

İklim Değişikliği Bağlamında Su Kıtlığı ve Küresel Gıda Krizi



MUZAFFER SALİH ERTAN*

Elektrik Mühendisi
Yenilenebilir Enerji Uzmanı

**Biyokütleden Enerji ve Biyoyakıt konularında faaliyet gösteren elektrik mühendisi. Enerji ve çevre konularında muhtelif çalışmaları bulunuyor. Geçmişte, araştırmacı olarak, Türkiye'yi çevreleyen denizlerde yürütölen çok sayıda projede görev aldı. Denizlerdeki hidrokarbon kaynaklarının araştırılması, deniz altı doğalgaz boru hatlarının muayene çalışmaları, özellikle Karadeniz'de yürütölen sığ ve derin sismik çalışmalarıyla, Akdeniz'de BM-UNEP adına yürütölen MEDPOL Projesi, katkıda bulunduğu projeler arasındadır. İçme suyu şebekelerinde muhtelif hasarlardan kaynaklı fiziksel kayıpların, hasarsız muayene yöntemleriyle saptanması konusunda çalıştı. Yurt içi ve dışında birçok STK çatısı altında faaliyet yürüten enerji çalışma gruplarında çalışmalar yaptı. Enerji Sanayicileri ve İş Adamları Derneęinin kurucuları arasında yer aldı. Yer aldığı STK'lar bünyesindeki çalışmaları halen devam etmektedir.*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8659-7165>

e-posta: salih.ertan@gmail.com

Geliş Tarihi: 17.09.2025

Kabul Tarihi: 01.11.2025

Atf: Ertan, S. (2025). İklim Değişikliği Bağlamında Su Kıtlığı ve Küresel Gıda Krizi. *BRIQ Kuşak ve Yol Giriřimi Dergisi*, 7(1), 23-46.



ÖZ

İklim değişikliği, günümüzde en acil ve yaşamsal öneme sahip bulunan küresel ölçekte bir tehdit olarak ortaya çıkmış olup, çevresel sistemler, ekonomik yapılar ve sosyal istikrar üzerinde derin etkiler yaratmaktadır. En ağır sonuçları arasında, toplulukları istikrarsızlaştırma ve dünya çapında eşitsizlikleri büsbütün arttırma tehdidi taşıyan, birbiriyle yakın bağlantılı olan, su kıtlığı ve gıda güvensizliği krizleri yer almaktadır. Bu çalışmada, iklim değişikliği, su kaynakları ve gıda güvencesi arasındaki çok boyutlu ilişkiyi ve karmaşık bağı incelenmekte; iklim değişikliğinin hidrolojik döngüleri, tarımsal verimliliği ve küresel tedarik zincirlerini nasıl bozduğuna dair mekanizmalar ele alınmaktadır. Güncel ampirik çalışmalardan, politika çerçevelerinden ve disiplinler arası bir perspektiften yararlanarak makale, kurak ve yarı kurak bölgelerin, gelişmekte olan ülkelerin ve küçük ölçekli çiftçilerin artan kırılganlığını ele almaktadır. Biyolojik ve fiziksel etkilerin ötesinde, kaynaklar için artan rekabet, nüfus yer değiştirmesi, politik istikrarsızlık ve gibi boyutlar da detaylandırılmaktadır. Makale, bütünleşmiş su kaynakları yönetimi, iklim değişikliği etkilerine dirençli akıllı tarımın (CSA) benimsenmesi, sürdürülebilir beslenme değişiklikleri ve eşitliği, iklim adaletini önceliklendiren sağlam politika çerçevelerine acil ihtiyacı vurguladıktan sonra, iklim değişikliği etkilerini giderici önlem ve araçlara değinilerek sonuçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: gıda güvencesi, iklim akıllı tarım, iklim değişikliği, su güvenliği, sürdürülebilir kalkınma.

Water Scarcity and the Global Food Crisis in the Context of Climate Change

ABSTRACT

Climate change has emerged as the most urgent and vitally important global challenge of the twenty-first century, profoundly impacting environmental systems, economic structures, and social stability. Among its most severe consequences are the closely interconnected water scarcity and food insecurity crises, which threaten to destabilize communities and profoundly exacerbate inequalities worldwide. This study examines the multidimensional relationship and complex nexus between climate change, water resources, and food security; it addresses the mechanisms through which climate change disrupts hydrological cycles, agricultural productivity, and global supply chains. Drawing on current empirical studies, policy frameworks, and an interdisciplinary perspective, the article discusses the increasing vulnerability of arid and semi-arid regions, developing countries, and small-scale farmers. Beyond biological and physical impacts, dimensions such as increased resource competition, population displacement, and political instability are also detailed. After emphasizing the urgent need for integrated water resources management, adopting climate-smart agriculture (CSA), sustainable dietary changes, and robust policy frameworks that prioritize equity and climate justice, the article concludes by addressing measures and tools to mitigate the effects of climate change.

Keywords: climate change, climate-smart agriculture, food security, sustainable development, water security.

Giriş

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, EKO-SİSTEM, ULUSAL ekonomiler ve toplumsal yaşam için geniş kapsamlı sonuçları olan devasa sorunlar ortaya koymaktadır. Küresel topluluk, benzersiz ölçekte bir paradoksla karşı karşıya bulunuyor: Küresel tarımsal üretim zirve yaparken, akut gıda güvensizliği yaşayan insan sayısı artmaya devam etmekte ve ayrıca iki milyardan fazla insan yüksek su baskısı yaşayan ülkelerde yaşamaktadır (FAO, 2018; UNICEF, 2020). Sürekli artış gösteren küresel sıcaklıklar, giderek daha düzensiz hale gelen yağış rejimi ve aşırı hava olayları en görünür göstergeler arasında yer alırken, daha az görünür ancak eşit derecede kritik olan sonuçlar, su kıtlığı ve gıda güvensizliği alanlarında yatmaktadır.

Su ve gıda güvenliği, insan refahı, ekonomik istikrar ve küresel barışın temel taşlarıdır. İklim değişikliği ise nüfus artışı, toprak kalitesinde bozulma ve doğal kaynak israfı gibi mevcut baskıları katlanarak şiddetlendiren bir “tehdit çarpanı” (threat multiplier) olarak işlev görmektedir. İklim değişikliği, daha önce de var olan kırılganlıkları şiddetlendirerek, tehlikeli geri besleme döngüleri yaratmaktadır.

Dünya Meteoroloji Örgütü (2021), son 50 yılda hava ve iklim kaynaklı afetlerin sayısının beş kat arttığını bildirmektedir. Bu istatistiksel

veri, iklim değişikliğinin temel insani güvenlik alanları üzerindeki yıkıcı etkisini gözler önüne sermektedir. 2022’de Amazon yağmur ormanlarını ve Avrupa’nın tarımsal alanlarını kasıp kavuran benzeri görülmemiş kuraklıklar, değişen iklimin beslediği, iç içe geçmiş su ve gıda krizlerinin sadece bir ön göstergesidir.

Su ve gıda güvenliği, insan refahı, ekonomik istikrar ve küresel barışın temel taşlarıdır. İklim değişikliği ise nüfus artışı, toprak kalitesinde bozulma ve doğal kaynak israfı gibi mevcut baskıları katlanarak şiddetlendiren bir “tehdit çarpanı” (threat multiplier) olarak işlev görmektedir. İklim değişikliği, daha önce de var olan kırılganlıkları şiddetlendirerek, tehlikeli geri besleme döngüleri yaratmaktadır. İklim değişikliğinin su ve gıda sistemleri üzerindeki etkileri; yoksulluğun azaltılması, halk sağlığı, küresel barış ve insan psikolojisi üzerindeki geniş kapsamlı etkileri, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH), özellikle de SKH-02 (Sıfır Açlık) ve SKH-06 (Temiz ve sağlıklı su ve) ulaşma olanaklarını zora sokmaktadır (IPCC, 2022; Wheeler ve von Braun, 2013).

Su-Gıda-İklim bağlantısı (nexus) bu krizin merkezindedir: Tarım, küresel tatlı su tüketiminde kabaca %70,0 paya sahipken, gıda üretim ve tedarik zinciri küresel sera gazı emisyonlarının da önemli bir bölümünü (%14,0) oluşturmaktadır. İklim değişikliği, suyun miktarını, ve kalitesini bozarak tarımsal üretkenliği doğrudan tehdit etmektedir.

Bu çalışma, iklim değişikliğinin neden olduğu hidrolojik değişimlerin tarım sistemleri üzerindeki etkilerini inceleyerek, bunun tetiklediği sosyoekonomik eşitsizlikleri ve jeopolitik gerilimleri analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma-



nın temel argümanı; iklim değişikliğinin, doğal çevrenin uğradığı tahribat, tarımsal üretim süreçlerinde meydana gelen aksaklıklar ve sosyo-ekonomik istikrarsızlıktan oluşan karmaşık bir geri besleme döngüsüyle, küresel su ve gıda güvensizliğini şiddetlendirdiği ve bu krizin yükünün, krizin başlıca müsebbibi olan gelişmiş ülkeler blokuyla ("Küresel Kuzey"), en savunmasız durumda olan gelişmekte olan ülkeler (Küresel Güney) arasında adaletsizce dağıtıldığı yönündedir. Makalede, öncelikle hidrolojik döngüdeki değişiklikleri ele alacak, ardından tarımsal verimlilik ve gıda güvenliği üzerindeki etkileri

incelenecek, son olarak da bu fiziksel etkilerin yol açtığı derin sosyoekonomik ve jeopolitik sonuçları, Küresel "Kuzey-Güney çelişkisi" bağlamında değerlendirilecektir.

Günümüzde "İklim Krizi'ne" evrilmiş olan İklim Değişikliğine yol açan, insanoğlunun edimlerinden kaynaklı Küresel Isınma, başlangıcı yaklaşık 250 yıl geriye uzanan Birinci Sanayi Devrimi ile tarihleniyor. Çalışmada, günümüzdeki İklim Krizi'ne yol açan sürecin irdelenmesi yerine, mevcut durumu veri koşul, bir sonuç olarak kabul ederek, gelişmekte olan iklim-su-gıda üçlü krizinin dinamiği ele alınacaktır.

