



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



İKLİME DUYARLI BİTKİSEL ÜRETİM

Fatih Konukcu - Selçuk Albut
İsrafil Kocaman - Tolga Erdem



Cevre ve İklim Eylemi
Sehiör Operasyonel Programı



İKLİM DEİŞİKLİĞİ
BAŞKANLIĞI



İklim Trak



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI



İKLİME DUYARLI BİTKİSEL ÜRETİM

Fatih Konukcu
Selçuk Albut
İsrafil Kocaman
Tolga Erdem



İklim Duyarlı Bitkisel Üretim
Fatih Konukcu - Selçuk Albut - İsrail Kocaman - Tolga Erdem

Yayın No.: 2599
ISBN: 978-625-376-485-2
E-ISBN: 978-625-376-486-9
Basım Sayısı: 1. Basım, Mayıs 2025

© Copyright 2025, NOBEL BİLİMSEL ESERLER SERTİFİKA NO.: 20779

Bu baskının bütün hakları Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti'ne aittir.

Yayınevinin yazılı izni olmaksızın, kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayımı, çoğaltımı ve dağıtımı yapılamaz.

Nobel Yayın Grubu, 1984 yılından itibaren ulusal ve 2011 yılından itibaren ise uluslararası düzeyde düzenli olarak faaliyet yürütmekte ve yayınladığı kitaplar, ulusal ve uluslararası düzeydeki yükseköğretim kurumları kataloglarında yer almaktadır.

"NOBEL BİLİMSEL ESERLER" bir Nobel Akademik Yayıncılık markasıdır.

Genel Yayın Yönetmeni: Nevzat Argun -nargun@nobelyayin.com-
Genel Yayın Koordinatörü: Gülfem Dursun -gulfem@nobelyayin.com-

Sayfa Tasarım: Dilek Meraki -dilek.m@nobelyayin.com-

Redaksiyon: Dilek Gezgini -dilek@nobelyayin.com-

Kapak Tasarım: Sezai Özden -sezai@nobelyayin.com-

Görsel Tasarım Uzmanı: Mehtap Yürümez -mehtap@nobelyayin.com-

Kütüphane Bilgi Kartı

Konukcu, Fatih., Albut, Selçuk., Kocaman, İsrail., Erdem, Tolga.
İklim Duyarlı Bitkisel Üretim / Fatih Konukcu, Selçuk Albut, İsrail Kocaman, Tolga Erdem
1. Basım, xx + 338 s., 16,5x24 cm. Kaynakça var, dizin yok.
ISBN: 978-625-376-485-2
E-ISBN: 978-625-376-486-9
1. Bitkisel Üretim 2. İklim

Genel Dağıtım

ATLAS AKADEMİK BASIM YAYIN DAĞITIM TİC. LTD. ŞTİ.

Adres: Bahçekapı Mh. 2465 Sk. Oto Sanayi Sitesi No:7 Bodrum Kat, Şaşmaz/ANKARA

Telefon: +90 312 278 50 77

Sipariş: siparis@nobelyayin.com- **E-Satış:** www.nobelkitap.com - www.nobelyayin.com

Dağıtım ve Satış Noktaları: Alfa, Kırmızı Kedi, Arkadaş, D&R, Dost, Kika, Kitapsan, Nezi, Odak, Pandora, Prefix, Remzi Kitabevleri, Yeryüzü Dağıtım

Baskı ve Cilt: Meteksan Matbaacılık ve Teknik Sanayi Tic. Anonim Şirketi / Sertifika No: 46519

Beytepe Köy Yolu No: 3 06800 Bilkent-Çankaya/ANKARA



TR2017-ESOP-MI-A3-04-CCAGP088 TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişimine Uyum için Nötr Arazi Bozulumu (İklimTrak) Projesi

Proje başlığı

TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişimine Uyum için Nötr Arazi Bozulumu

Projesi'nin kısa adı

İklimTrak'dır.

Program ve kurumsal çerçeve

İklimTrak Projesi, EuropeAid/170484/ID/ACT/TR – İklim Değişikliğine Uyum Hibe programı (Climate Change Adaptation Grant Programme, CCAGP) kapsamında desteklenmektedir.

“İklim Değişikliğine Uyum Hibe Programının (CCAGP)” kurumsal çerçevesi aşağıdaki kurum ve kuruluşlardan oluşmaktadır:

- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB), İklim Değişikliği Başkanlığı, Nihai Faydalanıcıdır.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, Avrupa Birliği Yatırımları Daire Başkanlığı (ABYDB), Sözleşme Makamıdır.
- Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) Türkiye Ofisi, Teknik Destek Ekibidir.

Proje başvuru sahibi (Koordinatör kurum)

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesidir.

Proje eş-yararlanıcıları (Ortakları)

- Tekirdağ İl Tarım ve Orman Müdürlüğü,
- Edirne İl Tarım ve Orman Müdürlüğü ve
- Kırklareli İl Tarım ve Orman Müdürlüğüdür.

Proje iřtirakçileri

- Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü M¼d¼rl¼đ¼,
- Edirne Tarımsal Araştırma Enstitüsü M¼d¼rl¼đ¼,
- Atat¼rk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstit¼s¼ M¼d¼rl¼đ¼, ve
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel M¼d¼rl¼đ¼ Tarımsal Çevre ve Doğal Kaynakları Koruma Daire Başkanlığıdır.

Proje hedef grupları

- Akademik çevre
- Yerel arazi planlayıcıları ve kullanıcıları yanında
- TR21 Trakya bölgesindeki karar vericilerdir.

Proje nihai yararlanıcıları

TR21 Trakya bölgesindeki yerel halktır.

Proje süresi

18 ay olup, 9 Aralık 2023 tarihinde başlamış, 8 Haziran 2025 tarihinde tamamlanmıştır.

Proje b¼tçesi

346.573,00 EURO olup, %90 hibe ve %10'u ise proje yararlanıcısı ve eş yararlanıcıları tarafından karşılanmıştır.

İklimTrak Projesinin genel amacı

İklimTrak Projesinin amacı; TR21 Trakya Bölgesi'nde tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için; UNDP Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi- 15 doğrultusunda, tarım arazilerindeki tahribatı dengeleme ve onarımını sağlama, arazi tahribatı dengeleme karar destek sistemleri oluşturma, iklim değışikliği eylem planları için gerekli tüm verileri entegre etme, kurumsal işbirliği ve kapasite artırımı yoluyla iklim değışikliğine karşı uyum çalışmalarına katkıda bulunmaktır.

Proje faaliyetleri

Proje 4 ana faaliyetten oluşmaktadır. Bunlar:

- Proje yönetim faaliyeti
- Entegrasyon faaliyeti kapsamında; iklim değişimine uyum için verilerin, kurumların ve kişilerin entegrasyonu
- Arazi Bozunumu İzleme/Değerlendirme faaliyetleri ve
- İletişim ve proje sonuçlarının yaygınlaştırılması faaliyetidir.

Proje çıktıları

- **Entegre veri tabanı:** Entegre veri tabanı aracılığıyla tüm paydaşlar proje web sayfasından arazi tahribatının derecesini ve riskli alanları görebilir, iklim değişikliği ve eylem planları ile ilgili gerekli mevcut kaynaklara erişebilirler.
- **Arazi tahribatı dengeleme stratejileri:** Arazi tahribatı modelleme sonuçlarına göre TR21 Trakya Bölgesi için sürdürülebilir arazi yönetim stratejileri geliştirilerek proje web sayfasında erişime açılmıştır.
- **Karar Destek Sistemi (KDS):** KDS ile karar vericiler ve çiftçiler arazilerindeki tahribatın mevcut durumunu ve trendini öğrenebilir; tahribatın dengelenmesi veya onarılması için uygulanan stratejilerin etkilerini görerek kara verebilirler.
- **İklim Değişimine Uyum Eylem Planı:** Mevcut eylem planı, TR21 Trakya Bölgesi arazi tahribatı modelleme sonuçları ve iklim değişimi projeksiyonlarına göre güncellenerek, TR21 Trakya Tarımının İklim Değişikliğine Uyum Eylem Planı (2025-2050) hazırlanmış ve Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım reformu Genel Müdürlüğüne ve bölgesel karar vericilere sunulmuştur.
- **Kitap:** “İklim Duyarlı Tarımsal Üretim” başlıklı 15 bölümü olan 240 sayfalık kitap online kitabın e-versiyonu proje web sayfasından açık erişime sunulmuş, sosyal medya araçları ile paylaşılmış ve en az 1.500 e-posta adresine postalanmıştır,
- **Eğitim Seti:** “Arazi Tahribatının Dengelenmesi” konulu 2 bölüm ve yaklaşık 30 dakikalık bu çiftçi eğitim filmi, online eğitim materyali

ve iyi uygulama örnekleri proje web sayfasından açık erişime sunulmuştur.

- **Kurumlar arası iş birliği:** Bölgedeki 213 tarım ile ilgili kurum-kuruluş ve STK, proje ile irtibatlandırılmış, proje süresince proje faaliyetlerine katılımları ve bilgilendirilmeleri sağlanmıştır.
- **Platform** bölgesel kurumları temsilen 150 irtibat kişisi “Arazi Tahribatının Dengelenmesi ve İklim Değişikliğine Uyum Platformu” adı altında entegre edilmiştir. Platform üyelerinin Eğitimler, Çalıştaylar ve Konferanslar gibi proje faaliyetlerine katılımları sağlanmıştır. Proje web sayfasındaki BLOG üzerinden yürütülen tartışmalara katılmaktadırlar.
- **Kapasite geliştirme:** Çoğunluğu bölgedeki mühendisler olmak üzere en az 100 teknik personel ve 700 önder çiftçi “İklim Değişimi ve Arazi Tahribatının Dengelenmesi” konusunda eğitilmiştir.
- **Farkındalık:** Yerel ve ulusal medya, e-bültenler, Başta bölgedeki 64 bin çiftçi olmak üzere tarım sektörünün paydaş olduğu toplumun her katmanında farkındalık oluşturulmaktadır.

ÖN SÖZ

Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesine (BMÇMS) göre arazi tahribatı; arazinin, insan faaliyetlerinden kaynaklanan, doğal süreçlerle daha da şiddetlenen ve boyutları iklim değişikliği ve biyoçeşitlilik kaybı nedeniyle sıklıkla artan, biyolojik ve ekonomik üretkenlik kapasitesinin herhangi bir şekilde azalması veya kaybedilmesi olarak tanımlanmaktadır.

BMÇMS 1994 tarihinde imzalanmış ve 1996'da resmen yürürlüğe girmiştir. Türkiye Sözleşmeye 1998 tarihinden itibaren resmen taraf olmuştur. Halen 197 BM üyesi ülke sözleşmeye taraftır. Sözleşmenin amaçları; Küresel ölçekte çölleşmenin durumunu ortaya koymak, ülkeleri çölleşme ile mücadele konusunda çalışmalar yapmaya zorlamak ve yapılan iyi uygulamaları yaygınlaştırmak, çölleşmeden etkilenen ülkelerde sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasına katkıda bulunmak, çölleşme ile mücadele konusunda işbirliğini geliştirmek ve bu alandaki çalışmaları desteklemek için ulusal ve küresel fonları harekete geçirmektir.

Sözleşme, 2012 yılındaki Rio+20 konferansında "Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD)" kavramını ortaya koymuştur. 2015 yılında Arazi Tahribatının Dengelenmesi UNDP Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) arasında yer almıştır. SKH 15; karasal ekosistemlerin korunması, restorasyonu ve sürdürülebilir kullanımının teşvik edilmesi, ormanların sürdürülebilir şekilde yönetimi, çölleşmeyle mücadele ve arazi tahribatının durdurulması ve tersine çevrilmesi ve biyoçeşitlilik kaybının durdurulmasını hedeflemektedir.

Birleşmiş Milletler 2023 tarım raporuna göre dünyadaki tarım topraklarının %35'i tahrip olmuştur ve iklim değişiminin etkisiyle hızla artmaktadır. Arazi tahribatı/çölleşme, 100'den fazla ülkede 1 milyar insanın geçim kaynak-

larını tehdit etmekte ve her yıl 12 milyon hektarlık ekilebilir arazi kaybına neden olmaktadır. Arazi tahribatı, ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere yol açan ciddi bir sorundur ve agroekolojik sistemlerin iklim değişikliğine karşı savunmasızlığını artırmakta, uyum çalışmalarını da boşa çıkarmaktadır.

Türkiye ve Trakya’da da arazilerimiz bir dereceye kadar tahrip olmuş ve olamaya devam etmektedir. Sanayisi, tarımsal üretimi, ticari potansiyeli ve lojistik merkezi olmasıyla TR21 Trakya Bölgesi Türkiye’nin en önemli cazibe merkezlerinden birisi olup sürekli göç almaktadır. TR21 Trakya Bölgesi, Türkiye’nin buğday üretiminin %12, ayçiçeği üretiminin %46,5, çeltik üretiminin %41,5 ve kanola üretiminin %54’ünü karşılamaktadır (TÜİK, 2024). Yoğun tarımsal üretim, erozyon, aşırı iklim olayları yanında nüfus artışı, sanayi ve şehirleşme kaynaklı arazi kullanım değişikliği, TR21 Trakya Bölgesinde arazi tahribatını hızlandırmaktadır.

İklimTrak Projesinin en önemli çıktılarından birisi de bölgesel ölçekte arazi tahribatının mevcut durumunu, gelişimini ve gelecekteki durumunu ortaya koymak, elde edilen sonuçlara göre sürdürülebilir arazi yönetim stratejileri geliştirmek, yapılan iyi uygulamaları yaygınlaştırmak, arazi tahribatının dengelenmesi konusunda iş birliğini geliştirmek ve böylece sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmaktır.

Bu kitapta, bitkisel üretimde sürdürülebilir arazi yönetimi ve iklim değişikliğine uyum ve azaltma stratejileri hem bölgemiz hem de ülkemizdeki araştırmacılar ve çiftçilerimizin yararına sunulmuştur.

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Proje Koordinatörü

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ	ix
--------------	----

BÖLÜM 1

İKLİME DUYARLI TARIM (İDT) KONSEPTİ

1. GİRİŞ.....	1
2. İKLİME DUYARLI TARIMIN (İDT).....	3
2.1. İDT ile Bitkisel Üretimde Sürdürülebilirlik	4
2.2. İDT ile Bitkisel Üretim İçin İklim Değişimine Uyum ve Azaltma Stratejileri	5
2.2.1. Bitki çeşidi/tür seçimi veya ıslahı.....	6
2.2.2. Ürün çeşitliliğini artırmak.....	6
2.2.3. Bitki deseninde değişiklik	7
2.2.4. Ekim takviminde değişiklik	8
2.2.5. Karışık ekim	8
2.2.6. Su ve sulama yönetiminde iyileştirme.....	8
2.2.7. Toprak, toprak suyu ve enerji koruma önlemlerinin uyarlanması	10
2.3. İDT Kapsamında Tarım Sektöründe Rekabet Gücünü Artırmaya, Sürdürülebilirliği Sağlamaya ve İklim Değişikliğini Azaltmaya Yönelik Yaklaşımlar	12
2.3.1. Organik tarım ve iyi tarım uygulamaları	13
2.3.2. Hassas tarım	13
2.3.3. Dikey tarım	13
2.3.4. Akıllı seralar	14
2.4. İDT Uygulamasının Kurumsal Yönü	14
KAYNAKLAR.....	15

BÖLÜM 2

İKLİM DEĞİŞİMİ SÜRECİNDE TÜRKİYE VE TR21 TRAKYA BÖLGESİ TARIMININ MEVCUT DURUMU

1. GİRİŞ.....	17
2. TÜRKİYE’DE İKLİMİN MEVCUT DURUMU VE GELECEK PROJEKSİYONLARI . 18	
2.1. Türkiye İçin Ortalama Sıcaklık Projeksiyonları.....	19
2.2. Türkiye İçin Ortalama Yağış Projeksiyonu.....	20
2.3. İklim İndisleri.....	21
3. TR21 TÜEKİYE VE TRAKYA BÖLGESİ TARIMININ MEVCUT DURUMU.....	22
4. TR21 TRAKYA BÖLGESİ’NİN ARAZİ KULLANIM/ARAZİ ÖRTÜSÜNÜN VE TARIM ARAZİLERİNİN MEVCUT DURUMU.....	30
4.1. TR21 Trakya Bölgesi’nin Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü	31
4.2. TR21 Trakya Bölgesi’nin Arazi Kullanım Kabiliyeti Sınıflaması	32
4.3. TR21 Trakya Bölgesi’nde Tarım Yapılan Arazilerindeki Erozyon Dereceleri .	33
4.4. TR21 Trakya Bölgesi’nin Büyük Toprak Grupları	34
5. TR21 TRAKYA BÖLGESİ’NİN SU KAYNAKLARININ MEVCUT DURUMU	35
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	38
KAYNAKLAR.....	40

BÖLÜM 3

TRAKYA BÖLGESİNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

1. GİRİŞ.....	41
2. TÜRKİYE’DE İKLİMİN MEVCUT DURUMU VE GELECEK PROJEKSİYONLARI . 43	
3. BULGULAR.....	44
3.1. Geleceğe Yönelik Ortalama Sıcaklık Senaryoları	44
3.2. Geleceğe Yönelik Toplam Yağış Senaryoları.....	46
3.3. Geleceğe Yönelik Aşırı (Ekstrem) İklim Olaylarındaki Değişimler	49
3.3.1. Geleceğe yönelik toplam yağış senaryoları	49
3.3.2. R20 çok yağışlı gün sayısı indisi	50
3.3.3. CDD ardışık kurak gün sayısı indisi.....	50
3.3.4. Standart yağış evapotranspirasyon (SPEI) indisi	51
4. SONUÇLAR	53
KAYNAKLAR.....	54

BÖLÜM 4

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ-ARAZİ TAHRİBATI VE ARAZİ TAHRİBATININ MODELLENMESİ

1. GİRİŞ.....	55
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	57
2.1. Çalışma Alanı.....	57
2.2. Veriler	58
2.3. Yöntem	59
2.3.1. Arazi üretkenlik dinamiği.....	59
2.3.2. Toprak organik karbonu.....	60
2.3.3. Erezyon.....	61
2.3.4. Morfolojik arazi parçalanması	62
2.3.5. Biri hariç, hepsi hariç (One Out All Out-1OAO) yaklaşımı	64
3. BULGULAR.....	66
3.1. TR21 Trakya Bölgesi ATD Modeli-Biyofiziksel Etmenler Genel Değerlendirme	66
3.2. TR21 Trakya Bölgesi ATD Modeli-Sosyo-Ekonomik Etmenler Genel Değerlendirme	70
4. SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR.....	72

BÖLÜM 5

İKLİME DUYARLI BİTKİSEL ÜRETİM

1. GİRİŞ.....	75
2. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİMİNİN TARIM ÜZERİNE ETKİSİ.....	83
2.1. Kuraklık	84
2.1.1. Kardeşlenme öncesi dönem (erken kuraklık)	86
2.1.2. Kardeşlenme dönemi kuraklık (kış kuraklığı)	86
2.1.3. Sapa kalkma-başaklanma (bahar kuraklığı)	86
2.1.4. Başaklanma-tane-dolum dönemi (geç kuraklığı)	87
2.2. Sıcaklık	88
2.2.1. Yüksek sıcaklık	88
2.2.2. Düşük sıcaklık	90

2.2.3. Ani Hava Değişimleri	92
2.2.4. Yağışlardaki düzensizler ve yağış miktarında azalışlar	93
2.2.5. Meteorolojik afetler	93
3. TARIMIN İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİSİ	94
4. SONUÇ.....	97
KAYNAKLAR.....	98

BÖLÜM 6

İKLİME DUYARLI ÇAYIR VE MERA YÖNETİMİ

1. GİRİŞ.....	101
2. MERA YÖNETİMİ, İLKELERİ VE YANLIŞ MERA KULLANIMININ TOPRAK BOZULUMUNA ETKİLERİ.....	102
2.1. Mera Yönetimi.....	102
2.2. Mera Yönetimi İlkeleri ve Etkileri	103
2.3. Erken ve Ağır Otlatmanın Mera Durumu Üzerine Etkileri	106
2.4. Yanlış Mera Kullanımının Toprak Bozulumu Üzerine Etkileri İlgili Araştırma Örnekleri	108
3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN MERALARDAKİ BİTKİ VE TOPRAK BOZULUMU ÜZERİNE ETKİLERİ	114
3.1. İklim Faktörleri-Mera Bitki ve Toprak Faktörleri Üzerine Etkilerine Ait Araştırma Örnekleri	118
4. SONUÇ.....	122
KAYNAKLAR.....	128

BÖLÜM 7

İKLİME DUYARLI TOPRAK YÖNETİMİ

1. GİRİŞ.....	135
2. ÇÖLLEŞME/ TOPRAK BOZULUMU/ ARAZİ TAHRİBATI NEDİR?.....	136
2.1. Arazi Tahribatının Nedenleri	138
2.2. Toprak/Arazi Bozulumunu/ Arazi Tahribatını Ortaya Çıkaran Etmenler ve Bu Etmenlerin Alt Başlıkları	140
2.3. Toprak/Arazi Bozulumunu/ Arazi Tahribatı ile Mücadele	142

3. TOPRAK/ARAZİ BOZULUMUNU/ ARAZİ TAHRİBATINI ÖNLEMEK İÇİN ÖNERİLER	145
4. SONUÇ.....	147
KAYNAKLAR.....	148

BÖLÜM 8

İKLİME DUYARLI SU YÖNETİMİ

1. GİRİŞ.....	149
2. DÜNYA ÇAPINDA VE TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR TATLI SU KAYNAKLARI VE SU KİTLİĞİ	150
2.1. Küresel ve Bölgesel Su Kullanımı.....	152
2.2. 2050 Yılına Kadar Küresel Su Talebi ve Arzı	154
2.3. 2050 Yılına Kadar Diğer Ekolojik Değişiklikler.....	155
2.4. Türkiye’nin Su Arzı ve Talebi.....	156
2.5. Su Kıtlığı ve Stresi	157
3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMSAL SU YÖNETİMİNE ETKİSİ	159
3.1. İklim Değişikliği Altında Bitki Su İhtiyacı (ET).....	159
3.2. İklim Değişikliği Altında Su Mevcudiyeti.....	161
3.3. Su Kalitesi.....	164
3.4. Aşırı İklim Olayları	165
4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAPSAMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR SU YÖNETİMİ STRATEJİLERİ/POLİTİKALARI.....	167
4.1. Su Kıtlığıyla Başa Çıkmak.....	168
4.2. Direnç Geliştirme	170
4.3. Tarla ve Çiftlik Seviyesinde Adaptasyon	170
4.4. Sulama Şebekesi Düzeyinde Uyum Faaliyetleri.....	171
4.5. Havza, Nehir Havzası ve Ulusal Düzeyde Adaptasyon	172
4.6. İklim Değişimine Başarılı Bir Uyum İçin Gerekli Koşullar.....	173
4.7. İklim Değişikliğinin Önlenmesi/Azaltılması İçin Su Yönetimi	174
5. SONUÇLAR	175
KAYNAKLAR.....	175

BÖLÜM 9

İKLİME DUYARLI SULAMA YÖNETİMİ

1. GİRİŞ.....	183
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIMSAL SULAMA	185
2.1. Basınçlı Sulama Yöntemleri	186
2.2. Otomatik Sulama Sistemleri.....	190
3. SONUÇ VE ÖNERİLER	193
KAYNAKLAR.....	194

BÖLÜM 10

TR21 TRAKYA BÖLGESİ İÇİN İKLİME DUYARLI GÜBRELEME

1. GİRİŞ.....	197
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIM ÜZERİNE BEKLENEN ETKİLERİ.....	198
3. TRAKYA YÖRESİNİN GENEL COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ.....	199
4. TRAKYA YÖRESİNİN TARIMSAL ÖZELLİKLERİ.....	200
5. TRAKYA YÖRESİ TOPRAKLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ.....	201
5.1. Trakya Yöresi Topraklarının Toprak Reaksiyonu (ph) ve Tarımsal Üretim ve İklim Değişikliği Bakımından Yönetimi	204
5.2. Trakya Yöresi Topraklarının Toprak Tuzluluğu ve Tarım ve İklim Değişikliğine Uyumlu Yönetimi.....	206
5.3. Trakya Toprakların Kireç Düzeyi ve Kireçlemenin Sera Gazı Emisyonuna Etkisi	210
5.4. Toprak Organik Maddesinin Tarımsal Üretim Üzerine Etkisi	213
5.5. Toprak Organik Maddesinin Büyük Bir Karbon Havuzu ve Sera Gazı Kaynağı /Yutağı Olarak Sera Gazı Emisyonları ve İklim Değişikliği Üzerindeki Etkileri .	215
5.6. Toprak Organik Maddesinin Yönetimi ve İklim Değişikliğiyle Mücadele	217
5.7. Toprak Karbonu Tutma Potansiyeli ve İklim Etkisi	219
5.8. Azotlu Gübre Kullanımı ve Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi	219
5.9. Nitroz oksit (N ₂ O) emisyonlarını azaltma yöntemleri.....	222
5.10. Fosforlu Gübrelerin Kullanımı ve Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi	223
5.11. Potasyumlu Gübrelerin Kullanımı Sera Gazı Emisyonları Üzerindeki Etkisi..	224
5.12. Mikrobesein Gübreleri Üretiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları .	225

5.13. Mikrobiyal Gübreler, Biyogübreler ve Yaprak Gübrelerinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkileri	226
5.14. Dünyada İklim Dostu Gübreleme Uygulamaları	227
3. SONUÇ	228
KAYNAKLAR.....	229

BÖLÜM 11

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ-TARIMSAL MEKANİZASYON VE TOPRAK BOZUNUMU İLİŞKİSİ

1. GİRİŞ	235
2. TOPRAK BOZUNUMU VE TARIMSAL MEKANİZASYON İLİŞKİSİ	236
3. KORUYUCU TARIM	242
3.1. Koruyucu Toprak İşlemede Yöntemler, Örtü Bitkisi ve Ekim Nöbetinin Önemi	244
4. TARIMSAL ÜRETİMDE KARBON AYAK İZİ	249
4.1. Tarım Makinaları İmalatında Karbon Ayak İzinin Azaltılmasıyla İlgili Standartlar	251
4.2. Traktörler için egzoz emisyon sınıfları	253
4.3. Alternatif Yakıtlı Çalışan Traktörler	254
5. İKLİM AKILLI TARIM TEKNOLOJİLERİ	255
5.1. Akıllı Tarım-Hassas Tarım Değişken Oranlı Uygulamalar	255
5.2. Konumsal Değişkenlik	257
5.3. Kontrollü Tarla Trafiği İzli Ekim	258
5.4. Hassas Tarım Teknolojileriyle Sürdürülebilir Tarımın Avantajları	260
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	261
KAYNAKLAR.....	261

BÖLÜM 12

SOSYO-EKONOMİK GELİŞMELERİN ARAZİ BOZULUMUNA ETKİSİ VE TARIMSAL FİNANSMAN

1. GİRİŞ	267
2. SOSYO-EKONOMİK GELİŞMELER VE ARAZİ BOZULUMU	269

2.1. Nüfus Artışı	270
2.2. Kentleşme	271
2.3. Sanayileşme	273
2.4. Tarımsal Üretim.....	274
2.5. Turizm	274
3. TARIMSAL FİNANSMAN VE KREDİ.....	277
4. ÇÖZÜM ÖNERİLERİ VE STRATEJİLER.....	278
5. SONUÇ	282
KAYNAKLAR.....	283

BÖLÜM 13

İKLİME DUYARLI TARIM, TARIMSAL EKOLOJİ VE BİYOÇEŞİTLİLİK

1. GİRİŞ.....	289
2. BİYOÇEŞİTLİLİK.....	290
2.1. Biyoçeşitlilik Nedir?.....	290
2.2. Türkiye'nin Biyoçeşitlilik Bakımından Durumu.....	291
2.3. Trakya Bölgesinin (TR21) Biyoçeşitlilik Bakımından Durumu	293
3. EKOLOJİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ.....	298
3.1. İklim Değişikliğinin Ekosistemlere Etkisi.....	299
3.1.1. İklim değişikliğinin su ekosistemlerine etkisi.....	300
3.1.2. İklim değişikliğinin kara ekosistemlerine etkisi.....	302
4. SONUÇ.....	304
KAYNAKLAR.....	308

BÖLÜM 14

İKLİME DUYARLI BİTKİSEL HASTALIK VE ZARARLI YÖNETİMİ

1. GİRİŞ.....	311
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN FAYDALI MİKROORGANİZMA ÜZERİNE ETKİSİ	313
3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİTKİ HASTALIKLARI ÜZERİNE ETKİSİ.....	314
4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HASTALIK KONTROLU ÜZERİNE ETKİSİ	318

5. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HASTALIK YÖNETİMİ UYGULAMALARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.....	318
6. SONUÇ.....	319
KAYNAKLAR.....	320

BÖLÜM 15

TARIM FAALİYETLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE İKLİME DUYARLI TARIM

1. GİRİŞ.....	323
2. TARIM FAALİYETLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	324
2.1. Kimyasal Gübre Üretimi ve Kullanımı.....	325
2.2. Pestisit Kullanımı.....	327
2.3. Hayvancılık Faaliyetleri.....	328
2.4. Sera Gazı Emisyonları	330
3. İKLİME DUYARLI TARIM VE ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	331
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	336
KAYNAKLAR.....	337

İKLİME DUYARLI TARIM (İDT) KONSEPTİ

Fatih KONUKCU¹, Selçuk ALBUT², İsrail KOCAMAN³, Tolga ERDEM⁴

¹Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendislik Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-2873-990X fkonukcu@nku.edu.tr

²Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendislik Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-0055-632X salbut@nku.edu.tr

³Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendislik Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-3659-3413 ikocaman@nku.edu.tr

⁴Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendislik Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-5887-9586 terdem@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye, 5-6 yılda bir hafif, 15-16 yılda bir şiddetli kuraklık yaşamakta ve iklim değişikliğinden büyük ölçüde etkileneceği tahmin edilmektedir.

İklim değişikliğinin hayatımızı belirgin şekilde etkilemekte, salgın hastalıklara, kuraklığa, erozyona, çölleşmeye, iklim bölgelerinin yer değiştirmesine, şiddetli hava olaylarının artmasına, deniz seviyesinin yükselmesine, canlı türlerinin zarar görmesine ve insan sağlığının bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum sosyo-ekonomik sektörleri ve ekolojik sistemleri doğrudan veya dolaylı olarak etkilemekte ve istenmeyen sonuçlara neden olmaktadır. İklim değişikliğinin tarımsal faaliyetler üzerindeki etkileri, üretim ve beslenme, yani gıda güvenliği arasındaki ilişki nedeniyle özel bir önem taşımaktadır.

İklim değişikliğiyle birlikte, tarımsal üretime uygunluk ve su kaynakları azalırken; mevsimsel kaymalardan kaynaklanan hasarlar, sulama suyu talebinin ve su stresinin artacağı öngörülmektedir (Kadioğlu ve ark., 2017).

Türkiye’de Karadeniz bölgesi hariç, sıcaklık ve evapotranspirasyondaki artışa bağlı olarak ilkbahar ve yaz yağışlarındaki azalmalar ayçiçeği, mısır, çeltik, fasulye, nohut, mercimek, şeker pancarı, pamuk, sebze ve meyveler gibi yazlık ürünlerin yanında yonca ve meraların verim ve ekiliş alanlarında düşüşlere yol açacaktır. Bu durum hâlihazırda baklagiller, yem bitkileri ve yağ bitkilerinde açığı olan ülkemizde üretim açığını daha da artıracaktır. Bunların yanında iklim değişikliğinin 2050 yılına kadar buğday gibi Türkiye için stratejik öneme sahip bazı kışlık ürünlerin veriminde de %20 verim düşüklüğüne düşüşe neden olacağı tahmin edilmektedir (Dellal ve ark., 2011; Kadioğlu ve ark. 2017, Konukcu ve ark., 2019).

Sıcaklık artışları nedeniyle ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı önemli ölçüde artacaktır. Sulama ile bile çiçeklenme ve dane dolum döneminde bitkiler daha yüksek ve aşırı sıcaklıklara maruz kalacağından yaz bitkilerinin veriminde düşüş olması beklenmektedir. Sıcaklık artışlarının ve yağışların azalmasının yanı sıra ürün yetiştirme mevsiminin uzaması, don günlerinin azalması, ürün yetiştirme mevsiminde toprak su eksikliği, özellikle Karadeniz kıyı şeridinde sel olaylarının sıklık ve şiddetinin artması, bitkisel üretimi ve biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyecektir (Kadioğlu et al. 2017; Konukcu ve ark., 2019).

Kışa girişte veya erken ilkbaharda sıcaklıkların beklenenin üzerinde seyretmesi bitkilerin, özellikle meyvelerin, erken çiçek açmasına ve sonrasında yaşanacak don olayı ile verim ve kalite kaybına neden olacaktır.

Soğuk kışların kontrol edememesi nedeniyle bazı hastalık ve zararlılar hayatta kalabilir, hatta her yıl daha fazla çoğalarak salgınlara neden olabilir. Sıcaklık ve nem koşulları değiştikçe, yeni hastalıklar ve zararlılar daha önce görülmeyen alanlarda hasara neden olabilir. Sıcaklığın artması, yağışların azalması, mevsimlerin kayması, atmosferde CO₂ miktarının artmasıyla birlikte hastalık ve zararlıların artacağı, kültür bitkilerine göre daha rekabetçi olan yabancı ot popülasyonlarında artışlar yaşanacağı, bitkilerde meydana gelen morfolojik değişimler sonucu daha fazla kimyasal ilaç kullanma zorunluluğu doğacağı, bu ise ürün kalitesini olumsuz etkilediği gibi insan ve çevre sağlığını da olumsuz etkileyeceği belirtilmektedir (Amare, 2016).

Uzun süreli kuraklıklar yangın mevsimini uzatacak ve yangın riskini artıracaktır. Beklenmeyen şiddetli yağışlar ve artan nem, ürün kalitesinin düşmesine, hatta bazen tamamen kaybolmasına, tane durgunluğuna ve toprak erozyonuna neden olacaktır. Aşırı sıcaklıklar ürün kalitesinde ve verimde düşüşe neden olurken, dolu yağışı büyük bir ekonomik kayba neden olabilir.

Artan nüfusu beslemek için, yıllık küresel gıda üretiminin 2050 yılına kadar yüzde 60 artması gerekmektedir (Bruinsma, 2009). Ancak, aşırı iklim olayları, ekosistem hizmetleri ve biyolojik çeşitlilikte kayıp ile kendisini gösteren iklim değişikliğinin etkileri, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki tarımsal üretim sistemlerini ve gıda sistemlerini baltalayacaktır (FAO, 2013). Diğer taraftan tarım sektörü (bitkisel üretim, hayvancılık, ormancılık, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği) de küresel sera gazı salınımına önemli katkıda bulunmaktadır. Tahminlere göre arazi kullanım sektörüyle birlikte tarım sektörü, toplam küresel sera gazı salınımının %22'sini oluşturmaktadır (FAO, 2013). Bu nedenle, tarım ve gıda sistemleri gıda güvencesini garanti altına almak için iklim değişikliğine ve doğal kaynak baskılarına uyum sağlamalı ve iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunmalıdır. Birbiriyle bağlantılı olan bu zorluklar, aynı anda ele alınmalıdır.

Bu nedenle, iklim değişimi sürecinde tarım sektörü iç içe geçmiş üç zorluğun aşmak zorundadır (FAO, 2010):

- i. küresel gıda talebini karşılamak için tarımsal verimliliği sürdürülebilir şekilde artırmak,
- ii. iklim değişiminin etkilerine uyum sağlamak ve
- iii. atmosferdeki sera gazı birikiminin azaltılmasına katkıda bulunmaktır.

Bu amaçları gerçekleştirmek için FAO, İklim Deyarlı Tarım (İDT) kavramını geliştirmiş ve desteklemiştir. Bu bölüm, İDT ve TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikline Uyum için Nötr Arazi Bozunumu Projesine (İklimTrak) genel bir bakış sunmaktır.

2. İKLİM DEYARLI TARIMIN (İDT)

FAO tarafından 2010 yılında Lahey Tarım, Gıda Güvenliği ve İklim Değişikliği Konferansında tanımlandığı ve sunulduğu şekliyle İDT, sürdürülebilir

kalkınma hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Gıda güvencesi ve iklim zorluklarını ortaklaşa ele alarak sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunu (ekonomik, sosyal ve çevresel) bütünleştirmektedir. İDT'nin üç önemli sacayağı vardır (FAO, 2010):

- **Verimlilik/sürdürülebilirlik/gıda güvencesi:** İDT, gıda güvencesi için çevre üzerinde olumsuz bir etki yaratmadan tarımsal üretkenliği ve elde edilen gelirleri sürdürülebilir bir şekilde artırmayı amaçlamaktadır.
- **İklim değişikliğine uyum:** İDT, çiftçilerin kısa vadeli risklere maruz kalmasını azaltmayı ve aynı zamanda şoklar ve uzun vadeli stresler karşısında uyum sağlamayı ve gelişme kapasitelerini geliştirerek dayanıklılıklarını güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Ekosistemlerin çiftçilere ve diğerlerine sağladığı ekosistem hizmetlerinin korunmasına özel önem verilmektedir.
- **İklim değişikimini azaltma/önleme:** Mümkün olan her yerde ve her zaman İDT, sera gazı salınımlarının azaltılmasına ve/veya ortadan kaldırılmasına yardımcı olmalıdır. Bu, ürettiğimiz her kalori veya kilo gıda, lif ve yakıt için emisyonları azalttığımız, tarımdan kaynaklanan ormansızlaşmadan kaçındığımız ve toprakları ve ağaçları karbon yutağı olarak hareket etme ve atmosferdeki CO₂'yi absorbe etme potansiyellerini en üst düzeye çıkaracak şekilde yönettiğimiz anlamına gelmektedir.

İklim duyarlı tarım, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek ve iklim değişikliği altında gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretim sistemlerini ve gıda değer zincirlerini dönüştürmeye ve yeniden yönlendirmeye yarayan bir yaklaşımdır. Bu, her uygulamanın tüm bölgelerde bu üç hedefin her biri için olumlu sonuçlar veren 'üçlü kazanç' ürettiği anlamına gelmez.

2.1. İDT ile Bitkisel Üretimde Sürdürülebilirlik

Her bir bitki için verimi sürdürülebilir şekilde arttırabilecek ve üretimin olumsuz çevresel etkilerini en aza indirebilecek çok sayıda iklim değişikliğine uyum ve azaltma seçeneği vardır. Bu seçenekler, kapasitelerine bağlı olarak, her çiftçi ailesi için farklılık göstermektedir. Bitkisel üretime özel iklim duyarlı yaklaşımlar şunlardır:

- **Tarımsal ekosistemde çeşitliliğin artırılması** (örneğin, aşırı iklim olaylarının etkilerine karşı uyum kabiliyeti yüksek veya toleranslı bitki türlerinin veya çeşitlerin sayısını zamansal ve mekânsal ölçekte artırma);
- **Toprak ve arazi yönetiminin sürdürülebilir şekilde iyileştirilmesi** (örneğin, arazi kullanımı değışikliğınden kaynaklanan karbon depolama kaybını azaltmak için ekilen alanların ve otlakların genişlemesinin dikkatli bir şekilde kanalizе edilmesi, toprakların organik madde miktarının artırılması);
- **Enerji kullanım verimliliğini artırmak** (örneğin, sürdürülebilir mekanizasyonu teşvik etmek, özellikle toprak işleme faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak için uygun tarımsal yönetimle birlikte uygun makinelerin mevcudiyetini artırmak, minimum toprak işleme, arazi toplulaştırması); ve
- **Basit ve sağlam bilimsel araçlar geliştirmek** (çiftçilerin karar verme süreçlerine mevsimlik ve uzun vadeli olarak rehberlik edecek basit ve güvenilir bilimsel araçlar geliştirmektir. Örneğin arazi tahribatını dengeleme, uygun bitki desenini belirleme, çeşit seçimi karar destek sistemleri)

2.2. İDT ile Bitkisel Üretim için İklim Değişimine Uyum ve Azaltma Stratejileri

İklim değışikliğine uyum, bazı düzenlemeler ve değışiklikler yaparak iklim değışikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak (veya olumlu olanlardan yararlanmak) için doğru önlemleri almayı gerektirir. İklim değışikliğinin etkilerine uyum için alınabilecek önlemler şu şekilde sıralanabilir: bitki çeşidi/tür seçimi veya ıslahı, ürün çeşitlendirme, bitki deseninde değışiklik, ekim takviminde değışiklik, karışık ekim, su ve sulama yönetiminde iyileştirme ve toprak, toprak suyu ve enerji koruma önlemlerinin uyarlanmasıdır. Bu stratejiler, bu kitabın farklı bölümlerinde detaylı olarak ele alındığı için burada kısaca özetlenmiştir.

2.2.1. Bitki çeşidi/tür seçimi veya ıslahı

İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı adaptasyon için en kolay yol, olumsuz iklim koşulları (sıcak hava dalgası, kuraklık), hastalık ve zararlılara dayanıklı tür ve çeşitleri seçmektir. Örneğin, TR21 Trakya Bölgesinde iklim değişikliğine bağlı olarak buğday verimini ve kalitesini düşüren aşırı yağış sonucu yatma, nemli koşullarda paslanma ve sıcak hava dalgası altında ısı stresi sık karşılaşılan sorunlardır. Mevcut tahıl çeşitleri arasında daha kısa saplı (yatmaya karşı dayanıklı), sıcak hava dalgasına ve hastalıklara dayanıklı çeşitler seçilebilir. Ancak seçilen dayanıklı yeni çeşitler her zaman öncekiler gibi yüksek verimi garanti etmeyebilir. Diğer stratejik ürün olan ayçiçeğine gelince, kuraklığa ve yüksek ısıya dayanıklı ve özellikle erkenci çeşitlerin seçimi düşünülebilir.

Diğer bir alternatif ise kuraklığa dayanıklı bitki türlerinin tercih edilmesidir. Örneğin buğday, kurakçıl çeltik veya mısra kıyasla çok daha az sulama suyuna ihtiyaç duymaktadır. Yaz yağışlarının azalması ve artan sıcak hava dalgalarına karşı buğdayın mısra, kanolanın ayçiçeğine vb. tercihi gibi yaz bitkileri yerine kış bitkileri önerilebilir. Uzun vadede, yerel genetik kaynaklar ve bu alanda gelişen teknolojiler kullanılarak, aşırı iklim koşullarının (yüksek sıcaklık, kuraklık, don vb.) yanı sıra hastalık ve zararlılara dayanıklı çeşitler geliştirilebilir.

