynı zamanda yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği ve robotik sistemler gibi dijital

teknolojilerin tarıma entegrasyonu hem kaynak verimliliğini artıracak hem de gıda sistemlerinin dirençliliğini güçlendirecektir (Lei vd., 2025; Varzaru, 2025).

Bu dönüşüm sürecinde, yalnızca teknolojik yenilikler değil, aynı zamanda güçlü politikalar ve küresel iş birliklerinin de kritik önemde olduğu ifade edilebilir. BM-GTÖ, Ortak Tarım Politikası ve benzeri girişimler, ülkelerin sürdürülebilir tarım hedeflerine ulaşmalarını destekleyici bir çerçeve sunmaktadır (BM-GTÖ, 2018; Pe'er vd., 2020). Ancak düşük ve orta gelirli ülkelerde kapasite eksiklikleri, eğitim yetersizlikleri ve finansal kısıtlar, tarımsal dönüşümün önünde önemli engeller oluşturmaktadır. Bu nedenle uluslararası iş birlikleri, bilgi paylaşımı ve teknoloji transferi yoluyla bu eşitsizliklerin giderilmesi önem arz etmektedir (Dai vd., 2024).

Sonuç olarak, sürdürülebilir tarım uygulamalarına geçişin bir seçenek değil, küresel bir zorunluluk olduğu ifade edilebilir. Bilimsel araştırmalar, yenilikçi teknolojiler ve politika destekleri ile bu dönüşüm hızlandırılmalıdır. Tarımın geleceğinin, sadece yüksek verimlilik hedefiyle değil; aynı zamanda ekosistemlerin korunması, biyoçeşitliliğin artırılması ve doğayla uyumlu üretim modellerinin geliştirilmesiyle şekilleneceği düşünülmektedir. Bu yaklaşım hem günümüz toplumlarının ihtiyaçlarını karşılayacak hem de gelecek nesillere güvenli, adil ve sürdürülebilir bir gıda sistemi bırakılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Altındaş, D., & Ayla, D. (2019). Organik üretim ve pazarlama sorunları üzerine bir değerlendirme. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4), 7-17. <https://doi.org/10.21180/kuiibf.2017434551>
- Bless, A., Davilla, F., & Plant, R. (2023). A genealogy of sustainable agriculture narratives: Implications for the transformative potential of regenerative agriculture. *Agriculture and Human Values*, 40, 1379–1397. <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10444-4>
- BM-GTÖ, Rikolto & RUAFA (2022). Urban and peri-urban agriculture sourcebook: From production to food systems. <https://doi.org/10.4060/cb9722en>
- Boix-Fayos C., Vente JD. (2023). Challenges and potential pathways towards sustainable agriculture within the European Green Deal. *Agricultural Systems* 207 (2023) 103634. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103634>
- Boz, İ., & Kılıç, O. (2021). Türkiye’de organik tarımın gelişmesi için alınması gereken önlemler. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 390-400. <https://doi.org/10.19159/tutad.980688>
- Çakmakçı, R., Salık, M. A., & Çakmakçı, S. (2023). Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. *Agriculture*, 13(5), 1073. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073>
- Dai, Z., Wang, Q., Jinag, J., & Lu, Y. (2024). Influence of university agricultural technology extension on efficient and sustainable agriculture. *Scientific Reports*, 14, 4874. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55641-1>
- Datta, S., Hamim, İ., Jaiswal, K. D., & Sungthong, R. (2023). Sustainable agriculture. *BMC Plant Biology*, 23, 588. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04626-9>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (BM-GTÖ). (2014). *Building a common vision for sustainable food and agriculture*. <https://openknowledge.BM-GTÖ.org/server/api/core/bitstreams/cd7ebb4f-da7c-474d-83df-b5cc224d2ff8/content>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (BM-GTÖ). (2018). *The 10 elements of agroecology guiding the transition to sustainable food and agricultural systems*. <https://openknowledge.BM-GTÖ.org/server/api/core/bitstreams/3d7778b3-8fba-4a32-8d13-f21dd5ef31cf/content>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *Status of the world’s soil resources (SWSR) – Main report*. BM-GTÖ. <http://www.BM-GTÖ.org/3/i5199e/i5199e.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Action against desertification: Desertification and land degradation overview*. BM-GTÖ. <https://www.BM-GTÖ.org/in-action/action-against-desertification/overview/desertification-and-land-degradation/en/>
- Forster, P. M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hall, B., ... Zhai, P. (2024). Indicators of global climate change 2023: Annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, 16(6), 2625–2658. <https://doi.org/10.5194/essd-16-2625-2024>
- Gençler, F. F. (2009). *AB ve Türkiye’de sürdürülebilir tarım uygulamalarının incelenmesi ve Türkiye’de sürdürülebilir tarıma yönelik politikaların geliştirilmesi üzerine bir araştırma: Zeytin örneği* [Doktora tezi, Ege Üniversitesi].
- Gündüz, E. (2024). *Çiftçilerin sürdürülebilir tarım uygulamalarını benimsemenin önündeki engeller: Ödemiş ilçesi örneği* [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi].
- Han G., Xu J., Zhang X., Pan X. (2024). Efficiency and Driving Factors of Agricultural Carbon Emissions: A Study in Chinese State Farms. *Agriculture* 14(2024) 1454. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091454>
- Heckman, J. (2006). *A history of organic farming: Transitions from Sir Albert Howard’s War in the Soil to USDA National Organic Program*. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 21(3), 143–150. <https://doi.org/10.1079/RAF2005126>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, H. Lee, & J. Romero, Eds.). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Kanter D.R., Musumba M, Wood S.L.R., Palm C., Antle J., Balvanera P., Dale V.H., Havlik P., Kline K.L., Scholes R.J., Thornton P., Tittone P., Andelman S., (2016). Evaluating agricultural trade-offs in the age of sustainable development. *Agricultural Systems*, AGSY-02180; No of Pages 16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.010>
- Khan, M.T.; Aleinikoviene, J.; Butkeviciene, L.-M. Innovative Organic Fertilizers and Cover Crops: Perspectives for Sustainable Agriculture in the Era of Climate Change and Organic Agriculture. *Agronomy* 2024, 14, 2871. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122871>