İklim Değişikliği: Hidrolojik Döngüyü Temelden Değiştirmek

İklim değişikliği, gezegenin su döngüsünün enerjisini artırarak kökten değiştirmekte, suyun mevcudiyetini ve kalitesini küresel ölçekte tehdit etmektedir.

Yağış Paradoksu: Şiddetli Kuraklıklar ve Seller

İklim değişikliği, yağış rejimlerini daha düzensiz, öngörülemez hale getirmektedir. Artan buharlaşma ve değişen atmosferik dolaşım süreçleri, kurak bölgelerde daha uzun ve şiddetli kuraklık dönemlerine yol açarken, atmosferdeki artan nem, yağışlar geldiğinde daha yoğun sağanak ve sellere neden olmaktadır. Bu paradoks, su yönetimi altyapısını ve afet hazırlığını zorlamaktadır (IPCC, 2022).

Isınan atmosferde, hidrolojik döngünün yapısı ve işleyişini temelden değiştirmektedir. Küresel ısınma olgusuna bağlı olarak, takriben 250 yıl önce meydana gelen Birinci Sanayi Devrimi öncesine kıyasla, yerkürenin yaklaşık 1,5 °C ısınmış olması sonucunda, atmosferdeki toplam su buharı miktarı da artmış bulunuyor. Günümüz itibarıyla atmosferde mevcut toplam su buharı miktarı, uzaktan algılama ölçümlerine de dayalı olarak toplam 12,8 trilyon ton olarak hesaplanmaktadır. Buharlaşmayla yüzey suları ve topraktan atmosfere karışan suyun atmosferde kalma süresi yaklaşık olarak 9 ila 10 gündür. Bu sürenin sonunda, yağış yoluyla atmosferdeki su döngüsü tamamlanmaktadır.

İklim değişikliği olgusunun son derece karmaşık yapısına bağlı olarak, kimi yerde sellere yol açan yoğun yağışlar meydana gelirken, paradoks olarak, başka bölgelerde uzun süreli ve şiddetli kuraklıkların ortaya çıktığı görül-

mektedir. Örneğin, IPCC (2022), 1950'lerden bu yana çoğu karasal alanda şiddetli yağış olaylarının sıklığı ve yoğunluğunun arttığına dair bir rapor yayımlamış bulunuyor. Aynı raporda, yağışlarda artışın gözlemlendiği bölgelere kıyasla, tarımsal ve ekolojik kuraklığın meydana geldiği bölgelerin daha fazla artmış olduğu da yer almaktadır.

Dünyaya düşen yağış, ortalama bir değer olarak her saniyede 15,3 milyon ton olarak hesaplanıyor. Atmosferde mevcut su buharı miktarının artması, yer yüzüne düşen toplam yağış miktarında da bir artışa yol açmaktadır. Ne var ki, iklim değişikliği olgusunun son derece karmaşık yapısına bağlı olarak, kimi yerde sellere yol açan yoğun yağışlar meydana gelirken, paradoks olarak, başka bölgelerde uzun süreli ve şiddetli kuraklıkların ortaya çıktığı görülmektedir. Başta gelişmekte olan ülkeler ve bilhassa Küresel Güney'de su ihtiyacı büyük artış eğilimi göstermektedir. 2020 yılı itibarıyla, 4,30 trilyon m³ olan toplam su tüketiminin, 2050 yılında küresel ölçekte %55,0 oranında artış göstereceği tahmin ediliyor. Dünya su tüketiminde tarım sektörünün payı %70,0 olurken, sanayi %20,0, içme suyu ve hane halkı %10,0 paya sahip bulunuyorlar (UN World Water Development Report, 2021).

Sahra Altı Afrika'da, uzun süreli kuraklıklar tarımsal verimliliği büyük ölçüde azaltmakta ve yaygın su kıtlıklarına neden olmaktadır. Güney Asya'da, muson rejiminin değişkenliği ile bağlantılı yıkıcı seller, su kaynaklarının kirlenmesine, altyapının hasar görmesine ve milyonların yerinden olmasına yol açmıştır. Bu değişkenlik, su yönetimini son derece zorlaştırmakta, sel baskınları sırasında altyapıyı aşırı yüklemekte ve kurak dönemlerde tarımı felç etmektedir.



Sahra Altı Afrika'da, uzun süreli kuraklıklar tarımsal verimliliği büyük ölçüde azaltmakta ve yaygın su kıtlıklarına neden olmaktadır (Fotoğraf: UN Women, 2023).

Buzul ve Kar Örtüsü Alanlarında (Kriyosfer [Cryosphere]) Daralma

Küresel ısınma nedeniyle dağ buzullarının hızla erimesi, başlangıçta sel riskini artırsa da, uzun vadede İndus, Ganj, Yangtze ve Mekong gibi büyük nehirlerin akışını azaltarak kalıcı bir su kıtlığı tehdidi oluşturmaktadır (Immerzeel vd., 2020).

Kriyosfer (yeryüzündeki buzul ve kar örtüsünün bütünü), yaklaşık iki milyar insan için kritik öneme sahip bir su kaynağıdır. Himalayalar, Andlar ve Alpler gibi dağ sıralarındaki buzullar ve kar örtüsü, yüz milyonlarca insan için hayati öneme sahip “su kuleleri” işlevi görür. Dağ buzulları ve mevsimsel kar örtüleri,

kışın suyu depolayan ve kurak mevsimlerde de salan ve yer altı su rezervlerini besleyen doğal rezervuar işlevi görürler.

İklim değişikliği bu sistemik döngüyü hızla kırıyor. Latin Amerika'da çok geniş bir coğrafi alana milyonlara ton su sağlayan And Dağlarında mevcut buzul alanlarının hızla daralmasıyla, orta erimde, geniş bir coğrafi alanda, ciddi bir su baskısının ortaya çıkması kaçınılmazdır. Asya'daki İndüs ve Tarım havzası sistemlerinin, güçlü iklim değişikliği etkileri nedeniyle, en kırsal su kaynakları olduğu saptanmıştır (Immerzeel vd., 2020). Buzulların geri çekilmesi, büyük nehirlerin sürekli akışını tehdit ederek, büyük nüfusların gıda üretimi ve su temini için varoluşsal bir tehdit oluşturmaktadır.

Görünmez Kaynağın Tükenişi: Yeraltı Suları

Tarımsal sulama, içme suyu ve sanayi için yeraltı sularının aşırı çekilmesi, dünyanın birçok bölgesinde akiferleri (yeraltı su tabakası - su barındıran yeraltı katmanı) tüketmektedir. İklim değişikliği, yağışların azalması ve buharlaşmanın artması yoluyla bu akiferlerin yeniden dolm oranlarını da düşürerek krizi derinleştirmektedir.

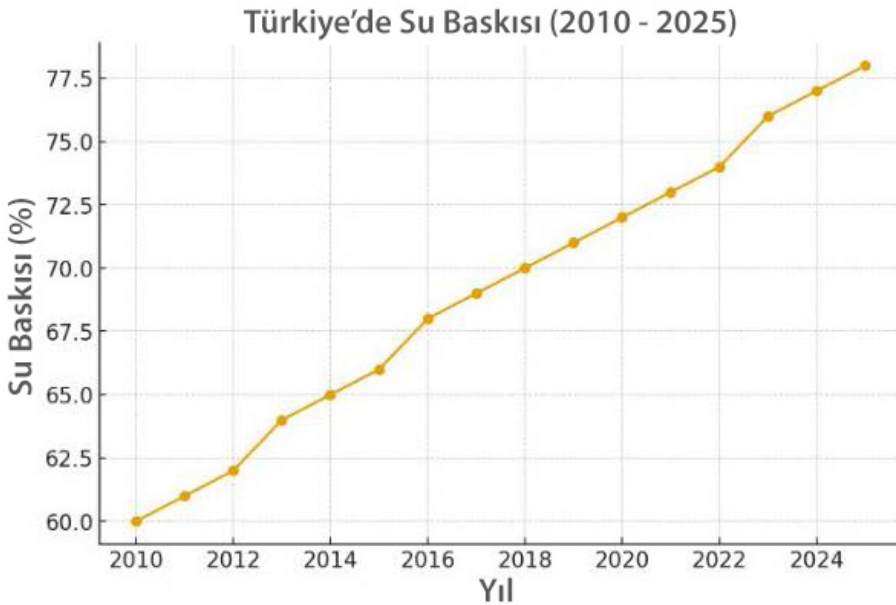
Özel bir örnek olarak Türkiye göz önüne alındığında, giderek ciddi hale gelen su baskısına ilişkin olarak, aşağıda yer alan grafikler zaman içerisinde gelişen olumsuz durumu sergiliyor. Grafiklerde, 2010 - 2025 yılları arasında, yeraltı su rezervlerinden su çekme (tüketim) oranıyla, kişi başına düşen tatlı su miktarındaki değişimler gösteriliyor (Şekil 1 ve Şekil 2).

Yüzey suyu krizleri görünür haldeyken, yeraltı

katmanlarında gözden uzak bir çevre felaketi yaşanmaktadır. Kuraklığa karşı bir tampon olan ve öncelikle tarımsal sulama için gerekli yeraltı suları, özellikle ılıman iklim kuşağındaki bölgelerde kar yağışlarının azalmasına koşut olarak azalmakta, giderek yerin daha derin katmanlarına çekilmektedir. İklim değişikliği olgusuna bağlı olarak yağış rejiminin düzensiz hale gelmesi, yağıştan kaynaklı doğal beslenmeyi sektete uğratarak, yeraltı su rezervlerine ilişkin durumu daha da kötüleştirmektedir. NASA'nın GRACE uydu misyonundan sağlanan veriler, Kaliforniya'nın Central Valley'i, Kuzey Hindistan ve Kuzey Çin Ovası gibi kritik tarım bölgelerindeki akiferlerde ciddi su kaybı olduğunu ortaya koymaktadır (Famiglietti, 2014).

Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da, artan sıcaklıkların azalan yağışla örtüşmesi sonucunda, kişi başına temin edilebilir su miktarının, 2050 yılına kadar

Şekil 1. Yeraltı su kaynaklarından çekiş/kullanım oranı



Türkiye'deki yer altı su kaynakları kullanımı grafiği (Grafik: FAO, 2025).

%50'den fazla azalması beklenmektedir (FAO, 2020). Özellikle tarım için büyük önem taşıyan yeraltı sularının azalması, küresel gıda güvenliği için, çökmeye eğilimli, güvenilmez bir temel oluşturmaktadır.

Su Kalitesi Üzerindeki Baskılar

Su kıtlığı kadar su kalitesindeki bozulma da büyük bir tehdit oluşturuyor. Artan deniz suyu sıcaklıkları, suda çözünmüş oksijen miktarını azaltmaktadır. Atmosferde artan miktarda kışın olarak, deniz suyunda ergiyen CO₂ miktarındaki artış sonucunda da deniz suyunun asitliği artmakta ve bu durum özellikle mercan resiflerinde ciddi hasara yol açmaktadır.

İlaveten, deniz suyu sıcaklığındaki artış, alg-

lerin nüfus patlamalarında sıklık ve yoğunluğu arttırdığı gibi, içme suyu kaynaklarını ve sucul ekosistemler üzerinde tahripkar etki yaratmaktadır. Deniz seviyesinin yükselmesi ise kıyı bölgelerindeki tatlısu akiferlerine tuzlu su sızmasına (salinizasyon - tuzlanma) neden olarak bu kaynakları tarım ve insan tüketimi için elverişsiz hale getirmektedir (UNESCO, 2020). Bu durumu gidermek üzere, pahalı arıtım sistemlerine gerek duyulmaktadır. Dolayısıyla, içme suyu maliyetleri de buna bağlı olarak yükselmektedir.

Ayrıca, Nil Havzasında Rönesans Barajı yüzünden Mısır ile Etiyopya arasında baş gösteren gerilimler gibi sınır ötesi anlaşmazlıklar, su kıtlığının jeopolitik çatışmaları nasıl alevlendirebileceğini göstermektedir (Zeitoun ve Mirumachi, 2008).

Şekil 2. Türkiye'de kişi başına düşen tatlı su kullanım miktarı



Türkiye'de kişi başı tatlı su kullanımı grafiği (Grafik: FAO, 2025).

Tarımsal Üretkenlik ve Gıda Güvenliği Üzerindeki Etkiler

Hidrolojik döngüdeki bu radikal değişimler, küresel gıda sisteminin omurgasını oluşturan tarımsal üretkenliği doğrudan ve dolaylı yollarla sekteye uğratmaktadır.

Isı Baskısı ve Mahsul Verimlerindeki Düşüş

Aşırı sıcaklıklar, özellikle çevre etkenlerindeki değişikliklere karşı kırılgan olan, buğday, mısır ve pirinç gibi dünyanın temel gıda mahsullerinin gelişimini bozmakta, fotosentez verimliliğini düşürmekte ve buna bağlı verim kayıplarına yol açmaktadır. Modellemeler, küresel sıcaklık artışıyla birlikte bu temel mahsullerin verimlerinde önemli düşüşler olacağını öngörmektedir. Ayrıca, atmosferdeki yüksek CO₂ konsantrasyonlarının, mahsullerin büyümesini hızlandırırsa da, protein, çinko ve demir gibi temel besin maddeleri ve temel elementleri konsantrasyonunu seyrelterek tarla bitkilerinde “gizli açlık” riskini artırdığına dair artan kanıtlar bulunmaktadır (Zhao vd., 2017).

Kritik çiçeklenme ve tane dolum dönemlerindeki ısı baskısının ciddi kayıplara neden olduğu bilinmektedir. Yükselen CO₂, bazı bitkiler için bir gübreleme etkisine sahip olabilir; ancak bu avantaj genellikle ısı ve su baskısı ile dengelenir ve temel gıdalarda daha düşük protein ve mineral içeriği şeklinde, besin kalitesinde azalmaya yol açabilir (IPCC, 2019).

Bu noktada, kritik bir saptamaya da yer vermek gerekiyor. Şöyle ki: Sıcaklık ve yağış rejimlerinde, küresel ölçekte meydana gelen düzensizliklerin “yeni normale” dönüşmesiyle, mevcut tarım ve hayvancılık uygulamalarını sürdürmek olanağı kalmamıştır. İklim değişikliği etkilerine dirençli yeni uygulama ve arazi kullanım modellerinin tasarlanarak hayata geçirilmesi zorunluluğu bulunmaktadır. Buna dair bir öneriye, bu çalışmanın son bölümünde yer verilmektedir.

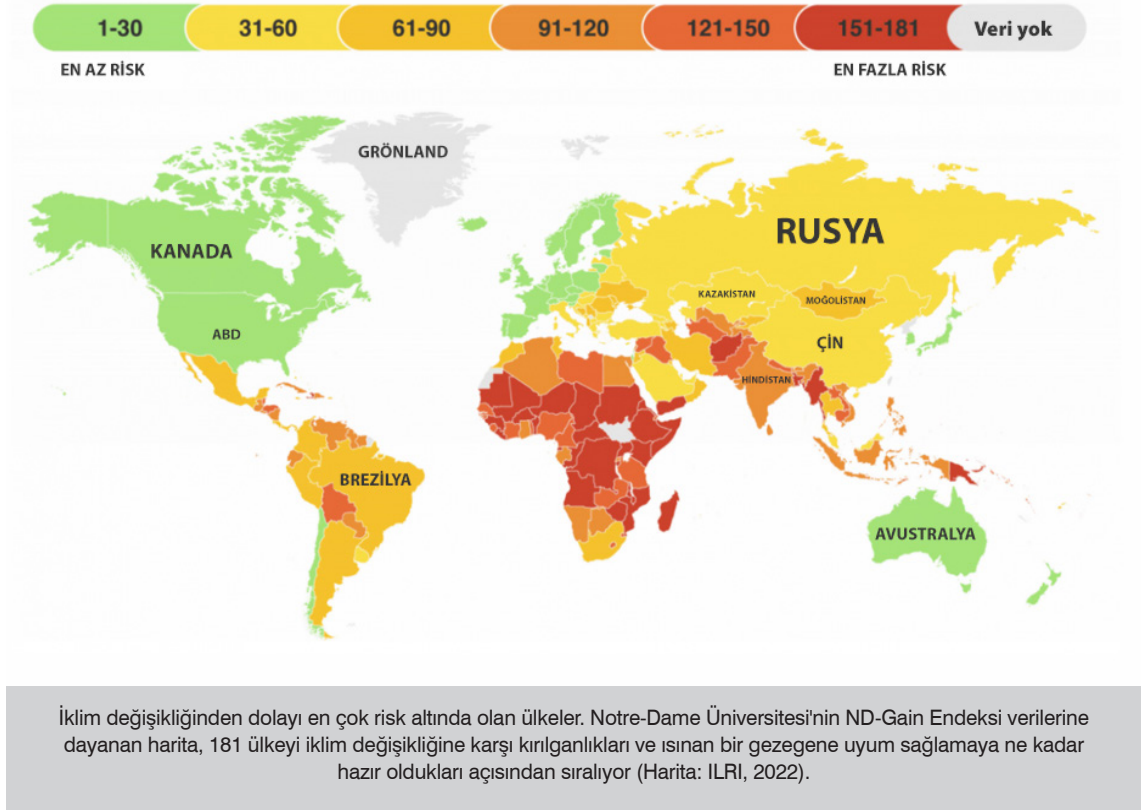
İstilacı Türler ve Bitki Hastalıklarındaki Artış

Daha ılıman kışlar ve genel olarak daha sıcak hava koşulları, tarım zararlılarının ve patojenlerin hayatta kalma oranını artırmakta ve coğrafi yayılış alanlarını kutuplara doğru genişletmektedir. Örneğin, “fall armyworm” (tırpan kurdu) gibi istilacı böcek türleri, son yıllarda Afrika ve Asya’daki mısır üretimine büyük zararlar vermiştir. Benzer şekilde, fungal ve bakteriyel bitki hastalıklarının yayılımı da hızlanmaktadır (Deutsch vd., 2018).

Daha sıcak kışlar daha fazla zararlının hayatta kalmasına imkan verirken, daha sıcak yazlar onların yeni bölgelere yayılmasını sağlar. Daha sıcak kış aylarında, çekirge ve armywarm gibi zararlıların hayatta kalması ve çoğalmasıyla, Afrika ve Asya’da ekinleri üzerindeki tahribat da artmaktadır. Pirinç, mısır ve buğdayın böceklerden kaynaklı verim kayıplarının, küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki her bir derecelik artışla beraber %10-25 artacağını öngörülmektedir (Deutsch vd., 2018). Bu genişleyen tehdit, çiftçileri pestisit kullanımını artırmaya zorlayarak ekonomik ve çevresel maliyetleri yükseltmekte ve gıda güvenliği ile ekosistemin sağlığını daha da bozmaktadır.

Hayvancılık ve Balıkçılık Sistemlerine Etkiler

Etkiler sadece bitkisel üretimle sınırlı değildir. Isı baskısı, çiftlik hayvanlarında yem tüketimini, süt verimini, üreme performansını ve genel sağlık durumunu olumsuz etkilemektedir. Denizlerde ise okyanus asitlenmesi özellikle mercan ve kabuklu deniz canlılarının varlığını tehdit ederken, deniz suyu sıcaklığındaki artış ise balık popülasyonlarının göç yollarını ve dağılımını değiştirerek geleneksel balıkçılık faaliyetlerini altüst etmektedir (FAO, 2018).



Isınan sular balık popülasyonlarının kutuplara doğru göç etmesine neden olmakta, yerleşik balıkçılık topluluklarını bozmakta ve balıkçılık hakları üzerinde, deniz yetki alanları bağlamında yeni jeopolitik gerilimler yaratmaktadır. Sonuçta bu etkiler, milyarlarca insan için kritik protein kaynaklarını tehdit etmektedir (IPCC, 2022).