2.2.2. Ürün çeşitliliğini artırmak

Ürün çeşitliliğini artırmak doğal biyoçeşitliliği koruyarak agroekosistemin tepki verme yeteneğini güçlendirmekte; çevre kirliliğini, toplam ürün kaybı riskini, hastalık zararlı ve yabancı ot sorunlarının görülme sıklığını azaltmakta; gıda tedarik fırsatlarını güvence altına almakta ve ayrıca üreticilere alternatif gelir elde etme yolları sağlamaktadır. Ancak bunun için, iklim değişiminden etkilenen alanlarda çiftçilerin entegre tarım sistemleri (ürün rotasyonu ve ara mahsuller dâhil) ve ıklime dayanıklı üretim teknikleri hakkında bilgi ve beceri kazanmaları gerekmektedir. Ürün çeşitliliğini artırmak, iklim değişiminin etkilerine karşı dayanıklılığı iki şekillerde artırabilir. Birincisi, iklim senaryolarında şiddetlenecek hastalık ve zararlı salgınlarını bastırmak ve hastalık bulaşmasını azaltma kabiliyeti sağlayabilir. İkincisi, üretimini daha büyük iklim değişkenliği ve aşırı olayların etkilerine karşı tamponlayabilir (Lakhran et al., 2017).

Yüksek değeri ürünleri yönelik çeşitlendirme, orta ve uzun vadede mümkünür. Ürün çeşitliliğı hem sulanan hem de sulanmayan alanlarda yüksek öncelikli bir uyum önlemidir. TR21 Trakya Bölgesi özelimde, iklim değışikliğı projeksiyonu göz önüne alındığında, kuraklığa ve sıcaklığa dayanıklı alternatif baklagil ve buğdaygil yem bitkileri ile yağ bitkileri ürün çeşitliliğine dâhil edilmektedir.

2.2.3. Bitki deseninde değışiklik

Tarımsal sistemler, maalesef, yıldan yıla dönüşümlü olarak yetiştirilen daha az ürün türü ile giderek daha basit hâle gelmektedir. Ancak çeşitli rotasyonlar, özellikle düşük yağış ve yüksek sıcaklıkların olduğu yıllarda, sürekli monokültür ile karşılaştırıldığında daha yüksek verim sağlamaktadır. İsveçli, Polonyalı ve İtalyan araştırmacılar bu durumu, güneyden kuzey Avrupa'ya uzanan uzun vadeli tarımsal deneylerinden toplanan tahıl verimi verilerini analiz ederek ortaya koymuşlardır. Kışlık ve yazlık ekilen tahıllarda rotasyonla ortalama verim kazancı sırasıyla 860 ve 390 kg/ha olmuştur. Kışlık hububatta, deneylerin başlangıcından bu yana 50-60 yıllık bir dönemde rotasyonun faydası 500 kg/ha'lık bir kazanıma ulaşmıştır. İklim değışikliğı ile daha sık yaşanacağı tahmin edilen sıcak ve kurak yıllarda farklı rotasyonun faydası daha güçlü olmuştur (Basın Bildirisi: <https://www.slu.se/en/ew-news/2020/11/crop-rotation-a-promising-way-to-improve-food-security-under-a-changing-climate/>).

Ürün rotasyonu veya çeşitlendirme, toprak verimliliğinin artırılması, faydalı toprak mikroorganizmasının iyileştirilmesi ve yabancı ot, zararlı ve hastalık oluşumunun baskılanması yoluyla, olumsuz iklim koşullarından kaynaklanan verim kaybı risklerini azaltmak ve verimi sürdürmek için genel bir strateji olarak önerilmiştir. Ancak dünya çapındaki büyük üretim sistemlerindeki eğilim, tahılların giderek daha kısa rotasyonlarda ve hatta bazı yerlerde sürekli monokültürde yetiştirilmesidir.

TR21 Trakya Bölgesinde, ekim nöbetinde buğday hasadından sonra toprak örtücü bitki olarak yem bitkilerine (korunga, fiğ gibi) yer verilip, ayçiçeğı ekiminden önce sürülerek toprağı karıştırılıp organik madde içeriğı zenginleştirilebilir veya yem için hasat edilirse sonrasında ikinci ürün mısır ekilebilir.

2.2.4. Ekim takviminde değişiklik

Ekim tarihleri yağıştan etkin bir şekilde yararlanmak, kuraklıktan ve hastalık/zararlılardan kurtulmak için dikkatlice ayarlanmalıdır. Trakya'da sarı cüce hastalığını önlemek için ekim zamanının Kasım ayına kaydırılması, yağışlardan en yüksek düzeyde faydalanmak için erken ilkbaharda ayçiçeğinin ekim zamanının iyi ayarlanması bu önlem için güzel örneklerdir.

2.2.5. Karışık ekim

Karışık ekim, aynı tarlada birbirine yakın iki veya daha fazla mahsulün yetiştirilmesini içerir. Tipik olarak baklagillerin ve tahılların veya yumrulu bitkilerin bir karışımı olan karma ekim, ılık ve su gibi büyüme faktörlerinin tamamlayıcı kullanımı dâhil olmak üzere marjinal agroekolojik ortamlarda hastalık ve zararlıları azaltma, toprak erozyonunu önleme, daha fazla toplam biyokütle üretimi, istikrar ve gıda güvenliği sağlama gibi çeşitli işlevleri yerine getiren yaygın bir uygulamadır. Ayrıca, karışımlar, yağışların geç veya erken başlaması veya toprakların verimliliğinin farklı olması gibi koşullarda esneklik sağlar.

2.2.6. Su ve sulama yönetiminde iyileştirme

Yenilenebilir tatlı su kaynaklarının %70'inden fazlası %35-40 gibi düşük bir su uygulama randıman ile sulama amaçlı kullanılmaktadır. Su kullanım randımanı ve ekonomik değeri yüksek bitkilerin seçilmesi, kuraklık ve tuzluluk stresi çalışmalarına ağırlık verilmesi, su iletiminde yüksek verimli borulu sistemlerin ve sulama sistemlerinin (mümkünse damlama) tercih edilmesi kısıntılı sulama tekniğinin uygulanması ile verim her durumda %10-50 oranında artırılabilir.

Kısıntılı sulama, bir ürüne uygulanan sulama suyunun tam bitki su gereksinimlerini karşılamak için gerekenden daha az olması ve dolayısıyla evapotranspirasyonun (ET) maksimum ürün ET değerinden daha az olması durumudur. Bir bitki için, vejetatif büyümeyi azaltmak, meyve kalitesini ve değerini artırmak, olgunluğu teşvik etmek, hasadı kolaylaştırmak gibi istenen bitki tepkilerini yakalamak için sulama miktarı kasıtlı olarak azaltılmaktadır. (Trout and Martin, 2020).

Su kaynaklarının sınırlı veya pahalı olması durumunda, üretim hedefini birim alan başına maksimum verim ve brüt gelir yerine, su temini kısıtlamaları dâhilinde ekonomik getirileri maksimize edecek verimleri tercih edebilir.

Su temini sınırlamaları uzun vadeli, öngörülebilir veya kısa vadeli, öngörülemez olabilir. Kısıtlı sulama yönetimi için planlama, mevcut seçenekleri belirler. Uzun vadeli sınırlamaların farkında olmak, üreticinin su kaynağına uygun arazi ve altyapı yatırımları yapmasına olanak tanır. Mevsimsel sınırlamalar bilindiğinde, tarlaların hazırlanması ve ekim için yıllık yatırım yapılmadan önce işletme maliyetleri beklenen su temini için ayarlanabilir. Yağış eksikliği, su kaynağının fazla tahmin edilmesi veya su dağıtım sistemlerinin arızalanması nedeniyle sezon boyunca beklenmeyen su temini kısıtlamaları meydana gelebilir. Beklenmeyen sezon içi tedarik kıtlığı, üretim maliyetlerini ayarlama yeteneğini sınırlar, ancak yine de ekili alanları veya tarla bölümlerini terk ederek, kalan arazide sulama suyunu yoğunlaştırmak gibi ürünler ve alanlar arasında su kaynağının yeniden dağılımına izin verir (Trout and Martin, 2020).

Rasyonel kısıtlı sulama yönetimi için bir bitkinin suya tepkisini bilmek gerekir. Bitki su üretim fonksiyonu, bitki verimi veya değeri ile kullanılan su miktarı arasındaki ilişkiyi tanımlar. Temel su üretim fonksiyonu, üretilen biyokütleyi bitki terlemesiyle ilişkilendirir. Bilimsel çalışmalar, bitki biyokütlesinin buharlaşan su miktarıyla neredeyse orantılı olarak arttığını göstermektedir. Su üretim fonksiyonu bitki ve çeşide, iklime, toprağa ve yönetim uygulamalarına göre değişir. Kısıtlı sulama, sulama suyu kaynakları sınırlı veya pahalı olduğunda net geliri en üst düzeye çıkarabilir (Trout and Martin, 2020).

Sulama suyu kayıplarının çoğu (%15'e varan), düşük iletim kapasiteli açık kanallardan kaynaklanan sızma ve buharlaşma kayıplarından kaynaklanmaktadır. Bu kanalların en kısa zamanda su iletim kayıplarını en aza indiren borulu sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Tasarruf edilen su başka sektörlerde de kullanılabilir veya fazladan tarım arazilerinin sulanabilir. Aksi takdirde su kayıpları, tuzlanma ve yeraltı suyu sorunlarına neden olmaya, toprakların verimliliğini düşürmeye, yeraltı ve yüzey sularını kirletmeye devam edecektir. Öte yandan, uygulanan sulama yöntemi, kaybedilen su miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Farklı sulama yöntemlerine göre su kayıpları; yüzey

sulamada %20-70, yağmurlama sulamada %20-35, merkezi pivot sulamada %10-20 ve damla sulamada %5-15'tir. Türkiye'de mevcut sulama sistemlerinin %82'si yüzey sulama, %16'sı yağmurlama sulama ve sadece %2'si damla sulamadır (Trout and Martin, 2020).

Geleneksel yüzey sulama sistemleri yerini yüksek verimli basınçlı sulama (damla ve yağmurlama) sistemlerine bırakırken, bu sistemlerin enerji gereksinimleri de dikkate alınmalı, sürdürülebilir enerji kaynakları olan rüzgâr ve güneş enerjisi tercih edilmelidir.

2.2.7. Toprak, toprak suyu ve enerji koruma önlemlerinin uyarlanması

İyi bir anız yönetimi ve malçlama tekniği, toprak işlemesiz veya minimum toprak işlemeli tarım ve artan toprak organik maddesi, toprak suyu ve enerji koruma önlemleri arasındadır.

Bitki kalıntısı, saplar, yapraklar ve kökleri gibi bitki kısımları yanında taneler ve genellikle bitkiler hasat edildikten sonra tarlada kalan yabancı otlar olarak tanımlanır. Bitki kalıntısı, çiftçi için hayvan yemi olarak doğrudan parasal bir değere sahip olabileceği gibi çevreye göre büyük ölçüde değişen toprak ve verim iyileştirme değerine de sahip olabilir. Ek olarak, bitki kalıntısını tarlada bırakma, işlemesiz veya minimum toprak işleme ve ürün rotasyonu ile birlikte korumalı tarımının bileşenlerinden biridir; erozyon kontrolünde ve toprak organik karbonunun artırılmasında öneme sahip olduğu varsayılır; toprak verimliliğinin artırılmasında ve sürdürülebilirliğinde ve dolayısıyla uzun vadede bitki veriminin artırılmasında ve sürdürülebilirliğinde büyük role sahiptir (Anderson and Siddique, 2015).

Teorik olarak, daha iyi bir kalıntı altında, toprağa giren suyun artırılması, malçlama ile buharlaşmanın azaltılması diğer sınırlayıcı faktörlerin yokluğunda organik madde geri dönüşünün artmasına ve böylece bitki veriminin artmasına neden olacaktır (Anderson ve Siddique, 2015; Schwilch et al., 2013). Hasattan sonraki nadas döneminde toprakta sınırlı miktarda düşen yağışın depolanması, bir sonraki ürünün erken aşamalarında toprağın tavını koruması, tohumun çimlenmesi ve çıkışı için çok önemli olabilir (Sommer et al., 2012).

Anız tutma özelliğine sahip toprak işlemez sistemlerin geleneksel toprak işlemeyle kıyasla toprak organik maddesini artırdığına dair bilimsel kanıtlar (Loss et al., 2015) vardır. Topraktaki organik maddenin artması toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirir ve yağmur suyunun toprağı sızmasını hızlandırır. Ayrıca toprakların su tutma kapasitesini artırarak kök bölgesinin altına su sızmasını engeller ve bu nedenle mahsuller sınırlı yağmur suyundan etkin bir şekilde faydalanır.

Türkiye ve TR21 Trakya Bölgesindeki iklim değışikliği tahmini, yağış karakteristiğinin değışeceğini, yani ardışık kurak günlerin sayısının artacağını ve bir seferde çok şiddetli yağışların meydana geleceğini göstermektedir. Bu koşullar altında toprak organik maddesinin artması, bu düzensiz yağıştan maksimum fayda sağlamakta ve toprak erozyonunu önemli ölçüde önlemektedir.

Kalıntının bitki verimini olumsuz etkilediğini gösteren araştırma sonuçları olmakla birlikte, genel olarak arttığı belirtilmektedir (Schwilch et al., 2013). Farooq et al. (2011), koruyucu tarımın (hem sıfır toprak işleme hem de kalıntı tutma dâhil) ürün verimi üzerindeki etkisinin, özellikle daha düşük yağışlarda çoğunlukla olumlu olduğunu bulmuş, ancak koruyucu tarımda bitki veriminin geleneksel sistemlere göre düşük olmasından yabancı otlar ve hastalıklar sorumlu tutulmuştur.

Minimum toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamaları, enerji tasarrufuna, dolayısıyla çevrenin korunmasına ve iklim değışikliğinin azaltılmasına da önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.

Türkiye'nin Trakya bölgesinde yaklaşık son 10 yıldır 3 000 ha alanda buğday, arpa, fiğ veya bezelye hasadı yapıldıktan sonra, toprak suyunun muhafazası, organik maddenin artırılması, ekim maliyetinin azaltılması ve zamanın etkin kullanılması için yazlık silajlık mısırın ikinci ürün olarak doğrudan ekilmektedir. Yerli firmalar pnömatik direkt ekim makinası üretimine başlamıştır. Doğrudan mısır ekimi her geçen gün artarken, yakın gelecekte doğrudan ayçiçeği ekiminin yaygınlaşması beklenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Trakya bölgesinde buğday hasadından sonra silajlık ikinci ürün olarak doğrudan yazlık mısır ekimi
(Fotoğraflar Ekmen Tarım A.Ş. sahibi Ziraat Yüksek Mühendisi İrfan Ekmen'den alınmıştır).

2.3. İDT Kapsamında Tarım Sektöründe Rekabet Gücünü Artırmaya, Sürdürülebilirliği Sağlamaya ve İklim Değişikliğini Azaltmaya Yönelik Yaklaşımlar

Tarımla ilgili önceki araştırmalar sadece ekonomik etkilere odaklanmıştı ancak günümüzde tarımsal sistem performansı çok boyutlu olarak ele alınmakta olup, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları ve bu boyutlar arasındaki etkileşimi de dikkate almaktadır. Teknolojik gelişmeler, çevresel sürdürülebilirlik ve rekabet, geleneksel tarım yanında Organik Tarım (OT) ve İyi Tarım Uygulamaları (İTU), hassas tarım, iklimle duyarlı tarım, dijital tarım, dikey tarım uygulamalarının ortaya çıkışına neden olmuştur.

OT, İTU, hassas tarım, iklim'e duyarlı tarım, dijital tarım, dikey tarım, akıllı seralar gibi uygulamalarının yaygınlaşması, Türkiye'nin tarımsal üretimde rekabet gücünü artırması, çevrenin korunması, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı uyum ve iklim değişikliğinin önlenmesi gibi faydaları yanında, bu sistemlerle ilgili yeni sanayi kollarının gelişmesine, istihdamın artmasına, sürdürülebilir sosyoekonomik kalkınma ve gıda güvencesinin sağlanmasına da katkıda bulunabilir.

2.3.1. Organik tarım ve iyi tarım uygulamaları

Organik Tarım (OT), insan sağlığını koruyan ve ekosistemin devamlılığını sağlayan bir üretim sistemi olarak ifade edilmektedir. Bu sistem, olumsuz etkileri olan girdilerin kullanımından ziyade ekolojik süreçlere, biyolojik çeşitliliğe ve yerel koşullara uyarlanmış döngülere dayanmaktadır. İyi Tarım Uygulamalarında (İTU) kimyasal girdi uygulamaları söz konusu olsa da bu uygulamalar insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyecek şekilde uygulanmaktadır. Dünyada çevre sorunlarının önlenmesinde sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesi öncelikli hedef olarak görülmektedir. Organik ve iyi tarım uygulamaları çevresel sürdürülebilirlik yanında iklim değişikliğini önlemede katkı sağlamaktadır. Ülkemizde özellikle İTU kısa süre içinde çok yaygın hâle getirilebilir.

2.3.2. Hassas tarım

Tarımsal üretim ve gelişen teknolojiyi bir araya getirerek daha düşük maliyet, değişken girdi kullanımı, maksimum gelir beklentisi ve çevreyi koruma ilkelerini hedefleyen, her açıdan yüksek verim elde etme amacına sahip, yenilikçi bir tarım türüdür. Gübre ve herbisit verimliliği/tasarrufu sağlamaktadır. Drone, GPS ve IoT gibi farklı teknolojilerden faydalanarak planlama, ekim, sulama, hasat süreçlerini minimum insan gücü ve minimum kaynak kullanımıyla sürdürebilmektedir ve böylece maksimum ürün verimliliği yaratmaktadır. Hassas tarımın Türkiye'de yaygın olarak kullanılması için tarımsal işletmelerin orta ve büyük işletmelere dönüştürülmesi ve çiftçilerin eğitim düzeylerinin artırılması gerekmektedir.

2.3.3. Dikey tarım

Dikey katmanlarda ürün yetiştirme uygulamasıdır. Hidroponik, aquaponik ve aeroponik gibi topraksız tarım tekniklerini ve bitki yetiştirmeyi en uygun yapmayı hedefleyen kontrollü-ortam tarımını birleştirmektedir. Dikey tarım daha az birim arazi ihtiyacı ile birlikte daha çok ürün alınabilmektedir. Ayrıca, ürünler iç mekanda olduklarından aşırı veya beklenmedik hava olaylarında daha az kayba uğrar. Dikey tarım teknolojileri geleneksel çiftliklere kıyasla büyük başlangıç maliyetine sahiptirler. Enerji ihtiyacı fazladır. Güneş veya rüzgâr enerjisi kullanılmaması durumunda geleneksel tarıma göre daha fazla çevreye zarar verir ve iklim değişikliğine neden olabilir.

2.3.4. Akıllı seralar

Güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kullanarak veya sanayi üretiminde açığa çıkan sıcak sular tam otomatize edilmiş hidroponik akıllı seraların ısıtılmasında kullanılabilir. Bu sayede iklim koşullarına bağlı kalmadan daha uzun dönem tarımsal üretim yapma fırsatı doğar.

2.4. İDT Uygulamasının Kurumsal Yönü

Kurumlar, çiftçileri, özellikle küçük toprak sahiplerini, İDT'nin uygulanmasında üç hayati alanda destekleyebilir (FAO, 2013):

- Teknik bilgi üretmek ve paylaşmak,
- Finansal hizmetler, kredi ve piyasalara erişim sağlamak ve
- Eylem için iş birliklerini desteklemektir.

Tarımsal uygulamalarda, teknolojilerde veya politikalarda başarılı değişiklikler, farklı bilgi türlerine sahip, üreten veya tüketen tüm paydaşlar arasında diyalog ve iş birliği teşvik edildiğinde mümkündür. Etkili girişimler, araştırmacıların, ilgili paydaşların, özel sektör aktörlerinin ve politika yapıcılarının çözme-yi amaçladıkları sorunları ortaklaşa tanımlamalarına olanak tanır (FAO, 2013).

Değişen iklim koşullarında, iki tür tavsiyeye ihtiyaç vardır: birincisi, çiftçilik ve geçim sistemlerini uyarlamaya yardımcı olmak için mevcut seçenekler (örneğin teknoloji ve pazar) hakkında bilgi; ikincisi ise hava tahminleri, mev-

simse tahminler ve uzun vadeli iklim eğilimleri şeklinde iklimin kendisi hakkında bilgilerdir. Kuraklık, sel vb. afetlerde çözüm bulmak yerine erken uyarı ve erken müdahale girişimleri tercih edilmelidir (FAO, 2013).

Kamu kurumlarının, sivil toplumun, sivil toplum kuruluşlarının, üniversitelerin ve araştırma kurumlarının, medyanın, özel sektörün, bireysel çiftçilerin, üretici kooperatiflerinin, ulusal ve uluslararası tarım işletmelerinin, ticari danışmanların, bankaların, kredi ve tasarruf kuruluşlarının, karbon kredisi alıcılarının hizmet sağlayıcı veya paydaş olarak rolleri ve sorumlulukları tanımlanmalıdır.

Kurumsal aktörler arasında etkileşimin ve iletişimin kolaylaştırması için elverişli bir ortamın ve sinerjinin yaratılması gerekir. Bu 'kurumsal etkileşim'sadece aynı örgütsel düzeyde yer alan 'yatay'olmamalı, aynı zamanda geleneksel düzeyler ve hiyerarşiler arasındaki perspektifleri birleştirerek kurumları 'dikey olarak'bütünleştirmelidir (FAO, 2013).

İDT girişimleri, ilgili kurumsal etkileşim nedeniyle, bilgi alışverişini ve ortaklık kurmayı desteklemek için güvenilir ağlara ihtiyaç duymaktadır. Eşitlik sorunları ve kültürel hususlar da dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Amare, T. (2016). Review on Impact of Climate Change on Weed and Their Management. American Journal of Biological and Environmental Statistics. Vol. 2, No. 3, pp. 21-27. doi: 10.11648/j.ajbes.20160203.12.
- Anderson, W.K, Siddique K.H.M (2015). The role and value of crop residues in dryland agriculture. Indian Journal of Agronomy 60 (3): 332-340.
- Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050. Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. FAO, Rome.
- Dellal, I., McCarl, B.A., Butt, T. (2011). The Economic Assessment of Climate Change on Turkish Agriculture, Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol: 12, No: 1, 376-385.
- Farooq, M., Siddique, K.H.M. (2015). Conservation Agriculture: Concepts, brief history, and impacts on agricultural systems. (In) Conservation Agriculture, Farooq, M., Siddique, K.H.M. (Eds.), p. 3-17, Springer International Publishing Switzerland.
- FAO (2010). "Climate-smart" agriculture: policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation. Rome.
- FAO (2013). Climate Smart Agriculture Sourcebook. Rome. <https://www.fao.org/climatechange/37491-0c425f2caa2f5e6f3b9162d39c8507fa3.pdf>.

- Kadioğlu, M., Unal, Y, İlhan, A., Yuruk, C. (2017). Türkiye’de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik. Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekler Federasyonu Yayını. <https://www.tgdf.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/iklim-degisikligi-rapor-elma.compressed.pdf>.
- Konukcu, F., Albut, S., Altürk A. (2019). TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri. Namık Kemal Üniversitesi Yayınları No: 2.08-027-0030/A-I, 46-60.
- Lakhran, H., Kumar, S., Bajjiya, R., (2017). Crop Diversification: An Option for Climate Change Resilience. Trends in Biosciences 10(2), 516-518, 2017.
- Loss, S., Haddad, A., Khalil, Y., Alrijabo, A., Feindel, D., Piggin, C. (2015). Evolution and adaptation of conservation agriculture in the Middle East. (In) Farooq, M., Siddique, K. H.M. (Eds.) Conservation Agriculture. Springer International Publishing Switzerland. pp. 197-224.
- Schwilch, G., Laouina, A., Chaker, M., Machouri, N., Sfa, M., Stroosnijder, L. (2013). Challenging conservation agriculture on marginal slopes in Sehoul, Morocco. Renewable Agriculture and Food Systems: available at <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=9095422>.
- Sommer, R., Piggin, C., Haddad, A., Hajdibo, P., Hayek, P., Khalil, Y. (2012). Simulating the effects of zero tillage and crop residue retention on water relations and yield of wheat under rainfed semiarid Mediterranean conditions. Field Crops Research 132: 40-52.
- Trout T.J, Martin D.L. (2020). Deficit irrigation Strategies for the Western U.S. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 63(6): 1813-1825.

İKLİM DEĞİŞİMİ SÜRECİNDE TÜRKİYE VE TR21 TRAKYA BÖLGESİ TARIMININ MEVCUT DURUMU

Huzur Deveci¹, Bahadır Altürk², Harun Hurma³, Fatih Konukcu⁴

¹Öğr. Gör. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ, Orcid: 0000-0002-0143-2185 huzurdeveci@nku.edu.tr

² Öğr. Gör. Dr. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-1282-6558 balturk@nku.edu.tr

³Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-1845-3940 hhurma@nku.edu.tr

⁴Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-2873-990X fkonukcu@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzün en önemli sorunlarından biri iklim değişikliğidir. İklim değişikliği günden güne şiddetini artırmakta ve insanlık için büyük tehdit oluşturmaktadır. Küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliği, tarım sektörünü derinden etkileyen en önemli faktörlerden biri hâline gelmiştir. Kuraklık, aşırı hava olayları, erozyon ve deniz seviyesindeki yükselme gibi etkiler, gıda güvenliğini tehdit ederken, tarımsal üretimde de önemli sorunlara yol açmaktadır. Bu bağlamda, uluslararası toplumun attığı adımlar (iklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması) ve “İklime Duyarlı Tarım” gibi yaklaşımlar, sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmek ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak için kritik bir öneme sahiptir. İklim değişikliği sürecinde eğer Türkiye’nin ve TR21 Trakya Bölgesi’nin mevcut durumu iyi

belirlenebilirse, gelecekte iklim değişimi sürecinde iklim değişikliğine uyum sağlamak ve iklim değişikliğini azaltmak için stratejiler geliştirilerek en az zararlı iklim değişikliğinin etkilerinin atlatılması sağlanabilir.

Türkiye, geniş tarım alanları ve jeopolitik konumu ile hem Avrupa hem de Asya için önemli bir tarım ülkesi konumundadır. Kentleşme baskısı, arazi kullanımındaki değişimler ve su kaynaklarının verimli kullanımı gibi konular, ülkenin tarımsal geleceği açısından önemli zorluklar ve fırsatlar sunmaktadır. Türkiye'nin ve özellikle TR21 Trakya Bölgesi'nin tarım sektörü, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, arazi kullanımındaki değişimler ve sosyoekonomik faktörler nedeniyle önemli dönüşümler yaşamaktadır.

Bu çalışma ile Türkiye'de öncelikle mevcut iklim durumunun bir değerlendirilmesi yapılmış sonrasında ise olası iklim değişikliği öngörülerine yer verilmiştir. Daha sonra ise Türkiye ve TR21 Trakya Bölgesi tarımının mevcut durumu incelenmiştir. Ayrıca TR21 Trakya Bölgesi özelinde arazi kullanım/arazi örtüsünün ve arazi kullanım kabiliyet sınıflaması, erozyon dereceleri, büyük toprak grupları gibi tarım arazilerinin mevcut yapısı ve su kaynaklarının durumu değerlendirilmiştir. Türkiye'deki tarım alanlarında genel bir azalma trendi gözlenirken, Trakya Bölgesi, tarımsal üretimdeki önemi, dinamik nüfus yapısı ve tarıma dayalı sanayi ile dikkat çekmektedir. Bu kapsamda, bölgedeki tarımsal üretim desenleri, verimlilik, hayvancılık ve tarıma dayalı sanayi faaliyetleri, bu değerlendirmenin temel odak noktalarını oluşturmuştur. Bu çalışma ile bölgenin tarımsal geleceğine yönelik çıkarımlarda bulunmak ve sürdürülebilir tarım politikalarına katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Sonuç olarak iklim değişikliğinin Türkiye ve TR21 Trakya Bölgesi tarımı üzerine etkileri belirlenmeye çalışılarak iklim değişimi sürecinde Türkiye ve TR21 Trakya Bölgesi tarımının mevcut durumu ortaya konularak, uygulayıcılara, karar vericilere ve yöneticilere yönelik bir altlık oluşturulmaya çalışılmıştır.

2. TÜRKİYE'DE İKLİMİN MEVCUT DURUMU VE GELECEK PROJEKSİYONLARI

İklim değişikliği ve etkileri günümüzde hissedilir bir şekilde yaşanmaktadır ve yaşanmaya da devam edecektir. Türkiye, Doğu Akdeniz Havzasında yer alması nedeniyle iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin belirgin bir şekilde his-

sedileceği ve etkilenme riski yüksek olan ülkelerden birisidir (SYGM, 2020). Türkiye Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) tarafından 2022 yılında yayınlanan rapora göre iklim riski ve hassasiyet bakımından değerlendirilen on kategorinin dokuzunda yüksek risk grubuna girmektedir (WBG, 2022).

Demir ve vd. (2008) Türkiye’de Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün 57 istasyonuna ait ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları (1952-2006 dönemi) ile seçilen 88 adet istasyonun 1940-2006 dönemi yağış verilerini elde etmişlerdir. Bu verileri kullanarak 1961-1990 yılı ortalamalarına göre uzun dönemde nasıl bir eğilim oldu ve değişimler nasıl sorularına cevap aramışlardır. Buna göre küresel ortalama yüzey sıcaklıklarına benzer bir şekilde Türkiye’de de sıcaklıkların artış eğiliminde olduğunu belirlemişlerdir. Bu eğilimin özellikle 1990’lı yıllardan itibaren belirgin olduğunu gözlemlemişlerdir. Yıllık sıcaklıklarda yaz ve ilkbahar mevsimlerinde aylık minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklarda artış, minimum sıcaklıkta ise kış mevsimi dışında artış eğilimi belirlemişlerdir. Türkiye için yağış verileri değerlendirildiğinde ise kışın gerçekleşen yağış miktarında önemli azalmalar gözlemlemişlerdir.

Türkiye’de gelecek yıllar için iklim değişikliğinin tahmin edilmesi kapsamında “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi” adlı proje Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu projede, 2015-2100 dönemi için 10’ar yıllık ve 30’ar yıllık dönemler hâlinde değerlendirmeler yapılmıştır. 10x10 km² çözünürlükte CMIP5 arşivinden seçilen HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri (üç küresel iklim modeli) ve RCP4.5 (iyimser) ve RCP8.5 (kötümser) olmak üzere iki tür senaryo kullanılmıştır. İçerisinde yağış ve sıcaklığın bulunduğu 8 farklı iklim parametresi ile 17 farklı aşırı iklim indisi modellenmiştir (SYGM, 2016). Bu projenin sonuçlarına göre Türkiye için beklenen iklim değişikliği tahmin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

2.1. Türkiye İçin Ortalama Sıcaklık Projeksiyonları

Türkiye için sıcaklık projeksiyonlarının hem 10’ar yıllık hem de 30’ar yıllık değerlendirmelerinde tüm model sonuçları ve her iki senaryo için de referans döneme (1971-2000) göre gelecek dönemlerde daha sıcak bir Türkiye olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 1’de 10’ar yıllık gelecek projeksiyonlarının

değerlendirme sonuçları yer almaktadır. 2091-2100 yılları arasında RCP4.5 senaryosunda sıcaklık artışları HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri için sırasıyla 3,4 °C, 2 °C ve 2,5 °C olarak, RCP8.5 senaryosunda ise sırasıyla 5,9 °C, 4,5 °C ve 4,3 °C olarak tahmin edilmiştir (SYGM, 2016).

Tablo 1. Türkiye ortalama sıcaklık anomali değerleri (°C) (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları) (SYGM, 2016).

Dönem	HadGEM2-ES		MPI-ESM-MR		CNRM-CM5.1	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2015-2020	1,2	1,7	0,4	0,6	1,0	0,8
2021-2030	1,7	1,7	0,9	0,8	0,6	1,0
2031-2040	2,1	2,2	1,3	1,1	0,9	1,2
2041-2050	2,3	2,7	1,2	1,7	1,1	1,5
2051-2060	2,6	3,2	1,6	2,4	1,5	2,3
2061-2070	3,0	4,1	1,7	2,8	1,5	3,0
2071-2080	2,9	4,5	1,8	3,3	1,9	3,1
2081-2090	3,1	5,3	1,8	3,8	2,0	3,6
2091-2100	3,4	5,9	2,0	4,5	2,5	4,3

2.2. Türkiye İçin Ortalama Yağış Projeksiyonu

Türkiye için yağış projeksiyonlarında hem 10'ar yıllık hem de 30'ar yıllık değerlendirmelerinde tüm model sonuçları ve her iki senaryo için de referans döneme (1971-2000) göre gelecek dönemlerde daha değişken bir Türkiye olacağı tahmin edilmiştir. Tablo 2'de 10'ar yıllık gelecek projeksiyonlarının değerlendirme sonuçları yer almaktadır. Buna göre yağış değişimleri RCP4.5: -53,70-21,20 mm, RCP8.5: -61,50-33,30 mm (HadGEM2-ES), RCP4.5: -28,10-10,60 mm, RCP8.5: -62,50-19,70 mm (MPI-ESM-MR) ve RCP4.5: -18,00-41,40 mm, RCP8.5: -36,00-1,80 mm'dir (CNRM-CM5.1) (SYGM, 2016).

30'ar yıllık dönemlerde yağış projeksiyonları değerlendirildiğinde 2015-2040 döneminde modeller arasında uyum gözlenmezken, 2070-2100 döneminde Türkiye genelinde yağış düşüşleri söz konusudur. 2041-2070 projeksiyon döneminde HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modelleri her iki emisyon senaryosuna göre yağışta azalmalar öngörülürken, RCP8.5 durumunda bu yağış azalmalarının şiddetleneceği tahmin edilmiştir (SYGM, 2016).

Tablo 2. Türkiye yağış anomali değerleri (mm) (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 Modelleri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları) (SYGM, 2016).

Dönem	HadGEM2-ES		MPI-ESM-MR		CNRM-CM5.1	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2015-2020	9,20	-17,20	0,50	-29,80	41,40	-10,40
2021-2030	-1,10	17,20	-15,50	5,50	5,40	-27,40
2031-2040	-23,70	-1,40	-27,30	4,00	24,10	-11,20
2041-2050	-2,60	-16,00	10,60	19,70	32,10	-13,50
2051-2060	-24,20	-42,50	-7,70	-30,10	19,50	-36,00
2061-2070	-53,70	-58,60	-17,80	-62,50	-18,00	-19,90
2071-2080	21,20	33,30	-28,10	-44,30	23,00	-30,10
2081-2090	-13,90	-6,70	-11,30	-40,30	0,30	1,80
2091-2100	-51,00	-61,50	-19,00	-54,60	-7,20	-14,90

2.3. İklim İndisleri

Türkiye’de RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ölçek küçültülerek HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 küresel modelleri (RCP4.5 ve RCP8.5) sonuçları ile 17 iklim indisinin 2015-2100 döneminde mevsimlik ve yıllık değişimleri 30 yıllık periyotlar için değerlendirilmiştir. Burada seçilen dört iklim indisi (don olan günler indisi, yaz günleri indisi, çok şiddetli yağışlı gün sayısı indisi ve kurak gün sayısı indisi) incelenmiştir. Don olan günler, minimum sıcaklığın 0 °C’den küçük olduğu günler olarak ifade edilmektedir. Don olan

günler sayısı her üç model ve iki senaryoda gelecek 30 yıllık dönemlerde azalma gösterecektir. Günlük maksimum sıcaklığın yıl içerisinde 25 °C'den büyük olduğu günlerin sayısı, yaz günleri indisi olarak ifade edilir. Türkiye'nin büyük kısmında yılın beş ayından fazlasında gündüz sıcaklıklarının 25 °C'nin üzerinde olması beklenmektedir. Yaz günü sayıları 2071-2100 döneminde Batı ve Orta Trakya bölgelerinde RCP4.5 için 160-170 günlere ulaşmaktadır. Çok şiddetli yağışlı gün sayısı indisi ise yağışın 20 mm'yi aştığı çok şiddetli yağışlı gün sayısını göstermektedir. Yağışın 20 mm'den yüksek olduğu günler indisi değerleri Türkiye'de 2015-2100'de Marmara, Batı Karadeniz, Güney Ege ve Van Gölü civarında 20 mm'den fazla yağışlı gün sayılarında küçük artışlar olacağı tüm modeller ve senaryolarca beklenmektedir. Kurak gün sayısı indisi yağışın 1 mm'den düşük olduğu ardışık gün sayısıdır. Ege kıyılarından İç Anadolu'ya doğru olan bölgede kurak geçen gün sayılarında yaklaşık 10 gün civarı artışlar beklenirken Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 140-160, Karadeniz kıyılarında 30-70 gün arasında olacağı tahmin edilmektedir (SYGM, 2016).

3. TR21 TÜEKİYE VE TRAKYA BÖLGESİ TARIMININ MEVCUT DURUMU

İklim değişimi, hayatımızı salgın hastalıklar, kuraklık, erozyon, çölleşme, şiddetli hava olayları ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi çeşitli şekillerde etkilemektedir. Bu durum sosyo-ekonomik sektörleri ve ekolojik sistemleri olumsuz etkilemekte, özellikle gıda güvenliği açısından tarımsal faaliyetlerde önemli sorunlara yol açmaktadır.

Uluslararası alanda Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) (United Nations, 1992), Kyoto Protokolü (United Nations, 1998) ve Paris Anlaşması (UNFCCC, 2018) gibi önemli adımlar atılmıştır. Tarımsal üretimin ve gıda güvenliğinin sürdürülebilirliği için "İklim Duyarlı Tarım" çerçevesinde tarım sektörünün mevcut durumu arazi kaynakları, istihdam, ihracat-ithalat, sanayi ham maddesi ve döviz getirisi açısından incelenmeli ve buna göre stratejiler belirlenmelidir.

Türkiye, 76,9 milyon hektarlık alanıyla, Avrupa ve Asya arasında doğal bir köprü görevi konumunda olup jeopolitik öneme sahiptir. Bu alanın 23,1 milyon hektarı tarım alanlarından, 21,5 milyon hektarı da ormanlık alanlardan

oluşmaktadır. Toplam tarım alanlarının 1990 yılında 27,78 milyon hektar iken, 2020’de 23,10 milyon hektara gerilediği, 30 yıllık süreçte yaklaşık %16,8’lik bir azalma yaşandığı görülmektedir. Bu küçülme trendi, tarım alanlarının alternatif kullanımlara dönüşümü ve kentleşme baskısının bir yansıması olarak değerlendirilebilmektedir. Tarım alanlarının kullanım biçimlerine göre dağılımları incelendiğinde, 1990’da toplam tarım alanlarının %67,67’sini (18,80 milyon hektar) oluşturan tarla bitkileri ekim alanları, 2020’de %66,62’ye (15,39 milyon hektar) düşmüştür. Sebze üretim alanlarında 1990-2000 döneminde artış, sonrasında ise hafif düşüş yaşandığı görülmektedir. 1990’da %2,27 (0,63 milyon hektar) olan sebze alanları, 2000’de %3,50’ye (0,93 milyon hektar) yükselmiş, 2020’de ise %3,42’ye (0,79 milyon hektar) gerilemiştir (Anonim, 2025).

2016 yılı verilerine göre Türkiye; fındık, kiraz, incir, kayısı ve nar üretiminde küresel lider konumdadır. Ayva ve karpuz üretiminde ikinci; salatalık, yeşil biber, mercimek ve antep fıstığı üretiminde üçüncü; elma, domates, patlıcan ve zeytin üretiminde dördüncü; çay, nohut ve şeker pancarı üretiminde beşinci; badem ve soğan üretiminde altıncı; limon, greyfurt ve pamuk üretiminde yedinci; arpa üretiminde ise sekizinci sırada yer almaktadır (Muminjanov ve Karagöz, 2018).

Türkiye’nin 2000-2024 dönemindeki tarımsal dış ticaret verileri incelendiğinde, önemli yapısal değişimler ve eğilimler gözlemlenmektedir. 2000 yılında 27,80 milyar dolar olan toplam ihracat hacmi, 2024 yılında 261,81 milyar dolara ulaşarak yaklaşık 9,4 kat artış göstermiştir. Ancak bu dikkat çekici büyümeye rağmen, tarımsal ürün ihracatının toplam ihracat içindeki payı 2000 yılında %6,0 iken, 2024 yılında %3,3 seviyesine gerilemiştir. Bu düşüş, Türkiye ekonomisinin daha çok sanayi ve hizmet sektörlerine dayalı ihracat yapısına evrildiğini göstermektedir. Tarımsal ürün ihracatının mutlak değeri incelendiğinde ise 2000 yılında 1,66 milyar dolar olan değer 2024 yılında 8,59 milyar dolara yükselerek yükselmiştir. İthalat verilerine bakıldığında, 2000 yılında 54,50 milyar dolar olan toplam ithalat hacmi, 2024 yılında 344,02 milyar dolara ulaşarak yaklaşık 6,3 kat artış göstermiştir. Tarımsal ürün ithalatı ise 2000 yılında 1,50 milyar dolardan 2024 yılında 10,90 milyar dolara yükselerek yaklaşık 7,3 kat artmıştır. Tarımsal ithalatın toplam ithalat içindeki payı 2000 yılında %2,8 iken, 2024 yılında %3,2 seviyesine çıkmıştır (TÜİK, 2024).

Tarım sektörünün ekonomiye katkısını diğer bir deyimle ekonomideki yerini Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından üretim yöntemiyle hesaplanan Tarımsal Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) belirlemektedir. GSYİH mal ve hizmet üretiminde ekonominin performansının temel ölçüsüdür. Tarımla ilgili mal ve hizmet üretimi de ekonominin tarım sektörü açısından performansını ortaya koymaktadır. Bu performans sadece tarımın üretim yönünü göstermektedir. Tarım sektörünün hizmet üretimine, ekonomin diğer sektörlerle katkısı tarımın genel ekonomi içindeki önemini ortaya koymaktadır (TARİİM, 2020). 2011 yılından günümüze incelendiğinde tarım sektörünün toplam üretim içindeki payının giderek düştüğü görülmektedir. 2011’de %7,5 ile başlayan tarımın payı, 2024 yılında %6,2’ye gerilemiştir. Tarım sektörünün ekonomiye katkısı, söz konusu bu 13 yıllık süreçte %17,3’lük bir düşüş göstermiştir (TÜİK, 2024).