- Leblebici, Ö. (2010). Küresel değer zincirleri ve iyi tarım uygulamaları. *Memleket Siyaset Yönetim*, 5(14), 37-63. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/msydergi/issue/75927/1254204>
- Lei, J., Xie, Y., Chen, Y., Zhong, T., Lin, Y., Wang, M. (2025). The Transformation of Peri-Urban Agriculture and Its Implications for Urban–Rural Integration Under the Influence of Digital Technology. *Land* 14/375. <https://doi.org/10.3390/land14020375>
- McLennon E., Dari, B., Jha, G., Sihi D., Kankarla V. (2021). Regenerative Agriculture and Integrative Permaculture for Sustainable and Technology Driven Global Food Production and Security. *Agronomy Journal* 113/6 (4541-4559). doi:10.1002/agj2.20814.
- Meemken E.M., Qaim M., (2018). Organic Agriculture, Food Security, and the Environment. *Annual Review of Resource Economics* 10/39 (63). <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023252>
- Newton, P., Civita, N., Goldwater, L. F., Bartel, K., & Johns, C. (2020). What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723>
- Olde, E. M., Oudshoorn, F. W., Bokkers, E. A. M., Stubsgaard, A., Sorensen, C. A. D., & Boer, İ. J. M. (2016). Assessing the sustainability performance of organic farms in Denmark. *Sustainability*, 8(9), 957. <https://doi.org/10.3390/su8090957>
- Panday, D.; Bhusal, N.; Das, S.; Ghalehgalabbabhani, A. Rooted in Nature: The Rise, Challenges, and Potential of Organic Farming and Fertilizers in Agroecosystems. *Sustainability* 2024, 16, 1530. <https://doi.org/10.3390/su16041530>
- Pe'er, G., Bonn, A., Bruelheide, H., Dieker, P., Eisenhauer, N., Feindt, P. H., Hagedorn, G., Hansjürgens, B., Herzon, I., Lomba, A., Marquard, E., Moreira, F., Nitsch, H., Oppermann, R., Perino, A., Röder, N., Schleyer, C., Schindler, S., Wolf, C., & Lakner, S. (2020). Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges. *People and Nature*, 7(1), 45-60. <https://doi.org/10.1002/pan.12345>
- Pineiro, V., Arias, J., Dürr, J., Elverdin, P., Ibáñez, A. M., Kinengyere, A., Opazo, C. M., Owoo, N., Page, J. R., Prager, S. D., & Torero, M. (2020). A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. *Nature Sustainability*, 3, 809–820. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00617-y>
- Pylaniadis C., Osinga S., Athanasiadis N.L., (2021). Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 184 (2021) 105942. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105942>
- Saikanth, D. R. K., Gupta, K., Srivastava, P., Saryam, M., Rani, K. S., Jena, P., & Rout, S. (2023). Environmental sustainability and food security of traditional agricultural practices in India: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(8), 1847-1856. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i82138>
- Sharma, C., Pathak, P., Kumar, A., & Gautam, S. (2024). Sustainable regenerative agriculture allied with digital agri-technologies and future perspectives for transforming Indian agriculture. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 30409–30444. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05231-y>
- Singapore Food Agency (2020). Levelling up Singapore's food supply resilience. Food for Thought. Singapore Food Agency. Available online at: <https://www.sfa.gov.sg/food-for-thought/article/detail/levelling-up-singapore-s-food-supply-resilience>(accessed January 22, 2021).
- Srivastav, A. L., Dhyani, R., Ranjan, M., Madhav, S., & Sillanpää, M. (2021). Climate-resilient strategies for sustainable management of water resources and agriculture. *Springer Nature*, 28, 41576–41595. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14332-4>
- Şahin, S. Ş. (2019). 18. yüzyıldan günümüze sosyoloji bağlamında Ortadoğu tarım politikaları: Biga örneği [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi].
- Taşçıoğlu, B. M. (2024). İklim değişikliğiyle mücadele ve uyum çerçevesinde sürdürülebilir tarım uygulamaları ve agroekoloji [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi].
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). *Paris Agreement*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf
- van der Burg, S., Bogaardt, M. J., & Wolfert, S. (2019). Ethics of smart farming: Current questions and directions for responsible innovation towards the future. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100289. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.01.001>
- Varzaru, A.A., (2025). Digital Revolution in Agriculture: Using Predictive Models to Enhance Agricultural Performance Through Digital Technology. *Agriculture*, 15/258. <https://doi.org/10.3390/agriculture15030258>

Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: Applications, challenges and opportunities. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(35), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>

World Bank. (2023). *The impact of climate change on agriculture: Long-term projections*. World Bank Publications. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/dc068d26-d263-53c3-aec0-2e024594bc38>