Gıda Tedarik Zincirinde Kırılganlık

Gıda krizi sadece üretimle ilgili olmayıp, aynı zamanda dağıtım ve erişimle de ilgilidir. Aşırı hava olayları, gıda tedarik zincirinin bütünleyici ve kritik altyapılarını (yollar, köprüler, limanlar) tahrip etmektedir. Kuraklık, nehir taşımacılığını da (Mississippi Nehri'nde olduğu gibi) kesintiye uğrattırıyor. Ulaşım altyapısındaki tahribatlardan kaynaklı bu kesintiler,

hasat sonrası kayıplara da neden olmakta ve böylelikle dolaylı olarak gıda fiyatlarını arttırmaktadır.

Küresel olarak yeterli miktarda üretilse dahi, ulaşım altyapısındaki aksaklıklar, gıdanın en çok ihtiyaç duyanlara ulaşmasını engeller veya daha maliyetli hale getirir. 2007-2008 küresel gıda fiyatı krizi, küresel ticaretin iklim kaynaklı şoklara karşı kırılganlığını vurgulamıştır (Headey ve Fan, 2008). Aşırı sıcaklar, soğuk zincir depolarının ve nakliye sistemlerinin kapasitesini zorlayarak gıda israfını artırabilir. Bu durum, gıda fiyatlarında ani ve keskin artışlara yol açarak gıda enflasyonuna neden olmaktadır (IPCC, 2019).

İklim değişikliğinin tarım ve gıda erişimi üzerindeki etkileri yoluyla 2030 yılına kadar ek 100 milyon insanı yoksulluğa itebileceğini öngörülmektedir (World Bank, 2016).

Sosyoekonomik ve Jeopolitik Sonuçlar: Küresel Kuzey-Güney Uçurumu

Su ve gıda sistemleri, iklim değişikliğinin artan şeklinde baskı altına aldığı bir bağlantı (nexus) oluşturması suretiyle birbirine bağlıdır.

İklim değişikliğinin su ve gıda sistemleri üzerindeki fiziksel etkileri, derin sosyoekonomik eşitsizlikleri şiddetlendirmekte ve yeni jeopolitik gerilim alanları yaratmaktadır. Bu sonuçlar, tarihsel gelişim çizgisi ve mevcut çelişkilerin adeta antagonizma kazanmış olması açısından, Küresel Kuzey ile Küresel Güney arasında çarpıcı bir ayrışma sergilemektedir.

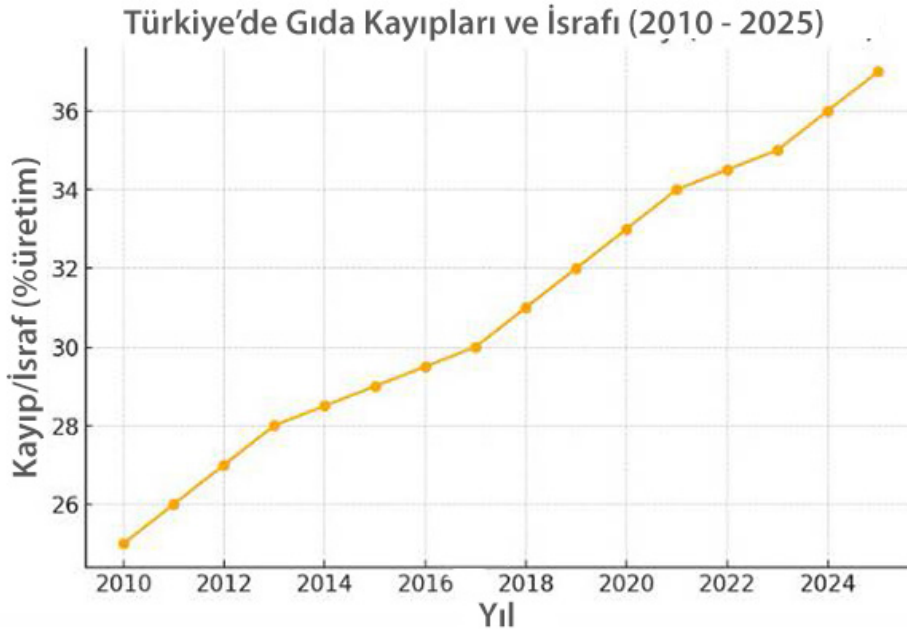
Yeryüzü kaynaklarının eşitsiz paylaşımı konusunda çarpıcı bir gösterge küresel ölçekteki gıda israfına ilişkindir. BM Çevre Programının “Food Waste Index Report 2024” başlıklı raporunda yer

alan verilerde, 2022 yılı itibarıyla dünya ölçeğinde 1,05 milyar ton gıdanın israf edilmiş olduğu belirtiliyor. Sadece AB ve ABD’de israf edilen gıdanın Afrika kıtasını doyurmaya yeteceğine dair haberlerin, akademik yayınlar kadar basın ve medyada da yer aldığı görülüyor. Bu konuda, bir örnek olarak Türkiye’ye ilişkin verilerin yer aldığı grafiğe aşağıda yer verilmektedir (Şekil 3).

Tarihsel Sorumluluk ve Adaletsiz Etki Dağılımı

Birinci Sanayi Devriminden bu yana atmosfere salınan sera gazlarının büyük çoğunluğundan Küresel Kuzey ülkeleri (gelişmiş ülkeler - Emperyalist Blok) sorumludur. Ancak, iklim değişikliğinin en yıkıcı etkileri, başta Afrika, Güney Asya ve Güney

Şekil 3. 2010 - 2025 yılları boyunca gıda kaybı ve israfı.



Türkiye’de yıllara göre (2010-2025) gıda kaybı grafiği (Grafik: FAO, 2025).

Amerika'nın bir bölümü olmak üzere, karbon ayak izi en düşük olan Küresel Güney ülkeleri tarafından hissedilmektedir. Bu durum, temel bir iklim adaletsizliğine zemin oluşturmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler, iklim şoklarına uyum sağlama ve etkilerini hafifletme kapasitesi açısından da (finansal kaynak, teknoloji, kurumsal altyapı) Kuzey'deki muadillerine kıyasla çok daha dezavantajlıdır (Roberts & Parks, 2006).

Ağırlıklı olarak Küresel Güney'i etkisi altına alan kuraklık, sulama kaynaklarını daraltmakla, verimi düşürmekte ve gıda kıtlıklarını tetiklemektedir. Buna karşın, kontrolsüz sulama (örneğin salma sulama) ve sürdürülemez yeraltı suyu kullanımının akiferleri baskılayarak, uzun vadeli su güvenliği için tehlikeye oluşturduğunu da not etmek gerekiyor. Bu iç içe birbirine bağlılık bağlılık, su-enerji-gıda-ekosistem (WEFE) bağlantısını ele alan entegre bir yaklaşımın benimsenmesini gerektirmektedir (HLPE, 2020).

Kitlesel Yerinden Edilme ve İklim Göçü

Su kıtlığı ve tarımsal çöküş, kırsal geçim kaynaklarını, özellikle de küçük tarım işletmelerinin idamesini olanaksız hale getirmektedir. Bu durum, kırdan kente kitlesel göçlere neden olarak, zaten baskı altındaki kentsel altyapıyı (su, barınma, sağlık hizmetleri) daha da zorlamakta ve gecekondu mahallelerinin denetimsiz genişlemesine yol açmaktadır. Daha da uç senaryolarda, sınır ötesi "iklim göçü" artan bir jeopolitik gerilim kaynağı haline gelmektedir. Örneğin, Sahra Altı Afrika'daki çölleşme ve Orta Doğu'daki su baskısı, Avrupa'ya yönelik göç hareketlerini tetikleyen itici faktörlerden biridir (WBGU, 2007).

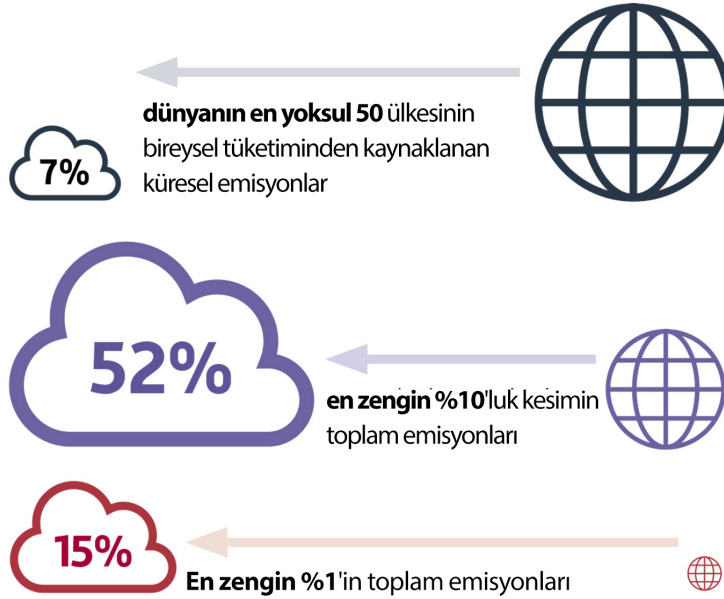
İklim-su-gıda krizinin etkileri eşit şekilde taşınmamaktadır. Kırılancılık; yoksulluk, cinsiyet, etnisite ve kaynaklara erişim tarafından şekilleniyor. Küresel emisyonlara en az katkıda bulunan küçük

ölçekli çiftçiler, göçebeler, balıkçı toplulukları ve yerli halklar orantısız şekilde etkilenmektedir. Küresel Güney'in kırsal kesimi söz konusu olduğunda, genellikle su temini ve hane halkı gıda güvencesinden sorumlu olan kadınlar, kaynaklar daha kıt hale geldikçe artan yüklerle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu eşitsizlik, mevcut sosyal adaletsizlikleri daha da kötüleştirir. Yetersiz beslenme, gıda güvensizliğinin kalıcı bir sonucu olmaya devam etmekte ve iklim değişikliği özellikle Güney Asya ve Sahra Altı Afrika'da yetersiz beslenmeyi ve mikro besin eksikliklerini şiddetlendirmektedir (WFP, 2023).