TR21 Trakya Bölgesi sahip olduğu derin ve düz toprak yapısı ile Türkiye’nin tarımsal üretiminde önemli bir yere sahiptir. Geniş arazilerde tahıl tarımının yaygın olarak yapıldığı bölgede kırsal ve kentsel nüfus oldukça dinamik bir yapı göstermektedir. Özellikle sanayileşmenin yoğunlaştığı dönemlerden itibaren aldığı göçle birlikte bölgenin nüfus özellikleri de oldukça değişmiştir.

Tablo 3. TR21 Trakya Bölgesi’nde yıllara göre nüfus değişimi (kişi) (TÜİK, 2024).

Yıllar	Köy	Şehir	Toplam
2015	217 059	1 470 361	1 687 420
2016	214 645	1 511 615	1 726 260
2017	210 887	1 557 481	1 768 368
2018	215 440	1 586 875	1 802 315
2019	209 973	1 621 178	1 831 151
2020	204 760	1 645 805	1 850 565
2021	201 870	1 690 008	1 891 878
2022	199 029	1 727 483	1 926 512
2023	203 781	1 760 347	1 964 128
2024	198 410	1 789 030	1 987 440

Tablo 3'e göre 2015-2024 döneminde TR21 Trakya Bölgesi'nin toplam nüfusunda belirgin bir artış görülmektedir. On yıllık süreçte nüfus 1 687 420'den 1 987 440'a yükselerek %17,8 oranında artmıştır. Bu demografik dönüşüm süreci içerisinde, kırsal ve kentsel nüfus dinamikleri farklılaşmıştır. Kırsal yerleşim birimlerindeki nüfus, 2018 ve 2023 yıllarında görülen kısmi yükselişlere rağmen, genel eğilim olarak azalmış; 2015'te 217 059 seviyesinden 2024'te 198 410'a gerileyerek %8,6'lık bir düşüş kaydetmiştir. Buna karşılık, kentsel nüfusta istikrarlı ve belirgin bir artış trendi görülmektedir.

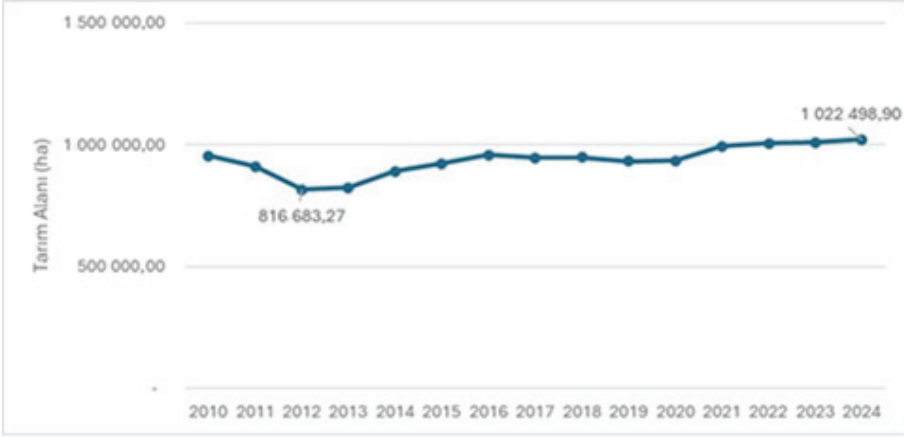
Kentsel nüfus 2015'te 1 470 361 iken, 2024'te 1 789 030'a ulaşarak %21,7 oranında artış göstermiştir. Bu demografik hareketlilik, şehirleşme oranlarını da önemli ölçüde değiştirmiştir. Nitekim 2015 yılında nüfusun %87,1'i kentsel alanlarda, %12,9'u kırsal alanlarda ikamet ederken; bu oran 2024 yılında sırasıyla %90 ve %10 olarak değişim göstermiştir. Verilere göre, on yıllık dönemde kırsal nüfusta yaklaşık 18 649 kişilik bir azalma gerçekleşirken, kentsel nüfusta 318 669 kişilik bir artış yaşanmıştır. Toplam nüfus artışının 300 020 kişi olduğu dikkate alındığında, kentsel nüfus artışının yalnızca doğal nüfus artışından değil, aynı zamanda kırsal alanlardan kentsel alanlara yönelik göç hareketlerinden de kaynaklandığı sonucuna varılmaktadır (Tablo 3).

TR21 Trakya Bölgesi'nde 2024 yılı itibarıyla çiftçi kayıt sistemine kayıtlı 65 526 üretici bulunmaktadır. Edirne, bölgede en fazla kayıtlı çiftçiye sahip il olarak öne çıkarken (%40,4), onu Tekirdağ (%36,5) ve Kırklareli (%23,1) takip etmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. TR21 Trakya Bölgesi'nde kayıtlı çiftçi sayısı (TRGM, 2024).				
	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Toplam
Kayıtlı Çiftçi Sayısı	26 456	15 121	23 949	65 526

Şekil 1'de TR21 Trakya Bölgesi'ndeki tarım alanlarının yıllara göre değişimi verilmiştir. 2010 yılında 954 451,90 hektar olan tarım alanı, 2012 yılında 816 683,27 hektara gerileyerek %14,4'lük kayda değer bir azalma göstermiştir. İncelenen 14 yıllık zaman diliminde en düşük tarımsal arazi varlığı 2012 yılında (816 683,27 ha), en yüksek değer ise 2024 yılında (1 022 498,90 ha) kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında, 2010'dan 2024'e kadar geçen süreçte bölgenin tarım alanlarında yaklaşık %7,1 oranında bir genişleme gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 1).

TR21 Trakya Bölgesi tarım alanlarının üretim biçimlerine göre dağılımı incelendiğinde ise bölgede baskın tarımsal faaliyet olarak tahıl üretimi öne çıkmaktadır. Tahıl alanları 2020 yılında 905 297 hektar ile toplam tarım alanının %96,8'ini oluştururken, 2024 yılında 984 378 hektara ulaşarak %96,3'lük bir pay almıştır (Tablo 5).



Şekil 1. TR21 Trakya Bölgesi'ndeki tarım alanlarının yıllara göre değişimi (ha).

Tablo 5. TR21 Trakya Bölgesi'ndeki tarım alanlarının üretim biçimlerine göre dağılımı (ha) (TÜİK, 2024).

	2020	2021	2022	2023	2024
Tahıllar ve diğer bitkiler	905 297	964 516	974 808	980 641	984 378
Meyveler, baharat	19 025	19 375	20 486	20 862	21 386
Sebze	9 553	8 796	8 472	7 635	7 790
Süs Bitkileri	260	262	171	200	180
Nadas	1 104	964	982	977	8 766
Toplam	935 240	993 913	1 004 920	1 010 314	1 022 499

Meyve ve baharat bitkileri ekili alanlar 2020'de 19 025 hektar (%2,03) iken, 2024'te 21 386 hektara (%2,09) yükselerek %12,4'lük artış göstermiştir. Sebze üretim alanlarında ise be-lirgin bir azalma trendi gözlenmektedir;

2020 yılında 9 553 hektar (%1,02) olan sebze alanları, 2024'te 7 790 hektara (%0,76) gerileyerek %18,5'lik bir daralma yaşamıştır (Tablo 5).

TR21 Trakya Bölgesi'nin 2024 yılına ait tarım alanlarının illere göre dağılımında, toplam 1 022 499 hektarlık tarım arazisinin büyük bir kısmının tahıllar ve diğer bitkisel ürünler için kullanıldığı görülmektedir (Tablo 6). Bu kapsamda, en geniş tahıl ekim alanına sahip il 401 071 hektar ile Tekirdağ olurken, onu 339 304 hektar ile Edirne ve 244 002 hektar ile Kırklareli takip etmektedir.

Tablo 6. TR21 Trakya Bölgesi'nin tarım alanlarının illere göre dağılımı (ha) (TÜİK, 2024).					
Tarım Alanı	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Toplam	Oran
Tahıllar ve diğer bitkiler	339 304	244 002	401 071	984 378	96,27
Meyveler, içecekler	6 234	3 393	11 760	21 386	2,09
Sebze	3 874	1 412	2 504	7 790	0,76
Süs Bitkileri	165	-	15	180	0,02
Nadas	422	463	7 881	8 766	0,86
Toplam	349 998	249 269	423 231	1 022 499	100,00

Meyve alanı 21 386 hektar olup toplam tarım alanının %2,09'unu oluşturmaktadır. Bu grupta en geniş alana sahip il 11 760 hektar ile Tekirdağ olurken, Edirne ve Kırklareli sırasıyla 6 234 hektar ve 3 393 hektarlık alanlara sahiptir. Süs bitkileri üretimi ise oldukça sınırlı olup, bu üretim yalnızca Edirne ve Tekirdağ illerinde görülmektedir (Tablo 6).

TR21 Trakya Bölgesi'nde 2004-2024 yılları arasında başlıca tarım ürünlerinin ekim alanı, üretim miktarı ve verimlilik değerlerinde söz konusu dönem boyunca önemli değişimler yaşandığı görülmektedir (Tablo 7). Buğday, bölgenin en geniş ekim alanına sahip ürünü olup, 2004 yılında 5 281 360 dekar olan ekim alanı, 2012'de 3 948 702 dekar kadar gerilemiş, ancak 2024 itibarıyla 4 548 349 dekar yükselmiştir. Verim açısından bakıldığında, 2004'te 358 kg/da olan değer 2024'te 401 kg/da seviyesine çıkarak %12'lik bir artış göstermiştir. Mısır ekim alanında belirgin bir azalma vardır. 2004 yılında 47 520 dekar olan ekim alanı 2024'te ise 27 273 dekar gerilemiştir. Kanola üretiminde, 2004 yılında 11 530 dekar olan ekim alanı 130 130 dekar yükselmiştir.

Kanola verimi ise 2012’de 364 kg/da ile zirve yapmış, ancak 2024 yılında 330 kg/da seviyesine gerilemiştir. Ayçiçeği ekim alanı 2004 yılında 3 038 280 dekar iken, 2012 yılında 2 359 078 dekara kadar düşmüş, ancak 2024’te 3 925 429 dekara ulaşarak %29,2 oranında bir artış kaydetmiştir. Üretim miktarı da bu artışla birlikte 648 057 tona ulaşmış olsa da verim 2020 yılında 268 kg/da iken 2024’te 168 kg/da seviyesine düşerek önemli bir gerileme göstermiştir. Çeltik ekim alanında görece istikrarlı bir seyir izlenmiş, 2004 yılında 311 780 dekar olan alan, 2024 itibarıyla 528 596 dekara yükselmiştir. Üretim miktarı ise 236 443 tondan 427 718 tona çıkarak %81’lik bir artış göstermiştir. Verim açısından bakıldığında, 2024’te 856 kg/da ile yüksek bir seviyeye ulaşılmıştır. Şeker pancarı ekim alanı ise 2004’te 38 490 dekar iken 2012’de 8 480 dekara kadar düşmüş, ancak 2024’te 27 946 dekara yükselmiştir. Üretim miktarı da benzer bir dalgalanma yaşamış, 2012’de 33 467 ton ile en düşük seviyeye gerilemişken, 2024 itibarıyla 205 923 tona ulaşarak 2004 yılına kıyasla %2,8’lik bir artış göstermiştir. Verimlilik açısından ise 2004’te 5 233 kg/da olan değer, 2024’te 7 453 kg/da seviyesine ulaşarak önemli bir verim artışı ortaya koymuştur (Tablo 7).

Tablo 7. TR21 Trakya Bölgesi’nde öne çıkan ürünlerin ekilen alan, üretim ve verim değerleri (TÜİK, 2024).

Ekilen Alan(da)	2004	2008	2012	2016	2020	2024
Buğday	5 281 360	4 525 768	3 948 702	4 615 932	4 495 238	4 548 349
Mısır	47 520	63 563	59 192	61 735	24 892	27 273
Kanola	11 530	152 210	224 623	236 255	226 567	130 130
Ayçiçeği	3 038 280	3 086 010	2 359 078	3 191 120	3 111 888	3 925 429
Çeltik	311 780	494 602	548 786	534 798	538 237	528 596
Şeker Pancarı	38 490	29 410	8 480	9 420	16 436	27 946
Üretim Miktarı (ton)	2004	2008	2012	2016	2020	2024
Buğday	1 909 157	1 941 856	1 796 671	1 824 480	1 713 504	1 824 624
Mısır	28 539	47 136	45 037	45 409	21 668	23 851
Kanola	3 249	49 675	85 555	84 075	77 893	42 422
Ayçiçeği	532 868	547 678	458 013	676 180	820 736	648 057
Çeltik	236 443	415 922	418 895	430 828	431 677	427 718
Şeker Pancarı	200 360	170 817	33 467	55 315	144 346	205 923

Verim(kg/da)	2004	2008	2012	2016	2020	2024
Buğday	358	426	449	391	380	401
Mısır	587	725	667	720	800	861
Kanola	281	307	364	353	350	330
Ayçiçeği	173	176	200	214	268	168
Çeltik	755	864	828	820	791	856
Şeker Pancarı	5 233	5 790	3 834	6 134	8 195	7 453

Tablo 8'e göre, bölgenin Türkiye genelindeki hayvan varlığı içindeki payının sınırlı olduğu görülmektedir. 433 410 baş sığır ile TR21 Trakya Bölgesi, Türkiye genelindeki 16 824 208 baş sığır varlığının yaklaşık %2,58'ine sahiptir. Manda varlığı ise 3 652 baş ile oldukça düşük olup, Türkiye genelindeki 162 051 baş manda varlığının yalnızca %2,25'ini oluşturmaktadır.

Tablo 8. TR21 Trakya Bölgesi hayvan varlığı (baş) (TÜİK, 2024).		
	TR21 Trakya Bölgesi	Türkiye
Sığır	433 410	16 824 208
Manda	3 652	162 051
Koyun	920 215	44 080 584
Keçi	182 772	10 822 084

Küçükbaş hayvan varlığı açısından değerlendirildiğinde, TR21 Trakya Bölgesi'nde 920 215 baş koyun bulunmakta olup, bu rakam Türkiye genelindeki 44 080 584 baş koyunun %2,09'una karşılık gelmektedir. Keçi varlığı ise 182 772 baş olup, Türkiye'deki toplam 10 822 084 baş keçinin %1,69'u TR21 Trakya Bölgesi'nde bulunmaktadır (Tablo 8).

TR 21 Trakya Bölgesi'nde 2024 yılı itibarıyla tarım ve tarıma dayalı sanayi işletmelerinin illere göre dağılımı incelendiğinde, toplam 2 779 işletme ile Tekirdağ'ın sanayi faaliyetlerinde en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. Tekirdağ'da 1 807 işletme bulunurken, Edirne'de 578, Kırklareli'nde ise 394 işletme faaliyet göstermektedir (Tablo 9).

Sanayi dalları bazında değerlendirildiğinde, ekmek ve ekmek çeşitleri üretimi tüm illerde en yaygın faaliyet alanlarından biri olup, Tekirdağ 304, Edirne

144 ve Kırklareli 111 işletme ile bu alanda faaliyet göstermektedir. Benzer şekilde, pastacılık ürünleri üretimi ve unlu mamuller üretimi sektörleri de bölgede önemli bir yer tutmaktadır. Süt ve süt ürünleri üretimi, Kırklareli’nde 243 işletme ile oldukça yüksek bir yoğunluğa sahip olup, bu durum ilin süt ve süt ürünleri sanayisinde önemli bir merkez olduğunu göstermektedir. Edirne ve Tekirdağ’da ise sırasıyla 22 ve 31 işletme bulunmaktadır. Katı ve sıvı bitkisel yağ üretimi, toplamda 23 işletme ile nispeten sınırlı bir sektör olup, en fazla işletme Edirne’de (12 adet) yer almaktadır. Yem üretimi sektörü ise özellikle Kırklareli’nde oldukça gelişmiş olup 269 işletmeye sahiptir (Tablo 9).

Tablo 9. Tarım ve tarıma dayalı sanayi (adet) (TRGM, 2024).

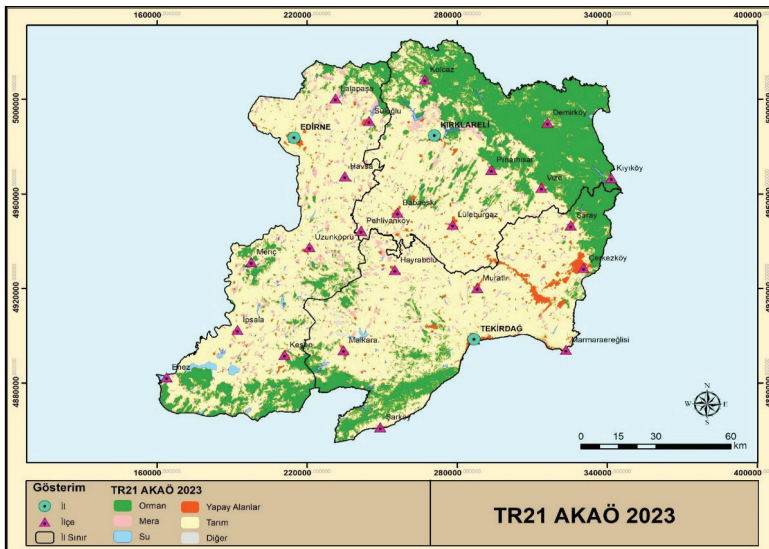
	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
Ekmek ve Ekmek çeşitleri üretimi	144	111	304
Pastacılık ürünleri üretimi	97	61	192
Unlu mamuller üretimi	148	83	285
Hububat ve bakliyat üretimi	43		
Süt ve Süt ürünleri	22	243	31
Et ve Et ürünleri	17	22	30
Katı sıvı bitkisel yağ	12	4	7
Yem	7	269	15
Diğer	95	125	178
Toplam	578	394	1807

4. TR21 TRAKYA BÖLGESİ’NİN ARAZİ KULLANIM/ARAZİ ÖRTÜSÜNÜN VE TARIM ARAZİLERİNİN MEVCUT DURUMU

TR21 Trakya Bölgesi Tekirdağ, Kırklareli ve Edirne illerinden oluşmaktadır. Arazideki değişimi geçmişten günümüze belirlemek doğru politikalar geliştirebilmek açısından çok önemlidir. Burada TR21 Trakya Bölgesi’nin arazi kullanım/arazi örtüsü ve tarım arazilerinin mevcut durumu (arazi kullanım kabiliyet sınıflaması, erozyon dereceleri, büyük toprak grupları) ve su kaynakları ortaya konulmuştur.

4.1. TR21 Trakya Bölgesinin Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü

TR21 Trakya Bölgesi'nde arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi haritası 2023 yılı için Landsat uydu görüntüleri, CORINE arazi sınıfları ve yüksek çözünürlüklü sayısal hava fotoğrafları kullanılarak detaylı bir şekilde üretilmiştir (Şekil 2). Ayrıca 1990-2023 yılları arasındaki arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi Tablo 10'da gösterilmiştir. Tablo 10'daki en dikkat çekici kısım tarımsal alanların 1990 yılına göre 2023 yılında %1,45 oranında azalması, yapay alanların ise %1,22 oranında artmasıdır.



Şekil 2. TR21 Trakya Bölgesi 2023 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü haritası.

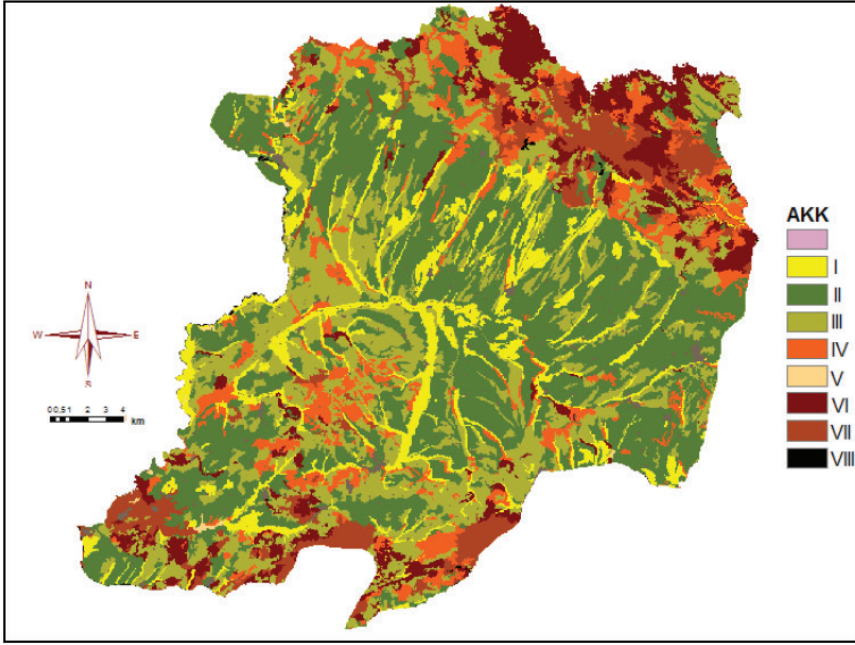
Tablo 10. TR21 Trakya Bölgesi 1990-2023 yılları arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi.

Arazi Sınıfları	1990 Alan (ha)	1990 Alan (%)	2023 Alan (ha)	2023 Alan (%)	Değişim (%) 1990-2023
Yapay alanlar	43 302,50	2,30	66 276,80	3,53	1,22
Tarımsal alanlar	1 342 355,42	71,41	1 314 961,07	69,96	-1,45
Orman alanları	483 352,51	25,71	480 007,48	25,54	-0,18
Sulak alanlar	147,04	0,01	92,89	0,00	0,00
Su yapıları	10 566,87	0,56	18 222,90	0,97	0,41

4.2. TR21 Trakya Bölgesi'nin Arazi Kullanım Kabiliyeti Sınıflaması

TR21 Trakya Bölgesi ve Türkiye arazi kullanım kabiliyet sınıfına göre toprak dağılımı Tablo 11'de gösterilmiştir. Türkiye'de işlemeli tarıma elverişli arazilerin %5,9'u TR21 Trakya Bölgesi'nde yer almaktadır. TR21 Trakya Bölgesi'nde II. sınıf tarım arazilerinin fazlalığı (%38,4) dikkat çekmektedir. Bölgede işlemeli tarıma elverişli (I, II, III, IV) araziler %81,9, mutlak öneme sahip (I, II, III) araziler %74,4, işlemeli tarıma elverişli olmayan (V, VI, VII) araziler %17,5 ve tarım dışı araziler (VIII) ise %0,6 oranındadır. Ayrıca Şekil 3'te TR21 Bölgesi'nin arazi kullanım kabiliyeti haritası yer almaktadır.

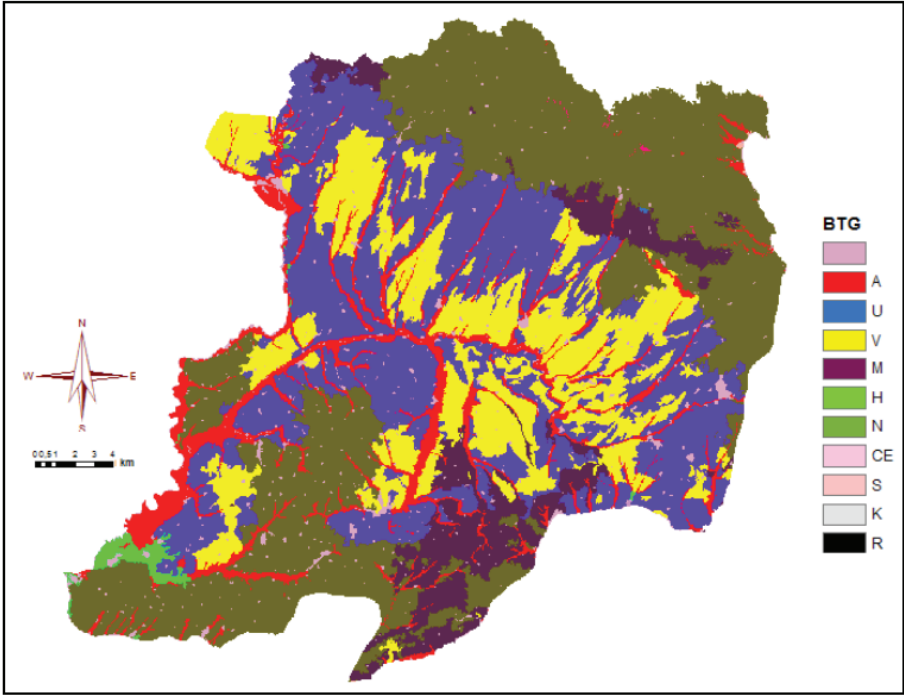
Tablo 11. TR21 Trakya Bölgesi ve Türkiye Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfına Göre Toprak Dağılımı (TKB, 2007).			
Arazi Yetenek Ordoları	Toprak Sınıfı	TR21 Trakya Bölgesi	Türkiye
İşlemeli Tarıma Elverişli	I	181 276	4 987 705
	II	732 182	6 663 877
	III	502 686	7 193 839
	IV	143 184	7 364 506
Toplam		1 559 328	26 209 927
İşlemeli Tarıma Elverişli Olmayan	V	739	125 967
	VI	195 525	10 752 602
	VII	137 751	35 698 154
Tarım Dışı arazi	VIII	11 030	5 113 050
Toplam		345 045	51 689 773



Şekil 3. TR21 Bölgesi'nin arazi kullanım kabiliyeti haritası (Altürk vd., 2019).

4.3. TR21 Trakya Bölgesi'nde Tarım Yapılan Arazilerindeki Erozyon Dereceleri

TR21 Trakya Bölgesi'nde tarımsal üretim yapılan arazilerin %69,0'luk bölümünde (824 154 ha) I. derece (az), %26,3'lük bölümünde (314 313 ha) II. derece (orta), %4,2'lik bölümünde (50 336 ha) III. derece (şiddetli erozyon), %0,5'lik bölümünde ise (5 467 ha) IV. derece (çok şiddetli) erozyon riskinin olduğu belirlenmiştir. Bölgenin toplam 55 803 hektarlık alanında (%4,7) şiddetli erozyon (III ve IV) riski bulunmaktadır. (Anonim, 2009). Şekil 4'te TR21 Trakya Bölgesi tarım arazilerinin erozyon durumu gösterilmiştir.

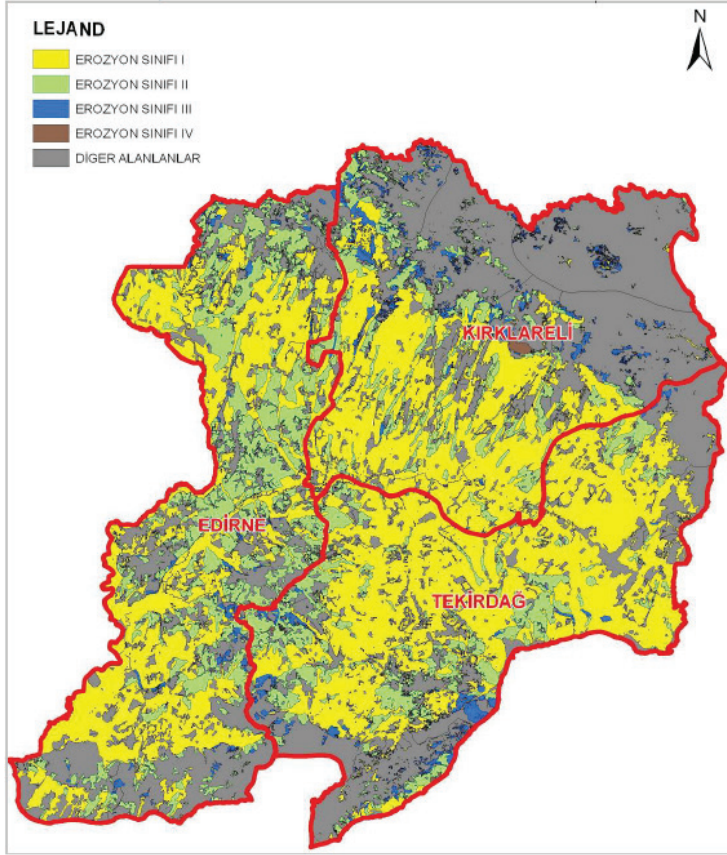


Şekil 4. TR21 Trakya Bölgesi tarım arazilerinin erozyon durumu (Anonim, 2009).

4.4. TR21 Trakya Bölgesi'nin Büyük Toprak Grupları

TR21 Bölgesi tarımsal üretime oldukça elverişli toprak yapısına sahiptir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu 1/25 000 ölçekli toprak haritasına göre bölgede; kireçsiz kahverengi orman toprakları (N), kahverengi orman toprakları (M), kireçsiz kahverengi topraklar (U), kestane rengi topraklar (CE), vertisoller (V), alüvyal topraklar (A), alüvyal sahil toprakları (S), rendzinalar (R), hidromorfik topraklar (H) ve kolüvyal topraklar (K) olmak üzere 10 farklı büyük toprak grubu bulunmaktadır. Şekil 5'te TR21 Trakya Bölgesi'nin büyük toprak grupları haritası görülmektedir. Büyük toprak grupları içerisinde kireçsiz kahverengi orman toprakları %35'lik paya sahipken bu toprak grubunu %28'lik oranla kireçsiz kahverengi topraklar izlemektedir. Kil bakımından zengin olan ve daha çok bölgenin Ergene Havzasında yoğunlaşan vertisoller ise kireçsiz topraklardan sonra gelmekte ve bölgenin %17'sini

kaplamaktadır. Daha çok Meriç-Ergene nehirleri ve bu nehirlerin kolları olan derelerin etrafında yoğunlaşan alüvyal toprakların oranı ise %9 civarındadır (Altürk vd., 2019).



Şekil 5. TR21 Trakya Bölgesi'nin büyük toprak grupları haritası (Altürk vd., 2019).

5. TR21 TRAKYA BÖLGESİ'NİN SU KAYNAKLARININ MEVCUT DURUMU

TR21 Trakya Bölgesi'nin su kaynakları potansiyeli bölgedeki iller ve bölge toplamı bazında Tablo 12'de gösterilmiştir. Toplam bölgenin maksimum yağışı

1996 yılında (876 mm), minimum yağışı ise 1985 yılında (490 mm) gerçekleştirmiştir. Toplam bölgenin yağış ortalaması 623 mm ve havza drenaj alanları büyüklüğü dikkate alınarak, ağırlıklı ortalamaya göre bölgenin akış/yagış oranı ise %24'tür. Buna göre yerüstü su potansiyeli 8 457 hm³ (Edirne-Kırklareli-Tekirdağ kendi havzasından + Meriç nehri su potansiyeli (Meriç+Tunca+Arda) + Meriç'e Yunanistan topraklarından gelen) ve yeraltı su potansiyeli 684 hm³tür. Bölge toplam su potansiyeli ise 9 141 hm³tür.

Yerüstü su potansiyeli, bölge bazında havzalardan gelen su potansiyeli, kullanılan su miktarı, Meriç Nehri su potansiyeli ve su kullanımı bazında ise Tablo 13'te özetlenmiştir. Bölgede çıkan su miktarı, bölgenin su potansiyelinden (8 456 hm³) toplam kullanılan su miktarının (1 064 hm³) çıkarılması ile elde edilen 7 392 hm³tür.

Tablo 12. TR21 Trakya Bölgesi'nin su kaynakları potansiyeli ve genel bilgiler (DSİ, 2023).

		Birim	Bölge Toplamı	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ
Genel Bilgiler	Yüzölçümü	km ²	18 794	6 145	6 459	6 190
	Rakım (Ortalama)	m	94	41	232	10
	Yıllık Ortalama Yağış	mm	623	594	651	623
	Ortalama Akış Verimi	1/sn/km ²	4,78	4,05	5,17	5,14
	Ortalama Akış/Yağış Oranı		0,242	0,215	0,251	0,260
Su Kaynakları Potansiyeli	Yerüstü Suyu	hm ³ /yıl	2 833	786	1 039	1 008
	Yeraltı Suyu	hm ³ /yıl	684	277	142	265
	Su Potansiyeli	hm ³ /yıl	3 517	1 063	1 181	1 273
	Meriç Nehri (sınır girişi)	hm ³ /yıl	5 044	5 044	-	-
	Meriç'e Yunanistan kesiminden	hm ³ /yıl	580	580	-	-
	Bölge Toplam Su Potansiyeli	hm ³ /yıl	9 141	6 687	1 181	1 273
	Doğal Göl Yüzeyleri	ha	3 860	3 224	363	273
	Baraj Rezervuar Yüzeyleri	ha	7 935	3 656	1 907	2 372
	Gölet Rezervuar Yüzeyleri	ha	1 781	1 584	54	143
	Akarsu Yüzeyleri	ha	1 250	1 136	114	-
	Toplam Su Yüzeyleri	ha	14 826	9 600	2 438	2 788

Tablo 13. Bölge bazında havzalardan gelen su potansiyeli, kullanılan su miktarı, Meriç Nehri su potansiyeli ve su kullanımı (hm³) (DSİ, 2023).

Bölge Bazında Havzalardan Gelen Su Potansiyeli (hm³)	
Meriç-Ergene Havzası'ndan gelen	1 657
Kuzey Marmara Havzası'ndan gelen	1 175
Yabancı havzadan gelen (Meriç Nehri sınır girişi) (Meriç+Tunca+Arda Nehirleri)	5 044
Meriç'e Yunanistan topraklarından gelen	580
Bölgenin Su Potansiyeli Toplamı	8 456
Kullanılan Su Miktarı	
Baraj ve Meriç Nehri'nden kullanılan su	522
Göletlerden kullanılan su	57
Yeraltı (YAS) kullanılan su	65
Halk sulamaları	356
Yerüstü (YÜS) sulamaları	64
Toplam Kullanılan Su	1 064
Bölgede Çıkan Su Miktarı	7 392
Meriç Nehri Su Potansiyeli ve Su kullanımı	
Meriç Nehri Türkiye girişi	3 337
Tunca Nehri Türkiye girişi	595
Arda Nehri Türkiye girişi	1 112
Toplam Giren Su (Edirne'de)	5 044
Meriç'e Türk kesiminden giren su	1 657
Meriç'e Yunan kesiminden giren su	580
Toplam Meriç Nehri Potansiyeli (Enez'de)	7 281

TR21 Trakya Bölgesi Dünya ve Türkiye yağış ortalamasından daha az yağış almaktadır. Bölge kişi başına düşen yıllık su miktarı açısından “su yetersizliği” içermektedir. Yağış rejimi düzensiz olmakla birlikte en çok yağış ilkbahar aylarında düşmektedir. Bölge ondüleli bir topografik yapıya sahip bulunmaktadır. Bölgede önemli bir drenaj (toprak yaşıllığı) sorunu görülmemektedir. Büyük akarsu vadileri olmayan bölgede, küçük kuru dereler yaygın bulunmaktadır. Bölge çok sayıda “küçük toprak dolgu baraj/gölet” inşası potansiyeline sahiptir. Bölgede sulu tarım faaliyeti yaygın değildir. Bölge çiftçisi sulu tarıma ilgi duymamaktadır. Çiftçinin su talebi az sayıdaki meyve bahçeleri, yem bitkileri

(özellikle mısır, çeltik) için bulunmaktadır. Sulu tarım alanlarında yaygın çeltik ekimi yapılmaktadır. Çeltik sulamasında tava yöntemi uygulanmakta, aşırı sulama suyu kullanılmaktadır. İnşa edilen yeraltı sulama suyu dağıtım sistemleri (şebekeleri) ömürlerini tamamlamış durumdadır. Sulama ile ilgili yeni tesisler de açılmamaktadır. Bölgede önemli toprak bozulması sorunu “su erozyonu” olmaktadır. İşlemeli tarım alanlarında yaygın kireç ve organik madde eksikliği bulunmaktadır. Sulama suyu kirlilik içermekte, toprak bünyesinde kirlenme oluşmakta, sulama mevsiminde su kıtlığı yaşanmaktadır. Bölgede suyun sanayide çok yoğun kullanımı, nüfusun ve sanayileşmenin artmasıyla birlikte fabrikaların atıklarını akarsulara bırakması, aynı zamanda tarımda suyun bilinç dışı kullanımı gibi nedenlerle yeraltı su seviyesi düşmüştür. Bölgede yeraltı suyu kullanıma kapalı durumdadır. TR21 Trakya Bölgesi İstanbul’a yakın olması nedeniyle İstanbul’da ve bölgede meydana gelen kontrolsüz göç, çarpık kentleşme ve düzensiz sanayileşme faaliyetlerinden oldukça etkilenmekte, kısıtlı su kaynaklarına sahip bölge su havzaları üzerinde bu durumun yoğun etkisi görülmektedir. Tüm doğal kaynakları ve güzellikleri yok etmekle birlikte toprak ve su kaynakları ile ilgili problemler ortaya çıkmaktadır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

İklim değişikliğinin etkilerinin azaltılabilmesi ve uyum politikalarının geliştirilebilmesi için Türkiye ve TR21 Trakya Bölgesi’nde mevcut durumun doğru bir şekilde belirlenebilmesi gerekmektedir. Türkiye’de günümüz iklim verileri değerlendirildiğinde ortalama sıcaklıklar, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarına benzer şekilde artış eğilimindedir ve yağışta ise özellikle kış mevsiminde gerçekleşen yağış miktarında önemli azalmalar görülmektedir (Demir vd., 2008). Geleceğe yönelik iklim projeksiyonları değerlendirildiğinde sıcaklıklarda artışlar olacağı ve yağışlarda ise dönemsel ve bölgesel olarak değişkenlikler gözlemlense de genel olarak azalışlar olacağı tahmin edilmektedir. Son yıllarda daha sık yaşadığımız kuraklık, sel, orman yangınları, ekolojik bozulmalar ve sıcak hava dalgaları iklim değişikliğinin etkileridir. Ayrıca meydana gelen aşırı hava olayları da bunun bir göstergesi durumundadır.

TR21 Trakya Bölgesi’nin tarımsal yapısı, Türkiye’nin genel tarım trendlerinin ötesinde, kendine has bir sosyo-ekonomik ve coğrafi bağlamda şekil-

lenmektedir. Bölgenin, tarım-sanayi ilişkisindeki özgün yapısı ve demografik hareketliliği, tarımsal üretimi ve ticareti doğrudan etkileyen faktörler olarak öne çıkmaktadır. Kırsal ve kentsel nüfus arasındaki dinamiklerin değişimi, tarımsal işgücü, arazi kullanımı ve kırsal kalkınma politikaları açısından yeni yaklaşımlar gerektirmektedir. Tarım sektöründeki karmaşık etkileşimler, TR21 Trakya Bölgesi'nin gelecekteki tarımsal stratejilerinin, sadece üretim odaklı değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği de gözetilen bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Öncelikle, iklim değişikliğine uyum sağlayabilen tarım tekniklerinin (kuraklığa dayanıklı tohumlar, su tasarruflu sulama sistemleri, toprak koruma uygulamaları) yaygınlaştırılması gerekmektedir. Tarımsal arazi kullanımının planlı bir şekilde yönetilmesi, kentleşme baskısının azaltılması ve tarım arazilerinin korunması büyük önem taşımaktadır. Su kaynaklarının verimli kullanımı için havza bazlı su yönetimi planlarının uygulanması ve sulama altyapısının modernize edilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu sayede, TR21 Trakya Bölgesi'nin tarımı daha dirençli, sürdürülebilir ve rekabetçi bir yapıya kavuşacaktır.

TR21 Trakya Bölgesi verimli tarım alanlarına sahiptir. Bu alanlarda buğday, ayçiçeği, kanola, çeltik, şeker pancarı, mısır gibi dünya çapında ve Türkiye'de değerli ürünler yetişmektedir. Bölgenin arazi kullanım/arazi örtüsü değerlendirildiğinde tarımsal alanların 1990 yılına göre 2023 yılında %1,45 oranında azaldığı, yapay alanların ise %1,22 oranında arttığı görülmektedir. Doğal veya insan kaynaklı çok ciddi bir değişim söz konusudur. İklim değişikliği de göz önünde bulundurulduğunda tarımsal üretime katkıda bulunan bu bölgede sürdürülebilir bir arazi yönetimi gerekmektedir. TR21 Trakya Bölgesi'nde arazi kullanım kabiliyet sınıflamasına göre I., II. ve III. sınıf arazilerin oranı (mutlak tarım arazisi olarak tanımlanan) %74,4'tür. Bölgede toprak ve su kaynaklarının korunması konusunda son derece duyarlı olmak çok önemlidir. Ayrıca iklim değişikliğinin getirdiği kuraklık sorunu için, Meriç'in yukarıda belirtilen su potansiyelinin iç kesimlere iletilmesinin planlanması önerilir. Kısıtlı durumda olan su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için gerekli çabalar sarf edilmelidir. Aynı zamanda tarım sektörü, iklim değişikliğine karşı en hassas ve savunmasız sektörlerden biridir. Sürdürülebilir tarım için ülkenin ve bölgenin mevcut durumu değerlendirilerek, geleceğe yönelik tarımsal politikalar geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Altürk, B., Konukcu, F. & Albut, S. (2019). TR21 Trakya Bölgesi Arazi Kullanım/Arazi Örtüsünün ve Tarım Arazilerinin Mevcut Yapısı. F. Konukcu, S. Albut, & B. Altürk (Editörler), TR21 Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri (s. 61-72). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi. https://iklimdegisikligi.tekirdag.bel.tr/file/iklim_degisikligi_kitabi.pdf
- Anonim (2009). 1/100 000 Trakya Alt Bölgesi Ergene Havzası Revizyon Çevre Düzeni Planı, Plan Analitik Raporu
- Anonim (2025). Fizibilite Çalışması Türkiye'de İklim Duyarlı Tarımın (İDT) Mevcut Durumu ve Potansiyeli. https://blacksea-cbc.net/wp-content/uploads/2022/02/BSB1135_AGREEN_-_Feasibility-study-of-the-state-of-art-and-potential-of-climate-smart-agriculture-in-Turkey_TR.pdf
- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M., & Sümer, U. M. (2008). Türkiye'de maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklıkları ile yağış dizilerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler. *TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 69, 84
- DSİ, (2023). Devlet Su İşleri Takdim Raporu 2023.
- Muminjanov, H., & Karagöz, A. (2018). Biodiversity of Turkey: contribution of genetic resources to sustainable agriculture and food systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ankara. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/97877792-df93-4f18-ba51-58a82301dad3/content>
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (SYGM), (2020). İklim Değişikliği ve Uyum. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20degisikliginin%20su%20kaynaklarina%20etkisi/iklimkitap2020.pdf>
- Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM), (2024). Tarımsal Yatırım Rehberi, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2024). <https://www.tuik.gov.tr/>
- Tarım ve Köyşleri Bakanlığı (TKB), (2007). TR2 Batı Marmara Bölgesi Tarım Master Planı. https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/Belgeler/B%C3%B6lge%20Master%20Planlar%C4%B1/TR2_batimarmaraMP.pdf
- Tarım Sigortaları Havuzu (TARSİM), (2020). Faaliyet Raporu 2020. <https://www.tarsim.gov.tr/staticweb/krm-web/dergi/faaliyet-raporlari/2020.pdf>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), (2018). The Paris Agreement. Paris Climate Change Conference. <https://unfccc.int/documents/184656>
- United Nations, (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- United Nations, (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- World Bank Group (WBG), (2022). Türkiye Country Climate and Development Report; CCDR Series; World Bank: Washington, DC, USA. <http://hdl.handle.net/10986/37521>

TRAKYA BÖLGESİNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Bahadır Altürk¹, Huzur Deveci², Fatih Konukcu³, Asude Hanedar⁴

¹Öğr. Gör. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniv., Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ, Orcid: 0000-0003-1282-6558 balturk@nku.edu.tr

² Öğr. Gör. Dr. Tekirdağ Namık Kemal Üniv., Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-0143-2185 huzurdeveci@nku.edu.tr

³Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniv., Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-2873-990X fkonukcu@nku.edu.tr

⁴Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniv., Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-4827-5954 ahanedar@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

20. yüzyılın başlarından bu yana dünyanın ikliminde gözlemlenen değişiklikler, öncelikle insan faaliyetlerinden özellikle de atmosferdeki ısıyı hapseden sera gazları (karbondioksit, metan, nitroz oksit vb.) seviyelerini artıran ve dünyanın ortalama yüzey sıcaklığını yükselten fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanmaktadır. Artan nüfus ve fosil yakıt kullanımı iklim değişikliğinin sebep olduğu küresel sıcaklık artışını daha da hızlandırmaktadır. Sıcaklık artışı her bölgede aynı olmamakla birlikte gıda güvenliği riski, ekonomik kayıplar, lojistik problemleri ve düzensiz göç hareketleri bakımından küresel bir sorun hâline gelmiştir. Bu bağlamda, iklimdeki değişimin niceliğini ve sektörlere olan etkisini belirlemek için herkesin ortak katılımını ve çalışmalarını organize edecek ülkeler arası iş birliğini sağlayacak kurumlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu

ihtiyaç doğrultusunda iklim değişikliğini değerlendiren ve karar vericilere iklim politikaları geliştirmelerine yardımcı olmak için bilimsel bilgi sağlayan Birleşmiş Milletler'e bağlı Hükûmetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1990 yılından itibaren 5-6 yıllık aralıklar ile iklim değişikliği konusunda son derece kapsamlı değerlendirme raporları açıklamaktadır (İstanbul Politikalar Merkezi, 2013).

IPCC (2021)'de küresel ortalama sıcaklıkların 1850-1900 dönemine göre 0,98 °C daha fazla olduğu, deniz seviyesinin yükseldiği, kalıcı kar ve buzul örtüsünde azalmalar meydana geldiği, hassas bir ekosisteme sahip okyanuslarda su sıcaklığının arttığı ve karbon emisyonlarının daha önce hiçbir dönemde artmadığı kadar yüksek bir seviyeye ulaştığı belirtilmiştir. Her ne kadar küresel ortalama sıcaklık artışı sadece 1 °C'ye yaklaşmış olsa da bu artışın etkileri Ortadoğu, Kuzey Afrika ve Akdeniz havzası gibi kurak ve yarı kurak bölgelerde iklim değişikliğine karşı kırılganlığı daha da şiddetlendirecektir (IPCC 2013).

Kurak ve ılıman iklimler arasında geçiş bölgesi olan Türkiye, karasal ve Akdeniz iklimi içerisinde yer almaktadır. Özellikle, yağış rejiminin çoğunlukla düzensiz olması Türkiye'nin iklim değişikliği etkilerine karşı oldukça savunmasız bir bölgede yer aldığını göstermektedir. Geleceğe yönelik farklı iklim modelleri ile yapılan değerlendirmelerde Trakya Bölgesini de kapsayan Türkiye'nin Akdeniz kuşağında iyimser ve kötümser senaryolara bağlı olarak yıllık ortalama sıcaklığın 2,5 °C-5 °C arasında artacağı, aşırı hava olayları açısından daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı ortaya koyulmuştur (SYGM, 2016).

Ulusal ölçekte yapılan analizler iklim eylem planlarının yapılmasında ve politika yapıcılara aksiyon almaları konusunda bir karar destek sistemi sağlamaktadır. Bununla birlikte, bölgesel ölçekte yapılan daha detaylı analizler ise araştırma yapılan alanın ekosisteminin, tarım ve su kaynaklarının ve sosyo-ekonomik yapısının iklim değişikliğine ne kadar hassas olduğunu belirlemede çok önemlidir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında Tekirdağ-Edirne-Kırklareli illerini kapsayan TR21 Bölgesi'nde gelecek dönem iklim projeksiyonları değerlendirilerek bölgeyi farklı senaryolar altında bekleyen iklim değişimleri ve buna yönelik uyum ve kapasite geliştirme olanakları belirlenmiştir.

2. TÜRKİYE’DE İKLİMİN MEVCUT DURUMU VE GELECEK PROJEKSİYONLARI

Çalışma kapsamında “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi”nde TR21 Trakya Bölgesi sınırları dâhilinde üretilen projeksiyon verileri (SYGM, 2016) gelecek dönem iklim değerlendirmesi hesaplamalarında kullanılmıştır. Referans periyodu için CMIP5 (Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz 5) veri tabanından seçilen ve bölgemizi iyi temsil eden HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 küresel iklim modeli çıktılarının ölçek küçültme yöntemi ile elde edilmiş 10x10 km² çözünürlüğe sahip referans dönemi iklim simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Referans döneme ait veriler 1971-2000 arası dönemi kapsamaktadır. İstasyon bazında model gözlem verileri ile gerçek ölçüm verilerinin yanlılık düzeltmesi yapılmıştır. Daha sonra, küresel iklim modellerinin 2100 yılında 4,5W/m²ve 8.5 W/ m² iklim zorlamalarına karşılık gelen RCP4.5 (iyimser) ve RCP8.5 (kötümser) senaryolarına dayanan simülasyonlarıyla RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile 2015-2100 yılları arasında 10x10 km² çözünürlükte iklim simülasyonları elde edilmiştir.

Geleceğe yönelik değişimler elde edildikten sonra bölgede gerçekleşebilecek aşırı (ekstrem) hava olayları dört farklı iklim indisi ile analiz edilmiştir (Tablo 1).

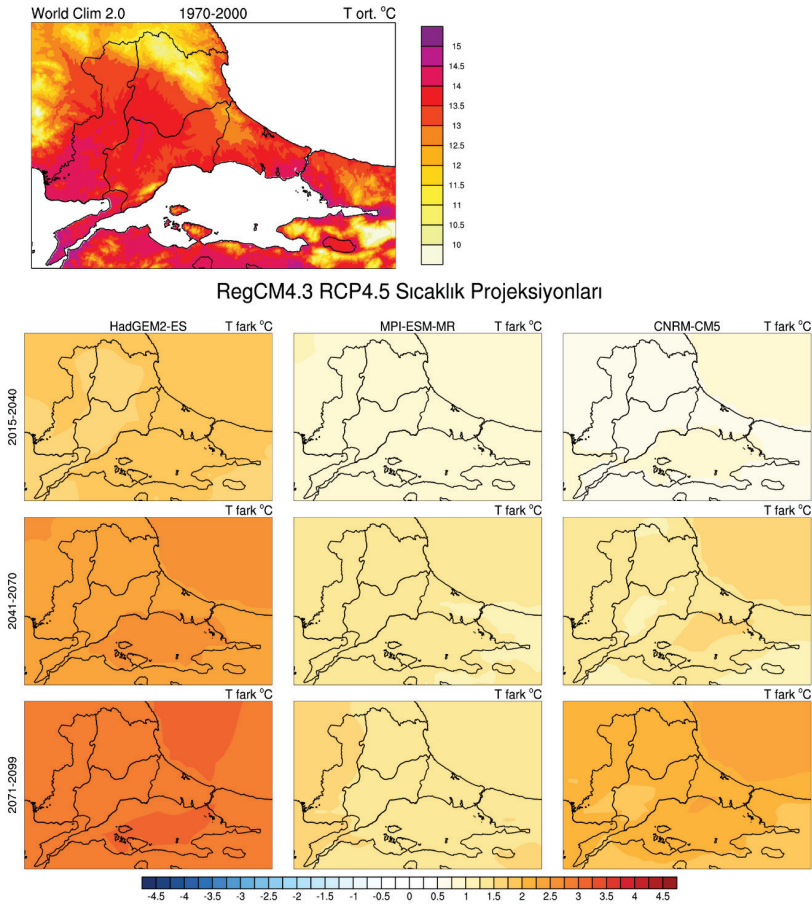
Tablo 1. Aşırı hava olaylarına ait iklim indisleri.

İndis -ID	Tanımlama	Birim
FDO	Don Olan Günler -Minimum sıcaklığın 0 °C’den küçük olduğu günler	Gün
R20	Çok Şiddetli Yağışlı Gün Sayısı -Yağışın 20 mm’den yüksek olduğu günler	Gün
CDD	Ardışık Kurak Gün Sayısı İndisi	Gün
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış, Buharlaştırma ve Terleme İndeksi	-

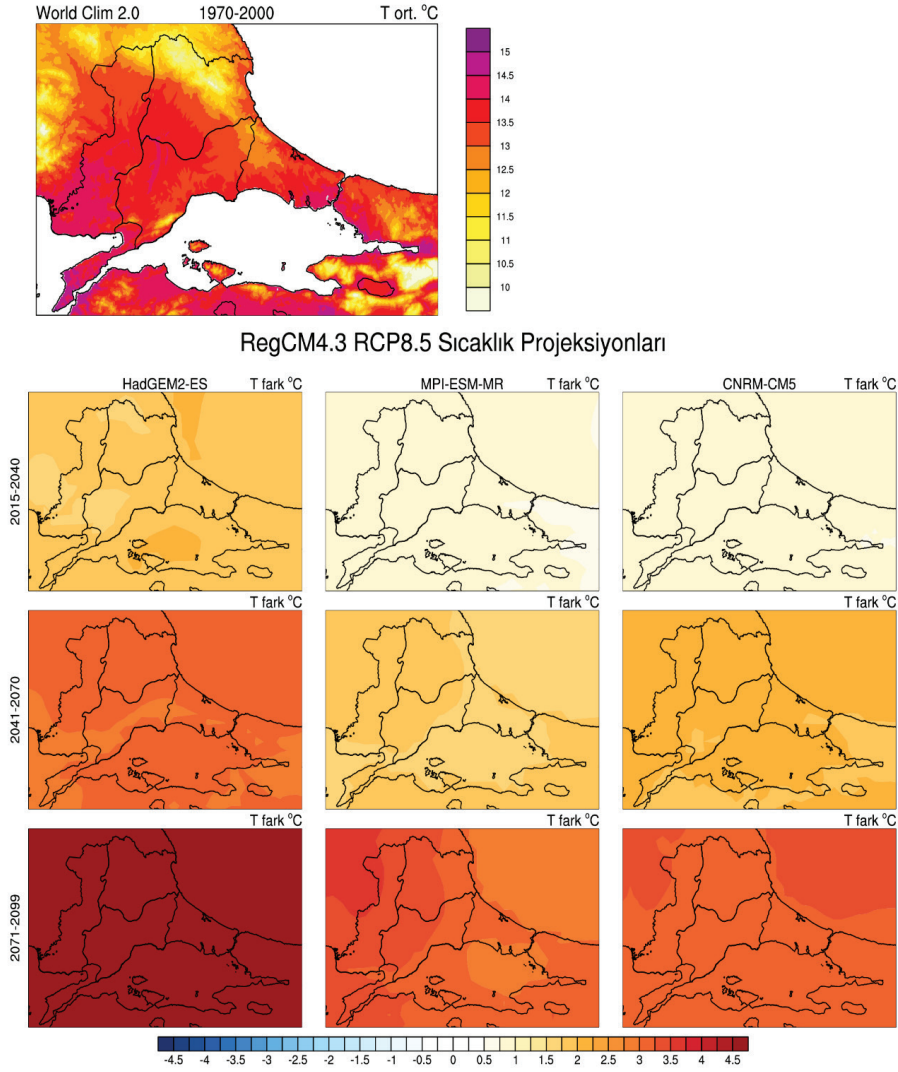
3. BULGULAR

3.1. Geleceğe Yönelik Ortalama Sıcaklık Senaryoları

TR21 Trakya Bölgesinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi (30'ar yıllık dönemler için referans periyoda (1971-2000) göre farklar) sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. RCP4.5 senaryosuna göre ortalama sıcaklık projeksiyonlarının 30'ar yıllık değişimi.



Şekil 2. RCP8.5 senaryosuna göre ortalama sıcaklık projeksiyonlarının 30'ar yıllık değişimi.

Elde edilen bulgularda, HadGEM2-ES modeli sonuçlarına göre ortalama sıcaklık RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında sıcaklık artışının kötümser senaryoda daha fazla olacağı ve bu artışın 2050 yılına kadar 3 °C'ye 2050 sonrasında ise 5 °C'nin de üzerinde olacağı beklenmektedir.

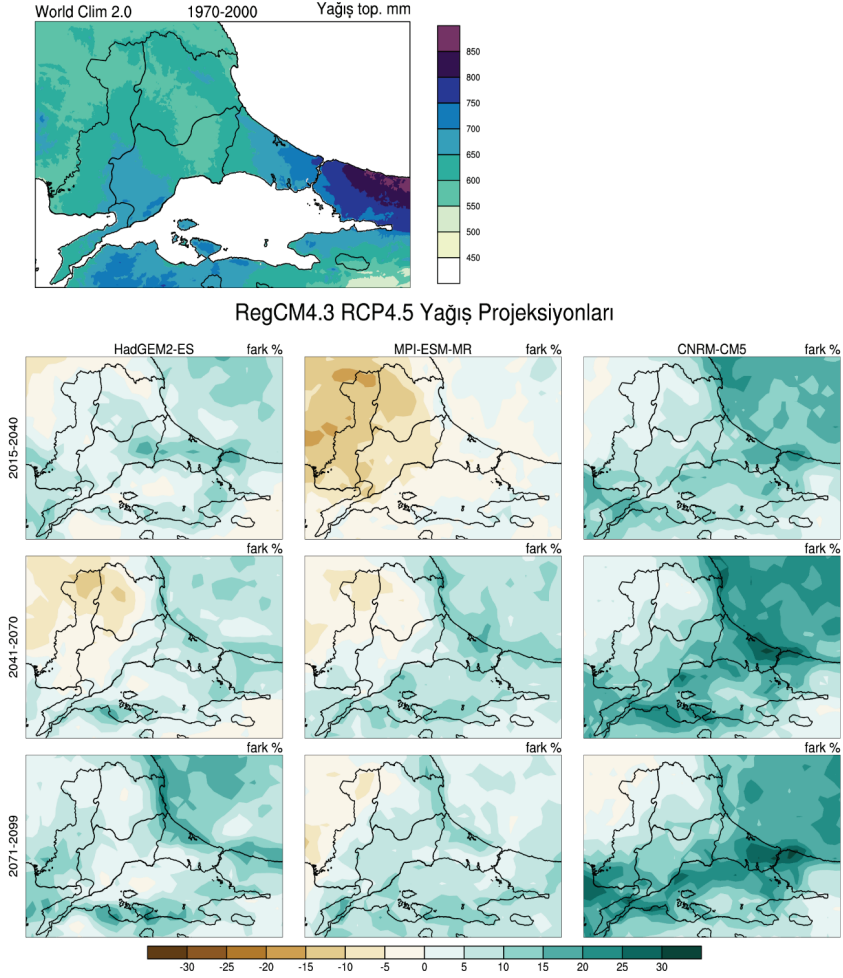
MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosu sonuçlarına göre ise 85 yıllık projeksiyon süresince yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin referans periyoduna göre 3,9 °C daha fazla olacağı öngörülmektedir. Bu artış özellikle 2060 yılı ve sonrasında belirginleşmekte ve 2080 yılı sonrasında en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Bu model sonuçlarına göre ortalama sıcaklık artışı yüzyılın sonuna kadar HadGEM2-ES modelinden daha düşüktür.

CNRM-CM5.1 modeli RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre de sıcaklık artış eğilimleri 2040'tan sonra belirginleşmekte ve özellikle 2060 yılından sonra bu artış 2,8 °C civarında olmaktadır. 2080 sonrası ise 3 °C'nin üzerine çıkan artışlar, projeksiyon döneminin sonunda 4 °C'ye yaklaşmaktadır.

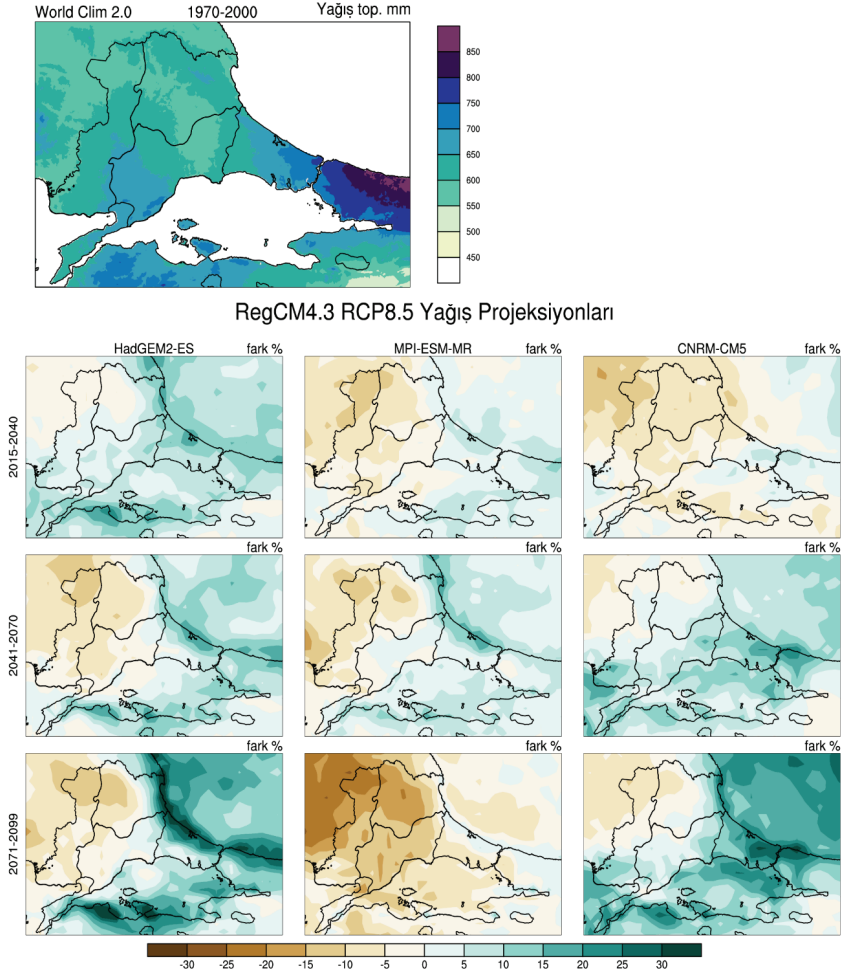
RCP4.5 senaryosuna göre elde edilen sonuçlarda ise ortalama sıcaklık artışının RCP8.5 senaryosuna göre dönemsel olarak 1-3 °C arasında daha düşük olacağı öngörülmektedir.

3.2. Geleceğe Yönelik Toplam Yağış Senaryoları

TR21 Trakya Bölgesinde HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait toplam yağış değerlerinin değişimi (30'ar yıllık dönemler için referans periyoda (1971-2000) göre farklar) sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. RCP4.5 senaryosuna göre toplam yağış projeksiyonlarının 30'ar yıllık değişimi.



Şekil 4. RCP8.5 senaryosuna göre toplam yağış projeksiyonlarının 30'ar yıllık değişimi.

Genel bir değerlendirme yaptığımızda, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosu için 2015-2100 projeksiyon dönemi boyunca yağışlarda düzenli bir artıştan veya azalıştan söz etmek mümkün değildir. Özellikle HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR modellerinden elde edilen sonuçlar bölgemizin iç kesimlerinde yağışın azalacağına işaret etmektedir. Bölgemizin deniz etkisinde kalan kısımlarında yağışların normallerinde hatta üzerinde olacağı istisna olarak MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosuna göre ise azalacağı öngörülmektedir. İyimser senaryo olan RCP4.5 senaryosunda yağışların geç dönemde (2071-2099) erken döneme (2015-2040) göre daha fazla olacağı belirlenmiştir.

3.3. Geleceğe Yönelik Aşırı (Ekstrem) İklim Olaylarındaki Değişimler

3.3.1. Geleceğe yönelik toplam yağış senaryoları

FD0, günlük minimum sıcaklığın 0°C'nin altında olduğu günlerin yıl içerisindeki sayısını ifade etmekle birlikte TR21 Bölgesinde uzun yıllar ortalaması bu değerler 26-70 gün arasında değişmektedir. 0°C'nin altındaki gün sayıları karasallığa bağlı olarak iç kesimlerde daha fazla iken deniz etkisinde kalan alanlar için daha azdır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre üç farklı modelin, uzun dönem gözlem verisi olan il ve ilçe bazında 30'ar yıllık değişimleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. FDO indisinin geleceğe yönelik 30'ar yıllık değişimi.

	Gözlem (gün)	2015-2040			2041-2070			2071-2099		
		MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM
RCP4.5										
Edirne	58	-10	-20	-12	-16	-23	-17	-17	-25	-25
Kırklareli	52	-8	-20	-10	-14	-24	-14	-16	-24	-22
Çorlu	50	-7	-20	-11	-13	-24	-13	-14	-25	-22
Tekirdağ	26	-7	-16	-6	-13	-18	-10	-13	-18	-17
Uzunköprü	58	-10	-19	-11	-15	-21	-15	-15	-23	-23
Lüleburgaz	70	-11	-22	-13	-18	-26	-15	-18	-28	-27
İpsala	48	-8	-19	-9	-13	-21	-12	-13	-21	-20
Malkara	53	-8	-19	-10	-13	-22	-13	-14	-22	-21
RCP8.5										
Edirne	58	-6	-13	-17	-21	-27	-34	-32	-40	-42
Kırklareli	52	-6	-14	-17	-20	-26	-30	-29	-37	-38
Çorlu	50	-4	-15	-9	-17	-26	-25	-26	-38	-33
Tekirdağ	26	-7	-10	-13	-14	-19	-20	-19	-24	-24
Uzunköprü	58	-5	-13	-14	-20	-26	-30	-31	-38	-39
Lüleburgaz	70	-6	-16	-21	-22	-30	-39	-35	-46	-50
İpsala	48	-4	-12	-8	-18	-24	-24	-26	-34	-33
Malkara	53	-3	-13	-9	-18	-25	-25	-27	-37	-34

Tablo 2’de görüldüğü üzere her üç ilde de don olan günler sayısı yüzyılın sonuna doğru azalma eğilimindedir. RCP4.5 senaryo sonuçlarına göre azalma en fazla Lüleburgaz civarında en az Tekirdağ’da beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise azalma projeksiyon döneminin ilk 30 yılında düşük beklenmekle birlikte özellikle son 30 yıllık periyotta azalmalar 30 günün üzerine hatta Lüleburgaz’da 50 güne çıkmaktadır.

3.3.2. R20 Çok yağışlı gün sayısı indisi

R20 indisi, yağışın 20 mm’yi aştığı günlerin sayısını vermekle birlikte TR21 Bölgesinde bu değerler 6-9 gün arasındadır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre üç farklı modelin, uzun dönem gözlem verisi olan il ve ilçe bazında 30’ar yıllık değişimleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3’de projeksiyon sonuçlarından görüldüğü üzere model sonuçları farklı değerler vermektedir. RCP4.5 senaryo sonuçlarına göre 2070’e kadar genel olarak azalmalar beklenmekte iken 2070 sonrası artışlar öngörülmektedir. RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre ise R20 indisinde genel olarak değişim olmaması ve azalma beklenmektedir. Artış ve azalışlar genel olarak önemsenmeyecek kadar azdır. Bunun sebebi modellerin yağışı tahmin edilebilme zorluğuna dayanmaktadır.

3.3.3. CDD Ardışık kurak gün sayısı indisi

CDD indisi yağışın 1 mm’den düşük olduğu ardışık gün sayısını vermekle birlikte R21 Bölgesinde bu değerler 16-18 gün arasındadır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre üç farklı modelin, uzun dönem gözlem verisi olan il ve ilçe bazında 30’ar yıllık değişimleri Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4’de görüldüğü üzere ardışık kurak geçen gün sayısında bütün modellerde genel olarak azalma beklenmekte ancak RCP8.5 senaryosu MPI-ESM-MR modeli sonuçlarına göre 2071-2099 döneminde 7-13 gün arasında artışlar öngörülmektedir. Bu artışlar en fazla Uzunköprü, Çorlu ve Tekirdağ’da tahmin edilmektedir.

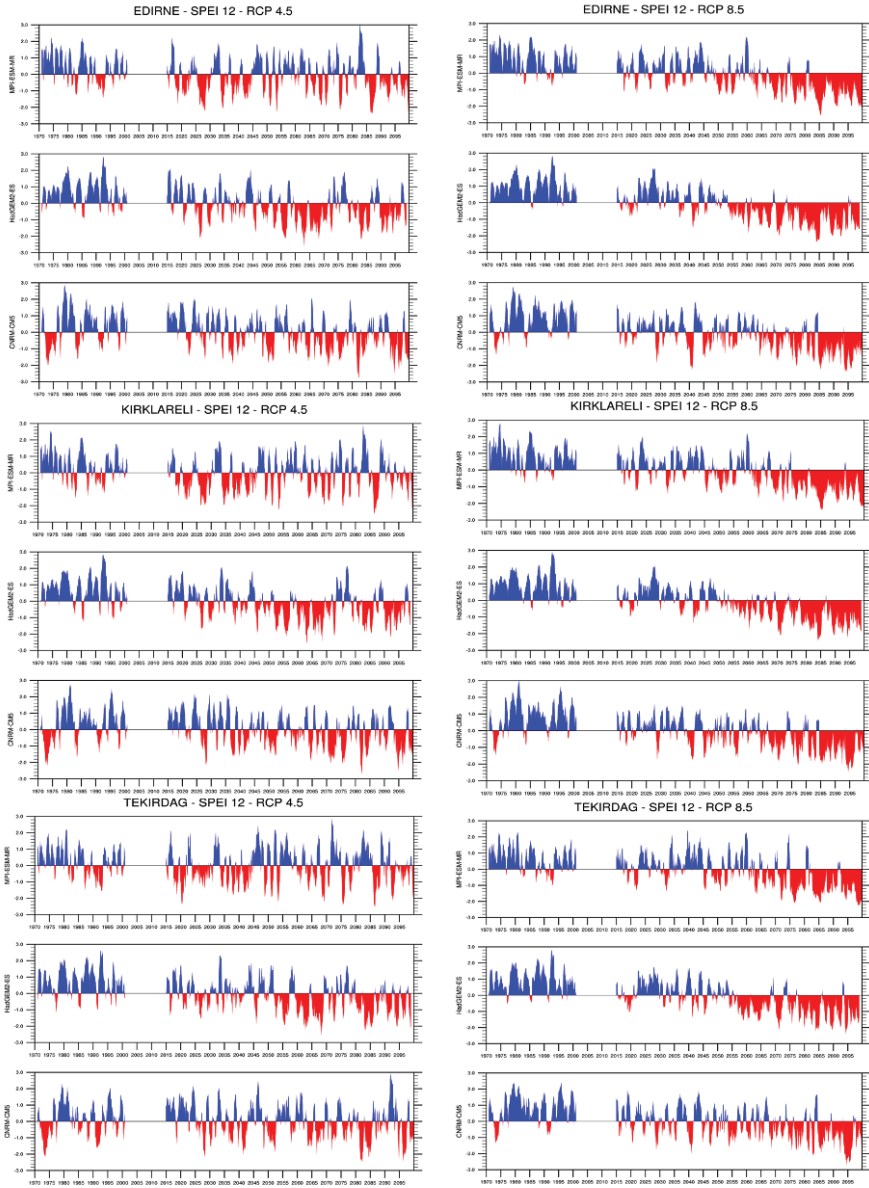
Tablo 3. R20 indisinin geleceğe yönelik 30'ar yıllık değişimi.

	Gözlem (gün)	2015-2040			2041-2070			2071-2099		
		MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM	MPI-ESM	HadGEM	CNRM
RCP4.5										
Edirne	7	0	2	0	1	1	0	1	1	1
Kırklareli	6	-1	1	0	0	0	0	1	1	1
Çorlu	6	1	2	1	1	1	1	1	1	2
Tekirdağ	6	1	0	1	1	1	2	2	0	3
Uzunköprü	9	0	0	0	0	1	0	1	2	1
Lüleburgaz	6	0	1	0	1	0	1	2	1	2
İpsala	7	0	2	1	1	2	1	2	2	2
Malkara	8	-1	1	0	1	1	1	2	1	1
RCP8.5										
Edirne	7	0	0	0	1	1	1	0	1	0
Kırklareli	6	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Çorlu	6	1	2	0	1	0	2	0	2	1
Tekirdağ	6	1	0	0	2	0	2	1	1	1
Uzunköprü	9	-1	0	-1	0	0	-1	0	1	0
Lüleburgaz	6	0	1	0	1	0	1	0	1	0
İpsala	7	1	2	1	1	1	2	2	1	1
Malkara	8	0	2	-1	1	0	1	0	2	1

3.3.4. Standart yağış evapotranspirasyon (SPEI) indisi

SPEI, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerine dayanan hem yağışlı hem de kurak dönemlerin tespitinin yapılabildiği bir yöntemdir. Yöntemde negatif değerler kuraklık şiddetini göstermektedir. Pozitif değerler ise normalden nemli olacağının göstergesidir. Çalışma kapsamında, gelecek senaryolarına göre SPEI analizi yapılmıştır (Şekil 5).

Tüm model ve senaryo sonuçlarına göre özellikle 2060'lı yıllardan itibaren her üç ilde de yağış eksiklikleri beklenmekte, yağışta beklenen bu azalmaların şiddeti yüzyılın sonuna doğru artmaktadır. Özellikle, -3 seviyelerine varan SPEI değerleri gelecekte bölgeyi çok sık ve şiddetli kuraklıkların beklediğini göstermektedir.



Şekil 5. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo sonuçlarına göre iller bazında yıllık SPEI analizleri.

4. SONUÇLAR

İnsan kaynaklı iklim değişikliğini önleme küresel çabayı gerektiren ve olumlu sonuçları uzun yıllar neticesinde elde edilecek bir husustur. Önleme aşaması devam ederken toplumların yapması gerekenlerin başında iklim değişikliğine uyum sağlamaktır. Uyum sonuç değil bir süreçtir. Ülkelerin mevcut durumda sürdürdükleri kalkınma çabaları içinde gerçekleştirdikleri eylemler (yatırım, iyileştirme, destekleme, teşvik, vb. çalışmalar) ile iklim değişikliğine uyum çalışmaları arasında açık bir ayrım bulunmamaktadır. Ülkelerin kalkınma faaliyetlerinin devam ettiği süreçte iklimde olumsuz sonuçlar yaşanacağı çok aşikârdır. En kötü CO2 emisyon senaryolarına bile yüzyılın sonuna gelmeden günümüzde ulaşılması bilim camiası tarafından yeni senaryo ortaya koyma gereğini doğurmakta ve bu durum uyum çabalarına etki edecek paradigmanın değişmesine de sebep olmaktadır. Bu bakımdan kalkınma bileşenlerine sürdürülebilirlik açısından kesinlikle iklim değişikliğine uyum çalışmalarının da dâhil edilmesi gerekmektedir. Uyum ihtiyaçları sosyo-ekonomik faaliyetlere ve sektörler için farklılık göstermektedir. Etkili ve stratejik uyum planlaması yapılabilmesi için iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en fazla etkilenecek sistemlerin (yer, topluluk, sektör) hedeflenmesi gerekmektedir.

Çalışmada, Meriç-Ergene ve Marmara Havzasında sınırları bulunan Tekirdağ-Edirne-Kırklareli illerini kapsayan TR21 Bölgesinde mevcut meteorolojik koşullar analiz edilmiş ve gelecek dönem iklim projeksiyonları ile bölgeyi farklı CO2 emisyon senaryoları altında bekleyen iklim değişimleri ortaya konulmuştur. İklim değişikliğini sadece meteorolojik parametrelerdeki değişim olarak görmemek gerekmektedir. İklimin gelecekte bölgede tarım, su kaynakları, ekosistem, biyoçeşitlilik, ekonomi, sosyal faaliyetler üzerinde yaratacağı baskıyı da hesaba katmak çok önemlidir. İklimdeki çok ufak değişimler dahi canlı yaşamını tehdit altına alarak insan ve doğa arasındaki sürdürülebilirliği yok etme noktasına gelebilmektedir. Bu bakımdan elde edilen verilerin TR21 Bölgesinde hangi sektöre nasıl olumlu veya olumsuz katkı sunacağı daha detaylı analizlerle araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- İstanbul Politikalar Merkezi. (2013). İklim Değişikliğinde Son Gelişmeler: IPCC 2013 Raporu. <https://ipc.sabanciuniv.edu/Content/Images/CKeditorImages/20200327-02032703.pdf>
- IPCC. (2013). "Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report." Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf
- IPCC. (2021). "Climate Change 2021: The Physical Science Basis", Summary for Policymakers. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- SYGM. (2016). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi - Proje Nihai Raporu Yönetici Özeti. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_Nihai%20Rapor_YoneticisiOzeti.pdf

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ-ARAZİ TAHRİBATI VE ARAZİ TAHRİBATININ MODELLENMESİ

Bahadır Altürk¹, Reşat Akgöz², Mehmet Şener³, Fatih Konukcu⁴

¹Öğr. Gör. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ, Orcid: 0000-0003-1282-6558 balturk@nku.edu.tr

² OGS İşletme İnşaat Harita Yazılım ve Tic. A.Ş., Coğrafi Bilgi Sistemleri Bölümü, Ankara resatakgoz@gmail.com

³Doç.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-6736-0567 msener@nku.edu.tr

⁴Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-2873-990X fkonukcu@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

Tarım arazileri küresel gıda güvenliğinin en önemli yapı taşlarından bir tanesidir. Ancak biyofiziksel (toprak ve su kaynakları, arazi örtüsü, iklim, topoğrafya, jeomorfoloji vb.) ve insan kaynaklı (arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliği, iklim değişikliği, arazi parçalanması, nüfus yoğunluğu, düzensiz şehirleşme vb.) faktörlerin karmaşık ve karşılıklı etkileşimleri tarım arazilerini tahribata uğramakta ve üretim kapasitesinde azalışlar meydana getirmektedir. Dünya üzerindeki kullanılabilir arazilerin %25'i sürdürülebilir olmayan toprak ve arazi yönetimi uygulamalarına bağlı olarak tahribata uğramış durumdadır (Anonymous, 2018). Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (BMÇMS) raporlarına göre 1,5 milyardan fazla nüfus yavaş yavaş tahribata uğrayan toprağa doğrudan bağımlı durumdadır. Her yıl 75 milyar ton verimli toprak, arazi tahribatı nedeniyle kaybedilmektedir (UN, 2021).

Arazi tahribatını artıran bir diğer önemli problem ise iklim değişikliğidir. İklim değişikliğine bağlı uzun süreli kuraklıklar toprağın üretkenlik dinamiğini azaltarak ve aşırı yağışlar ise erozyonu artırarak arazi tahribatını hızlandırmaktadır. Böylelikle, arazi bozulması iklim değişikliği ile beraber tarımsal ekolojik sistemlerin kırılganlığını artırmakta ve uyum seçeneklerinin etkinliğini azaltmaktadır (Webb vd., 2017).

Sınırlı tarım arazilerine yönelik artan mal ve hizmet talebini sürdürülebilir şekilde karşılamak, arazilerin üretim potansiyellerini korumak ve artırmak yoluyla mümkündür. Arazilerin daha fazla tahribata uğramasını önlemek ve gerekli aksiyonları alabilmek için BMÇMS'nin 12. Taraflar Konferansı (COP12), "sıfır net arazi bozulması" kavramına dayalı arazi tahribatı dengelenmesini (ATD) kabul etmiştir. ATD, "ekosistem işlevlerini, hizmetlerini desteklemek ve gıda güvenliğini artırmak için gerekli olan arazi kaynaklarının miktarının, kalitesinin belirli zaman ve mekân ölçeğinde ekosistemler içinde sabit kaldığı veya arttığı bir durum" olarak tanımlanmaktadır (UNCCD, 2016). Kavram, somut bir "net kayıp yok" hedefi etrafında çabaları canlandırmak için ortaya atılmıştır. Bu kayıpların kazançlarla dengeleneceği şekilde mevcut bozulmayı tersine çevirecek önlemlerle birleştirilen, arazi bozulmasını önlemeye veya azaltmaya yönelik önlemlere yönelik ikili bir yaklaşım yoluyla dünyanın sağlıklı, verimli toprak kaynağını korumayı amaçlamaktadır (Cowie, 2018).

ATD'nin amaç ve hedefleri, dengeleme statüsüne ulaşmak, araziye dayalı doğal sermayenin korunmasını veya geliştirilmesini gerektirir. Bu nedenle, ATD'nin istek uyandıran hedefi, insanlığın gelecekteki refahını desteklemek için karaya dayalı doğal sermaye stoklarını ve ilgili ekosistem hizmetlerinin gelişimini sürdürmek ve iyileştirmektir. Bu vizyon aşağıdaki hedeflerle desteklenmektedir (Cowie, 2018):

1. Doğal ve yönetilen ekosistemlerden ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir gelişimini sağlamak veya iyileştirmek.
2. Ayrı çevre, kalkınma hedeflerini ele alan politikalar ve önlemler arasındaki tutarlılık yoluyla diğer sosyal, ekonomik ve çevresel hedeflerle bir sinerji yaratmak.
3. Arazinin sorumlu ve kapsayıcı yönetimini güçlendirmek. Savunmasız ve marjinalize edilmiş insanların arazi kullanım haklarının korunmasına vurgu yaparak, araziye herkesin yararına olacak şekilde yönetmek.

Bir Akdeniz havzası ülkesi olarak Türkiye ATD'yi taahhüt eden, ATD'ye ulaşmak için gönüllü hedefler belirlemek ve bunları ulusal politikalara dönüştürmek için BMÇMS'nin 2014 pilot projesine katılan ilk ülkelerden biridir (UNCCD, 2016). Bu kapsamda Taraflar Konferansı 12 (COP 12) Türkiye'de düzenlenmiş ve Ankara Sözleşmesi ile 2030 yılına kadar ATD garanti altına alınmıştır. Ormanlık alanlarda, meralarda ve tarım alanlarında azalan üretkenliğin yanı sıra azalan arazi kalitesi ana olumsuz eğilimler olarak belirlenmiştir (Anonymous, 2015). Gönüllü ATD hedefleri ağaçlandırma, yangından etkilenen orman alanlarının azaltılması, bozulmuş ormanların, meraların ve tarım alanlarının iyileştirilmesi ve sulama alanlarının artırılmasını içermektedir (Anonymous, 2015).

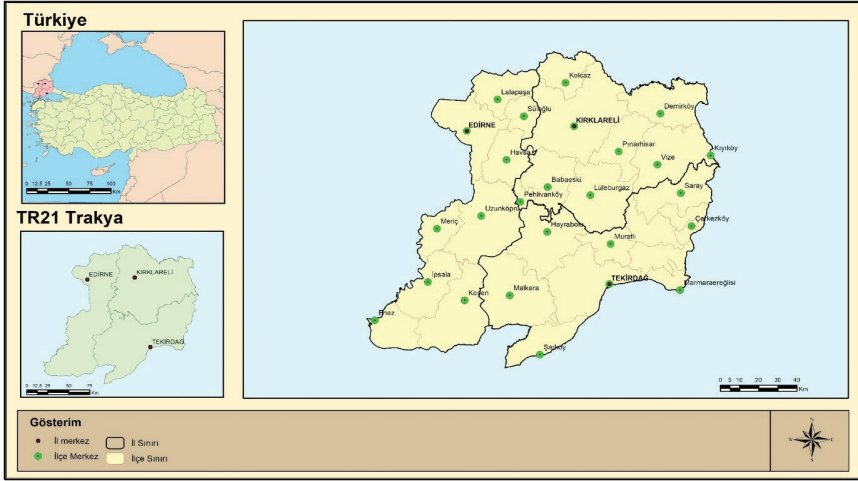
Arazi tahribatı mekanizmalarını açıklığa kavuşturmak için arazi tahribatı modeli ve izleme sistemlerini iyileştirmek ve tahribatın etkilerini azaltmak için karar destek sistemleri geliştirmek esastır. Ancak, arazi tahribatını etkileyen tanımların çeşitliliği, birden fazla bozulma faktörü arasında belirsiz bir ilişkiye yol açmaktadır. Tahribatı değerlendirmek için UNCCD (2017) tarafından önerilen temel ATD göstergelerine ek olarak araştırma yapılan bölgenin dinamiklerini içeren biyofiziksel ve sosyo-ekonomik faktörler de modele dâhil edilebilmektedir. Bu bilgiler ışığında, çalışmanın amacı, TR21 Trakya Bölgesi'nde tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH, 2015)'nin 15. maddesi ile uyumlu olarak; tarım arazilerindeki mevcut tahribat düzeyinin dengelenmesi için stratejiler geliştirerek iklim değişikliğine karşı uyum sağlanmasına yardımcı olacak bir "Arazi Tahribatının Dengelenmesi" modeli oluşturmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Tekirdağ, Kırklareli ve Edirne illerini kapsayan TR21 Trakya Bölgesi çalışma alanını kapsamaktadır (Şekil 1). Bölgenin alanı yaklaşık 18665 km² olup bu alanın 6312 km²'si Tekirdağ'da 6074 km²'si Edirne'de ve 6277 km²'si ise Kırklareli'de bulunmaktadır. Üç ilin yüzölçümü arasında çok fark olmamakla birlikte Tekirdağ ilinde sanayi alanlarının ve buna bağlı olarak yerleşim alanlarının fazla olması nüfusun da bu alanda yoğunlaşmasına sebebiyet vermiştir. TR21 Trakya Bölgesinin toplam nüfusu 1987440 kişidir (TÜİK 2024). TR21

Bölgesinde Tekirdağ; tarım ve sanayi potansiyeli, Edirne; tarım ve turizm potansiyeli ve Kırklareli ise tarım, hayvancılık ve ormancılık potansiyeli ile öne çıkmaktadır. Verimli tarım arazilerine sahip bölgede Türkiye'nin toplam buğdayının %15,2'si, kanolaşının %60,7'si, ayçiçeğinin %41,1'i ve çeltiğinin %44,5'i üretilmektedir (Trakya Kalkınma Ajansı, 2023).