Artan Yoksulluk ve İç Çatışma Riski

Gıda fiyatlarındaki ani sıçramalar, düşük gelirli hane halklarının gıdaya erişimini ciddi şekilde kısıtlayarak yoksulluğu derinleştiriyor. Bu tür fiyat şokları, geçmişte birçok ülkede (örneğin, 2007-2008 ve 2010-2011'deki gıda isyanları) sosyal huzursuzlukların ve siyasi istikrarsızlığın ana tetikleyicisi olmuştur. Ayrıca, azalan su ve verimli toprak kaynakları üzerindeki rekabet, özellikle de zaten kırılancılık olan bölgelerde yerel düzeyde şiddetli çatışmaları körükleyebilir (Hsiang vd., 2013).

Su ve ekilebilir arazi kıtlığı, mevcut gerginlikleri körüklemekte ve çatışma için bir tetikleyici olmaktadır. Çiftçiler ve hayvan yetiştiricileri gibi, kentsel ve kırsal alanlarla, ve sınır ötesi su kaynaklarını paylaşan uluslar arasında da giderek kıt hale gelen kaynaklar için rekabetin yoğunlaştığı gözleniyor. Orta Mezopotamya'da 90'lı yıllardan beri sürgit olan şiddetli kuraklığın, toprağın üzerinde yaşayan insanları artık doyuramaz hale gelmesinin, Suriye'de iç savaşa evrilen iç göçü ve bunun nihayetinde sosyal huzursuzluğu tetiklemeye rol oynadığı gösterilmiştir (Kelley vd., 2015).



“Gelişmekte olan ülkeler, İklim Krizi’nin maliyetlerini adil bir şekilde paylaşacak bir mekanizma talep etmekte, gelişmiş ülkeler ise bu konudaki yükümlülüklerini tanımak ve somut bir finansman taahhüdü vermekte isteksiz davranmaktadır” (Infografik: Eurodad, t.y.).

İklim ve değişen çevreden kaynaklı baskılar , halihazırda kırılgan olan devletlerde istikrarı bal-talama potansiyeli taşıyor. Arap Baharını tetikleyen etmenler arasında, 2008 - 2009 yıllarında, tahıl fiyatları ve dolayısıyla, Kuzey Afrika ve Batı Asya halklarının temel gıda maddesi olan ekmek fiyatlarındaki artışın da yer almış olması çok ola-sıdır. Bu açıdan ele alındığında, Arap Baharı, ik-lim değişikliği olgusunun dolaylı etkenlerinden biri olarak değerlendirilebilir.

Geçim kaynakları yok olduğunda, insanlar ha-reket etmek zorunda kalıyorlar. Bu iklim kaynaklı göç, özellikle Sahel (Sahra Altı), Güney Asya ve Orta Amerika’nın “Kuru Koridoru” gibi bölgeler-de halihazırda bir gerçekliktir. Bu göç hareketle-rinin, insani zorluk ve sorunlar yaratacağı aşıkardır. Dahası, bu tür kitlesel göç hareketleri, varış bölgelerindeki kaynakları zorlayarak yeni sosyal gerginliklere yol açabilir (Hallegatte vd., 2016).

Küresel gıda sistemi içerisinde, örneğin bir tahıl ambarı bölgesinde ortaya çıkan iklim değişikliği kaynaklı şok, uluslararası pazarlarda dalgalanma-lara yol açarak, uzak bölgeleri istikrarsızlaştıran etkiye sahip olabilmektedir. Bu tür oynaklık, gelir-lerinin büyük bir kısmını gıdaya harcadıkları için en yoksul kesimleri en sert şekilde vurmaktadır.

Küresel Güney’in Borç Krizi ve İklim Tazminatı

İklim afetlerinin ekonomik maliyeti çok yük-sektir. Küresel Güney ülkeleri, iklim değişikliği-ne uyum sağlamak ve afetlerin etkisini azaltmak için gerekli altyapı yatırımlarını yapmaya çalı-şırken, genellikle zaten yüksek olan borç yükleri daha da artmaktadır. Bu durum, bir “iklim-borç kıskaçı” yaratmaktadır. Son yıllarda, iklim de-ğişikliğinin yol açtığı “kayıp ve zararlar”ın (loss

and damage) tazmini, uluslararası müzakerelerde (örneğin, COP zirveleri) Küresel Kuzey ve Güney arasındaki en sert anlaşmazlık konularından biri haline gelmiştir. Gelişmekte olan ülkeler, İklim Krizi'nin maliyetlerini adil bir şekilde paylaşacak bir mekanizma talep etmekte, gelişmiş ülkeler ise bu konudaki yükümlülüklerini tanımak ve somut bir finansman taahhüdü vermekte isteksiz davranmaktadır (COP27'de kurulan Kayıp ve Zarar Fonu bu mücadelenin somut bir örneğidir).

İklim-Su-Gıda Üçlü Krizine Yönelik Somut Çözümler ve Öneriler

İklim değişikliğinin su ve gıda sistemleri üzerindeki yıkıcı etkilerini hafifletmek, yaşamsal bir zorunluluktur. Önceki bölümlerde ifade edilen tehditleri önlemek ve sistemleri dayanıklı hale getirmek, yenilikçi teknolojilerin, bütünleşmiş yönetim stratejilerinin ve radikal verimlilik önlemlerinin acilen hayata geçirilmesini gerektiriyor. Bu bölümde, üçlü krizle mücadelede kritik öneme sahip teknik ve yönetsel çözüm önerileri ele alınmaktadır.

Fiziksel Su Kaçaklarının Önlenmesi: Görünmez Kayıplarla Mücadele

Özellikle büyük kentlerde ve tarımsal sulama şebekelerinde yaşanan fiziksel su kaçakları, kaynaklar üzerinde devasa bir baskı oluşturmaktadır. Dünya çapında içme suyu şebekelerindeki ortalama kayıp-kaçak oranı %30'ları bulurken, bu oranın yüksek olduğu bölgelerde %50'nin üzerine çıkabilmektedir. Bu "görünmez kayıp", enerji israfına da (suyun pompalanması ve arıtılması için harcanan enerji) neden olarak sisteme ek yük bindirmektedir.

Akustik kaçak dedektörleri vasıtasıyla Su da-

ğıtım şebekelerindeki fiziksel kaçakların tespiti, özellikle kalabalık metropollerin günün her saatinde işleyen araç trafiğinin neden olduğu çevre gürültüsü nedeniyle mümkün değildir. Bunun yerine günümüzde; yeraltı radarı, yakın yüzey manyetik alan ölçüm sistemleri (messe-a-la-masse), temassız elektriksel sondaj, total elektriksel sondaj, "uzun kablo" tekniği, uzaktan algılama teknolojileri (insansız hava araçları ile nem haritalama) gibi araç ve yöntemlerle su kaçağı noktalarının daha hassas ve doğru şekilde tespiti mümkündür. Sahada toplanacak verilerin, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile bütünleştirilmesi sayesinde, bir karar-destek sistemi olarak işlev görecektir Akıllı Su Şebekesi Yönetim Sistemlerinin yaygınlaştırılması hedeflenmelidir. Boru hatlarının düzenli olarak ve gerçek zamanda CBS ile bütünleşik SCADA üzerinde izlenmesi (borulardaki debi ve basınç, depolarda su seviyeleri gibi parametreler), eski altyapının onarılması ve yenilenerek iyileştirilmesi yoluyla kaçaklar büyük oranda önlenabilir.

Tarımda ise kapalı sistem, basınçlı sulama (damlama, yağmurlama) sistemlerine geçiş, açık kanallardaki buharlaşma ve sızma kayıplarını ortadan kaldırarak su verimliliğinde büyük oranda artış sağlanabilir.

Yağmur Suyu Hasadının Yaygınlaştırılması: Kentsel ve Kırsalda Yeni Bir Kaynak

Başta büyük kentle olmak üzere bütün yerleşim merkezlerinde, geniş yüzey alanlarında (çatılar, yollar, kaldırımlar) büyük miktarlarda yağmur suyu yüzey akışına bırakılmakta, kısmen de deniz ve iç sulara veya kanalizasyon sistemine yönlendirilmektedir. Bu ise büyük bir israfa işaret ediyor. Oysa toplanacak yağmur suları su, "gri su" olarak (tuvalet temizliği, bahçe sulama) veya basit bir arıtmadan sonra tarımsal sulamada kullanılabilir.

Binaların ve seraların çatılarında yağmur suyu hasadı sistemlerinin zorunlu hale getirilmesi, kentsel su baskısını hafifletecek kritik bir adımdır. Toplanan su, yeraltı sarnıç ve barajlarında depolanabilir. Bu uygulama, sel riskini azaltırken, yaz aylarında şebeke suyuna olan talebi ciddi ölçüde karşılayabilir. Kırsal alanlarda ise tarım arazilerinde kontur sürüm, arazide oluşturulacak hendekler ve muhtelif mikro havza uygulamalarıyla, erozyona da yol açan yüzey akışının engellenmesi ve bu suretle yağmur sularının toprağa nüfuzu sağlanabilir.

Atmosferden Tatlı Su Elde Edilmesi

Bu makalenin başlangıç bölümünde yer alan bir veriye tekrar yer vermek isabetli olacaktır. Dünyanın yıllık su tüketimi takriben 4,30 trilyon ton (2020 yılı verisi) olurken, atmosferde her an mevcut bulunan su buharı miktarı 12,80 trilyon tondur. Her saniye küresel ölçekte 15,3 milyon ton suyun buharlaşarak atmosfere karıştığı da göz önünde bulundurulduğunda, atmosferin pratikte neredeyse sonsuz bir tatlı su kaynağı olduğu görülebiliyor.