Şekil 1. TR21 Trakya Bölgesi.

2.2. Veriler

Araştırmada, arazi tahribatının modellenmesinde temel olarak iki veri grubu kullanılmıştır. Bunlar, biyofiziksel (arazi üretkenlik dinamiği, toprak organik karbonu, arazi kullanım/arazi örtüsü ve erozyon) ve sosyo-ekonomik (morfolojik arazi parçalanması) faktörlere ait verilerdir.

Arazi üretkenlik dinamiği için arazi kullanım/arazi örtüsü ve normalize edilmiş fark bitki örtüsü indisi (NDVI) beraber kullanılmıştır. Arazi üretkenlik dinamiği verilerindeki değişim 1990-2023 yılları arasında kapsamaktadır. Arazi kullanım/arazi örtüsünün hazırlanmasında Landsat uydu görüntüleri, CORINE arazi sınıflandırması, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) arazi sınıflandırması ve güncel yüksek çözünürlüklü hava fotolarından faydalanılmıştır. NDVI verileri Landsat uydu görüntüleri kullanılarak oluşturulmuştur.

Toprak organik karbonunun (TOK) analizi için Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) tarafından 2018 yılında tamamlanan “Toprak Organik Karbon” projesi kapsamında elde edilen veriler temin edilmiştir. Bununla birlikte, ÇEM’den alınan TOK datasını desteklemek için Trends. Earth- TOK datası kullanılmıştır. Trends Earth yeterli veri ve donanım altyapısı olmayan ülkelerin ATD raporlamalarını yapabilmeleri için küresel veri tabanları kullanılarak “UNCCD, Lund University, Conservation International, GEF, NASA, Bern University” tarafından geliştirilen bir yazılımdır.

Erozyonun belirlenmesinde birçok farklı parametre bulunmaktadır. Arazi ve bitki örtüsü, yağış verileri ve eğim verisi girdi olarak kullanılmaktadır. Özellikle yağış aşındırma enerjisi (R) faktörüne ilişkin veriler ÇEM-DEMİS (Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi) sisteminden temin edilmiştir.

Sosyo-ekonomik gösterge olarak tarım arazilerinin morfolojik mekânsal parçalanması belirlenmiştir. Parçalanma analizinde detaylı arazi kullanım/ arazi örtüsü verilerinden faydalanılmıştır.

2.3. Yöntem

2.3.1. Arazi üretkenlik dinamiği

Arazi örtüsündeki değişiklikler ulusal ya da yerel bilgilerle değerlendirildikleri takdirde olumlu ya da olumsuz olarak nitelendirilebilirler. Örneğin doğal ya da yarı doğal arazi örtüsü sınıflarından tarım alanı ya da yerleşim yerine geçişler, orman alanlarından diğer arazi örtüsü sınıflarına geçişler (ormansızlaşma), ve doğal veya yarı-doğal arazi örtüsü sınıflarından ve tarım alanlarından yerleşim yerlerine geçişler (şehirleşme gibi) gibi bazı kritik değişimler genellikle olumsuz olarak nitelendirilirler. Genel olarak, artan arazi üretkenliği gözlemlenen bölgeler gelişmekte olarak değerlendirilebilirken, azalan arazi üretkenliği arazi tahribatına işaret etmektedir. Ormanların, çayır-mera alanlarının veya tarım alanlarının üretkenliğinin hesaplanması için arazi örtüsü sınıflarından faydalanılmaktadır.

Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi’nin Arazi Üretkenliği Dinamikleri- AÜD (Land Productivity Dynamics-LPD) veri setinde 5 adet AÜD sınıfı tanımlamaktadır. Bunlar; azalan, azalmanın ilk belirtileri, durağan (stabil) ama riskli, durağan ve risksiz ve artandır. Üretkenlik eğilimlerini tanımlayan

bu beş niteliksel sınıf, kazanılan ya da kaybedilen yıllık üretkenliğin nicel bir ölçüsüne doğrudan karşılık gelmemektedir. Söz konusu beş sınıf, gözlemlenen süreç boyunca fotosentez yönünden aktif vejetasyonda meydana gelen olumlu ve olumsuz değişikliklerin yoğunluğu ve sürekliliğinin göstergesidir. Tahribe uğramış arazilerin tespiti için, azalan, azalmanın ilk belirtileri ve durağan ancak riskli AÜD sınıflarına (Tablo 1) dikkat edilmesi önerilmektedir.

Tablo 1. Arazi Üretkenlik dinamiği sınıfları.

Sınıf	Tanımlama
1	Arazi üretkenliğinin azalması
2	Arazi üretkenliğinin azalma eğilimi göstermeye başlaması
3	Üretkenlik durağan, fakat stres altında
4	Üretkenlik durağan, stres altında değil
5	Arazi üretkenliğinin artması

2.3.2. Toprak organik karbonu

Toprak organik karbonu (TOK), toprak organik maddesi içerisinde oluşan karbonu ifade eder. TOK; bitki ve hayvan kalıntılarının, kök salgılarının, canlı ve ölü mikroorganizmaların ve toprak biyotasının ayrışması yoluyla toprağa girmektedir. İnorganik formlarının meydana geldiği durumlar hariç, karbonun çoğu toprak organik karbonu olarak adlandırılmaktadır. Toprakta bulunan TOK miktarı iklim, toprak, bitki örtüsü ve insan kaynaklı (antropojenik) müdahalelere bağlı olarak değişim göstermektedir. Toprakta sürdürülebilir arazi yönetimi (SAY) standartları kapsamında yapılan faaliyetlerin toprak özellikleri ve süreçleri üzerinde güçlü ve olumlu etkileri bulunmaktadır (Chotte vd., 2019). SAY'ı kullanarak TOK'u yönetmek ATD'yi etkin kılarak toprakların sürdürülebilir kullanımını büyük oranda sağlamaktadır.

TOK'da yıllar arasında meydana gelen değişimlerden kaynaklı tahribat Eşitlik 1 ile izlenmektedir. Çıkan sonuçlar değerlendirilirken temel veri ile izleme dönemi sonunda TOK stoğunda meydana gelen %10'dan fazla değişim tahribat veya artış olarak nitelendirilirken, %10 sınırları içinde kalan değişimler değişimin olmadığı anlamı taşımaktadır. %10 değişim eşiği UNCCD (2017)

tarafından önerilmekle birlikte ülkelerin koşulları dikkate alınarak eşğin değiştirilebileceği belirtilmiştir.

$$r_{TOK} = \frac{TOK_{tn} - TOK_{t0}}{TOK_{t0}} * 100 \quad (1)$$

Eşitlikte;

r_{TOK} : TOK'da meydana gelen % değişim

TOK_{t0} : t0 anındaki TOK miktarı ($t \text{ C ha}^{-1}$)

TOK_{tn} : İzleme dönemi sonu TOK miktarını ($t \text{ C ha}^{-1}$) ifade etmektedir.

2.3.3. Erezyon

ETKE yaklaşımı (Evresel Toprak Kayıpları Eşitliği-USLE) (Wischmeier & Smith, 1978; Renard vd., 1997), ülke, bölge ve havza ölçeğinde toprak kayıplarının tahmininde kullanılan modellerden sadece bir tanesidir ve ülkemizde de erozyon tehlikesi değerlendirmeleri amacıyla son dönemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Proje kapsamında YETKE (Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği-RUSLE) yaklaşımı kullanılmış olup; eşitlik 2'de verilmiştir.

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2)$$

Burada,

A: ortalama yıllık toprak kaybı ($\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$),

R: yağış aşındırma enerjisi ($= E \times I30$) ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$),

K: toprak erozyon duyarlılığı ($\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$),

L ve S: sırasıyla, eğim uzunluğu ve dikliği (LS: topografik etmen),

C: bitkisel örtü ve ürün yönetimi ve

P: toprak-su koruma önlemleri etmenleridir.

Toprak ve su koruma geleneğinin iyi bir şekilde yerleşmiş olduğu ülkelerde, Eşitlik (2)'de örneği verilen yaklaşımlar aracılığıyla, erozyon tehlikesinin fiziksel ve niceliksel olarak değerlendirilmesi ve buna göre gerekli önlemlerin

alınması ile toprak, su, topografya ve bitkisel örtü kaynaklarının sürdürülebilir bir biçimde planlanması mümkün olmaktadır.

Erozyon hesaplamalarında R ve C etmenlerindeki değişimler dikkate alınmıştır. K ve LS etmenleri sabit tutulmuştur. Toprak kayıplarında meydana gelen artı ve eksi yönlü %10'dan fazla değişim arazi tahribatında azalma ya da artma olarak nitelendirilirken %10 sınırları içinde kalan değişimler durağan olarak nitelendirilmiştir.

2.3.4. Morfolojik arazi parçalanması

Tarım arazileri gıda güvenliğinin en önemli aktörü olmasının yanında farklı iş fırsatları sunan, sürdürülebilir sosyo-ekonominin en önemli yapı taşlarından bir tanesidir. Ancak bu araziler gelir dağılımı eşitsizliği, pazar payındaki değişimler, arazi rantı ve politik kararlar neticesinde maden alanları, yerleşim alanları, yollar ve sanayi alanlarına dönüşmektedir. Özellikle dağınık yapay yüzeyler arazilerin delinmesi, bölünmesi ve parçalanmasını hızlandırarak arazilerin tarımsal etkinliğinin azalmasına ve yok olmasına sebebiyet vermektedir. Arazi parçalanması iki şekilde olmaktadır. Bunlardan ilki parsel bazında parçalanma bir diğeri ise daha büyük alanların morfolojik ve fiziksel parçalanmasıdır. Bu çalışmada tarım arazilerinin morfolojik parçalanması analiz edilmiştir. Parçalanma analizinde 8 temel gösterge bulunmaktadır (Şekil 2). Bunlar;

Çekirdek alan- bütünlüğü korunmuş sürekliliği olan parçalar,

Adacık- diğer sınıflar ile bağlantısı olmayan kopmuş alan,

Dış kenar- çekirdek alanının dış çevresi,

İç kenar- delinme sonucu ortaya çıkan çekirdek alanın iç çevresi,

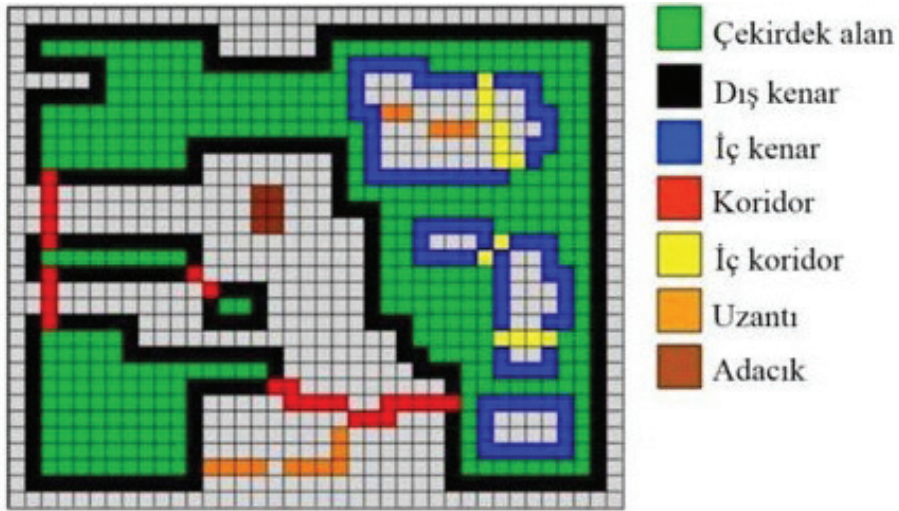
Koridor- en az iki çekirdek alanı birbirine bağlayan çizgisel alanlar,

İç koridor- aynı çekirdek orman alanını birbirine bağlayan çizgisel alanlar ve

Uzantı- yalnızca iç-dış kenar ya da iç koridor-koridor ile bağlantısı bulunan çizgisel alanlardır.

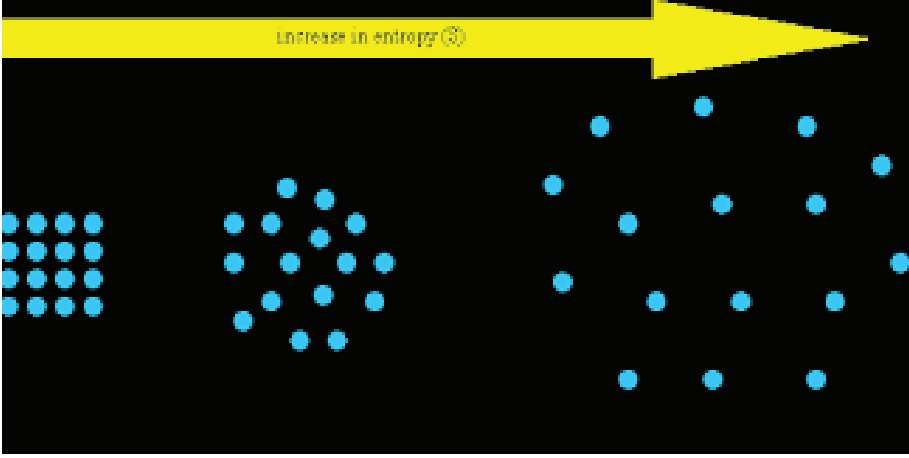
Analizde, tarımsal alanlar (tarım ve mera alanları) parçalanan alanları oluşturmaktadır. Parçalayan alanlar doğal ve yapay alanlar olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır.

Doğal alanlar- orman ve yarı doğal alanlar, su kütleleri ve Yapay alanlar- yollar, yerleşim ve sanayi alanları, maden sahaları ve diğer yapay yüzeyler (enerji yapıları, dağınık çiftlikler, dağınık ikincil konutlar, hobi amaçlı dağınık yerleşimler, yol kenarı işletmeleri vb.) alanlardır. Çekirdek alanlar tarımsal bütünlüğü korunmuş çok fazla parçalanmaya uğramamış ve birbiri ile bağlantısı olan parçaların sürdürülebilirliğini sağlayan araziler olması sebebiyle bu analizde büyük, orta ve küçük olarak sınıflandırılması ve bunların oransal değerlerinin hesaplanması önemlidir.



Şekil 2. Morfolojik mekânsal örüntü analizi ölçütleri (Soille & Vogt 2009).

Bir diğer önemli parçalanma göstergesi de Entropi analizidir. Termodinamiğin 2. yasası olan entropi, fizikte bir sistemin mekanik işe çevrilemeyecek termal enerjisini temsil eden termodinamik terimdir. Parçalanmayla olan ilişkisi ise arazideki düzensizliği temsil etmesidir. Sürekliliği olan bütüncül parçalar düşük entropiye, dağılmış ve bölünmüş alanlar yüksek entropiye sahiptir (Şekil 3). Projede ATD modeline parçalanmanın nicel olarak tanımlanması daha kolay olan Entropi değerleri entegre edilmiştir.



Şekil 3. Düzensizliğe bağlı olarak artan entropinin gösterimi.

2.3.5. Biri hariç, hepsi hariç (One Out All Out-10AO) yaklaşımı

ATD'nin dört temel göstergesi olan arazi üretkenlik dinamiği, toprak organik karbonu, erozyon ve morfolojik arazi parçalanmasında meydana gelen değişimlerin izlenmesinde biri hariç, hepsi hariç yaklaşımı benimsenmiştir (One Out All Out-10AO). ATD'nin kavramsal çerçevesini de oluşturan bu yaklaşımda her bir göstergenin pozitif yönde değişmesi, artması ya da sabit kalması arazi tahribatının tersine çevrildiğini göstermektedir. Bu bağlamda tüm göstergelerde meydana gelen değişimleri özetleyen matrisler oluşturulmuştur (Şekil 4).

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 15.3.1 (bozulmuş arazilerin toplam arazilere oranı) kapsamında uyumlu olarak, eğer, göstergelerden birine ait alan tahribatı işaret ediyorsa ATD modelinde o alan tahribat olarak nitelendirilir. Eğer, göstergelerden birine ait alan gelişimi işaret ediyor ve diğer göstergelere ilişkin alanlar durağan ise o alan gelişim gösteriyordur. Eğer, tüm göstergelere ilişkin alanlar durağan ise o alan durağan olarak nitelendirilir (Eşitlik 3).

$$10AO(X_{AÖAKD}, X_{AÜD}, X_{TOK}) \begin{cases} \text{Tahribat eğer bir } Xi = \text{tahribat} \\ \text{Durağan eğer bütün } Xi = \text{durağan} \\ \text{Gelişim eğer } Xi = \text{durağan yada gelişen} \end{cases} \quad (3)$$

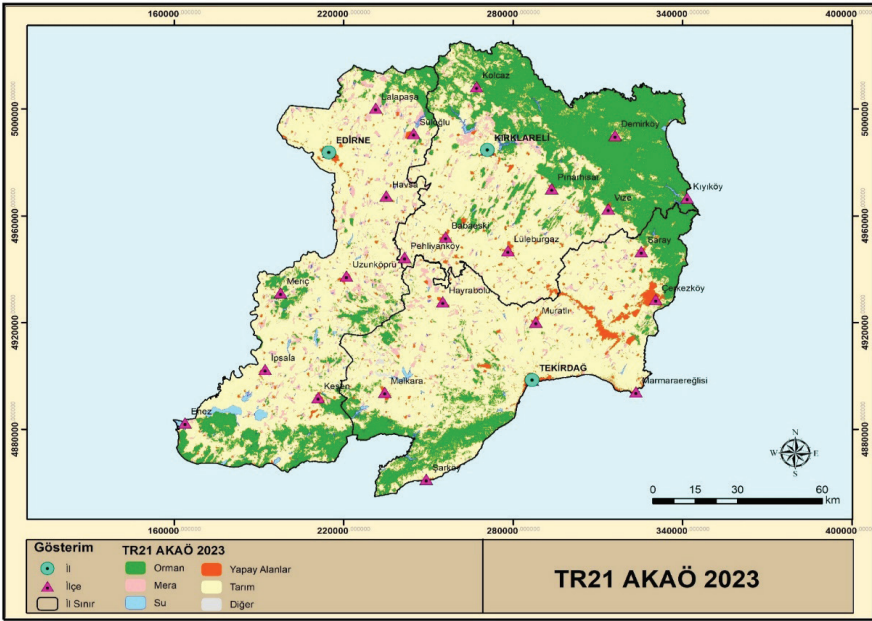
Arazi üretkenlik dinamiği	Erozyon	Toprak organik karbon	Arazi parçalanması	SKH 15.3.1
Artan	Artan	Artan	Artan	Artan
Artan	Artan	Artan	Durağan	Artan
Artan	Artan	Artan	Azalan	Azalan
Artan	Durağan	Artan	Artan	Artan
Artan	Durağan	Durağan	Durağan	Artan
Artan	Durağan	Azalan	Azalan	Azalan
Artan	Azalan	Artan	Artan	Azalan
Artan	Azalan	Durağan	Durağan	Azalan
Artan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan
Durağan	Artan	Artan	Artan	Artan
Durağan	Artan	Durağan	Durağan	Artan
Durağan	Artan	Azalan	Azalan	Azalan
Durağan	Durağan	Artan	Artan	Artan
Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan
Durağan	Durağan	Azalan	Azalan	Azalan
Durağan	Azalan	Artan	Artan	Azalan
Durağan	Azalan	Durağan	Durağan	Azalan
Durağan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan
Azalan	Artan	Artan	Artan	Azalan
Azalan	Artan	Durağan	Durağan	Azalan
Azalan	Artan	Azalan	Azalan	Azalan
Azalan	Durağan	Artan	Artan	Azalan
Azalan	Durağan	Durağan	Durağan	Azalan
Azalan	Durağan	Azalan	Azalan	Azalan
Azalan	Azalan	Artan	Artan	Azalan
Azalan	Azalan	Durağan	Durağan	Azalan
Azalan	Azalan	Azalan	Azalan	Azalan

Şekil 4. ATD modeli alt göstergelerinin birleştirilmesi-10AO.

3. BULGULAR

3.1. TR21 Trakya Bölgesi ATD Modeli- Biyofiziksel Etmenler Genel Değerlendirme

Projede, 1990-2023 yılları arasındaki arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi (Tablo 2), Landsat uydu görüntüleri, CORINE arazi sınıfları ve yüksek çözünürlüklü sayısal hava fotoğrafları kullanılarak detaylı bir şekilde üretilmiştir. 1990'lı yıllardan itibaren sanayileşmeye bağlı olarak artan dağınık yerleşimler Tekirdağ'ın İstanbul'a yakın kesimlerinde şehirleşmeyi artırmıştır. Bununla birlikte, Edirne ve Tekirdağ'ın güneyinde ve Kırklareli'nin daha çok Karadeniz kıyılarında artan yükselti ve neme bağlı olarak orman alanlarının, bölgenin yükseltisi az iç kesimlerinde ise tarım alanlarının yoğun olduğu bir arazi kullanım/arazi örtüsü ortaya çıkmaktadır (Şekil 5).

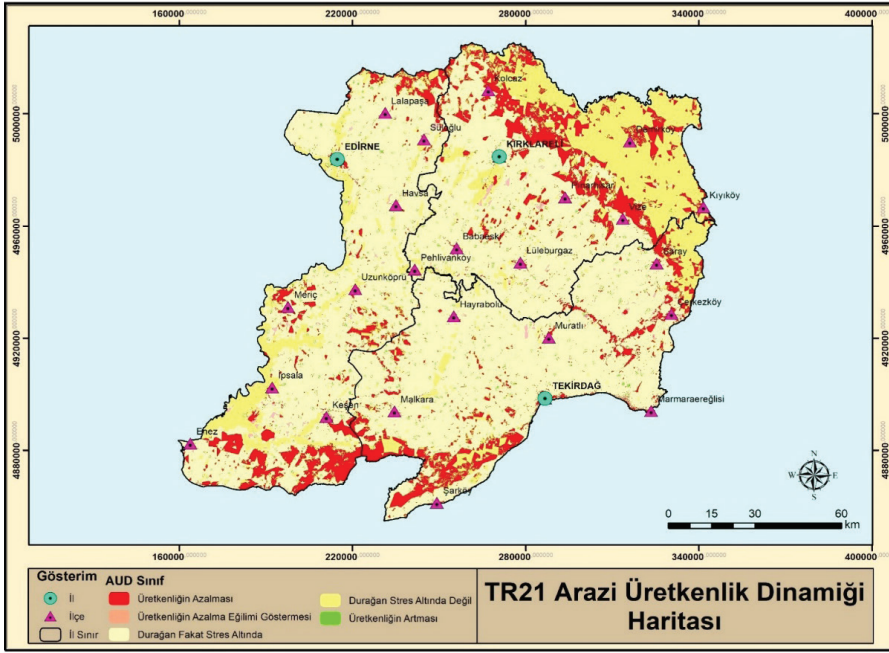


Şekil 5. TR21 Trakya Bölgesi 2023 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü haritası.

Tablo 2. TR21 Trakya Bölgesinin 1990-2023 yılları arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi.

Arazi sınıfları	1990 Alan (ha)	1990 Alan (%)	2023 Alan (ha)	2023 Alan (%)	Değişim (%) 1990-2023
Yapay alanlar	43302,50	2,30	66276,80	3,53	1,22
Tarımsal alanlar	1342355,42	71,41	1314961,07	69,96	-1,45
Orman ve yarı doğal alanlar	483352,51	25,71	480007,48	25,54	-0,18
Sulak alanlar	147,04	0,01	92,89	0,00	0,00
Su yapıları	10566,87	0,56	18222,90	0,97	0,41

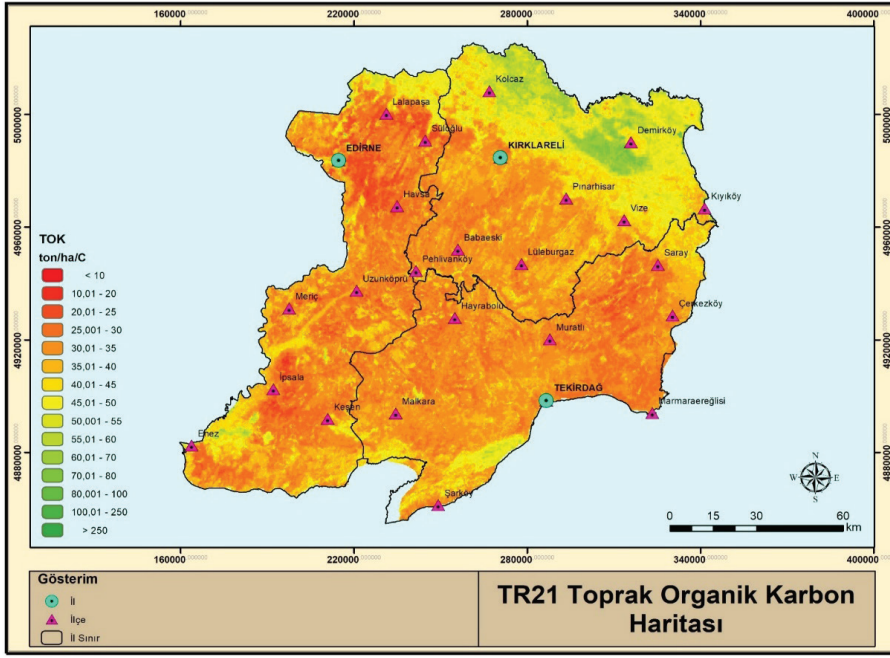
1990-2023 yılları arasında aynı arazi örtüsü (değişim olmayan) olmasına rağmen farklı bitki örtüsü yoğunluğuna sahip NDVI sınıfları dikkate alınarak AÜD sınıfları belirlenmiştir (Şekil 6). 2023 yılı itibari ile değerlendirildiğinde tarım alanları büyük oranda “Durağan fakat stres altında” sınıfı altındadır. Bunun nedeni, maden, yerleşim ve sanayi alanlarının tarım arazileri üzerindeki baskısıdır. Azalan üretkenlik en fazla orman ve yarı doğal alanlarda daha sonra ise yapay alanlarda görülmektedir. Mera alanlarının büyük bölümü “durağan fakat stres altında” sınıfı içerisinde bulunmaktadır. Bu göstergeler dikkate alındığında mera alanlarının sürdürülebilir kullanım açısından, mera koruma projeleri gibi projelerle desteklenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Diğer alanlar sahip olduğu arazi örtüsü özellikleri ve bitki örtüsü yoğunluğunun olmaması ya da zayıf olmasından dolayı büyük oranda “azalan üretkenlik” sınıfları içerisinde yer almaktadır.



Şekil 6. TR21 Trakya Bölgesi 2023 yılı arazi üretkenlik dinamiği haritası.

ATD sürecinin bir parçası olarak arazi tahribatını izlemeye yönelik diğer bir biyofiziksel alt gösterge toprak organik karbonudur (TOK). TR21 Trakya Bölgesinin ortalama TOK değeri 46,7 ton/ha/C dir. İller bazında değerlendirildiğinde Edirne ilinin ortalama TOK değeri 33,61 ton/ha/C, Kırklareli ilinin ortalama TOK değeri 41,83 ton/ha/C, Tekirdağ ilinin ortalama TOK değeri 33,85 ton/ha/C olarak belirlenmiştir (Şekil 7).

Genel olarak erozyon miktarlarına bakıldığında ((Tablo 3) ve (Şekil 8)), 1990 yılında erozyon miktarının yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek toprak kayıpları orman alanlarında gözlenirken, en düşük toprak kayıpları doğası gereği geçirimsiz yüzey olan yapay alanlarda görülmektedir.



Şekil 7. TR21 Trakya Bölgesi 2023 yılı toprak organik karbonu haritası.

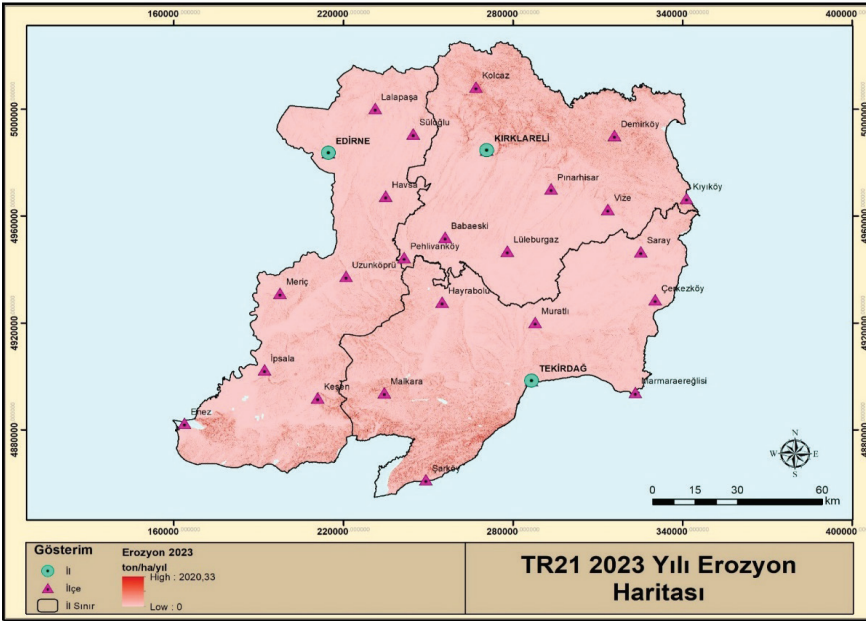
Tablo 3. TR21 Trakya Bölgesinin arazi kullanım/arazi örtüsü bazında ortalama erozyon değerleri.

Arazi kullanım/arazi örtüsü bazında ortalama erozyon değerleri (ton/ha ¹ /yıl ¹)					
Yıl	Orman ve yarı doğal alanlar	Mera alanları	Tarım alanları	Yapay alanlar	Diğer alanlar
1990	45,11	34,57	15,76	14,22	37,48
2023	37,01	22,50	14,93	9,30	20,56

3.2. TR21 Trakya Bölgesi ATD Modeli-Sosyo-Ekonomik Etmeler Genel Değerlendirme

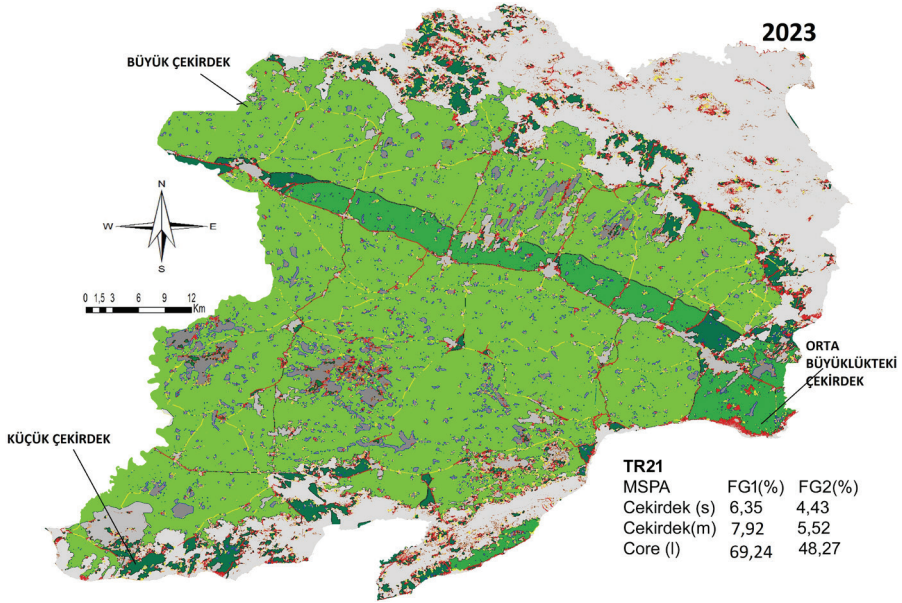
Öncelikle, Morfolojik Mekânsal Örüntü Analizi ile bölgenin tarım arazilerindeki parçalanma belirlenmiştir. Yolların, dağınık yerleşimlerin ve dağınık orman alanlarının olduğu bölgelerde büyük çekirdek tarım arazileri daha küçük parçalara bölünerek orta ve küçük çekirdek arazilere dönüşmektedir. Büyük araziler küçüldükçe tarımsal üretkenliği azalmaktadır. Ayrıca çekirdek tarım arazileri içindeki delinmiş araziler zamanla daha büyüyerek arazilerin birbirinden kopmasına ve morfolojik olarak küçülmesine neden olmaktadır.

TR21 Trakya Bölgesinde büyük çekirdek, orta büyüklükteki çekirdek ve küçük çekirdek tarım arazilerinin tüm araziler içindeki payı sırasıyla; %48,27, %5,52 ve %4,43'tür (Şekil 9).

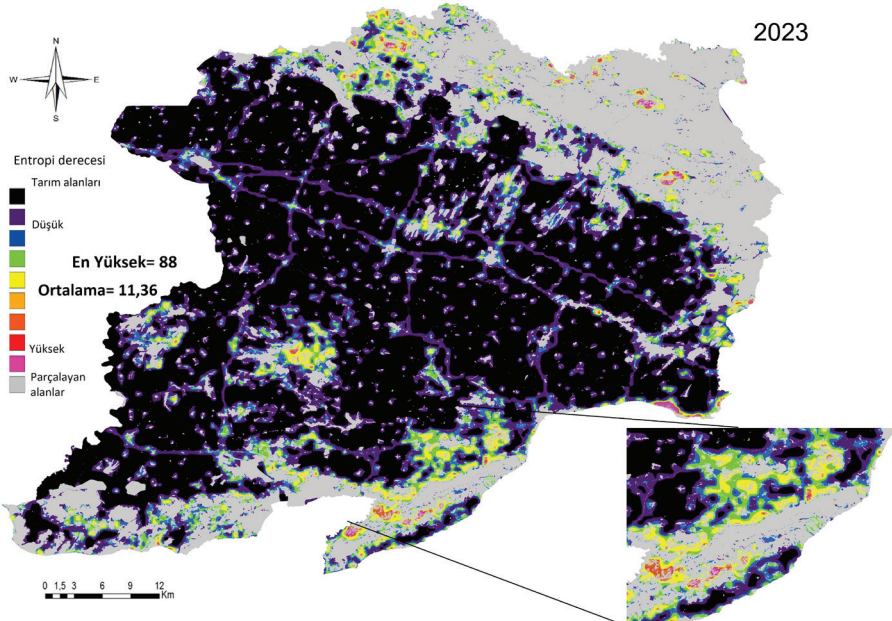


Şekil 8. TR21 Trakya Bölgesi 2023 yılı erozyon haritası.

Entropi analizinde ise tarım arazilerindeki düzensizlik derecelendirilmiştir (Şekil 10). Bütünlüğü korunmuş çekirdek tarım arazileri düşük entropiye sahip olurken, parçalanmış ve küçük çekirdek tarım arazilerinin olduğu bölgelerde entropi yüksektir. Entropinin yüksek olması arazi tahribatının fazla olduğunun önemli bir göstergesidir.



Şekil 9. TR21 Trakya Bölgesi 2023 yılı morfolojik mekânsal örüntü analiz haritası.



Şekil 10. TR21 Trakya Bölgesi 2023 yılı entropi analiz haritası.

4. SONUÇLAR

İklim değişikliğinin etkilerinin azaltılabilmesi ve uyum politikalarının geliştirilebilmesi için Türkiye ve TR21 Trakya Bölgesi'nde mevcut durumun doğru bir şekilde belirlenebilmesi gerekmektedir. Türkiye'de günümüz iklim verileri değerlendirildiğinde ortalama sıcaklıklar, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarına benzer şekilde artış eğilimindedir ve yağışta ise özellikle kış mevsiminde gerçekleşen yağış miktarında önemli azalmalar görülmektedir (Demir vd., 2008). Geleceğe yönelik iklim projeksiyonları değerlendirildiğinde sıcaklıklarda artışlar Arazi tahribatının belirlenmesi, iklime dayanıklı, biyolojik çeşitliliği korunmuş ve küresel kalkınma hedeflerini karşılayan sürdürülebilir tarımsal ekolojik sistemler inşa etmek için çok önemlidir. Tahribata neden olan çok fazla gösterge olması tahribatın nedenlerini ve sonuçlarını bölgesel olarak belirlemede sistematik bir model yapısı içerisinde analiz edilmeyi gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda biyofiziksel ve sosyo-ekonomik göstergelerin birlikte değerlendirildiği bu çalışmada TR21 Bölgesinin arazi tahribatının dengelenmesine yönelik bir model oluşturulmuştur. Esnek yapıya sahip bu model sadece geçmiş ve mevcut dönem arasındaki tahribatı değil geleceğe yönelik arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliği ve iklim değişikliğinin de entegre edilebileceği bir yapıya sahiptir. Özellikle alt göstergeler arasında çok kriterli karar verme süreçlerinin de ele alınabileceği bu model yapısı tahribata neden olan birçok faktörlü çalışmalarda bir hiyerarşik sistem kurulmasına da olanak sağlamaktadır. Modelin diğer bir özelliği ise Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi Bilim Politika Arayüzü (SPI:Science-Policy Interface) kapsamında hazırlanmış Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY) yaklaşımlarını dikkate alarak kullanıcılara ve politika yapıcılara karar destek sistemi oluşturulmasında fayda sağlayacak olmasıdır.

KAYNAKLAR

- Anonymous. (2015). Land Productivity Dynamic for Land Degradation Neutrality for Two Adjacent Micro Catchments in Gediz Basin CASE STUDY REPORT. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/gediz-16x23-ing-20211108095446.pdf>
- Anonymous. (2018). The IPBES assessment report on land degradation and restoration. <https://www.scribd.com/document/691819139/Ipbes-Assessment-Report-Ldra-En>
- Chotte, J. L., Aynekulu, E., Cowie, A., Campbell, E., Vlek, P., Lal, R., Kapović-Solomun, M., Maltitz, G. von, Kust, G., Barger, N., Vargas, R., & Gastrow, S. (2019). Realising the Carbon Benefits of Sustainable Land Management Practices: Guidelines for Estimation of Soil Organic Carbon in the Context of Land Degradation Neutrality Planning and Monitoring. A report of the Science-Policy Interface. https://catalogue.unccd.int/1209_UNCCD_SPI_2019_Report_1.1.pdf
- Cowie, A. L., Orr, B. J., Sanchez, V. M. C., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G. I., Minelli, S., Tengberg, A. E., Walter, S., & Welton, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, 79, ss. 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>
- Renard, K. G., Foster, G. A., Weesies, D. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). USDA, Agriculture Handbook. U.S. Government Printing Office.
- Soille, P., & Vogt, P. (2009). Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters*, 30(4), ss. 456-459. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.10.015>
- Trakya Kalkınma Ajansı. (2023). TR21 Trakya Bölgesi 2024-2028 Bölge Planı. <https://www.trakya.org.tr/upload/Node/68660/xfiles/TR21BolgePlani2024-2028.pdf>
- UN. (2021). World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Policy Briefs. <https://www.un.org/en/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100>
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2016). Integration of the Sustainable Development Goals and Targets into the Implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification and the Intergovernmental Working Group Report on Land Degradation Neutrality. https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2019-08/3COP12_0.pdf
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2017). Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-08/LDN_CF_report_web-english.pdf
- Webb, N., Marshall, N., Stringer, L., Reed, M., Chappell, A., & Herrick, J. E. (2017). Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15 ss. 450-459. <https://doi.org/10.1002/fee.1530>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses-a guide for conservation planning. USDA, Agricultural Handbook. U.S. Government Printing Office.

İKLİME DUYARLI BİTKİSEL ÜRETİM

İsmet BAŞER¹

¹Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü,
Tekirdağ Orcid: 0000-0002-5770-0118 ibaser@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

Küresel ısınma, iklim değişimi ve iklim değişkenliği günümüzde hâlâ birbirine çok karıştırılan kavramlardır. Küresel ısınma ve iklim değişiminin en temel oluşum sebebi atmosferdeki sera gazı oranındaki artıştır. Sera gazları, dünyaya ulaşan ışığın iletilmesine izin vermelerine rağmen, atmosferden kaçmaya çalışan ısıyı (kızıl ötesi radyasyon) engelleyerek, bir ‘serada’ olduğu gibi ısıyı yakalarlar. Sera gazı kaçan ışınları daha sıcak yani enerji-zengin hâle getirir. Böylece yeryüzü daha sıcak hâle gelir ve küresel ısınma oluşur.

İklimde meydana gelen bu değişiklikler, atmosfere sera gazlarının artması nedeniyle iklim sistemindeki ekstra ısıdan kaynaklanır. Bu ek sera gazları, öncelikle fosil yakıtlarının (kömür, petrol ve doğal gaz) yakılması, ormansızlaşma, tarım ve arazi kullanımındaki değişiklikler gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanır. Bu faaliyetler atmosferdeki ısıyı hapseden sera gazlarının miktarını artırır. İngiliz bilim adamı Stern’in araştırması, bugünden itibaren atmosfere herhangi bir sera gazı emisyonu salınmasa dahi küresel sıcaklığın, gelecek on yıllar içerisinde 0,5°C ila 1°C arasında artmaya devam edeceğini söylemiştir (Stern, 2007). Stern raporu olarak bilinen bu raporda yer alan iklim modelleri; sera gazı emisyonlarının önemli ölçüde azaltılması için önlem alınmadığı

takdirde dünyanın gelecek yüzyılda 1,4°C ila 5,8°C daha ısınacağını öngörmektedir. İklim değişikliği insanları gıda ve su kıtlığı, artan seller, aşırı sıcaklar, daha fazla hastalık ve ekonomik kayıplarla tehdit etmektedir. İnsan göçü ve çatışmalar da bunun bir sonucu olabilir.

Bilim çevreleri, günümüzde iklim değişikliğinin yaşandığı ve gelecekte iklim değişiminin etkilerini arttırarak yaşanmaya devam edeceği konusunda fikir birliğine sahiptirler. İklimde süregelen bu değişikliklerin olumsuz etkileri, tarımla uğraşan ve kırsal bölgelerde yaşayan yoksul halk, iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini çok daha fazla hissetmekte ve hissedecektir. Küresel iklim değişimi nedeniyle artan abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin etkisi günümüzde tarımsal üretimi daha riskli, zor ve daha önemli hâle getirmektedir. Özellikle kontrolsüz koşullarda yapılan bitki yetiştiriciliğinde iklim koşullarından kaynaklanan abiyotik stresler nedeniyle riskler gün geçtikçe artmaktadır. İklim değişimi bitkisel üretim -arazi tahribatı ilişkisi bağlamında toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yönden niteliğini kaybetmesi sonucu toprak kalitesinde meydana gelen azalma 'toprak bozulması'olarak adlandırılmaktadır. Arazi bozulması ile erken tanışan topraklarımız ormanlar, meralar ve tarım arazileri yoğun kullanım neticesinde sürekli tahrip edilmiştir. Ülkemizde görülen arazi tahribatının, çölleşmenin ve bu olumsuzluklar nedeniyle beliren riskin büyük bölümünün, insan faaliyetler sonucu ortaya çıktığı söylenebilir. Arazi bozulumu, iklim değişikliğinin hem nedeni hem de sonucudur. Birçok farklı bozulum biçimi var ancak genel anlamda ekolojik zenginliğin, toprak değerinin ve biyolojik verimliliğin uzun dönemli eksilmesi ve kaybı olarak tanımlanıyor.

Yaygın olarak uygulanan tarım yöntemleri toprağın kalitesini azaltmış; verimliliğinin düşmesine neden olmuştur. Türkiye'deki çölleşme/arazi tahribatı konusunda en önemli çalışmalardan biri olan Çölleşme Hassasiyet Haritası'na göre Türkiye'nin %22,5'i yüksek çölleşme hassasiyetine sahipken %50,9'u ise orta düzeyde çölleşme hassasiyetine sahiptir. Yapılan tahminlere göre, toprak yüzeyinin %7-40'ı bozuluma uğramış ve bunun başlıca nedeni insanlardır. Anahtar toprak karakteristikleri, bitkisel üretimi etkileyen toprağın bitki besin maddesi içeriği, su tutma kapasitesi, organik madde içeriği, toprak reaksiyonu (asitlik), üst toprak derinliği, tuzluluk ve topraktaki biyokütledir. Bu karakteristiklerdeki aşırı değişim ise toprak bozulması olarak adlandırılmaktadır. Arazi kullanımı önemli bir iklim değişikliği etkenidir.

Karasal sistemler sera gazları saldıgı gibi aynı zamanda bu gazları emmekte, toprak ve biyokütle içinde depolamaktadır. Yani bu alanlar bir karbon yu-

tağı görevi görmektedir. Karbondioksiti atmosferden yutarak depolayan doğal veya insan yapımı sistemler karbon yutağı olarak tanımlanır. Ormanlar en yaygın yutak türüdür. Ayrıca, toprak, turba, permafrost (sürekli donmuş) toprak tabakaları, okyanus suyu ve derin okyanustaki karbonat çökeltileri diğer yutak şekilleridir. Toprak bozuluma uğradığı zaman depoladığı karbonu salmakta ve sera gazı emisyonlarını artmaktadır. Tarım arazilerinin yönetimi, arazi kullanımındaki değişiklikler ve ormancılığın atmosferdeki sera gazı yoğunluğunda önemli rolü bulunuyor.

Ormansızlaşma, nüfus artışı, kentleşme, kirlilik, iklim değişikliği sürdürülebilir olmayan toprak yönetimi gibi uygulamalar toprak bozuluma sebep olan etkenler olarak ortaya çıkmaktadır. Erozyon, biyoçeşitlilik kaybı, asitleşme, kirlilik, organik madde kaybı/besin dengesizliği, tuzlanma, kompaksiyon/sıkışma, sızdırmazlık/geçirimsizleşme ve organik karbon kaybı toprak bozulma tipleri olarak görülmektedir. Karbon yutağı olarak oldukça önemli olan toprakta kayıplarının başında yer alan en önemli etmen erozyondur. Yüz ölçümünün neredeyse yarısı %40'dan fazla eğime sahip olan ülkemizde; orman, mera ve tarım alanlarında ciddi bir erozyon sorunu yaşanmaktadır. Türkiye topraklarının üçte ikisinin 50 santimetreden sığ olduğu dikkate alındığında, konunun ülkemiz için ne kadar hayati olduğu daha iyi anlaşılmaktadır. İşlenen tarım arazilerinin %59'u, mera arazilerinin ise %64'ü erozyona maruz kalmaktadır. Tarım topraklarımızı tehdit eden bir diğer önemli sorun da tuzluluktur. Türkiye'de tuzlanmanın etki ettiği en büyük alan, topraklarının önemli bir bölümü tuzlu taban suyu etkisi altında oluşan ve ülkemizin tahıl ambarı olan büyük Konya havzasındadır. Toprak işleme sonucu; toprak organik maddesinin yitirilmesi, makine kullanımı, gübreleme ve ilaçlama faaliyetleri karbon emisyonuna katkıda bulunur. İklim değişikliği de tarıma etkileyen önemli unsurlardandır. İklim değişiminde etkisinin başında sıcaklığın yükselmesi, yağışların azalması ve bunlara bağlı olarak su kaynaklarında azalma, kuraklık ve aşırı hava olaylarında artış sayılabilir.

Kuraklık kadar mevcut su kaynaklarının hatalı kullanımı da tarımı tehdit eden unsurlar arasındadır. Ülke çapında yaygın olarak uygulanan yüzeysel sulama yöntemleri (karık, tava ve salma), yoğun işgücü gerektirmesinin yanı sıra tarlalarda taban suyunun yükselmesine neden olmakta, tuzluluk ve alkalilik sorunlarına yol açmaktadır. Modern tarım uygulamaları, tarımsal kirlilik sürecini başlatmış ve ekosistemlerin, işlenen arazilerin ve çevrelerinin bozulmasına neden olmuştur. Gerek tarla tarımı gerekse son yıllarda artan örtü

altı yetiştiriciliğinde ürün miktarını artırmak ya da istenilen özelliklerde ürün almak için bilinçsizce gübre, pestisit, hormon gibi kirleticilerin kullanılması; toprakları zehirlenmekte, sulama ve içme sularını kirletmektedir. Türkiye’de tarım arazilerinin amaç dışı kullanımının en yaygın görüldüğü alanlar sanayi, kentleşme, konut inşaatı, turizm, madencilik ve ulaştırma amaçlı kamu yatırım alanları şeklinde sıralanabilir.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütünün yayınladığı 10 toprak tehdidi altında toprak mühürlenmesi (betonlaşma) yer almaktadır. Toprak mühürlenmesi binalar, yollar, park alanları ve diğer kamu ile özel meydanlarının inşası neticesinde, beton dökme veya kaya döşeme gibi işlemler sonucu toprak yüzeyinin tamamen kaplanması veya örtülmesidir (FAO, 2019). Küresel iklim değişiminde karbon yutağı olarak ön sıralarda yer alan ormanlar, meralar ve tarım arazilerinin yutak olarak karbon depolama kapasiteleri oldukça önemlidir. Karbon (C) stok miktarının olarak orman alanları toplamın %38’ini, meralar %33’ünü, tarım alanları ise %27’sini oluşturur. Buna karşın arazi kullanımı doğrultusunda hektar başına karbon (C) stok miktarı orman alanları 55,68 ton, mera alanları 49,77 ton, sulak alanlar ve su yüzeyleri 49,71 ton, tarım alanları 35,96 ton ve çıplak alanlar 12,78 ton’dur (FAO, 2022).

Tarımsal üretim, toprak, iklim koşulları ve alanda yapılan tarımsal uygulamalardan yüksek düzeyde etkilenmektedir. Tarımda tarımsal uygulamalar üreticilerin kontrolü altındadır. Toprak koşulları da tarımsal uygulamalar kadar olmasa da üreticiler tarafından düzenlenebilmektedir. İklim koşulları ise üreticiler tarafından kontrol edilemeyen ve tarımsal üretimde en önemli riski oluşturmaktadır. Bu nedenle tarımın iklim koşullarına göre tekrar tasarlanması gerekir.

Tarımsal faaliyetler, dünya üzerinde artan sera gazlarının yaklaşık %20’sinden sorumludur (Pathak ve Wassmann, 2007). Tarımsal faaliyetler sonucu (enerji tüketimi, üretim, hayvan yetiştirme, gübreleme, ilaç vb.) CO₂, CH₄ ve N₂O gibi sera gazları açığa çıktığından, tarımsal üretim iklim değişikliğinin sebepleri arasında sayılmaktadır. Ancak her ne kadar tarımsal üretim ve uygulamalarının, sera gazı emisyonu üzerinde olumsuz etkileri olsa da bu faaliyetlerin dünya nüfusunun sağlıklı bir biçimde yaşamını sürdürebilmesi için de son derece önemli olduğu da unutulmamalıdır. İklim değişikliği sonucu ortaya çıkan sıcaklık artışları ve artan karbondioksit miktarı bazı bölgelerde tarım ürünlerinin miktarına kısa vadede pozitif bir etki yapsa da uzun vadede bu bileşenler, ürün kalitesinde ve üretim miktarında azalmalara sebep olabilir.

mektedir. Tarımsal üretimin yükselebilmesi için sıcaklıkların ve karbondioksit miktarının artması tek başına yeterli olamamaktadır.

Artan sıcaklık ve karbondioksit miktarının tarımsal üretim üzerinde pozitif etki yapabilmesi için toprak yapısının ve kalitesinin tarım yapmaya elverişli olması gerekmektedir. Ayrıca toprak neminin ideal ve tarım yapılacak alanın suya erişebilir olması ve bu şartların bir araya gelerek tarım yapmaya uygun ortamı oluşturması şarttır. Tarımsal faaliyetler doğal kaynaklara bağlı olarak sürdürülebilmektedir. Sıcaklık, yağış, atmosferdeki karbondioksit miktarındaki değişimler, ekstrem hava olayları gibi unsurlar tarımsal faaliyetlerde etkilidir. Ayrıca bir bitki ya da tarımsal bir ürünün sağlıklı gelişimi için toprak koşullarının da önemi büyüktür. Sıcaklık ve yağış koşulları toprakta bulunan nem oranını ve toprak verimliliğini değiştirerek tarımsal verimliliği ve ürün kalitesini etkilemektedir.

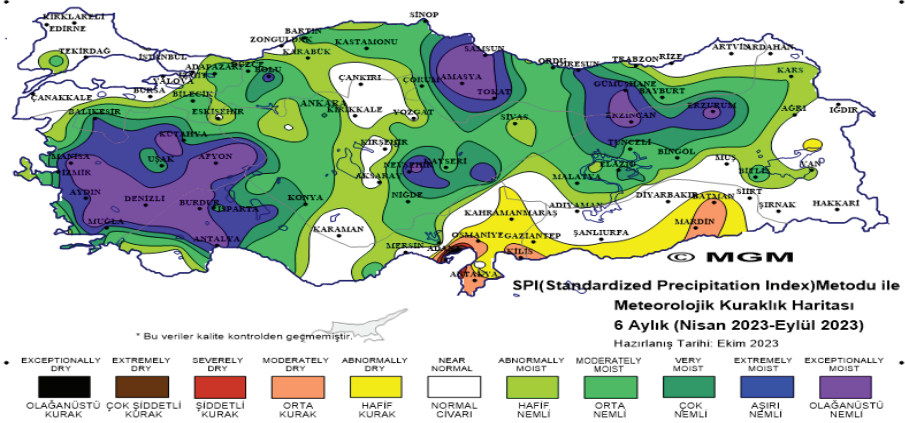
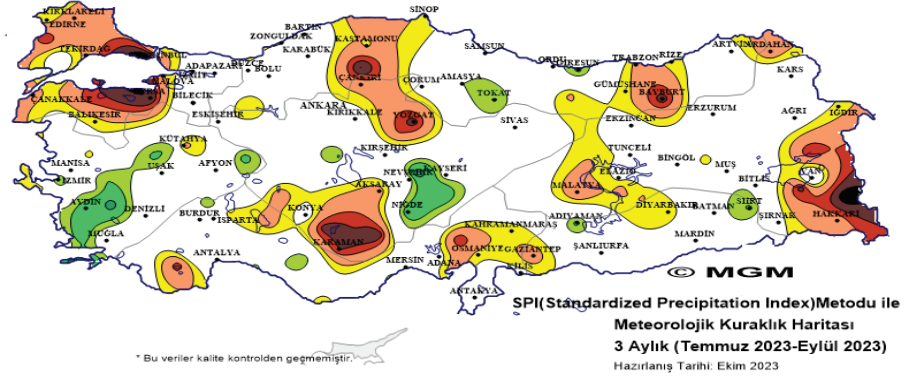
Daha sıcak ve az yağışlı iklim koşulları, Ekstrem meteorolojik olaylarda artış, Su kaynaklarında azalma, Kuraklık şiddetinde artış, Su ve toprak kalitesinin bozulması, Ekosistemin bozulması ve biyolojik çeşitliliğin azalması, Ekolojik alanlarda kayma, Tarımsal üretimde ve kalitede azalma, Zararlılarda ve hastalıklarda artış, Gübreleme ve ilaçlama sorunları ve Sürdürülebilir gıda güvenliği sorunları iklim değişikliğinin tarıma etkileri olarak sıralanabilir. İklim değişikliğinin sebep olduğu abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin (kuraklık, yüksek sıcaklık ve seller gibi ekstrem iklim olayların) sık ve şiddetli şekilde yaşanmaya başlaması tarımsal üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer taraftan iklim değişikliğinin tarımsal üretimi azaltıcı etkilerine rağmen, üretimi en azından eski seviyesinde tutabilmek ve üretimin azalmasını önleyebilmek için gelişen tarım tekniklerinden de yararlanarak bitkisel üretim üzerine iklim koşullarının etkisini azaltıcı önlemler almak gerekir. Stresler, günümüzde hâlâ tarımsal üretimdeki en büyük risk grubunu temsil etmektedir çünkü biyotik ve abiyotik strese karşı direnç üzerine yapılan ıslah çalışmalarıyla yeterli genetik ilerleme sağlanamamaktadır. İklim değişikliğinin etkileriyle başa çıkmak için temel stratejilerden biri, daha yüksek seviyelerdeki abiyotik/biyotik streslere karşı dirençteki genetik çeşitliliğin kaynaklarının belirlenmesi ve kullanılmasıdır. İklim değişiklikleri veya iklim dışı etkiler doğrudan veya dolaylı olarak tarıma etki eder (Şen ve ark., 2022). Küresel iklim değişimi nedeniyle artan abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin etkisi günümüzde tarımsal üretimi daha riskli, zor ve daha önemli hâle getirmektedir. Özellikle kontrolsüz koşullar

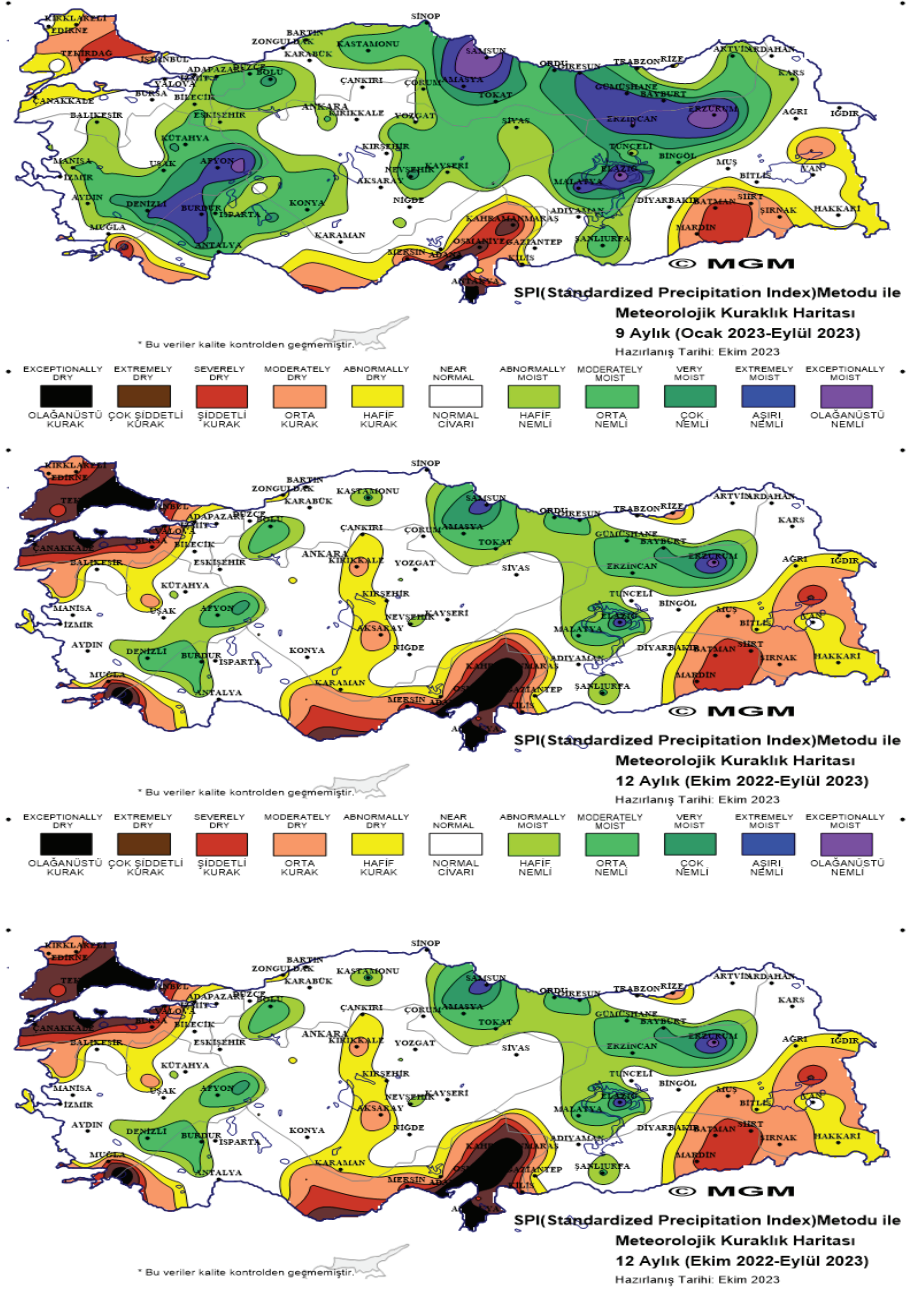
larda yapılan bitki yetiştiriciliğinde iklim koşullarından kaynaklanan abiyotik stresler nedeniyle riskler gün geçtikçe artmaktadır.

Stres; bitkilerin yaşadığı ortamda bir veya birden fazla etkenin, büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkileyerek, verim düşüklüğü ile sonuçlanan bir dizi gerilemeye neden olmasıdır. Abiyotik stres, bitkilerde kuraklık, yüksek ve düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Abiyotik stres morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişimlere neden olarak bitki büyüme ve verimliliğini olumsuz etkilemektedir.

Kuraklık Stresi; bitkilerde belirli bir süre içerisinde terlemeyle (transpirasyon) yitirilen suyun, çevreden alınan su miktarından fazla olması durumunda ortaya çıkar. Su miktarı azalan bitkisel dokular arasında suyun alınması için rekabet başlar. Başka bir ifadeyle bitki dokuları arasındaki su dengesi bozulur. Trakya Bölgesinin yıllık toplam yağış 600 mm olmakla birlikte bölgede özellikle son beş yıldır hem toplam yağış miktarında özellikle de yağışın dağılımında önemli değişimler görülmektedir. Bölgede sanayi yatırımlarının artması, sanayinin yoğun su kullanımı, yağışlardaki düzensizlikler, toprak yapısındaki olumsuzluklar uygun olmayan tarımsal uygulamalar bazı alanlardaki taban suyu seviyesi oldukça derinlere indirmiştir.

Son beş yılı dikkate aldığımızda bölgenin ana ürünleri olan buğday ve ayçiçeğinde farklı oranda ürün kaybı olmakta, çeltik ekim alanlarında su kısıtı nedeniyle sınırlama gelmektedir. Kuraklığın en önemli göstergesi 2022-2023 yetiştirme sezonunda özellikle yazlık ekimlerde Tekirdağ ilinde görülmüştür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 3 ay, 6 ay, 9 ay 12 ay ve 24 ay verileri incelendiğinde bölgelere ve dönemlere göre önemli düzeyde kuraklık oluşumlarının meydana geldiği net olarak görülmektedir.





Şekil 1. Meteorolojik kuraklık haritası (MGM, 2024).

Yukarıdaki görseller incelendiğinde ülkemizde başta Trakya Bölgesi olmak üzere son 2 yıllık sürrede kuraklık etkisi net olarak görülmektedir. Marmara bölgesi başta olmak üzere Çukurova ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin de bu kuraklık etkisi yoğun olarak hissettiğini göstermektedir. Net olarak olmuştur. 2023 yılı kuraklıktan en çok etkilenen yıl olmuştur. Ocak-Eylül 2023 tarihleri arasındaki 9 aylık dönem incelendiğinde bölgede başta Tekirdağ olmak üzere kuraklığın etkisi görülmektedir. Altı aylık dönem Nisan-Eylül dönemi yağış miktarı iyi görülmekle birlikte bu da yağışların düzensiz olması, yağışların birkaç ayda olması yazlık ürün ekimlerinde kuraklık problemine neden olmuştur. Örneğin, Tekirdağ'da ekimi geç yapılabilen, toprak yapısı olarak hafif bünyeli topraklarda kuraklığın etkisi çok daha fazla olmuştur. 2023 yılı son üç ayı Temmuz-Eylül 2023 de yine kuraklık etkisi daha da fazla hissedilmiştir.

2. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİMİNİN TARIM ÜZERİNE ETKİSİ

İklim değişikliği; genel olarak, küresel ısınma sonucu iklim sistemi üzerinde meydana gelen değişiklikleri ifade etmektedir (Dolu, 2005). Küresel iklim değişikliği, küresel ısınmaya bağlı olarak yağış, nem, hava hareketleri, kuraklık gibi iklim olaylarında büyük değişimlerin görülmesidir (Aksay ve ark., 2005). İklim değişikliği küresel bir sorun olup, ancak etkileri nedeniyle yerel nitelikler kazanabilmektedir. Günümüzde canlı yaşamını etkileyen en önemli çevresel problem olan iklim değişikliğine yol açan faktörlerin başında bol miktarda sera gazı oluşturan fosil yakıtların yoğun olarak kullanılması gelmektedir. Özellikle kömür, petrol ve doğalgaz kullanımının artması, ormanların ve diğer ekosistemlerin bozulması veya hızla yok olması iklimde değişikliklere yol açmaktadır. Ekosistemin doğal işleyiş sürecinde meydana gelen bazı gelişmeler de iklim değişikliği üzerinde etkili olabilmekte fakat bu etki, insanın neden olduğu etkinin yanında önemsiz kalmaktadır. Yanardağlardaki volkanik patlamalar esnasında bazı sera gazlarının ve toz bulutunun açığa çıkışı bu duruma örnek olarak verilebilir. Yukarıda da belirtildiği gibi tüm dünyadaki yanardağların harekete geçme potansiyeli göz önüne alındığında, bu etkinin insandan kaynaklanan etki yanında çok önemsiz olduğu açıkça görülmektedir.

İklim değişikliğinin en büyük etkisi, tarım alanlarındaki önemli değişiklikler şeklinde kendini gösterecektir. Lobell ve ark. (2008), iklim değişikliği nedeniyle bazı önemli kültür bitkilerinin 2050 yılına kadar üretimden tamamen kalkabileceği ya da üretimlerinin çok azalacağını, özellikle günümüzde verimli

şekilde tarımı yapılan mısırın Güney Afrika'da üretilmeyeceğini; yer fıstığı, darı ve kolza çeşitlerinin ise Güney Asya'da üretimlerinin çok azalabileceğini öngörmüşlerdir. Bahçe bitkilerinde de aynı tehlikenin bulunduğu, iklim değişikliği nedeniyle birçok önemli kültür çeşidinin üretiminde önemli azalmaların beklenebileceği bildirilmiştir (Antle, 2009).

2.1. Kuraklık

Türkiye'deki tarımsal faaliyetleri etkileyecek iklim değişikliği etkilerinden biri de kuraklıktır. İklim değişikliği etkisiyle ülkede genel olarak daha kurak bir iklim etkisinin olması, tarımsal ürün hasatlarında azalmalara ve türlerin de değişimlerine neden olmaktadır. İklim değişikliğinin Türkiye üzerindeki etkilerini daha net görebilmek için 2007-2008 dönemi örnek yıllar olarak alınabilir. Çünkü 2008'de geçen 30 yıllık dönemde genel olarak Türkiye'nin Akdeniz yağış rejiminin etkili olduğu batı ve güney bölgelerinde bir kuraklaşma eğiliminin egemen olduğu görülmektedir (Türkeş, 2012). Yağışlarda azalış ve sıcaklıklardaki artış 2008'de tarımda, verim azalmaları ve ürün kayıplarının artmasına neden olmuştur. Bu dönemdeki bitkisel üretim verilerine bakıldığında bir önceki yıla göre buğdayda %14, mısırdaki %7, çeltikte %7, patatesteki %7, baklagillerde %12, ayçiçeğinde %24, şekerpancarında %14, sebze ve meyvede ise %3 oranında azalma yaşandığı görülmüştür. 2013-2014 tarım yılı içinde özellikle bazı bölgelerde kuraklığın yaşandığı ve bazı ürünlerde kayıpların yaşandığı bilinmektedir. Bu dönemde sonbaharda az yağış alan bölgelerde, tahılların ekiminden sonra, tohumlar çıkış için toprakta yeterli nem bulamamış ve çıkışlar gecikmiş veya yeterli çıkış olmamıştır. İlkbaharda ise erkenden ısınan bölgelerde kışın yaşanan kuraklık nedeniyle bitkiler yeterli toprak nemine kavuşamamıştır. Bu durum ise yine üretimde verim kayıplarına neden olmuştur. Diğer yandan 2014 yılında kışın yaşanan şiddetli kuraklık ve mart ayı sonunda yaşanan zirai don nedeniyle geçen yıllara göre bazı ürünlerde ciddi kayıplar yaşanmıştır. Yaşanan bazı ürün kayıpları; arpa %20,3 buğday %13,8, çavdar %17,8, kırmızı mercimek %17,7, kayısı %65,4, fındık %25 ve fiğ %42,3 şeklindedir (Şimşek, 2014).

İklim değişikliği ile gelen kuraklık en çok tahıllar, baklagiller ve yem bitkileri üretimini etkilemektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Son yıllarda da kuraklık ülkemizde tarımsal üretimi etkileyen oldukça önemli bir sorundur. Türkiye Ziraat Odaları Birliği (TZOB), Mayıs 2021 açıklamasına göre ülkede ku-

raklıktan etkilenen illerin sayısı 41'e ulaşmıştır. Bu yıllarda üretim döneminin başladığı 1 Ekim 2020- 30 Nisan 2021 dönemler arasında yağışların normale göre %23,6, geçen yıllara göre ise %18,6 oranında azaldığı belirtilmektedir. Bu dönemde kuraklıktan en çok zarar gören ürünlerin başında arpa, buğday ve kırmızı mercimek gelmektedir. Özellikle buğdayda kuraklıktan kaynaklı rekolte kaybının 2 milyon ton olduğu açıklanmıştır (TZOB, 2021).

Son yıllarda meydana gelen kuraklıklar, ülkenin çeşitli bölgelerinde ürün kayıplarına sebep olmuş ve sulamaya olan ihtiyacı artırmıştır. Ülkemiz su kaynakları yönünden zengin bir ülke değildir. Geniş alanlarda üretimi yapılan bitkilerin su ihtiyacını kısıtlı su kaynaklarıyla karşılanması neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle gelen yağış sularını uzun süre depolayabilecek şekilde toprakların düzenlenmesi ve topraklardaki var olan suyu da en etkin kullanacak tarımsal sistemlerin oluşturulması ve uygulanması gerekmektedir. Tarımsal üretimde suyu depolayan topraktaki suyun daha uzun süre korunması için toprak işleme başta olmak üzere kültürel uygulamaların düzenlenesi gerekir. Ülkemizde topraklar gereğinden fazla ve derin olarak işlenmekte bu da kısıtlı olan suyun kısa sürede yok olmasına neden olmaktadır. Toprak işlemesiz ya da minimum düzeyde toprak işleme yapılarak uygulanan üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Toprak işlemeden yapılan doğrudan ekim ile toprak erozyonu azaltılmakta, topraktaki nem içeriğini korunmakta ve toprağın organik madde içeriğini artırılmış olmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, atmosferdeki CO₂ miktarını azaltmak için sıfır sürüm ya da diğer bir deyişle toprak işlemesiz tarım uygulamalarının etkili önlemler arasında olduğu belirlenmiştir. Doğrudan ekim yöntemi, ekim öncesinde toprağı işlemeye gerek kalmadan tek seferde ekim yapılabilen bir yöntem olup ekim bir önceki ürüne ait anızla kaplı alan üzerine ekim yapılabilen özel mibzerler ile gerçekleştirilir.

Doğrudan ekimin faydaları;

- Toprakta su tutumunun artırılması,
- Erozyonun önlenmesi,
- Toprağın yapısının iyileşmesi ve karbon tutumu,
- Yakıt tüketiminin dikkate değer oranda düşmesini sağlaması olarak sayılabilir.

Son beş yılda Trakya Bölgesinde bölgenin ana ürünleri olan buğday ve ayçiçeğinde farklı oranda ürün kaybı olmakta, çeltik ekim alanlarında su kısıtı nedeniyle sınırlama gelmektedir. Kuraklığın en önemli göstergesi 2022-2023 yetiştirme sezonunda özellikle yazlık ekimlerde Tekirdağ ilinde görülmüştür. Bölgede ekim zamanı (Eylül-Aralık) gelen yağışlarla ekim yapılmış, bazı alanlarda ise yağışın yetersizliği nedeniyle ekimler başarılı olamamıştır. Tekirdağ ilinin önemli bitkilerinden olan kanola bu dönemde yağışın yetersizliği nedeniyle ekilememiş ya da ekilenlerin önemli kısmı bozulmak zorunda kalmıştır. Bölgede yaygın olarak ekilen buğdayda kuraklık farklı gelişim dönemde meydana gelebilir.

2.1.1. Kardeşlenme öncesi dönem (erken kuraklık)

Bu dönemdeki kuraklık çok fazla görülmemekle birlikte son yıllarda görülmeye başlanmıştır. Bu dönemde kuraklık meydana gelirse bitkilerde yeterli çıkış sağlanmamakta, yetersiz kardeşlenme ve zayıf bitki gelişimi görülmektedir. Uzun sürerse toprak yapısı hafif bünyeli alanlarda bitkiler ölmektedir.

2.1.2. Kardeşlenme dönemi kuraklık (kış kuraklığı)

Bu dönemde meydana gelen kuraklıkta kardeş sayısının az ve zayıf kardeş gelişimine neden olur. Uzun sürerse kardeşler ölür. Bitkiler bu dönemde zayıf gelişim nedeniyle seyrekleşir ve önemli verim kaybı olur. Kardeşlenmeye sonuna kadar olan dönem özellikle kışlık bitkilerin gelişimi, yazlık bitkilerin ise toprakta yeterli su depolanması açısından önemlidir. 2022-2023 yılında Trakya bölgesinde özellikle Tekirdağ ilinde bu dönemde lokal yağışların dışında nerede ise yağış olmamış yani bölgede kış kuraklığı olmuştur. Buğdayda ise bitkiler kış yağışları olmaması nedeniyle kardeşlenme yapmamış, gelişimleri zayıf kalmış yani bitkiler sapa kalkmayı zayıf şekilde başlatmışlar, stres nedeniyle eken başak çıkarmış ve düşük verim elde edilmiştir.

2.1.3. Sapa kalkma-başaklanma (bahar kuraklığı)

Bu dönemde meydana gelecek kuraklık önceki iki döneme göre daha fazla zarar meydana getirir. Bu dönemde oluşacak kuraklık nedeniyle bitkiler hız-

lı bir şekilde başaklanır, başak deformasyonları olur, oldukça küçük başaklar meydana gelir. Verim kaybı yüksek olur. Sapa kalma-başaklanma döneminde (Mart-Nisan) bitkilerde verimi doğrudan etkileyen bir dönemdir. Diğer taraftan bu dönem yazlık bitkiler içinde çıkış ve ilk gelişim açısından önemlidir. Örneğin Mısır (sulama olmayan) ve ayçiçeğinin ekiminin geç yapılması Mayıs ayından sonraki yağışların yetersiz olması nedeniyle oluşan kuraklıktan etkilenmektedir.

2.1.4. Başaklanma-tane-dolum dönemi (geç kuraklığı)

Bitkisel üretimde verim için en kritik dönem dane taşınım dönemidir. Bu dönemdeki kuraklık kışlık bitkilerde doğrudan dane taşınımını engeller ve daneler çekik kalarak verim yüksek oranda düşer. Özellikle buğday ve ayçiçeğinde Tekirdağ ili başta olmak üzere bölgenin bazı alanlarında yağışların düzensiz ve yetersiz olması nedeniyle önemli verim kayıpları olmuştur. Buğday da özellikle geç ekilen, hafif bünyeli ve organik maddesi düşük olan topraklar başta olmak üzere bazı alanlarda dekara 200 kg kadar verim düşmüştür. Ayçiçeğinde de benzer alanlarda 35 kg/da verim alınmış hatta bazı alanlar hiç biçilmemiştir. Bu durum daha kısa gelişme dönemi anlamına gelerek özellikle tahıllarda tane doluluğu, başak başına tane sayısı ve tane ağırlığı gibi ürün kalitesini ve verimini negatif etkileyeceği vurgulanmaktadır.

Dünya üzerindeki kullanılabilir alanlar incelendiğinde, kuraklık stresi yüzde 26'lık oranla en yaygın stres faktörüdür. Kuraklık, birçok bitki için üretimi sınırlayan ve biyoçeşitliliği etkileyen önemli bir çevresel faktördür. Bu nedenle, kuraklığa dayanıklı genetik materyallerin belirlenip çeşit ıslahı programlarında değerlendirilmesi etkili önlemdir. Son yıllarda meydana gelen kuraklıklar topraklara gelen yağışı tutan ve koruyan tarım sistemlerine ihtiyaç vardır. Günümüz dünyasında toprak işlemez tarım veya azaltılmış toprak işleme gibi tarım teknikler bazılarıdır. Bu tekniklerin amacı;

- Erozyonunu önlemek,
- Topraktaki nem içeriğini korumak,
- Toprağın organik madde içeriğini arttırmaktır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, atmosferdeki CO₂ miktarını azaltmak için sıfır sürüm ya da diğer bir deyişle toprak işlemez tarım uygulamalarının etkili önlemler arasında olduğu belirlenmiştir. Doğrudan ekim yönteminde ekim öncesinde toprakta herhangi bir ön toprak işlemezini yapmadan tek seferde ekim yapılabilen bir yöntem olup ekim bir önceki ürüne ait anızla kaplı alan üzerine ekim yapabilen özel mibzerler ile gerçekleştirilir. Doğrudan ekim yapıldığında, toprakta su tutumunun artırılması, erozyonun önlenmesi, toprağın yapısının iyileşmesi ve daha fazla karbon tutumu ve yakıt tüketiminin dikkate değer oranda düşmesi gibi avantajlar sağlamaktadır.

2.2. Sıcaklık

Bitkilerde meydana gelen sıcaklık stresi; yüksek sıcaklık stresi, düşük sıcaklık stresi, ani sıcaklık dalgalanmaları olarak etki yapmaktadır. Sıcaklık, derecesine, süresine, bitkinin hangi döneminde meydana geldiğine bağlı olarak metabolik aktiviteyi, büyüme ve gelişmeyi etkileyerek bitki çeşitlerinin ülkelere ve bölgelere göre dağılımını sınırlamaktadır. Bitkilerin çoğu 15-30 °C arasında iyi gelişmektedir. Bu sınırın altında ve üstünde bölgelere göre bitkilerin büyümeleri, metabolizmaları, ürünlerin kalite ve miktarı ciddi şekilde etkilenmektedir. Bitkilerde meydana gelen sıcaklık stresi; yüksek sıcaklık stresi, düşük sıcaklık stresi, geç gelen düşük sıcaklıklar, ani sıcaklık dalgalanmaları olarak etki yapmaktadır.

Toprak ve iklim arasında farklı zaman diliminde meydana gelen bir dizi karmaşık etkileşim bulunuyor. İklim değişikliği arazi kullanımını doğrudan etkilemekte, buna karşın arazi kullanımının da iklim sistemi üzerinde çok önemli bir etkisi vardır. Daha yüksek ortalama sıcaklıklar, yağış dağılımındaki değişiklikler, yükselen deniz seviyeleri, aşırı hava olaylarının sıklığı ve yoğunluğundaki artışı, ani sıcaklık değişimleri tarımsal üretim üzerinde önemli riskler oluşturuyor. Tohum ekimi sonrasında olumsuz hava koşullarının bitkilerde erken çiçeklenme, sapa kalkma veya düşük verim gibi sorunlara yol açma riskini artırabilir. İklim değişikliği, su döngüsündeki ve sıcaklıklardaki değişiklikler ile mevsimsel kaymalar, tarım sektörünü doğrudan etkileyerek ekim planlamasının değişmesine neden oluyor. Sıcaklık stresi yaşayan kışlık türlerin maruz kaldığı sıcaklık değişimleri, bu bitkilerin büyümesine engel olmak, bu durum da bitkilerin erken çiçeklenmesine neden olarak ürün verim ve kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir.

2.2.1. Yüksek sıcaklık

Yüksek sıcaklık stresi, özellikle optimum büyüme sıcaklığındaki 1,5-6 °C'lik artış ile fotosentezin inhibisyonuna, hücre membranlarının zararına ve yaşlılığa bağılı hücre ölümüne neden olarak büyüme ve gelişmeyi sınırlayan abiyotik stres koşullarından biridir. Yüksek sıcaklıklarda fotosentez ve solunum dengesi bozulur. Buna bağılı olarak büyüme yavaşlar. Eğer bu sıcaklık artışı uzun süre devam ederse, bitki toprak üstü organları ile devamlı kaybettiğı suyu, kökleri ile karşılayamaz ise sararma, solma, kıvrılma ve sonuçta kuruyarak öldüğü gözlenmektedir. Yüksek sıcaklık birçok önemli tarımsal bitkinin verimliliğini sınırlamaktadır. Bitki türlerine bağılı olarak değişmekle birlikte, toprak yüzey sıcaklıklarının 33 °C'yi aştığı kurak ve yarı kurak bölgelerde, yüksek toprak sıcaklığı bitki popülasyonlarını önemli düzeyde azaltmaktadır.

Dünyanın sıcaklığı arttıkça, iklim önemli ölçüde değişiyor ve abiyotik stres durumları daha yaygın hâle geliyor. Çevresel değişiklikler baskın bitki türlerine çeşitli tehditler oluşturuyor (Espeland ve Kettenring, 2018). Bitkiler üzerinde önemli bir etkiye sahip olan en baskın stresler kuraklık ve tarla koşullarındaki sıcaklıktır (Pereira, 2016). Bitkilerin normal büyümeleri ve çiçeklenmeleri için optimum sıcaklığa ihtiyaçları vardır. Yüksek sıcaklık stresi tane gelişimini ve verimini azaltır, soğuk stresi kısırlığa neden olur ve kuraklık stresi bitkilerin morfolojisine zarar verir (Salehi ve Bakhshayeshan, 2016).

Yüksek sıcaklık stresi, bitkilerde fizyolojik ve biyokimyasal işlevlere zarar vererek büyüme, ürün verimi ve kalitede azalmaya neden olmaktadır. Her bitki türünün optimum fonksiyon gösterdiği optimum sıcaklık aralığı vardır ve bu aralığın dışında hücresel metabolizma ve dolayısıyla bitki büyümesi olumsuz etkilenmektedir. Aşırı yüksek sıcaklık hücresel zarara ve hücre ölümüne neden olmaktadır. Bitkilerin yüksek sıcaklığa en duyarlı aşamaları çiçeklenme aşamasıdır. Çiçeklenmeden döneminde bitki türlerine göre değişmekle birlikte 33 °C ve üstündeki sıcaklık polen canlılığı, döllenme, dane tutma oranı sonuçta ta verim üzerine olumsuz etki yapar. Yüksek sıcaklıkların süresi ne kadar uzunsa ve çiçeklenme aşamalarındaki sıcaklıklar ne kadar yüksekse, potansiyel verim kaybı da o kadar ciddi olur. Diğer taraftan sıcaklık stresi genellikle kuraklık stresiyle daha da kötüleşir Toprakta nemin az olduğu veya hiç olmadığı bölgelerde ısı stresinin etkisinin daha kötü olacağını bekleyebiliriz. Bitkiler için yüksek sıcaklık bitki türüne göre değişir. Buğdayda 30-32°C'den

sonra mısırdaki 34-35 °C'den sonra soya fasulyesinde ise 38 °C'den sonra bitki gelişimi olumsuz etkilenir. Sıcaklık 15°C'den 40°C'ye çıktığında bitkinin solunum hızının arttığı ve bunun bazı ürünlerin morfolojik özelliklerini olumsuz etkilediği açıklanmıştır (Khan ve ark., 2016; Jan ve ark., 2017). Karbon fiksasyonu ve CO₂'nin karmaşık bir enerji açısından zengin bileşiğe dönüştürülmesiyle ilişkili olan Rubisco enzimi, fotosentez sırasında aktiftir. Sıcaklıktaki küçük bir artış, Rubisco enziminin inaktivasyonuna yol açarak, inhibitör bir bileşik olduğu söylenen ksilüloz-1,5-bifosfatın oluşumuna neden olur. Sıcaklık arttıkça, Rubisco enzimi aktivasyonunun bozulması nedeniyle düzgün çalışmayı durdurur (Nagarajan ve Gil, 2018).

Sıcaklıkların aşırı artış göstermesi kuru tarım yapılan bölgelerde doğrudan verim düşüklüğü yaratırken sululu tarım yapılan bölgelerde ise bitkilerin sıcaklık stresine girmeleri nedeniyle yeterli sulama olsa dahi verim düşüşlerine sebep olmaktadır. Örneğin; pamuk yetiştiriciliğinde iklim değişikliği etkisiyle yüksek sıcaklık artışının ışık kullanımı etkinliğini artırdığı, diğer yandan fotosentez etkinliği artışının klorofil birikiminin azalması ile koza tutumunu olumsuz etkileyerek koza silkmeye bağlı verim düşüşüyle olumsuz etkilendiği belirtilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Diğer yandan Trakya bölgesinde küresel iklim değişiminin etkisi son 4-5 yılda daha net görülmektedir. Hemen hemen de her yıl farklı abiyotik stres ortaya çıkmaktadır.