Düşük hava sıcaklığına bağlı olarak, kutup bölgeleri dışında kalan, her daim sıcak ekvator bölgesi ve ılıman kuşakta yer alan bölgelerin deniz seviyesine yakın kesimlerinde, özellikle sıcak yaz mevsiminde atmosferden su hasadı yapma imkanı bulunuyor. Bu alanda çözümler sunan pek çok özel şirketin bulunduğu da bilinmektedir.

Ne var ki, maliyetleri de cazip kılacak teknolojik yeniliklere gerek olduğunu da burada belirtmekte yarar var. Yenilikçi ve maliyeti uygun teknik çözümler sayesinde, atmosferden su üretimi, su baskısının giderilmesinde önemli bir rol oynayacaktır.

Soğuk Plazma ile Baca Gazında ve Atmosferde Mevcut Karbon Dioksitin Karbon ve Oksijene Ayırıştırılması: Bir İleri Teknoloji Çözümü

Öncelikle belirtmek gerekiyor ki, günümüzde hemen bütün ülkeler ve şirketlerce benimsenen “Net Sıfır Karbon Salım” hedefi doğru ve gerekli olduğu halde, tek başına yeterli değildir. Bu hedefi gerçekleştirme sürecinde, eş zamanlı olarak, “Net Negatif Karbon Salım” yöntem ve uygulamalarını da hayat geçirmek zorunluluğu bulunuyor.

Atmosferde mevcut CO₂ gazı konsantrasyonunu, mümkün bütün yollarla azaltarak, güvenli bir seviyenin, rastgele bir örnek olarak 400 ppm değerinin altına indirmek gerekiyor. Bu amaca yönelik olarak kullanılabilecek teknolojilerden biri de “Soğuk Plazma” esaslıdır.

Karbon yakalama, depolama ve kullanımı (CCSU) teknolojileri, özellikle fosil yakıtlı santraller ve ağır sanayi gibi “zorlu ve sorunlu” sektörlerdeki emisyonları azaltmak için hayati öneme sahiptir. Soğuk plazma teknolojisi, bu alanda umut vaat eden yenilikçi bir yaklaşımdır.

Plazma, bilindiği gibi, maddenin iyonize gaz halindeki dördüncü halidir. Bileşenleri elektron, iyon ve nötr gaz atom veya molekülleri olan soğuk plazma ortamında, elektronlar çok yüksek enerjiye (yani yüksek “elektron sıcaklığına”) sahiptir; buna karşın iyonlar ve nötr gaz atomları oda sıcaklığındadır (“soğuk”). Bu nedenle, söz konusu plazma tipi “soğuk” olarak adlandırılır.

Soğuk plazma reaktörleri içinden geçen CO₂ gazı, plazma içindeki yüksek enerjili elektronlar ve pozitif elektrik yüklü atom çekirdekleri tarafından bombardımana tutularak karbon ve oksijen (O₂) bileşenlerine ayrıştırılır. Elde edilen karbon, sayısız uygulamada, endüstride kimyasal ham madde veya sentetik yakıt üretimi ve grafen (graphene) gibi ileri malzemelerin üretiminde kullanılabilir.



“İklim değişikliği etkilerine dayanıklı yeni arazi kullanım modellerinin tasarlanarak hayata geçirilmesi gıda güvencesini sağlamak bakımından yaşamsal bir önem taşımaktadır”
(Fotoğraf: MIT CEEPR, 2019).

Soğuk plazmayı oluşturmak ve sürdürmek için gerekli enerji, ideal olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanabilir. Bu teknoloji, sanayi kaynaklı emisyonların dönüştürülmesinde devrim yaratma potansiyeli taşımaktadır.

Net Negatif Karbon Salımına Geçiş: Tarımın Rolünü Yeniden Tanımlamak

“Net Sıfır” hedefi, salınan karbonun tutulan karbona eşitlenmesidir. Ancak, atmosferdeki birikmiş ve hala birikmekte olan karbonu azaltmak için tarım sektörünü bir “Net Negatif Karbon Salım” mekanizmasına dönüştürmek mümkündür.

Entegre tarım-hayvancılık sistemleri bu noktada kilit rol oynamaya adaydır.

Tekrarla ve vurguyla ifade etmek gerekiyor ki, geleneksel tarım ve hayvancılık uygulamaları, iklim

değişikliğinin yol açtığı olumsuz çevre koşullarında, bundan böyle sürdürülebilir değildir. İklim değişikliği etkilerine dayanıklı yeni arazi kullanım modellerinin tasarlanarak hayata geçirilmesi, gıda güvencesini sağlamak bakımından yaşamsal bir önem taşımaktadır.

Geleneksel tek ürünli (monokültür) tarım sistemleri, iklim şokları karşısında son derece kırılgandır. Buna karşılık; tarım, hayvancılık, ormancılık ve enerji üretimini tek bir sistemde bütünleştiren entegre uygulamalar, işletmenin ekonomik bağlamda iklim şoklarına karşı dayanıklılığını sağlayacaktır.

Diğer taraftan, istisnasız bütün tarım ve hayvancılık işletmelerinin “Pozitif Karbon Salım” kaynakları olduğu da bilinen bir gerçektir. İklim değişikliği-dirençli bütünleşik tarım-hayvancılık uygulamaları vasıtasıyla bu eğilim tersine çevrilebilir.

Bir fikir planı taslağı olarak; tarım, hayvancılık, tarımsal atıklardan ısı ve elektrik formunda enerji üretimi, örtü altı ziraat (seracılık), tarımsal yapıların çatılarında yağmur suyu hasadı ve yağmur suyunun depolanmasına dayalı su yönetimi gibi farklı türde etkinliklerin aynı tarım işletmesinin bünyesinde, birbirini bütünleyecek şekilde, ortak bir yönetim altında yürütülmesi öngörülebilir.

İklim değişikliği kaynaklı olumsuz çevre koşulları, tarımsal etkinliklerin en azından bir bölümünün, bundan böyle seralarda yapılması zorunluğunu dayatmaktadır. Seralar, bu kapalı döngü sisteminin merkezinde yer alarak yıl boyu yüksek değerli ürün yetiştirilmesine olanak tanır. Sera çatılarında yağmur suyu toplama sistemlerinin, seralara entegrasyonu sayesinde, kırsalda su yönetimi de bütünleşik tarım-hayvancılık uygulamasına eklenmiş olacaktır.

Buna göre, hayvancılık birimine bitişik açık tarım alanlarının bir bölümünde, besicilikte gerekli yem bitkileri yetiştirilebilir. Bu suretle, uzak kaynaklardan yem bitkisi tedarik etmenin maliyetleri ve lojistik zorluklar giderilmiş olacaktır. Açık tarım alanlarında ise “Tarla Ormancılığı - Ağaç Altı Ziraat” (agroforestry - kök ve taç sistemi bakımın-

dan uygun ağaç türlerinin tarım arazilerine veya hayvan otlatma alanlarına entegre edilmesi) uygulamasına geçilmesi en isabetli seçim olacaktır.

Ağaç - Tarla Bitkisi ara ziraatı mikro klimayı iyileştirerek rüzgar hızının ve toprak erozyonunun azalmasını, toprak neminin ve organik madde içeriğinin artmasını sağlar. Hızlı gelişen ve çoklu-amaçlı ağaç sıraları arasında yapılacak uygulamalar bütünleşik modelin ana eksenini oluşturacaktır. Çin’de yüzlerce yıldır yapılmakta olan ve günümüzde üçüncü ülkelerde de yaygın olarak yürütülen Tarla Ormancılığı (Agroforestry) uygulaması, bütünleşik modelin ana eksenini oluşturacaktır.

Çünkü, bu tür uygulamalar için elverişli ağaç türleri (örneğin ana vatanı Çin olan Pavlonya - Paulownia), ağaç sıraları arasında yetişen geleneksel tarla bitkileriyle birlikte var olma ilişkisi (symbiosis) içinde, rekoltede kayda değer oranda verim artışı sağlamaktadırlar. Dahası, genişleyen ürün gamı (besin değeri yüksek yapraklar, budama dallarından biyolojik kömür, çiçeklerden yüksek kaliteli bal üretimi ve mobilyalık tomruk) sayesinde araziden elde edilen gelirden büyük artışta meydana gelmektedir.

İklim değişikliği ile mücadele bağlamında, agroforestry uygulamaları vasıtasıyla, bütünleşik uygulama bir “karbon yutağı” işlevi görerek, ilgili işletmenin “net negatif karbon salım” alanı haline gelmesini sağlayacaktır. Pavlonya örneğinden devamla; İzmir’in Bergama ilçesinde (deniz seviyesi) 2006 - 2007 yıllarında yürütülen ve Pavlonya türünün üstün vasıflı klonlarının kullanıldığı Pavlonya - Kanola, Pavlonya - Pamuk “ara ziraat” (intercropping - agroforestry) pilot uygulamalarında, altı ila yedi yıllık idare müddeti (ağaçların hasadına kadar geçen süre) boyunca, ortalama olarak yılda, hektar başına 40,0 ton CO₂’nin atmosferden kalıcı olarak uzaklaştırıldığı saptanmıştır (kişisel referans).

Bu deneme açıkça ortaya koymuştur ki, ana ek-
seninin agroforestry uygulamasının oluşturduğu
bütünleşik tarım-hayvancılık uygulamaları “net
negatif karbon salım” işlevine sahip olmakla, iklim
değişikliği etkilerini giderilmesinde etkin rol
oynayabilirler.

İklim değişikliği kaynaklı olumsuz çevre ko-
şulları, tarımsal etkinliklerin en azından bir bölü-
münün, bundan böyle seralarda yapılması zorun-
luğunu dayatmaktadır. Seralar, bu kapalı döngü
sisteminin merkezinde yer alarak yıl boyu yüksek
değerli ürünlerin yetiştirilmesine olanak tanır.
Sera çatılarında yağmur suyu toplama sistemleri-
nin, seralara entegrasyonu sayesinde, kırsalda su
yönetimi de bütünleşik tarım-hayvancılık uygula-
masına eklenmiş olacaktır.

Açık tarım, sera ve hayvancılık uygulama-
larında açığa çıkacak organik atıklardan ısı ve

elektrik formunda enerji ve başta dizel olmak
üzere biy yakıtların üretilmesi ise başlı başına
bir diğer kazanım ve avantaj oluşturacaktır. Bu
sayede, bütünleşik işletmelerin enerji ve akar-
yakıt temininde dış faktörlerden olabildiğince
bağımsız ve kendine yeterli birimler olması sağ-
lanacaktır.

Bütünleşik uygulamada atık ortaya çıkmaya-
caktır. Her ünitenin atığı bir diğerinin girdisi ola-
rak işlev görecektir. Örneğin, piroliz, gazlaştırma
veya metanizasyon (biyogaz) tesisinde açığa çık-
acak olan CO₂ ve su buharı yoğunluklu baca gazı,
bitkilerin daha hızlı gelişmesini sağlamak üzere
seralara yönlendirilirken, tarımsal ve hayvansal
atıklar, biyokütle (atıktan enerji) tesisinde yakıt
olarak kullanılacaktır. Kısacası bütünleşik uygu-
lamalar “sıfır atık” niteliğine sahip olarak planlan-
malı ve hayata geçirilebilir.



Paulownia - Kanola Ara Ziraatı Deneyi, 2006 yılında Bergama-İzmir'de gerçekleştirildi ve kanola yağından biyodizel
üretmeyi amaçlıyor. Soldan sağa: Salih Ertan, Prof. Xhu Zhaohua, İbrahim Yavaşca (çiftlik sahibi).

Bu noktada, kritik ve önemle vurgulanması gereken tespit, bütünleşik uygulamalarda, aşırı iklim olayları sonucunda işletmenin bir bölümünde meydana gelebilecek hasar ve ekonomik kaybın, ürün çeşitliliği ve farklı aktiviteler sayesinde, iklim şoklarına direnç ve toplu yıkıma yol açmaksızın kuruluşun varlığını sürdürmesine olanak sağlayacak olmasıdır.

Diğer taraftan, hemen bütün gelişmekte olan ülkelerde, kırsaldan kentlere göç olgusu nedeniyle, tarım nüfusunun daraldığı bir gerçektir. Bütünleşik uygulamalar sayesinde, tarım arazilerinin gelirlerinde sağlanacak önemli artış, kırsal ile kentsel arasındaki gelir uçurumunu giderirken, geriye göçü de teşvik eden bir etken oluşturacaktır. Bütünleşik uygulamalar, kırsala sermaye transferi sağlamakla; bu sayede kırsal kalkınma stratejilerinin oluşturulmasında çok önemli bir role de sahip olacaklardır.

Diğer taraftan, hemen bütün gelişmekte olan ülkelerde, kırsaldan kentlere göç olgusu nedeniyle, tarım nüfusunun daraldığı bir gerçektir. Bütünleşik uygulamalar sayesinde, tarım arazilerinin gelirlerinde sağlanacak önemli artış, kırsal ile kentsel arasındaki gelir uçurumunu giderirken, geriye göçü de teşvik eden bir etken oluşturacaktır. Bütünleşik uygulamalar, kırsala sermaye transferi sağlamakla; bu sayede kırsal kalkınma stratejilerinin oluşturulmasında çok önemli bir role de sahip olacaklardır.

Bir diğer olumlu etki, biyolojik çeşitliliğin korunmasına ilişkindir. Endüstriyel tomruk ihtiyacının doğal orman alanları yerine, agroforestry alanlarında karşılanması sayesinde, doğal ormanlar üzerindeki tahripkar üretim baskısı da büyük ölçüde hafifleyecek hatta büsbütün ortadan kaldırılabilir. Orman alanlarında sürgit olan tahribatın, iklim değişikliği etkilerinde bir çarpan etkisi yaratıldığını da bu arada belirtmek gerekiyor.

Türkiye'nin somut koşullarını göz önüne alarak fikir planı taslağının esaslarına da bu bölümün kapanış notu olarak yer vermekte fayda var.

Öncelikle, bütünleşik uygulamaların geniş ve tek parça veya birbirine çok yakın tarım arazilerinde hayata geçirilebileceği görülüyor. Bu açıdan bakıldığında, özellikle Batı Anadolu bölgesinde, veraset yoluyla tarım arazilerinin giderek küçülen parsellere bölünmesi nedeniyle, bütünleşik uygulamalara elveren tek parça işletmelerin sayıca çok az olduğu görülüyor. Veri koşullarda Türkiye'de nasıl yol alınabilir?

Türkiye'de, toprak ve iklim koşulları bakımından farklılıklar gösteren yirmi altı su havzası bulunuyor. Bütünleşik uygulamaların havza bazında ele alınması gerektiği akla geliyor. Buna göre, her havza, farklılıkları da gözetilerek bağımsız ve bütünleşik bir işletme olarak ele alınabilir. Havza sınırları dahilinde yer alan tarım ve hayvancılık işletmeleri, merkezi havza işletmesinin ortakları olabilirler. Bu noktada “yönetsel toplulaşma” anahtar kavramdır. T.C Tarım ve Ormancılık Bakanlığının eş güdümü çerçevesinde, havzalara yönelik “yönetsel toplulaştırma” yapıları oluşturulabilir. Merkezi denetim ve eş güdüm çerçevesinde, farklı işletmelerin uyumlu birlikteliği ve faaliyetleri pekala sağlanabilir.

Bu bölümün tamamlayıcısı olarak, tartışmalı bir konuya da yer vermek zorunlu görünüyor: GDO'lu tarım ürünleri... Bu konuyla devam etmek faydalı olacaktır.



GDO'ların çevreye salınması gen akışı (genetik bulaşma - kirlenme) ve melezleşme yoluyla biyolojik çeşitlilik ve ekosistemin işleyişinin sonuçları belirsiz şekilde etkilenmesiyle, nihayetinde doğa ile sosyoekonomik yapının etkileşim üzerinde ciddi riskler yaratabilir (Fotoğraf: Non-GMO Report, t.y.).

GDO'lu Ürünler: Fırsat ve Riskler

Kuraklık, yüksek sıcaklık, tuzluluk ve artan zararlı baskısı, tarımsal verimliliği düşürmektedir. Genetik Mühendisliği, bu abiotik ve biyotik baskılara karşı dayanıklı, genetik yapısı değiştirilmiş organizmalar (GDO) yaratma potansiyeli ile öne çıkan bir teknolojidir. Ancak, bu teknolojinin getirdiği faydalar, beraberinde: “gen kaçıışı” (genetik bulaşma), istilacı türlerin ortaya çıkma potansiyeli, hedef-dışı organizmalar üzerindeki etkiler ve sosyo-ekonomik düzensizlikler gibi tüm GDO'lu ürünler için geçerli olabilecek küresel riskleri de getirmektedir. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki baskıları, yeni dayanıklı çeşit-

lerin geliştirilmesini de zorunlu kılmaktadır (FAO, 2016). Fırsatlar ve riskler arasında bir karşılık söz konusudur. Geleneksel ıslah yöntemlerinin sınırlı hızına karşılık, genetik mühendisliği, kuraklığa dayanıklı buğday, tuzluluğa toleranslı arpa veya böceklerle dirençli pamuk gibi ürünlerle önemli bir çözüm sunmaktadır. Ne var ki, GDO'ların çevreye salınması gen akışı (genetik bulaşma - kirlenme) ve melezleşme yoluyla biyolojik çeşitlilik ve ekosistemin işleyişinin geri dönüşsüz ve denetlenemez şekilde etkilenmesiyle, nihayetinde doğa ile sosyo-ekonomik yapının etkileşim üzerinde ciddi riskler yaratabilir (Ellstrand, 2003; Stewart vd., 2003). GDO'lu ürünlerde riskler aşağıdaki başlıklar altında yer almaktadır.

“Gen Kaçışı” ve Olası İstilacı Türlerin Ortaya Çıkışı: Transgenik ürünlerden yabancı akrabalara gen transferi, bu türlerin rekabet gücünü artırabilir ve istilacı davranış göstermelerine yol açabilir. Özellikle herbisit toleransını sağlayan genlerin doğal türlere geçişi, “süper yabancı otlar”ın ortaya çıkmasına sebep olabilir (Ellstrand, 2003; Simard vd., 2010). Bu durum hem ekosistem dengesini hem de tarımsal maliyetleri olumsuz etkileme potansiyeli taşımaktadır.

Biyolojik Çeşitliliğin Erozyonu: Nadir veya endemik türler ile kültür bitkileri arasında gerçekleşen gen akışı, bu türlerin genetik bütünlüğünü bozabilir ve yok olma riskini artırabilir (Ellstrand vd., 1999). Ayrıca, kültür bitkilerinin genetik çeşitliliği de azalabilir (Lu & Yang, 2009).

“Hedef-Dışı” Organizmalar Üzerindeki Etkiler: Genomuna aktarılmış belirli genleri taşıyan böcek dirençli ürünler (mısır, pamuk), hedef böceklerle toksik olduğu kadar, hedef-dışı böceklerle de (örneğin, kelebek larvaları, faydalı böcekler) zarar verebilir (Losey vd., 1999). Polenlerin rüzgarla komşu alanlara taşınması, bu toksinin monokültür tarım alanlarının çok ötesine yayılmasına neden olabilir. Bu durum, gıda zincirini etkileyerek, örneğin tozlaşma gibi doğal ekosistem işleyii, üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir (Tsatsakis vd., 2017).

Agronomik ve Sosyo-Ekonomik Sonuçlar: Gen kaçışı, organik tarım sertifikasyonunu riske atar, çiftçilerin pazar kayıplarına yol açabilir ve çok uluslu şirketlerin tohum tekeli pekiştirilerek çiftçi özerkliğini azaltabilir (Altındışli, 2012). Ayrıca, GDO’ların uzun vadeli sağlık ve çevre etkileri konusundaki belirsizlikler, toplumda güven krizine yol açmaktadır (Hilbeck vd., 2015).