2.2.2. Düşük sıcaklık

Düşük sıcaklık, bitkilerin dünya üzerinde coğrafi dağılımını ve verimliliğini sınırlandıran en önemli stres faktörlerindendir. Her bitkinin normal büyüme ve gelişim gösterebilmesi için, belirli bir optimum sıcaklık derecesi gerekmektedir ve bu sıcaklık derecesinin altındaki sıcaklıklar bitkilerde soğuk stresi olarak algılanmaktadır. Ayrıca, belirli sıcaklık koşulları bir bitki için optimum olurken, diğer bitki için strese neden olabilmektedir.



Şekil 2. Buğdayda başaklanma döneminde düşük sıcaklık zararı.

Bitkilerde soğuk stresinin etkileri bitkinin gelişim dönemi, sıcaklık derecesi, sıcaklığın süresi, gibi faktörlere bağılı olarak değışir. Bitkilerde örneğın vernalizasyon döneminde -10 hatta -15 °C sıcaklıklar belirgin bir zarara neden olmayabilirken, başak çıkarma döneminde sıcaklıkların 5-6 °C düşmesi bile önemli zarar yapar (Şekil 2). Bitkilerde meydana gelen soğuk zararı belirtileri; sıcaklığa, soğuğa maruz kalma süresine, bitkiye (genotipe), bitkinin gelişim evresine, soğukla temas eden dokuya, rüzgâra, suya, besinlere ve ışık gibi diğır çevresel koşullara bağılı olarak değışir.

Bölgemizde özellikle vernalizasyon süresi kısa olan alternatif çeşitlerde soğuk zararı görülmekte, ancak bu zarar geğ gelen soğuklar kadar zarar oluşturmamaktadır. Bölgemizdeki önemli sorunların başında geğ gelen soğuklar oluşturmaktadır. Bitkiler Mart ayı ile birlikte gelişimlerini hızlandırmaktadır. Bu nedenle mart ayında meydana gelebilecek düşük sıcaklıkların zararı daha yüksek olacaktır. Bu sıcaklık düşüşü bitkilerin daha geğ dönemlerinde olursa

etkisi yüksek olur. 2021 yılında Nisan 24 de sıcaklığın -4 olması makarnalık buğday ve erkenci buğday çeşitlerinde önemli zarara neden olmuştur. Son iki yılda bölgede artan sıcaklıklar azalan yağışlar başta yazlık ürünler olmak üzere önemli verim kayıpları oluşturmıştır. Bunların yanında bölgede son yıllarda sık görülen ani sıcaklık değişimleri bitki gelişimlerini olumsuz etkilemekte, özellikle erkek organların zarar görmesine neden olarak döllenmeye aksatmaktadır. Artan sıcaklıklar nedeniyle hastalık ve zararlılarda da artışlar olmakta, daha önce bölgede etkin zararı görülmeyen yeni hastalık ve zararlılar ortaya çıkarak önemli kayıplar oluşturmaktadır.

Bölgemiz genelinde bakarsak bölgede daha önce görülmeyen ya da düşük düzey görülen hastalık ve zararlılar daha sık ve yoğun olarak görülmektedir. Dellal ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada öngörülen iklim değişikliğinin Türkiye’de tarım sektöründeki üretimi ve ekonomik etkilerini ele almıştır. Bu araştırmada Türkiye’de arpa, buğday, mısır, ayçiçeği ve pamuk incelenmiş araştırmanın sonucunda iklim değişikliğinden kaynaklanan alan ve verim değişiklikleri nedeniyle tüm ürün üretimlerinde yıllar içinde %2,2-12,9 arasında bir azalma olacağı belirlenmiştir. Türkoğlu ve ark. (2016)’nın yapmış oldukları çalışmada Türkiye için yapılmış olan iklim projeksiyonlarına göre sıcaklıklarda artış olacağı ve buna bağlı olarak bitkilerin fenolojik devirlerinde önemli değişikliklerin olması beklendiği vurgulanmaktadır. Bu çalışmada sonucunda bu bitkilerin hasat tarihlerinin erkene kaydıracağı belirlenmiştir. Bu durumun daha kısa gelişme dönemi anlamına gelerek özellikle tahıllarda tane doluluğu, başak başına tane sayısı ve tane ağırlığı gibi ürün kalitesini ve verimini negatif etkileyeceği vurgulanmaktadır.

2.2.3. Ani Hava Değişimleri

Bitkisel üretimde özellikle bitkilerin belirli bir gelişim döneminden sonra ani sıcaklık değişimleri bitki gelişimlerini önemli düzeyde sekteye uğratabilmektedir. Örneğin, tahıllarda sapa kalkma döneminden sonra gelen ani sıcaklık düşmeleri bitkilerde beklenmeyen soğuk zararları oluşturmaktadır. Yine tahıllarda gebeleşme ya da başak çıkarma döneminde ani sıcaklık düşmeleri %50’nin üzerinde verim kayıplarına neden olabilmektedir. Trakya bölgesinde 2021 yılının Nisan ayında meydana gelen -4 °C sıcaklık makarnalık ve erkenci ekmeklik buğday çeşitlerinden yüksek düzeyde zarara neden olmuştur.

Bitkisel üretimde en zor kontrolü olan sanırım geç bahar döneminde gelen ani sıcaklık değişimleri olacaktır. Bitkiler bu dönemde oluşabilecek ani sıcaklık düşmeleri ya da yükselmesinden çok fazla etkilenmektedir. Bunun kontrol edilmesi ise oldukça zor olacaktır. Kanımca küresel iklim değişiminde gelecekte tarımsal üretimi önemli düzeyde etkilemesinin beklediğim bir olay olan ani sıcaklık dalgalanmalarına dikkat etmek gerekir. Küresel iklim değişiminde bitki ıslahçıları ve üreticilerin en çok zorlanacakları konuların başında ani sıcaklık değişimleri gelmektedir. Kuraklığı su varsa kontrol edebiliriz. Yüksek ya da düşük sıcaklığı ekim zamanı ve diğer uygulamalarla ayarlayabiliriz ancak ani sıcaklık değişimlerini kontrol etmemiz oldukça zor görünmektedir.

2.2.4. Yağışlardaki düzensizler ve yağış miktarında azalışlar

Küresel iklim değişiminin önemli etkilerinden biride yağış rejimindeki düzensizliklerdir. Bir bölgede alınan yağış toplamından çok yağışın yıl içindeki dağılımı tarımsal üretimi doğrudan etkilemektedir. Örneğin; Trakya bölgesinde 2 yıl önce görülen kış kuraklık zararı kışlık üretimlerde önemli verim kayıplarına neden olmuştur. Kurak alanlarda yetiştirilen bitkilerde kış yağışlarının bile yeterli ve düzensiz olmaması nedeniyle bitkilerde yeterli kardeşlenme ve gelişim sağlanamamış bu da verim kayıplarına neden olmuştur. Tarımsal üretimde sulanmayan alanlarda ilkbahar aylarında, yağışlar oldukça önemlidir. Özellikle Mart, Nisan ayındaki yağışların yeterli düzeyde olmaması ürünlerde önemli verim kayıpları oluşturmaktadır. Buna karşın yağışların geriye kayması (Mayıs-Haziran) tahıllarda hastalık ve zararlılar nedeniyle önemli kayıplarına neden olmaktadır. Günümüzde birçok bölgede ilkbahar yağışlarının yeterli olmaması yazlık bitki ekimlerinde sorunlara neden olmaktadır. Örneğin, Trakya bölgesinde son yıllarda düzensiz yağışlar ve yetersiz bahar yağışları, ayçiçeği ve mısır veriminde önemli kayıplara neden olmuştur.

2.2.5. Meteorolojik afetler

İklim değişikliğine bağlı yağış şiddetindeki artış, yağışın zamansal ve mekânsal dağılımındaki değişimleri, yanlış arazi kullanımı, aşırı ve plansız yapılaşma gibi faktörlerle birlikte sel ve taşkınların yaşanma sıklığını artırmıştır. Sel ve taşkın felaketleri can ve mal kayıpları yanı sıra tarım arazilerinde de

ciddi hasarlara neden olmaktadır. Yağışlar, şiddetli yerel fırtınalar, tropikal fırtınalar, şiddetli kış şartları, kırağı, don, orman yangınları, çölleşme, göl ve deniz suyunun yükselmesi, çığ ve seller, tarımsal zararlıların istilaları gibi afetler hava şartları tarafından oluşan afetlerin başında gelmektedir.

Yağışlar, şiddetli yerel fırtınalar, tropikal fırtınalar, şiddetli kış şartları, kırağı, don, orman yangınları, çölleşme, göl ve deniz suyunun yükselmesi, çığ ve seller, tarımsal zararlıların istilaları gibi afetler hava şartları tarafından oluşan afetlerin başında gelmektedir. Türkiye’de 2010-2021 döneminde en fazla meydana gelen meteorolojik karakterli doğa kaynaklı afet fırtınadır. Bu dönemde toplam 2645 fırtına afeti rapor edilmiştir. İkinci sırada ise 2486 olay ile şiddetli yağış/sel afeti yer almaktadır. Üçüncü sırada yer olan afet ise dolu afetidir. Aynı dönemde 1427 dolu afeti yaşanmıştır (MGM, 2021).

3. TARIMIN İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİSİ

1990’dan 2016’ya kadar tarımda metan emisyonlarındaki artışın %78’inin artan hayvan sayısından ve gübre yönetiminden kaynaklandığını, CO₂ emisyonlarının ise %65’inin gübre kullanımındaki artıştan kaynaklandığı ortaya konmuştur. Bu, bu iki gazı azaltmak veya ortadan kaldırmak istiyorsak hayvansal üretiminde ve gübre kullanımında iyi tarımsal uygulamalara odaklanmamız gerektiği anlamına geliyor.

Küresel ısınma ve iklim değişikliğini düşündüğümüzde, hemen üretim ve ulaşım sektörlerine yöneliyoruz. Hava kirliliğini düşündüğümüzde, arabalar, kamyonlar ve fosil yakıt tüketen fabrikalar aklımıza gelir. Kirletici olarak tarım aklımıza gelen son şeydir. Sürekli olarak aynı ya da birbirine benzer ürünlerin ekilmeleri tarım topraklarında olumsuzluklara neden olur. Aynı türü veya yakından ilişkili türleri uzun yıllar ekmek, toprak kalitesinin bozulmasına ve daha sonra ekolojik bir dengesizliğe neden olarak ürün verimini ve kalitesini büyük ölçüde etkiler. Li ve ark. (2019), çeşitlendirilmiş ürün rotasyonunun ekim sisteminin istikrarını iyileştirmeye yardımcı olabileceğini, aşırı hava koşullarının varlığında sağlam bir tarımsal ekosistemin baskıyı azaltabileceğini kontrol edilemeyen hava koşullarına ve organizmalara direnebileceğini belirtmiştir. Tarımla ilgili arazi kullanımındaki değişikliklerin karbon döngüsü üzerinde çok daha önemli bir etkisi vardır. Bitkiler atmosferden CO₂ emer, bu nedenle binlerce yıl boyunca gelişen bitkiler, ormanlar ve birçok doğal ekosistem muazzam miktarda karbon depolar. Tarımda sera gazı emisyonları;

- Hayvancılık (CH_4)
- Gübre kullanımı ve yönetimi
- Azotlu gübre kullanımı (N_2O)
- Anızların yakılması (CH_4 , N_2O)
- Çeltik üretimi (CH_4) şeklinde gruplandırılmaktadır.

Uluslararası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC, 2013) göre tarım, ormancılık ve arazi kullanımındaki değişiklikler, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının %25'ine kadarını oluşturmaktadır. Tarım, yayılan metan ve nitröz oksitin başlıca kaynaklarından biridir. Tarımdan kaynaklanan doğrudan emisyonlar yüksek verimli ve kaliteli besin kaynağı sağlamak için evcilleştirilmiş bitki ve hayvanları kullanmaya başladığımızdan beri sorun olmaya başlamış ancak tarım insan nüfusunu beslemek için vazgeçilmez olmaya devam ediyor. Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar dokuz milyara ulaşması tahmin ediliyor. Bu nedenle, gelecekte çiftçilik üretkenliğini artırmanın yollarını bulmamız ve aynı zamanda tarımın sera gazı emisyonları ve çevre üzerindeki etkisini azaltmanın yollarını araştırmamız son derece önemlidir. ABD Çevre Koruma Ajansı'na göre, tarım sektörünün yaydığı başlıca sera gazları karbondioksit, metan ve azot oksittir. Karbondioksit ormansızlaşma, tarım için arazi temizleme ve toprak bozulması yoluyla yayılırken, metan neredeyse tüm tarımsal faaliyetler, çiftliklerde atık yönetiminin kötü yapılması, enerji kullanımı ve biyokütle yakma yoluyla üretilir. Azot oksit emisyonları için gübre kullanımı birincil kaynaktır. Sera gazları tarımda farklı kaynaklara sahiptir. Hayvancılık sektörü tek başına insan kaynaklı metan (CH_4) emisyonlarının yaklaşık %44'ünden, azot oksit (N_2O) emisyonunun %53'ünden ve karbondioksit (CO_2) emisyonunun %5'inden sorumludur. Metanın iki ana kaynağı vardır: sığırlardaki sindirim süreçleri ve gübredeki benzer fermentasyon süreçleri. Tarlaların sürekli sular altında kalmasıyla metan üretimini anaerobik koşullar yaratan çeltik tarlaları, azot oksit de esas olarak azot açısından zengin gübrelerin tarlalara uygulanması sırasında oluşur. Büyüme mevsimi boyunca tarlaları üç veya dört kez boşaltmak ve yeniden su basmak, metan emisyonlarını en az %50 oranında azaltabilir (Sander ve ark., 2014). Çeltik tarımında metan gazı üretiminin küresel iklim değişiminde önemlidir. Su, oksijenin toprağa nüfuz etmesini engelleyerek metan yayan bakteriler için ideal koşullar yaratır. Su baskını ne kadar uzun sürerse, bu bakteriler o kadar fazla birikir. Su baskını süresini azaltan

veya kesintiye uğratan hemen hemen her çiftçilik yöntemi metanı azaltabilir.

Küresel İklim Değişiminin Etkisini Azaltmak İçin;

- Toprak karbonu depolanmasını artırmak için işlenen tarım alanlarının ve otlakların yönetiminin sağlanması
- Tarıma açılmış turbalı toprakların ve bozulmuş arazilerin restorasyonu,
- CH₄ emisyonlarını düşürmek için çeltik tarımı tekniklerinin geliştirilmesi
- Besi hayvanı ve gübre yönetimi
- Ürünlerin ihtiyacı kadar gübre kullanmak. Yavaş emisyonlu veya nitrifikasyon inhibitörleri kullanmak. Köklerinin daha iyi ulaşabileceği şekilde gübreleme. Kimyasal gübre yerine hayvansal ve kaybı en az yaşanacağı dönemde azot uygulamak
- Sığ toprak işlemeli ya da toprak işlemez tarım uygulamaları
- Toprakta organik madde miktarını arttırmak
- Toprakta var olan suyun ve yağışlarla gelen suyun maksimum depolanması
- Belirli eğimin üzerindeki alanlar her yıl bitki bulunan alanlara çevrilmesi
- Bölgelerde yetiştirilen ürünlerde kuraklığa dayanıklı ya da az su kullananların teşvik edilmeli
- Bölgenin durumuna göre yüzey yağışları ile gelen suları toplayan su hasadının yapılması
- Nehir sularının oluşturulacak sistemle sulama alanlarına iletilmeli
- Ürünlerin sulanmasında %100 basınçlı sulamaya geçilmeli
- Üreticiler suyun kullanımı konusunda bilinçlendirilmeli
- Doğa-dostu tarımsal yöntemlerin uygulanmasına önem verilmesi
- Kuraklık ve sıcaklığa dayanıklı çeşit ıslahı
- Toprak yapısı ve iklim durumuna göre ekim zamanı ayarlaması
- Ekim nöbetinin uygulanması ve üretim deseni içerisinde baklagillerin olması
- Kuraklık riski olan alanlarda fazla su tüketen tür ve çeşitlerin kullanılmaması
- Hafif bünyeli topraklarda daha erken ekim
- Derin ve aşırı toprak işlemeden kaçınılması

4. SONUÇ

İklim değişimi bitkisel üretim-arazi tahribatı ilişkisi bağlamında toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yönden niteliğini kaybetmesi sonucu toprak kalitesinde meydana gelen azalma ‘toprak bozulması’ ile erken tanışan topraklarımız ormanlar, meralar ve tarım arazileri yoğun kullanım neticesinde sürekli tahrip edilmektedir. Ülkemizde görülen arazi tahribatının ve olumsuzluklar nedeniyle beliren riskin büyük bölümünün, insan faaliyetler sonucu ortaya çıktığı söylenebilir. Arazi bozulumu, iklim değişikliğinin hem nedeni hem de sonucudur. Birçok farklı bozulma biçimi var ancak genel anlamda ekolojik zenginliğin, toprak değerinin ve biyolojik verimliliğin uzun dönemli eksilmesi ve kaybı olarak tanımlanabilir.

Ülkemizde tarım alanlarında gübreleme, ilaçlama vb. gibi tarımsal uygulamaların bitkilerin gelişimi durumu, toprağın uygunluğu ve toprak yapısının dikkate alınmadan uygun olmayan dönemlerde ve gereğinden fazla miktarda girdi uygulaması tarım alanlarının gün geçtikçe daha verimsizleşmesine neden olmaktadır. Topraktaki organik madde miktarı tarımsal üretimde yaygın suyun topraktaki potansiyeli ve kullanılabilirliğini en fazla etkileyen etmenlerdendir. Organik maddeyi artırmak için muhakkak uygun ekim nöbeti düzenlemesinin yapılması gerekmektedir. Uygun bir ekim nöbetinde ise en önemli konuların başında baklagillerin ekim nöbeti ürün deseni içine yerleştirilmesidir. Burada en önemli problem baklagillerin üreticilere yeterli gelir getirmemesi, depolanmalarının ve pazarlanmasının daha zor olması ve desteklerin yeterli olmamasıdır. Tarımsal üretimde gereksiz ve yoğun bir toprak işleme yapılmakta bu da zaten kısıtlı olan topraktaki nemi uçurmaktadır. Bu nedenle bölgelerde suyu koruyan toprağı daha az işleyen ya da işlemeden ekim üzerine daha fazla uygulama alanı olmalıdır.

Uygun ekim nöbeti, tarım alanlarının ve otlakların etkin yönetimi, ürünlerin ihtiyacı kadar gübre kullanmak, kimyasal gübre yerine organik ya da hayvansal gübre kullanımı, kaybın en az yaşanacağı dönemde ve ihtiyaç kadar azot uygulamak, toprakta organik madde miktarını arttırmak, minimum toprak işlemeli ya da toprak işlemesiz tarım uygulamaları, toprakta suyu ve yağışlarla gelen suyu maksimum tutumunu sağlamak, kuraklık ve sıcaklığa dayanıklı çeşitlerin ıslah edilmesi ve teşvik edilmesi, ekim zamanının iyi belirlenmesi, suyun kısıtlı olduğu alanlarda ve yazlık ekimlerde erken ekim

yapılması, kuraklık riski olan alanlarda fazla su tüketen tür ve çeşitlerin kullanılmaması, %100 basınçlı sulamaya geçilmesi, suyun kullanımı konusunda bilinçlendirme tarımsal üretimde arazi tahribatının durdurulması, güvenli gıda ve sürdürülebilir tarım olmazsa olmazlardır.

KAYNAKLAR

- Aksay, S.C., Ketenoğlu, O. ve Kurt, L. (2005). Küresel Isınma İklim Değişikliği. *Selçuk Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 25: 29-41.
- Antle, J.M. (2009). *Agriculture and the Food System: Adaptation*. Resources for the Future (RFF), pp. 28, Washington, D.C., USA.
- Dellal, İ., McCarl, B.A. ve Butt, T. (2011). The economic assessment of climate change on Turkish agriculture. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 12:1, 376-385.
- Dolu, Ö. (2005). Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları ve Kurumsal Kapasite Gelişimi (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- Espeland, E.K. ve Kettenring, K.M. (2018). Strategic plant choices can alleviate climate change impacts: A review. *J. Environ. Manag.* 222:316-324.
- FAO, (2019). Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Gönüllü Kılavuz İlkeleri. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, Roma.
- FAO, (2022). OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>.
- IPCC, (2013). *Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2013, Cambridge, UK.
- Jan, S.A., Bibi, N., Shinwari, Z.K., Rabbani, M.A., Ullah, S., Qadir, A. ve Khan, N. (2017). Impact of salt, drought, heat and frost stresses on morpho-biochemical and physiological properties of Brassica species: An updated review. *J. Rural Dev. Agric.*, 2:1-10.
- Khan, A., Ijaz, M., Muhammad, J., Goheer, A., Akbar, G. ve Adnan, M. (2016). Climate change implications for wheat crop in dera Ismail Khan District of Khyber Pakhtunkhwa. *Pak. J. Meteorol.*, 13:17-27.
- Li, J., Huang, L. Zhang, J. Coulter, J.A., Li, L. ve Gan, Y. (2019). Diversifying crop rotation improves system robustness. *Agron. Sustain. Dev.*, 39:1-13.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. ve Naylor, R.L. (2008). Supporting Online Materials for: Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. *Science*, 319: 607-610.
- MGM, (2021). Türkiye meteorolojik afetler değerlendirmesi (2010-2021), Erişim Adresi: <https://mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/meteorolojikafetler2010-2021.pdf>, Erişim tarihi: 04.10.2022.
- MGM, (2024). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, kuraklık analizi. <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx>.

- Nagarajan R. ve Gill K. S. (2018). Evolution of Rubisco activase gene in plants. *Plant Mol. Biol.*, 96:69-87.
- Pereira A. (2016). Plant abiotic stress challenges from the changing environment. *Plant Mol. Biol.*, 96:69-87.
- Pathak, H. ve Wassmann, R. (2007). "Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of Technical Coefficients", *Agricultural Systems*, 94:807-825.
- Salehi-Lisar, S.Y. ve Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress tolerance in plants. Volume 1. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany. *Drought stress in plants: Causes, consequences, and tolerance*; pp. 1-16.
- Sander, O.B., Samson, M. ve Buresh, R.J. (2014). Methane and nitrous oxide emissions from flooded rice fields as affected by water and straw management between rice crops. *Geoderma*, 235:355-362.
- Stern, N. (2007). *The Economics of climate change: the stern review*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 692 pp.
- Şen, C., Balkan, A., Başer, İ. ve Bilgin, O. (2022). *Innovative agricultural practices in soil, plant and environment*. İksad Publications. 285-317 s.
- Şimşek, O., Yıldırım, M. ve Gördebil, N. (2014). 2013-2014 Tarım yılı kuraklık analizi. *MGM yayınları*. 1-12.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, (2021). İklim değişikliği ve tarım değerlendirme raporu, bölgeler göre tarım sektöründe iklim değişikliğine uyum ve azaltım konusunda mevcut durum ve çözüm önerileri. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/trgm/belgeler/iklim%20degisikligi%20ve%20tarim%20degerlendirme%20raporu.pdf>. Erişim tarihi: 21.09.2022.
- Türkeş, M. (2012). Kuraklık, çölleşme ve birleşmiş milletler çölleşme ile savaşım sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*, Çevre Özel Sayısı 20:7- 56.
- Türkoğlu, N., Şensoy, S. ve Aydın, O. (2016). Türkiye'de iklim değişikliğinin elma, kiraz ve buğdayın fenolojik dönemlerine etkileri. *International Journal of Human Sciences*, 13(1):1036-1057.
- TZOB, (2021). Mayıs kuraklık raporu, Erişim adresi: <https://www.tzob.org.tr/basin-odasi/haberler/mayis-2021-kuraklikraporu>, Erişim tarihi: 20.09.2022.

İKLİME DUYARLI ÇAYIR VE MERA YÖNETİMİ

Canan Şen¹

¹Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0001-7100-6934 csen@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

Mera, eğimli, engebeli, taban suyu derinde olan kıraç araziler üzerinde, V, VI ve VII sınıf toprak yapısına sahip, oluşan, çiğnenmeye ve koparılmaya dayanıklı, seyrek ve kısa boylu, çok yıllık otsu bitkiler topluluğu olup otlatılarak değerlendirilen yem alanlarıdır (Altın ve ark.2011). Anonim, (2024) UNCCD raporunda meralar dünyadaki toplam arazinin (79,509,421 km²) yaklaşık %54'ünü oluşturduğu (148,326,000 km²) ve iki milyar çiftçiyi, çobanı ve çiftlik sahibini desteklediği bildirilmiştir. Türkiye'de Türkiye İstatistik Kurumu (2024) verilerine göre 14,617 bin ha ve tüm alan içerisinde yaklaşık %18,78'lik bir paya sahip doğal yem alanlarıdır. Projemizin konusu olan bölge TR 21'de Edirne 57,870 ha, Kırklareli 35,549 ha, Tekirdağ 32,762 ha mera alanına sahiptir. T21 Bölgesi çayır ve meralarının %18,45 düz, %27,76 Hafif eğimli ve %27,59 orta eğim ve %26,20 dik eğime sahiptir (Altın & Tuna,2001).

Mera ekosistemleri, bitkisel biyoçeşitlilik açısından zengin, en ucuz ve farklı türler ile farklı besin kompozisyonunu oluşturan, toprak ve su kaynaklarının mera bitkilerince korunduğu evcil veya yabani hayvanlar için bir barınak, olarak nitelendirilen, dinamik yaşam alanlarıdır. Tarım sistemler içinde

meralar, Karbon (C) stok miktarı, %33, (49,77 ton/ha) ile ormanlardan sonra ikinci sırada yer almaktadır (Anonim, 2018). ÇEM ve TÜBİTAK BİLGEM tarafından Toprak Organik Karbonu Projesi (2018). İklim, toprak, topografya, bitki, hayvan, insan gibi birçok canlı ve cansız etken bir araya gelerek “mera ekolojisini” oluşturmaktadır. Yapıda meydana gelen bir olumsuzluk tüm meraların üretkenliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle meraları oluşturan faktörlerin etkilerini anlamak ve tanımak, meraların sürdürülebilir kullanımının temelini oluşturur. Özellikle, otlatma baskısının artması bu alanların toprak ve bitki örtülerinin bozulmasına neden olmaktadır. Vegetasyonun taşıyabileceğinden daha fazla hayvanla otlatılması (otlatma kapasitesi) ya da otlatma mevsimi dışında uzun dönem otlatılması ile bitkilerin fotosentez yapan organları zarar görmekte veya yaz kritik periyodunda bitkilerin çiçek dalları ve tohumları hayvanlar tarafından tüketilmekte ve buna bağlı bitkiler üretkenliğini devam edememektedir. Mera vegetasyonlarında erken ve ağır otlatma gibi uygulamalarla zarar görmüş bitkiler, ekstrem sıcaklık dereceleri, kuraklıklar gibi olumsuz iklim etkileriyle fizyolojik olarak daha da zarar görebilmektedir ve olumsuz iklim koşullarına daha duyarlı olabilmektedir.

Meranın tanımını yaptıktan sonra, bu alanların ekolojik faktörlerden nasıl etkilenmekte olduğu sorusuna cevap arayabiliriz. Mera ekolojik faktörlerinden toprak; bitki kompozisyonu, bitki kompozisyonu ise toprak yapısı üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır. Meraların toprak ve bitki bozulmasının temelinde, yanlış kullanım ve olumsuz iklim faktörleri gibi iki önemli etkenin olduğunu söyleyebiliriz.

2. MERA YÖNETİMİ, İLKELERİ VE YANLIŞ MERA KULLANIMININ TOPRAK BOZULUMUNA ETKİLERİ

2.1. Mera Yönetimi

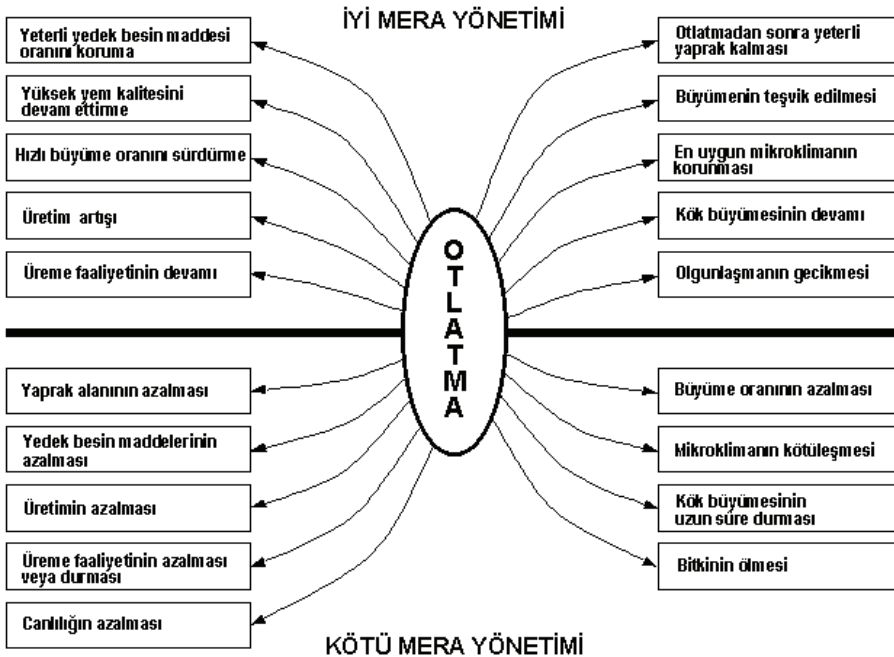
Meraların uzun yıllar kapasitesinden fazla sayıda hayvanla otlatılması, el-verişsiz mevsimde otlatma, meranın üniform otlatılmaması yanında bitki örtüsü, topografya gibi mera ekolojik şartlarına uygun olmayan hayvan türüyle otlatılması, kısaca mera yönetimi ilkelerine uyulmaması doğal yem alanlarının verimsizleşmesine sebep olurken toprak ve su kaynaklarının yitirilmesi,

biyoçeşitliliğin zarar görmesi gibi birçok olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Mera yönetimi ve ilkelerini tanımlarsak; Mera Yönetimi toprak, bitki örtüsü, su kaynakları gibi doğal kaynakları korumak şartıyla meralardan en fazla hayvansal ürün elde etme bilim ve tekniğidir.

2.2. Mera yönetimi ilkeleri ve etkileri

1. Otlatmanın Mevsiminde Yapılması
2. Meraların Kapasiteleri Dâhilinde Otlatılması
3. Bütün Bitkilerin Tekdüze Otlatılmaları
4. Bitki Örtüsüne Uygun Hayvanla Otlatma

Yönetim ilkelerinin yeterince uygulanamamasıyla, meralarda Şekil 1’de ifade edilen sonuçlarla karşılaşılabilir.

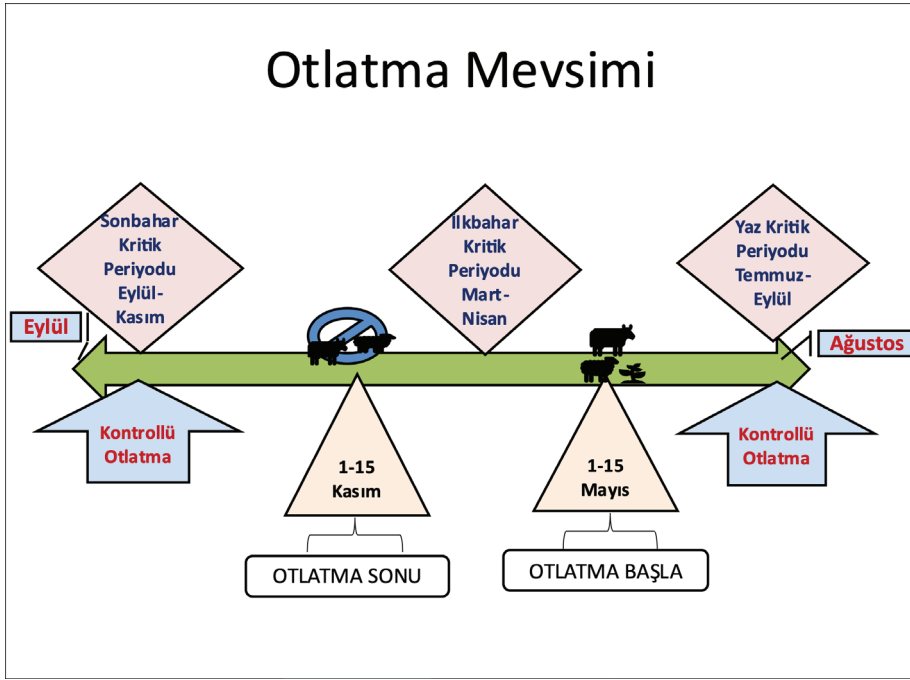


Şekil 1. İyi ve kötü mera kullanım etkileri (Waller ve ark.1985; Altın ve ark. 2011).

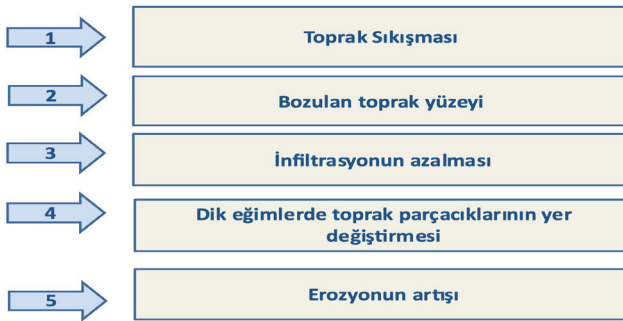
İyi bir mera yönetiminin sağlanabilmesinin temelinde meraların otlatma mevsiminde kullanılması zorunluluğu, mera idarecileri, hayvan sahipleri tarafından bilinmesinin önemi büyüktür. Çayır-meralarla ilgili ilk yazılı bilgileri «Hitit Kanunları»'n da belirlenmiştir. Bu kanunun 35. maddesi çobanın görev ve yetkileri ile ilgili hükümleri taşır. Örneğin Parkalla Kasabasında bir sığır için 4 05 dekarlık mera alanına ihtiyaç bulunduğu ve «Yeni kurulmuş bir meraya, özellikle toprak tamamı ile kuru değilse, domuz ve sığırın sokulmaması gereğini, 'ikinci yıl mera bir kere biçildikten sonra, küçükbaş hayvanların otlamasına izin verilebileceğini, "Üçüncü yıl toprağın kuru olduğu zamanlarda büyükbaş hayvanların da otlatılabileceğini» ifade etmişlerdir. Bunun anlamı bugün dahi ülkemizde önemini koruyan meraların kapasiteleri ve otlatma mevsiminde, otlatılma gereğinin o zamanlarda uygulanmış olmasıdır (Altın ve ark. 2011).

Mera bozulmasının temel nedenlerinden otlatma mevsimi dışında yapılan erken otlatma, bitkilerin büyümeye başladığı erken ilkbahar döneminde genellikle kendi besinini yapamadığı dönemde, otlatma olgunluğuna ulaşmadan "ilkbahar kritik periyodu"olarak nitelendirdiğimiz dönemde otlatılması olarak tanımlanabilir. Bu dönemde yapılan otlatmaların bir başka sakıncası ilkbaharda ıslak olan toprağın zarar görmesidir. Otlatma zamanı ya da mevsimi olarak tanımladığımız bitki ve toprağın zarar görmediği dönemde meraların otlatılması bu bakımdan oldukça önem taşımaktadır. Bir başka önemli nokta, bitkiler fotosentez yoluyla kendi besinin kendi yapabildiği ve kök veya kök boğazı gibi organlarında daha önce biriktirdiği yedek besin maddesine ihtiyaç duymadığı dönemde yapılan otlatmanın merada minimum zarar eşliği oluşturmaktadır. Bu nedenle bölgelerin iklim, toprak vd. ekolojik şartlarına göre otlatma zamanı farklı zaman aralıklarındadır. Örneğin, Trakya bölgesinde Mayıs ile Kasım arasında 180 günlük bir otlatma mevsimi dönemi uygulanmaktadır. Ancak burada en önemli unsur; bitkilerin otlatma olgunluğu göz önüne bulundurularak otlatmaya başlamak esas olmalıdır (Şekil 2).

Erken veya ağır otlatma sonucu meralarda bir süre sonra bitkisel üretkenlik azalmakta, botanik kompozisyonda birtakım değişiklikler olmakta ve bir süre sonra bitki örtüsünde önemli kayıplar yaşanmaktadır. Böyle meraların topraklarına bakarak bazı ipuçlarını yakalanabilmektedir. Bunlar sırasıyla şekil 3'te gösterilmiştir.



Ağır Otlatma Belirtileri (Vallentine,1990)



Şekil 3. Meralarda ağır otlatma belirtileri (Vallentine, 1990).

Toprak bozulmasının en büyük nedeninin toprak sıkışması üzerine hayvanların etkisi olduğu (Şekil 4) (Jacobs, 1988; Kotzé ve ark., 2020) araştırmalarla da ortaya koyulmuştur. Hayvanların yürüyüşü öncelikle toprağın sıkışmasına ve üst toprağın yapısının bozulmasına yol açar (Euckert ve ark. 1978; Du Toit, 1986; Kotzé ve ark., 2020; Hermias ve ark., 2022). Da Silva ve ark. (2003) hektar başına hayvan biriminin toprak sıkışma endeksi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları araştırmada, hektar başına 3,5 ile 4,42 hayvan birimi arasında bir fark olmadığını, ancak hektar başına 5,68 hayvan birimi yükünün coni (sıkışma) endeksinde %88'lik önemli bir artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Başka bir araştırmada, otlatılan bir alanın otlatılmayan alanlara göre %16 daha yüksek bir coni (sıkışma) endeksi değerine ve yaklaşık %60 daha düşük su sızma oranına sahip olduğunu göstermiştir (Moret-Fernández ve ark., 2011). Sığır toynakları ve römorklu traktörle sıkıştırma, doymuş hidrolik iletkenlik değerlerinde %80'lik bir düşüşe neden olmuştur. Zemin basıncında sığır toynakları ve römorklu traktörle sıkıştırma arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Chyba ve ark.2014). Araştırmalardan da gördüğümüz üzere, traktörün basıncı ya da hayvan basıncı mera topraklarında benzer etki oluşturmaktadır. Özellikle ıslak mera toprağında kış ya da erken ilkbahar döneminde önemli zararlar oluşabilmektedir.

Islak Toprak Hayvan Ayaz İzi



Şekil 4. Islak toprakta otlatmanın toprak yapısına olan etki.

2.3. Erken ve Ağır Otlatmanın Mera Durumu Üzerine Etkileri

Erken ve ağır otlatmaya maruz kalan meralarda botanik kompozisyonda da birtakım önemli değişiklikler oluşmaktadır. Botanik kompozisyondaki tür

gruplarının bulunma oranlarına göre sınıflandırma; “Mera durumu” olarak ifade edilir. Yem değeri üstün genellikle çok yıllık türlerden oluşan “azalıcı bitkiler” yem değeri düşük, hayvan tercihinde ikinci kalite türler “çoğalıcı tür” ve “istilacılar” olarak gruplandırılan yem değeri olmayan türler vejetasyonlardaki oranları bize mera durumunu vermektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Farklı mera vejetasyonlarında mera bitki gruplarının oranları (%) (Tosun, 1976).				
	Mera Durumu			
Bitkiler	En İyi	İyi	Orta	Zayıf
Azalıcılar	55-80	35-55	10-35	0-10
Çoğalıcılar	20-35	25-40	15-25	5-15
İstilacılar	0-10	10-45	45-75	5-100

Otlatma baskısının artması meraların toprak ve bitki örtülerinin bozulmasına neden olmaktadır. Vejetasyonun taşıyabileceğinden daha fazla hayvanla otlatılması ya da otlatma mevsimi dışında uzun dönem otlatılması ile bitkilerin fotosentez yapan organları zarar görmekte veya yaz kritik periyodunda bitkilerin çiçek dalları ve tohumları hayvanlar tarafından tüketilmekte bitkiler üretkenliğini devam edememektedir. Mera vejetasyonlarında erken ve ağır otlatma gibi uygulamalarla zarar görmüş bitkiler, ekstrem sıcaklık dereceleri, kuraklıklar gibi iklim etkileri ile fizyolojik olarak daha da zarar görebilmektedir. Mera yönetim ilkelerinden üniform veya meraya uygun hayvan tipi ile otlatma uygulaması ise doğal meralarda pratikte zor olan bir uygulamadır. Bu tip bir uygulama için bu alanlar birbirinden ayrı veya çitlerle çevrilmiş olması gerekmektedir. Maliyetli ve uygulama zorluğu nedeniyle ülkemizde veya bölgemizde göz ardı edilmektedir. Ancak, dalgalı bir yapı olan alanlarda düzensiz otlanma sonucunda ‘parçalı otlanma’ ortaya çıkar. Parçalı otlanma küçük adacıkların ve azalan bitkilerin yoğun ve tekrarlanan biçimde otlanması, buna karşılık komşu kısımların ve bitkilerin otlanmadan kalması veya hafif otlanmasıdır. Parçalı otlanma yüksek bitkilerin yerine kısa boyluların ve daha sonra toprak çıplak kalana kadar bir yıllıkların yerleşmesine sebep olmaktadır. Verimli türlerin yerini az verimli ve az lezzetli türler alabilmektedir. Vejetasyona uygun otlatma sisteminde, daha çok geniş yapraklı, baklagil ağırlıklı türler koyunlar tarafından, çalı vejetasyonları keçiler, ince, uzun yaprak tipli buğday-

giller sığırlar ve atlar tarafından ağız yapılarının uygunluğu ve otlama tarzları nedeniyle tercih edilmektedir. Aynı zamanda yabancı ot karakterindeki türlerin mücadelesinde “biyolojik yabancı ot mücadelesi” olarak adlandırılan bu sistem tercih edilmektedir. Burada önemli olan ilke, toprak ve bitki örtüsünün korunması ve aşırı otlatma baskısını önlemek değildir. Koyunlar otlama tarzları nedeniyle bitkiler kök boğazından ve hatta kökler toprak altından koparılmaktadır. Benzer otlama tarzı atlarda da bulunmaktadır. Bitki ve toprak yapısı bu şekilde ağır zarar görebilmektedir. Biçme ve koparma bitkilerin, kök, gövde ve yedek besin maddeleri üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır.

Sık ve dipten biçim ve koparmalar özellikle köklerde büyümenin durması ya da kök ölümlerine sebep olmaktadır. Kök gelişimi engellendiği takdirde bitki, toprakta su ve besin maddelerine ulaşamamakta ve bir süre sonra bitki ölümleri meydana gelmektedir.