Riskleri Azaltma Stratejileri: Alan seçimi ve coğrafi izolasyon: GDO ekimlerinin yabancı akrabaların bulunduğu alanlardan uzak tutulması (FAO & WHO, 2000).

Moleküler biyogüvenlik yöntemleri: Kısırlık genleri, plastid transformasyonu gibi yöntemlerin geliştirilmesi (Stewart vd., 2003).

Uzun vadeli izleme: GDO’ların çevresel etkilerini izlemek için bağımsız ve uzun süreli araştırma programlarının yürütülmesi (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016).

Etiketleme ve şeffaflık: Tüketicilerin seçim hakkını koruyacak şekilde zorunlu etiketleme (FAO, 2016).

Alternatif teknolojilerin desteklenmesi: Agroekolojik yöntemler, hassas tarım ve su yönetimi gibi sürdürülebilir çözümlerin teşvik edilmesi.

GDO’lar, iklim değişikliğine uyumda önemli bir araçtır; ancak potansiyel ekolojik ve sosyoekonomik riskler, dikkatli yönetim uygulama ve denetimleri olmaksızın bu teknolojiyi kullanmak sakıncalar taşımaktadır. Tartışma, “GDO’ya evet mi hayır mı?” ikileminden çıkmalı; hangi ürünlerde, hangi genlerde, hangi koşullarda ve nasıl bir denetim mekanizmasıyla kullanılacağı üzerine yoğunlaşmalıdır.

Sonuç

İklim değişikliğinin neden olduğu su ve gıda krizi, sadece çevresel bir sorun değil, aynı zamanda insani, ekonomik ve jeopolitik bir varoluşsal tehdittir. Bu krizin yükü, tarihsel olarak en az sorumlu olanların sırtına adaletsizce yüklenmektedir.

İklim değişikliği, su kıtlığı ve gıda güvensizliği üçlü krizi, ancak sistemik ve birbiriyle bağlantılı çözümlerle ele alınabilir.

Fiziksel su kaçaklarının önlenmesi ve yağmur suyu hasadı ile mevcut kaynaklar optimize edilmesi, entegre agro-ekolojik sistemler ile üretimin iklim değişikliği direnci ve sürdürülebilirliği artırılmalı, ve nihayetinde soğuk plazma gibi ileri teknolojiler ve karbon negatif tarım uygulamaları ile sera gazı salımlarını azaltmanın ötesine geçilerek, aktif bir şekilde karbon geri kazanımı sağlanmalıdır. Bu teknik önlemler, destekleyici politikalar, finansman mekanizmaları ve toplumsal katılımı birleştirildiğinde, “mükemmel fırtınanın” yıkıcı etkilerini bertaraf etmek mümkün olacaktır.

Su ve Gıda Sistemlerinde Dirençliliği Artırmak: Kuraklığa ve tuzluluğa dayanıklı mahsul çeşitlerinin geliştirilmesi, hassas sulama teknolojilerinin (damlama sulama) yaygınlaştırılması, su yönetimi ve bu bağlamda yağmur suyu hasadı sistemlerinin kurulması, verimli su kullanımını teşvik eden politikaların hayata geçirilmesi kritik öneme sahiptir.

Küresel İşbirliği ve Adil Geçiş: Küresel Kuzey, tarihsel sorumluluğunun gereği olarak, Küresel Güney’in iklim değişikliğine uyum sağlama ve temiz enerji teknolojilerine geçiş yapma çabalarını finanse etmek ve teknoloji transferinde bulunmakla yükümlüdür. COP27’de kurulan Kayıp ve Zarar Fonunun etkin ve adil bir şekilde işletilmesi hayati önem taşımaktadır.

Sürdürülebilir ve Adil Gıda Sistemleri: Endüstriyel tarımın çevresel ayak izini azaltacak agro-ekolojik uygulamalara, yerel ve kısa gıda tedarik zincirlerinin desteklenmesine ve gıda israfının azaltılmasına yönelik politikalar teşvik

edilmelidir.

Gerginlik ve Olası Çatışmaları Önleme ve Yönetişim: Su ve toprak kaynakları üzerindeki potansiyel çatışmaları önlemek için şeffaf ve katılımcı su yönetim modelleri, sınır ötesi işbirlikleri (örneğin, nehir havzası yönetimi anlaşmaları) ve erken uyarı sistemleri güçlendirilmelidir.

Sonuç olarak, iklim değişikliği kaynaklı su ve gıda krizi, mevcut küresel eşitsizlikleri derinleştiren bir işlev görmektedir. Bu krize etkin bir yanıt, yalnızca teknik çözümlerden ibaret olamaz; aynı zamanda küresel ölçekte adalet, dayanışma ve sorumluluk temelinde yeniden düşünülmüş bir siyasi iradenin ortaya konması ve hayata geçirilmesi gerekmektedir. Küresel Güney’in haklı taleplerinin ciddiye alınması ve kaynakların adilce paylaşılması, gelecekteki çatışmaları önlemenin ve sürdürülebilir bir küresel toplum inşa etmenin tek yoludur. 🌸

Kaynakça

- Altındışli, A. (2012). Genetik Yapısı Değiştirilmiş Organizmalar (GDO) ve Tarım. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 49(Özel Sayı), 87–94.
- Deutsch, C. A., vd. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Ellstrand, N. C. (2003). *Dangerous liaisons? When cultivated plants mate with their wild relatives*. Johns Hopkins University Press.
- Ellstrand, N. C., Prentice, H. C., & Hancock, J. F. (1999). Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30, 539–563. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.30.1.539>

- Famiglietti, J. S. (2014). The global groundwater crisis. *Nature Climate Change*, 4(11), 945–948. <https://doi.org/10.1038/nclimate2425>
- FAO. (2016). The state of food and agriculture: Climate change, agriculture and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2018). The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1 Eylül 2025 tarihinde <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf> adresinden alınmıştır.
- FAO. (2025). AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture. 1 Eylül 2025 tarihinde [fao.org/aquastat/en/databases/maindatabase/symbols/index.html](http://www.fao.org/aquastat/en/databases/maindatabase/symbols/index.html) adresinden alınmıştır.
- FAO. (2025). 1 Eylül 2025 tarihinde [fao.org/aquastat/en/databases/maindatabase/symbols/index.html](http://www.fao.org/aquastat/en/databases/maindatabase/symbols/index.html) adresinden alınmıştır.
- FAO. (2025). 1 Eylül 2025 tarihinde <https://www.fao.org/common-pages/search/en/?q=food+waste> adresinden alınmıştır.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. (2023). The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation, and healthy diets across the rural–urban continuum. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- FAO, & WHO. (2000). Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on the Safety Assessment of Foods Derived from Biotechnology. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1 Eylül 2025 tarihinde <http://www.fao.org/3/i01110e/i01110e.pdf> adresinden alınmıştır.
- Hallegatte, vd. (2016). Mapping the climate change challenge. 1 Eylül 2025 tarihinde <https://www.nature.com/articles/nclimate3057> adresinden alınmıştır.
- Hsiang, S. M., Burke, M., & Miguel, E. (2013). Quantifying the influence of climate on human conflict. *Science*, 341(6151), 1235367. <https://doi.org/10.1126/science.1235367>
- Hilbeck, vd. (2015). No scientific consensus on GMO safety. *Environmental Sciences Europe*, 27(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0034-1>
- Irrigreen. (n.d). Water Consumption Statistics. 1 Eylül 2025 tarihinde <https://irrigreen.com/pages/water-consumption-statistics> adresinden alınmıştır.
- Immerzeel, vd. (2020). Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature*, 577(7790), 364–369. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y>
- IPCC. (2019). Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 1 Eylül 2025 tarihinde <https://www.ipcc.ch/srccl/> adresinden alınmıştır.
- IPCC. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.

- Losey, J. E., Rayor, L. S., & Carter, M. E. (1999). Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399(6733), 214. <https://doi.org/10.1038/20338>
- Lu, B.-R., & Yang, C. (2009). Gene flow from genetically modified rice to its wild relatives: Evidence and implications. *Plant Ecology*, 202(2), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9485-0>
- NASA. (2023). Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. 1 Eylül 2025 tarihinde <https://climate.nasa.gov/> adresinden alınmıştır.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). Genetically engineered crops: Experiences and prospects. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23395>
- Roberts, J. T., & Parks, B. C. (2006). A climate of injustice: Global inequality, north-south politics, and climate policy. MIT Press.
- Simard, M. J., Légère, A., Pageau, D., Lajeunesse, J., Warwick, S. I., & Stewart, C. N. (2010). Gene flow between crops and their wild relatives. *Plant Science*, 179(6), 500–510. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.07.011>
- Stewart, C. N., Jr., Halfhill, M. D., & Warwick, S. I. (2003). Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nature Reviews Genetics*, 4(10), 806–817. <https://doi.org/10.1038/nrg1179>
- Tsatsakis, A. M., vd. (2017). Environmental impacts of genetically modified plants: A review. *Environmental Research*, 156, 818–833. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.011>
- UN World Water Development Report. (2021). Summary Progress Update 2021: SDG 6 – water and sanitation for all. 1 Eylül 2025 tarihinde <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/> adresinden alınmıştır.
- UNESCO. (2020). United Nations world water development report 2020: Water and climate change. UNESCO. 1 Eylül 2025 tarihinde <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2020/> adresinden alınmıştır.
- WBGU (German Advisory Council on Global Change). (2007). World in transition: Climate change as a security risk. Earthscan. 1 Eylül 2025 tarihinde <https://www.wbgu.de/en/publications/publication/world-in-transition-climate-change-as-a-security-risk> adresinden alınmıştır.
- World Bank. (2023). Climate Change. 1 Eylül 2025 tarihinde <https://www.worldbank.org/en/topic/climatechange> adresinden alınmıştır.
- World Meteorological Organization. (2021). WMO atlas of mortality and economic losses from weather, climate, and water extremes (1970–2019). *WMO-No. 1267*. 1 Eylül 2025 tarihinde https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10916 adresinden alınmıştır.
- Zhao, vd. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35), 9326–9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>