İyi mera durumu özelliğinde olan bir mera, yönetim ilkelerinin yeterince uygulanmaması ile zamanla sağlığını yitirip, orta veya zayıf mera durumu sınıflandırmasında yer almaktadır. İleri boyutta ise bu alanlarda çıplak toprak yapısı artmakta ve buna bağlı olarak su ve rüzgâr erozyonu ile toprak kayıpları ile karşı karşıya kalınmaktadır (Tablo 1).

2.4. Yanlış Mera Kullanımının Toprak Bozulumu Üzerine Etkileri İlgili Araştırma Örnekleri

Kırklareli Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü deneme alanında 2019-2020 yıllarında yapılan bir araştırmada Yonca ve buğdaygil+yoncadan oluşan mera karışımlarının yağışa dayalı (kontrol) ve farklı derinlikte sulama uygulamalarının aylara göre kök gelişimi takip edilmiştir. Yağışa dayalı yetiştirilen parseller (kontrol) en az kök uzunluğuna sahip olduğu belirlenmiştir. Ayların kökler üzerine etkisi incelendiğinde yoncada iki yıl ortalaması en fazla kök uzunluğuna nisan ayında ulaştığı, en az kök uzunluğunun mart ayında olduğu bulunmuştur. Buğdaygil+yonca karışım merasında ise ortalama en yüksek kök uzunluğuna mayıs ayında ulaşmıştır (Tablo 2). Buradan anlaşıldığı üzere; kök gelişimlerinin henüz tam olmadığı erken dönem otlatmaları bu bakımdan bitkiye önemli zararlar vermektedir (Öztürk, 2021).

Tablo 2. Yonca ve yonca+buğdaygil karışımlarının sulama uygulamalarının aylara göre kök uzunlukları (cm) (Öztürk,2021).

BİTKİ KÖK UZUNLUKLARI (cm)												
E.Ş.	YIL	L.D.	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Ort	
YE	2019	YD	109,16	121,98	153,83	146,97	117,34	142,18	123,19	114,6	128,66	186,85a
		20	227,82	322,18	333,77	294,12	294,82	230,13	209,18	271,6	272,95	
		40	172,44	234,36	364,63	319,88	297,59	299,15	284,26	309,67	285,25	
		Y.Ort.	168,49	222,08	243,8	220,55	206,08	186,16	166,19	193,1	228,95a	
	2020	YD	31,21	80,79	129,46	104,81	110,89	90,27	66,58	82,77	87,1	
		20	46,93	252,41	188,95	154,05	151,99	151,91	134,83	131,58	151,58	
		40	29,67	323,26	235,67	186,35	233,91	199,07	171,12	185,41	195,56	
		Y.Ort.	39,07	166,6	159,21	129,43	131,44	121,09	100,71	107,18	144,75c	
	YD	107,88c										
	20	212,27b										
	40	240,40a										
	KE	2019	YD	74,5	93,04	84,47	131,52	132,78	76,9	98,4	98,4	
20			152,79	184,41	202,1	230,86	233,96	251,25	204,89	225,7	210,75	
40			152,79	184,98	201,55	222,47	226,96	191,56	177,65	193,99	193,99	
Y.Ort.			126,69	154,14	162,71	194,95	197,9	173,24	160,31	172,7	167,83b	
2020		YD	121,99	70,43	114,88	81,41	63,5	47,32	34,44	58,09	74,01	
		20	55,29	224,49	185,38	137,51	135,69	120,95	164,82	132,15	144,54	
		40	42,46	240,48	177,94	139,51	136,04	153,85	148,17	148,35	148,35	
		Y.Ort.	88,64	147,46	150,13	109,46	99,6	84,14	99,63	95,12	122,30d	
YD		86,38c										
20		177,64a										
40		141,17b										
YE= Yalın ekim, KE=Karışık ekim, YD= Yağışa dayalı, E.Ş.= Ekim şekli, L.D.=Lateral derinliği												

YE= Yalın ekim, KE=Karışık ekim, YD= Yağışa dayalı, E.Ş.= Ekim şekli, L.D.=Lateral derinliği

Abdul-Jabbar ve ark., (1982) yonca kök kütlesi ile toprak nem seviyesi arasında bir ilişki olduğunu ve en yüksek nem seviyelerinde en yüksek kök yoğunluğunun bulunduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılara göre farklı sulama seviyelerinde en fazla kök yoğunluğu toprağın 45 cm'lik derinliğinde bulunmaktadır. Bir diğer araştırmada, Liu ve ark. (2020), yarı kurak alanlarda kurulan yapay meralarda bitki köklerinin morfolojik özelliklerini ve toprakların infiltrasyon kapasitelerine etkilerini incelemişlerdir. Beş farklı bitki türünde gerçekleştirdikleri çalışmada kök yoğunluklarına göre bitkileri kaba nane (*M. suaveolens*), yonca (*M. sativa*), dallı darı (*P. virgatum*), kılıksız brom (*B. inermis*), Çin kamış otu (*M. sinensis*) olarak sıralamışlardır. Araştırmada bitki kök sistemlerinin yoğunluğu toprak derinliği ile azalmıştır. Kök yoğunluğunun yüksek olduğu toprak katmanlarının infiltrasyon hızı üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Bitki Örtüsünün Durumu	Emme Gücü
İyi Vejetasyon	62.5 mm/sa
Zayıf Vejetasyon	12.5 mm/sa
Fark : 50 mm = 50 ton/da = 10 adet 5 tonluk tanker 1000 dekar mera= 50X1000=50.000 ton= 10.000 adet Mera örtüsü diğer örtülerden 5-277 kat daha fazla Suyu Depolar	

Şekil 5. Bitki örtüsünün durumu-toprağın su emme gücü ilişkileri (Wenberg, 1959).

Toprak verimliliğinin azalmasıyla bitkinin gereksinim duyduğu besin maddeleri kaybı, erozyon, infiltrasyonun azalması, toprak sıkışması, taban suyu derinliğinin artması ya da azalması, tuzlulaşma ve buna bağlı olarak doğal alanlarda bitkisel verimlilik ve biyoçeşitliliğin kaybında önemli rol oynar. Sağlıklı bir mera iyi bir toprak yapısıyla mümkündür.

Şekil 5'de görüldüğü gibi bitki ile kaplı alanı yüksek, kaliteli tür yoğunluğu fazla olan iyi vejetasyonlu merada toprakta suyun emme gücünün ne kadar fazla olduğu ancak, kötü kullanım şartlarına maruz kalmış zayıf vejetasyonlu mera toprağında su kaybının çok yüksek olduğu bulunmuştur (Wenberg, 1959).

Bitki örtüsü	Kayıp kg/da/yıl	17.5 cm'nin kaybı için yıl
Orman	0.5	500.000
Çayır	25	10.000
Mısır-Arpa-Üçgül	6.950	36
Mısır	47.750	5

Şekil 6. %16 Eğimli Bitki Örtüsü ve Toprak Kaybı İlişkisi (Tarman, 1972).

Mera alanlarının tarla olarak kullanılması, işlemeli tarım uygulamalarının toprak bozulumu üzerindeki etkilerini gösteren bir başka araştırmada; bitki örtüsü ve toprak kaybı arasındaki ilişkilerin belirlendiği bir araştırmada, toprak işlemesiz alanlarda (orman, çayır) kayıpların minimum seviyelerde olurken, toprak işlemeli tarım alanlarında önemli kayıpların olduğu, ekim sistemlerinde üçgül gibi yem bitkilerinin de ekilmesi toprak kayıplarını azalttığı belirlenmiştir (Şekil 6).

Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi iş birliği ile yapılan bir projede; farklı eğim derecelerindeki korunan ve otlatılan meralarda bazı ıslah metotlarının bitki örtüsü ve su erozyonuna etkileri araştırılmıştır.

Araştırmada, ıslah metotları uygulanan korunan ve otlatılan parsellerde toprak kaplama alanlarının en yüksek olduğu, sediment kaybının en düşük, yüksek eğimde sediment kaybının fazla olduğu tespit edilmiştir. Mera ıslahı ve zaman zaman koruma uygulamaları bitki ile kaplı alanı arttırırken sediment kaybını azaltmakta olduğu belirlenmiştir (Şekil 7, 8) (Günay ve ark. 2015). Toprakta daha düşük su sızması ve havalandırma (Pietola ve ark, 2005), yüzey akışının artmasına, toprak erozyonuna ve besin kayıplarına (Smith ve ark., 1990) yol açacaktır. Bu etkiler, kök büyüme penetrasyonuna karşı toprak direncini artırır (Schenk & Jackson, 2002) ve ayrıca fidelerin hayatta kalma oranı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Kinucan & Smeins, 1992; Adams, 1996).

FARKLI EĞİM DERECELERİNDEKİ KORUNAN VE OTLATILAN MERALARDA
BAZI ISLAH METOTLARININ BITKİ ÖRTÜSÜ ÜZERİNE ETKİLERİ
KIRKLARELİ – KORUKÖY MERASI – 01.06.2012

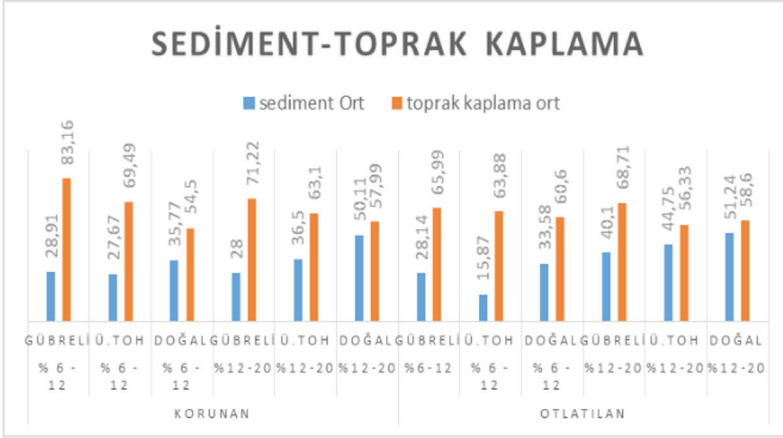


Şekil 7. Kırklareli ili dereköy farklı eğim derecelerindeki korunan ve otlatılan meralarda bazı ıslah metotlarının bitki örtüsü ve su erozyonuna etkileri projesi (Günay ve ark, 2015).

Ağır veya erken otlatma ile zarar gören mera vejetasyonları kuraklık, yağışların düzensizliği, şiddetli soğuklar gibi iklimin olumsuz etkileri, kaliteli yem değeri üstün türlerin daha da zarar görmesine ve sonuçta ölümüne neden olmaktadır. İyi cins bitkilerin yerine yabancı bitkiler almakta bir süre sonra da bu yabancı bitkiler vejetasyondan çekilmektedir. Özellikle bitkisiz toprak yüzeyi kaldığı takdirde bu alanlarda toprak erozyonları ile karşı karşıya kalılabilmektedir. Genel olarak yanlış arazi kullanımlarıyla, mera tahribatı günümüzün en önemli problemleri arasında yer almaktadır. Son yıllarda, Trakya Bölgesinde; nüfus artışı; yiyecek, ulaşım, yeni yerleşim alanı, arayışlarını da beraberinde getirmiştir. Kentleşme, sanayi alanlarına ihtiyaç, maden araştırma gibi etkenler de bu alanların azalmasında ve bozulmasında temel faktör olabilmektedir (Şekil 9).

**FARKLI EĞİM DERECELERİNDEKİ KORUNAN VE OTLATILAN MERALARDA
BAZI ISLAH METOTLARININ BİTKİ ÖRTÜSÜ VE SU EROZYONUNA ETKİLERİ**

Ortalama toprak kaplama alanına (%) göre ortalama sediment kaybı (kg/da)



Şekil 8. Kırklareli İli Dereköy Farklı Eğim Derecelerindeki Korunan ve Otlatılan Meralarda Bazı İslah Metotlarının Bitki Örtüsü ve Su Erozyonuna Etkileri Projesi Sediment Ortalaması- Toprak Kaplama Alanı Ortalaması (%) (Günay ve ark., 2015).



Şekil 9. Mera toprağının tahribatı.

Meralar iyi bir toprak koruyucu olmasına rağmen, hatalı kullanım, iklim etkileri gibi nedenlerden dolayı Ülkemizde toprağın erozyon ile yer değiştirmesi durumunun %54'ü mera kaynaklıdır (Anonim, 2021). Anonim, (2024), UNCCD Yürütme Sekreteri Ibrahim Thiaw göre; “bir ormanı kestiğimizde, 100 yıllık bir ağacın düştüğünü gördüğümüzde, çoğumuzda haklı olarak duygusal bir tepki uyandırır. Öte yandan, belki de yüzyıllar sonucu oluşan meraların dönüştürülmesi sessizlik’inde gerçekleşir ve çok az kamuoyu tepkisi yaratır” söyleminde bulunmuştur.

Anonim (2024), UNCCD’nin baş bilim insanı Barron Joseph Orr, durumun iç karartıcı olmasına rağmen, meraların dünyanın karbon rezervuar kapasitesinin üçte birini oluşturması sayesinde, arazi restorasyonunun iklim değişikliğine çözümün bir parçası olduğuna dair artan bir farkındalık olduğunu ifade etmiştir.

3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN MERALARDAKİ BİTKİ VE TOPRAK BOZULUMU ÜZERİNE ETKİLERİ

Tarımın içerisinde önemli bir yer tutan meralar olumsuz iklim şartlarından ne kadar etkilenmektedir?

Tarım ürünleri iklim değişikliğine karşı aşırı hassastır. Aşırı kuraklık veya ani seller, ürünün hem miktarı hem de kalitesi açısından olumsuz etkilere neden olur. Yabancı ot ve böceklerde artışa neden olan aşırı sıcaklıklar, ürünün veriminde ve kalitesinde düşüslere neden olur. İklim değişikliği, dünyadaki bazı üretim bölgelerinde birkaç ürün üzerinde olumlu bir etkiye sahip olsa da Tarım üzerindeki olumsuz etkisi küresel gıda güvenliğini tehdit eder. İklim değişikliği hem kısa hem de uzun vadede üretimde azalmalara neden olur. En önemlisi meteorolojik afetler olarak kabul edilen kuraklıklar, iklimdeki kritik değişiklikler ve doğal kaynakların kontrolsüz kullanımı sonucunda ortaya çıkar (Şen ve ark.2022).

Bitkisel üretimi etkileyen sıcaklık ve yağış önemli iklimsel faktörler olup, bu unsurların bitkilerin ihtiyaçlarını karşılayacak düzeyde olması gerekmektedir. Normal değerlerin üzerinde veya altında uzun süre devam eden sıcaklık veya yağış, bitki yaşamını olumsuz yönde etkileyerek verimliliğin önemli ölçüde azalmasına hatta tamamen yok olmasına sebep olabilmektedir. Yaşamsal faaliyetler için çok önemli bir unsur olan su, doğal mera alanları için yağın

yağışlardan karşılanmakta olup, yağışın toplam miktarında ortaya çıkabilecek azalma veya mevsimsel dağılımındaki anormallikler, özellikle büyük çoğunluğu kurak ve yarı kurak bölgelerde yer alan mera alanlarında üretim için oldukça önemli bir faktördür. Atmosferdeki değişimlerin hızlandırıcı etkide bulunduğu iklim değişiklikleri, bütün bitkisel üretimlerde olduğu gibi mera alanlarının verimliliklerinde de değişiklikler ortaya çıkarmakta, kullandığı yanlılıklarla birlikte ortaya çıkan anormal iklim koşulları bu değişimi olumsuz yönde hızlandırmakta, belki de geri dönüşümsüz olarak elden çıkması sonucunu doğurmaktadır (Herbel & Pieper 1991; Pittock 1995).

Bitkisel üretimin temel fonksiyonu olan fotosentez; ışık, su, karbondioksit, sıcaklık gibi birçok faktöre bağlıdır. Burada meydana gelecek bir olumsuzluk verimliliği tamamen sınırlamaktadır. Dünya var olduğu günden bugüne sürekli iklim değişimlerine uğramıştır. Fakat içinde bulunduğumuz yüzyılda iklim değişiklikleri katlanarak artacağı konusunda tüm bilim adamları hemfikirdir. 2060 yılına kadar sıcaklığın 4-5 °C artacağı, CO₂ yoğunluğunun 330 ppm'den 555 ppm'e çıkacağı varsayılmaktadır (Pittock, 1993). Yaşadığımız yerkürede son yıllarda küresel iklim değişiklikleri ve tarım en önemli ikiliyi oluşturmuştur.

İklim değişikliği bilimi, gelecekte ısınma ve daha fazla iklim değişkenliği öngörüyor. İklimdeki bu değişiklikler, artan atmosferik CO₂ konsantrasyonunun bitki büyümesi ve terleme üzerindeki doğru-dan etkileriyle birlikte, meralardan bitki ve hayvan ürünlerinin sağlanmasını düzenleyen toprak suyu ve azot bulunabilirliği gibi faktörleri etkileyecektir (Polley ve ark. 2017). Uzun vadeli iklim değişikliği/değişkenliğiyle ilişkili yağış dağılımındaki değişimin, yarı kurak alanlardaki bitki verimliliğini ve tür çeşitliliğini etkilemesi beklenmektedir (Le Houerou 1984; Cheng ve ark. 2011). Kurak ve yarı kurak ekosistemlerdeki mera verimliliği genellikle azot bulunabilirliği ile sınırlıdır veya eş sınırlıdır ve bu da biyojeokimyasal geri bildirimler yoluyla su bulunabilirliği ile sıkı bir şekilde bağlantılıdır (Lauenroth ve ark., 1978; Burke ve ark., 1998; Xiao ve ark., 2007; Gao ve ark., 2011, Gamoun, 2016).

Bitkisel üretim için iklim faktörleri ve toprak faktörleri en önemli unsurlardır (Şen, 2020). Bir bölge-deki doğal bitki örtüsünün oluşumunu en belirleyici faktörlerin başında iklim faktörlerinden yağış (Hahn ve ark., 2005; Naderi, 2007), ikinci faktörün bitkinin fizyolojik faaliyetlerini karşılayabilmesi için belli sınırlarda sıcaklık olduğu (Munkhtsetseg ve ark., 2007; Smart ve ark., 2007; Fakhar Izadi ve ark., 2019) söylenebilir.

Meralar doğal yapılardır ve tarla veya bahçe tarımına çok uygun olmayan eğimli, toprak yapısı olarak verimliliği oldukça düşük kıraç alanlar olarak tanımlanır. Bu alanlarda kendiliğinden yetişen bitkiler, ihtiyacı olan suyu genellikle yağışlardan ve toprak suyundan elde etmektedirler. Günümüzde yaşanan iklim değişikliklerine bağlı olarak mevsimsel düzensiz yağışlar, uzun dönem kuraklık bitkilerin ihtiyacı olan suyu alamamasına ve buna bağlı olarak da kurak ve yarı kurak bölge meralarının verimliliğinin düşmesine sebeptir. Özellikle, kurak ve yarı kurak bölge meraları yağışın mevsimsel dağılımı veya uzun süren kuraklıklardan çok etkilenmektedir. İklim değişiklikleri sonucu, bir yörede yağışın artması su erozyonunu, rüzgâr hızının yüksek olduğu dönemlerde toprakların rüzgârla savrulacak kadar kurak olması daha şiddetli rüzgâr erozyonunu ortaya çıkarır (Gökkuş & Koç, 1993). Bu da bitkisel üretimde sınırlayıcı rol oynamaktadır. Yağışın düşük olduğu dönemlerde meralarda bitkisel üretim azalmaktadır (Holechek ve ark. 2004, Schönbach ve ark., 2012; Polley ve ark., 2013; Guido ve ark., 2014, Martin ve ark., 2014; Gamoun, 2016). Trakya meralarında son yıllarda çalı vejetasyonlarında da artış gözlenmektedir. Bölgede Tarım ve Orman Bakanlığı mera yönetim ve ıslah projeleri kapsamında yoğun çalı ile kaplı meralarda çalı mücadelesi yapılması gerekebilmektedir. Holechek ve ark.'na (2020) göre, çalıların hızla çoğalmasına neden olma yeteneği, meralardaki iklim değişiklikleri nedeniyle uzun süreli kuraklık veya uzun süreli aşırı suyun botanik kompozisyon üzerindeki bir diğer etkidir. Odunsu bitkilerdeki yıllık artış, toprak yapısına, bitki örtüsü durumuna ve iklim etkilerine göre %0,1 ile %2,5 arasında değişmektedir. Hesaplamalara göre, her %1 artış için mera yem verimi %2 düşebileceği belirlenmiştir.

Kuraklık, hayvanların sürekli tüketimine karşı hayatta kalmaya çalışan mera bitkileri için genellikle en önemli çevresel strestir. Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki düşük su mevcudiyeti, tohum çimlenmesini, fide oluşumunu ve çok yıllık bitkilerin kalıcılığını ciddi şekilde sınırlar (Bassiri ve ark.,1988). Kuraklığın bitki örtüsü üzerine olan olumsuz etkisi, mera durumu kötü olanlarda iyi olan meralara göre daha şiddetli olabilmekte, yağışın düşük olduğu kurak dönem boyunca mera bitkileri fizyolojik ihtiyaçlarını karşılayamamaktadırlar. Bu durum mera alanlarında verimin hızlı bir şekilde düşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca kurak dönem öncesi yoğun otlatma uygulamasının bitki örtüsünün besin maddesi rezervini olumsuz yönde etkilemesi durumunda bitkiler fizyolojik strese girmekte, kuraklık boyutunun artması ile meranın taşıma kapasitesi (otlayabilecek optimum hayvan sayısı) azalış göstermektedir (Thurow ve ark., 1999).

Derin köklü bitkilerin, daha yüksek toprak nemi seviyelerine sahip alt toprak katmanlarına erişerek uzun süreli kuraklık dönemlerine dayanma olasılıkları daha yüksektir (Chaves ve ark. 2003). Bitkilerin kuraklığa yüzey katmanlarında su ve besin alımını daha derin toprak katmanlarına kaydırarak yanıt verdiği genel olarak kabul edilmektedir (Garwood & Sinclair 1979; Sharp & Davies 1985). Toprak nemini kontrol eden bir faktör olan toprak sıcaklığı, buharlaşmayı etkilediği için derinlikten miktarından da etkilenir (Davidson ve ark. 1998). Özellikle yaz döneminde yüksek sıcaklık, düşük hava nemi veya uzun dönem kuraklık, kurumuş bir bitki örtüsü gibi faktörler yakmanın bitki ve toprak üzerindeki zararlı etkisini artırmaktadır. Toprakta organik madde, bitki besin elementleri tamamen değişebilmektedir. 20- 30 dakika süreyle 200-300 °C'lik bir sıcaklıkta organik madde %85 oranında azalabilmektedir (Gliessman, 2000). Kontrolsüz yakma sonucu toprak ağır bir yapı kazanır ve su geçirgenliği azalır. Ateş toprak içi kanallar oluşturan böcek ve organizmaları yok ettiği için toprak gözenekliliği azalır. Mineral toprak açığa çıktığında yağmur damlalarının çarpması ile gözenekleri toprak kümeleri doldurmakta ve büyük gözeneklerde azalmalar görülür. Toprağın infiltrasyon ve su tutma kapasitesi azalır, toprak erozyonu da bu alanlarda görülmektedir (Altın ve ark.2005).

İklim değişikliklerinin bir diğer etkisi aşırı yağışlardır. Aşırı yağış rejimleri, esas olarak ılıman ekosistemlerde toprak suyu stresinin süresini ve şiddetini artırma eğilimindedir (Knapp ve ark, 2008). Uzun dönem mevsim yağışındaki herhangi bir değişikliğin, ot türlerinin zenginliğinde bir azalmaya (Wilkes ve ark, 2008) ve daha fazla toprak tuzluluğu ve bozulması sorununa neden olmaktadır (Howden ve ark., 2008). Mevsimsel dağılım ve yağış yoğunluğu, mevsimsel olarak toprağın su dinamiklerini ve bitki suyunun verimli kullanımını etkileyeceği için, yağıştan daha fazla meralar üzerinde etkisi olacaktır (Giorgi ve ark., 1998).

Toprak nemi ve sıcaklığı birlikte "toprak iklimi" olarak ifade edilir. Toprak ikliminin etkileri esasen mera ekosistemlerini diğer doğal ekosistemlerden ayıran temel belirleyici ölçüttür. Ayrıca toprak iklimi mera ekosistemlerindeki bütün toprak bitki ilişkilerini etkiler. Köklenme derinliği su potansiyelleri besin elementi alımı ve besin elementi dağılımı kök faaliyetinin görüldüğü kritik sıcaklıklarla ilişkili nem elverişliliğinin miktar ve zamanı ile etkilenir. Toprak yüzeyi yakınındaki sıcaklık ve rutubet mera bitkilerini çimlenmelerini etkiler. Çimlenme yanında, yerleşme ve devamlılıkta toprak sıcaklık ve nemine bağlıdır (Altın ve ark. 2011).

3.1. İklim Faktörleri-Mera Bitki ve Toprak Faktörleri Üzerine Etkilerine Ait Araştırma Örnekleri

Toprak nem ve sıcaklığının doğal mera alanlarındaki etkilerini ortaya koyan bir araştırma 2014 ve 2015 yıllarında Kırklareli İli Lüleburgaz İlçesi Sakızköy’de yapılmıştır (Şen ve Öztürk, 2017). Bu çalışmada, farklı mera kesimleri (A ve B) kuru ot verimlerinin araştırmanın ikinci yılında birinci yılına göre önemli azalışlar meydana gelmiştir. Burada en önemli etkenin yağış miktarları olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kırklareli İli Sakızköy Merası Farklı Sitelere Ait Toprak Nemi Ve Toprak Sıcaklığı (Şen & Öztürk 2017).				
	Toprak Nemi (%)		Toprak Sıcaklığı (°C)	
Site	2014	2015	2014	2015
A	8,4	5,6	16,8	24,5
B	7,6	6,4	16,8	26,4
Toplam Yağış (mm)	788,8	493,0		
Ortalama Sıcaklık (°C)			14,2	15,6

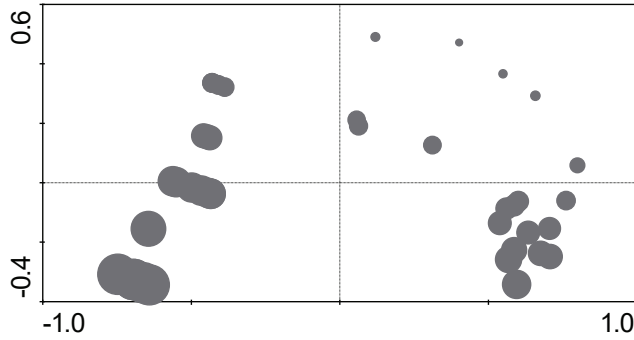
Araştırmada iki yıldaki yağış farklılıklarının toprak nem ve sıcaklığında önemli değişimler meydana getirirken, buna bağlı olarak kuru ot verimi, botanik kompozisyonunda önemli farklılıklar meydana gelmiştir (Tablo 4).

Toprak nemi, yarı kurak ekosistemlerde başlıca sınırlayıcı faktör olduğu için önemli bir mera sağlığı parametresidir (Weber & Gokhale, 2010). Toprak nemi kurak ve yarı kurak bölgelerde bitki örtüsünün yeniden canlandırılması ve ekosistemin istikrarında önemli bir rol oynar. Toprak neminin yağışa tepkisi, bitki örtüsünün yeniden canlandırılmasının uygulanması sırasında arazi kullanımından büyük ölçüde etkilenen önemli bir hidrolojik süreçtir. Toprak nemi büyük ölçüde yağışa bağlıdır (Yu ve ark. 2015). Mood (2008)’a göre düşük yağış ve sürekli kuraklık nedeniyle yıllık bitkiler yaşam döngülerini kısa sürede tamamlarlar. Yıllıklar, genellikle hızla büyüdükleri ve çok yıllık bitkilerden daha kısa sürede daha fazla tohum ürettikleri için rekabet avantajına sahiptirler. Toprak nemi, yarı kurak ekosistemlerde verimliliğin başlıca belirleyicisi ve mera koşullarının birincil itici gücüdür. Kuraklık, genellikle hayvanların sürekli tüketimine karşı hayatta kalmaya çalışan mera bitkileri için en önemli çevre-

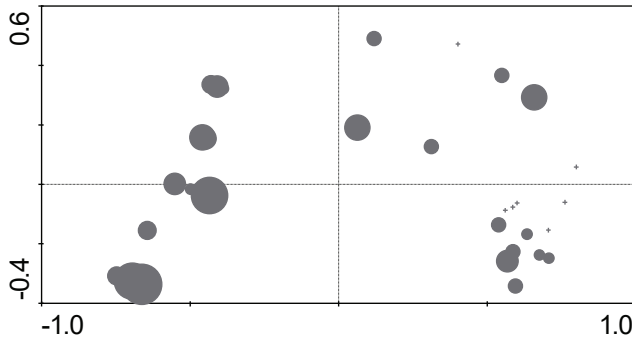
sel streştir. Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki düşük su bulunabilirliği, tohum çimlenmesini, fide oluşumunu ve çok yıllık otların kalıcılığını ciddi şekilde sınırlamaktadır (Bassiri ve ark., 1988).

Tablo 4. Kırklareli İli Sakızköy Merası Farklı Sitelere Ait Kuru Ot Verimleri (kg/da)(Şen & Öztürk 2017).			
	KURU OT VERİMLERİNDE MEYDANA GELEN DÜŞÜŞÜ ORANI		
	2014	2015	Verim Kaybı %
ÜNİTELER	Buğdaygil (kg/da)	Buğdaygil (kg/da)	
A ÜNİTESİ	150,92	45,1	70
B ÜNİTESİ	109,13	15,41	85
Ortalama	130,02	30,25	76
	Baklagil (kg/da)	Baklagil (kg/da)	
A ÜNİTESİ	51,34	12,8	76
B ÜNİTESİ	83,17	1,79	97
Ortalama	67,25	7,29	89
	Diğer (kg/da)	Diğer (kg/da)	
A ÜNİTESİ	144,40	17,78	87
B ÜNİTESİ	41,41	3,1	95
Ortalama	92,75	19,04	79,47

Uzun yıllar yağış değerlerinin değişimi göz önünde bulundurulduğunda, mera vejetasyonlarının iki veya daha fazla yıl devam eden kuraklıktan önemli derecede etkilenebildiği, 1 yıl ortaya çıkan kuraklık sonrası gerçekleşen normal veya normalin üzerinde yağışlı yılların kısa süreli kuraklığın vejetasyon üzerine olumsuz etkisini azaltabileceği kuraklığın art arda birkaç yıl devam etmesi durumunda mera alanlarının verimliliği önemli derecede düşüş gösterecektir (Holechek ve ark. 2004; Bilgili & Daşcı, 2015). Yıllık toplam yağış miktarı kadar yağışın mevsimlere göre dağılışı da meralarda verim üzerine etkide bulunmaktadır (Le Houerou, 1984). Özellikle serin mevsim buğdaygillerinin yaygın olduğu mera alanlarında sonbahar ve kış yağışları üretim için büyük öneme sahiptir (Herbel & Gibbens 1989; Vallentine, 1990; Te Krony & Egli 1991; Haferkamp ve ark. 1993; Koç, 1995, Koç, 2001, Daşcı ve ark. 2010).



Şekil 10. Kırklareli ili Sakızköy merası nem oranı yüksek parsellerin dağılımı (Şen & Öztürk 2017).

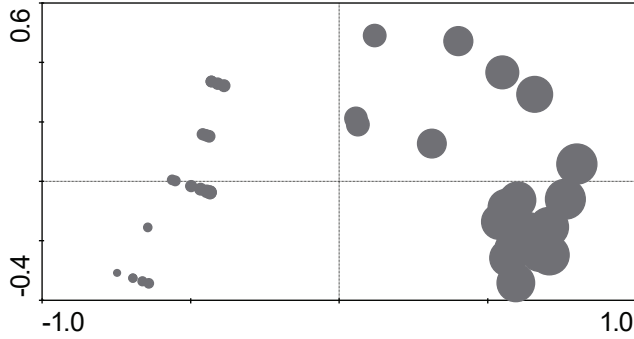


Şekil 11. Kırklareli ili Sakızköy merası Lolium perenne'nin dağılımı (Şen & Öztürk 2017).

Çeşitli iklim modelleri, gelecekteki daha sıcak iklim koşullarında evapotranspirasyonun artacağını, küresel ortalama yağış tutarında ve şiddetli yağış olaylarının sıklığında bir artış olacağını gösterir. Buna karşılık, bazı alanlarda yağış artışı olurken, başka alanlarda yağış azalışları yaşanacağı, hatta yağışlarda artış olan kara alanlarında artan buharlaşma yüzünden akışlarda ve toprak neminde azalışlar olabileceği öngörülür (Türkeş 2010).

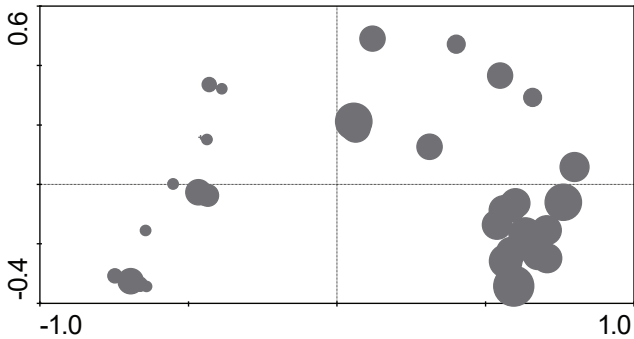
Çalışma alanının toprak nemine göre alanların dağılımı Şekil 10'da sunulmuştur. Lolium perenne hayvanlarca tercih edilen kaliteli bir yem bitkisidir. Koyu renkli sembollerle gösterilen parseller, toprak nemi yüksek değerlere

işaret etmektedir. Yüksek oranda *Lolium perenne* bulunan parseller (Şekil 11) genellikle yüksek toprak nemine sahip alanlarla paralellik göstermektedir. *Lolium perenne*, nemli, verimli ve ağır toprakları tercih eden bir buğdaygildir (Altın, 1992).



Şekil 12. Kırklareli ili Sakızköy merası toprak sıcaklığına göre parsellerin dağılımı (Şen & Öztürk 2017).

Weniger, (1973) toprakta bulunan suyun fazlalığı toprak sıcaklığında azalmaya neden olduğunu, suyun havaya göre ısınması için gereksinim duyduğu ısı miktarının daha fazla olması nedeniyle toprak boşluklarında bulunan hava miktarı fazla olan toprakların su ile doymuş topraklara göre daha çabuk ısındığını belirtmiştir.



Şekil 13. Kırklareli ili Sakızköy merası chrysopogon gryllus'un dağılımı (Şen & Öztürk 2017).

Çalışma alanının toprak sıcaklığına göre parsellerin dağılımı Şekil 12’de sunulmuştur. Parsellerde koyu renkli sembollerle gösterilen sahalardaki toprak sıcaklıkları yüksek değerleri ifade etmektedir. *Chrysopogon gryllus*’un yüksek oranlarda bulunduğu parseller genel olarak toprak sıcaklığının da yüksek olduğu parsellerle paralellik göstermektedir (Şekil 13) (Şen & Öztürk, 2017). Bu parseller çalışmanın ikinci yılındaki toprak sıcaklıklarını içermektedir. C3 ve C4 bitkilerinin otlarının dağılımı (Terri & Stowe, 1976; Tieszen ve ark., 1979) ve mevsimsel aktiviteleri (Kemp & Williams, 1980; Hicks ve ark., 1990) genellikle sıcaklıkla yüksek oranda ilişkilidir (IPCC, 1995). Howden ve ark. (2008), küresel ısınmanın C3 bitkilerine kıyasla C4 bitkileri üzerinde daha faydalı bir etkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Bölgede yapılan bir başka araştırmada, azalan toprak nemi ve artan toprak sıcaklığının bitki türü dağılımı üzerinde önemli bir etkisi olduğu, bunun da ot veriminde azalmalara sebep olduğu ve tespit edilmiştir. Çok yıllık yem bitkisi oranı yüksek olan mera parsellerinde ve ot verimi oranlarının da yüksek olduğu ve genellikle yüksek toprak nemi olan yerlerle paralellik gösterdiği tespit edilmiştir (Şen, 2017).

4. SONUÇ

Anonim (2024), UNCCD raporunda 40’tan fazla ülkeden 60’tan fazla uzman katkıda bulunmuştur ve dünya çapında bozulan mera alanlarına ilişkin geçmiş tahminlerin (yaklaşık %25) “mera sağlığı ve üretkenliğindeki gerçek kaybı önemli ölçüde hafife aldığını” ve bu oranın %50’ye kadar çıkabileceğini kabul edildiği bildirilmiştir.

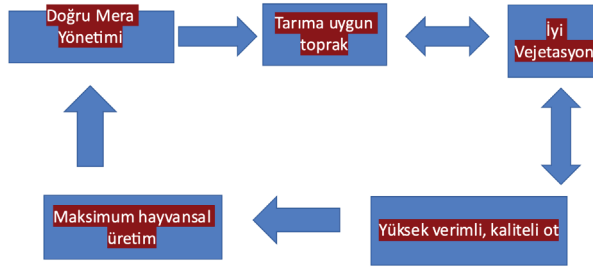
Mera yönetiminin temeli doğal kaynakları korumaktır ve mera ıslah yöntemleri ile uygulandığı takdirde sürdürülebilirlik sağlanabilmektedir. Çevre, mera ekosistemlerinin doğasının ve verimliliğinin temel belirleyicisidir. Çeşitli çevresel faktörlerin mera bitki örtüsünü ve toprak yapısını nasıl etkilediğinin anlaşılmasının, başarılı mera yönetimi için çok önemlidir. Meralar ekolojik bakımdan dinamik yapılardır. İklim, toprak, topografya, bitki, hayvan, insan gibi birçok etken bir araya gelerek bu “mera ekolojisini” oluşturmaktadır. Yapıda meydana gelen bir olumsuzluk tüm meraların üretkenliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle otlatılan birimlerde, belirli dönemlerde toprağın korunması ve iyileştirilmesi bitki örtüsünün sürdürülebilirliğini sağlayabilir. Me-

ralarda bitkisel üretiminin azalmasında etkili olan kuraklığa ilaveten zamansız ve ağır otlatmanın devam ettirilmesi meraların hayvan otlatılarak değerlendirilemeyecek bir duruma gelmesine sebep olabilmektedir. Meralarda toprakta suyunun tutulmasının sağlanmasıyla bitki, besin elementlerini daha etkin kullanmaktadır. Toprak nemi, yarı kurak ekosistemlerde verimliliğin başlıca belirleyicisi ve mera koşullarının birincil itici gücüdür. Buna bağlı olarak, mera vejetasyonları ile ilişkili olan hayvancılık ve hayvansal ürün gibi birçok sistemin devamlılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Hermias ve ark. (2022)'na göre; meralarda toprak bozulması araştırmalarının odak noktası esas olarak toprak erozyonu ve toprak sıkışması iken, etkili toprak derinliği ve toprak dokusuna daha az dikkat edilmektedir. Etkili toprak derinliğinin ve toprak dokusunun kurak ve yarı kurak iklimdeki mera koşullarına tepkisini ölçmek, ekosistemlerin hayvancılık üretimini sürdürme yeteneğinin çöküşünün daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunacaktır. Ekosistem hizmetlerindeki kaybı mera koşulları ve toprak bozulmasıyla ilişkilendirerek daha sürdürülebilir hayvan performansı önerileri yapılabilir.

Bitkisel verimliliğin ve kalitenin artırılmasını amaçlayan mera ıslahı, kuraklık konusunda önem taşımaktadır. Kuraklığa bağlı olarak bitkisel üretimdeki azalmanın yanı sıra mera vejetasyonunun tür kompozisyonu, bitki ile kaplılık derecesi ve yem kalitesi de olumsuz yönde etkilenmektedir. Bitki ile kaplı alanı ne kadar arttırabilirsek o toprakta su muhafazası daha da artmaktadır. Bu yüzden kurak dönemlerde otlatma uygulamalarının yeniden planlanması ve bu dönemde hayvanların besin ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik alternatif yem kaynaklarının oluşturulması mera bitki örtülerinin devamlılığı açısından önemlidir. Mera yönetimi ve mera ıslahı bir arada düşünülen ve birbirinden ayrılmayan iki uygulamadır. Mera ıslahında, verimliliği kaliteyi arttırmak amaçlı gübreleme, tohumlama, yabancı ot kontrolü en fazla uygulanan yöntemlerdir. Meraların yoğun otlatılmasının önlenmesiyle botanik kompozisyon daha kaliteli türlerden oluşturulabilir ve bunun sonucunda yüksek verimli üretim sağlanabilir. Ayrıca Bölgede taban mera özelliği gösteren kesimlerin otunun biçilerek değerlendirilmesi, üretken mera kullanımı için daha uygun olabilir. Mera araştırmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle; kullanım ve toprak yapısı desteği sürecinin geliştirilmesi mera yönetiminin ve ıslahının başarısında önemli bir işlev olacaktır. Bu nedenle merayı mera yapan faktörlerin etkilerini çok iyi anlamak ve tanımak, sürdürülebilir bir mera kullanımının temelini oluşturacaktır. Toprak ve hava sıcaklığı verilerinin

mevcudiyeti, bitki-toprak ilişkilerini anlamak ve toprağın kullanımına ilişkin yorum yapabilmek için gereklidir (Dinç & Şenol, 1998) ve bu nedenle gelecekte mera yönetimi ve iyileştirme için çizilecek projeksiyonlara temel oluşturmaktır. Hayvansal üretimde başarı, meralarda yem üretmeye bağlıdır. Merada bitkisel üretim ya da bitki ile kaplı alan yüksek olsa bile, bu alanların yönetimi doğru bir şekilde yapılmak zorundadır.

Sürdürülebilir mera sistemi



Şekil 14. Sürdürülebilir mera sistemi.

Bölgedeki mera ve toprak bozulmasını etkileyen faktörler ve sürdürülebilir mera sisteminin oluşturulması için önerileri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

Sorun: Otlatma mevsimine uyulmaması, ağır otlatma

- Mera bozulmasının temel nedenlerinden otlatma mevsimi dışında yapılan erken otlatma, bitkilerin büyümeye başladığı erken ilkbahar döneminde genellikle kendi besinini yapamadığı dönemde, otlatma olgunluğuna ulaşmadan “ilkbahar kritik periyodu”olarak nitelendirdiğimiz dönemde otlatılması olarak tanımlanabilir. Bu dönemde yapılan otlatmaların bir başka sakıncası ilkbaharda ıslak olan toprağın zarar görmesidir. Otlatma zamanı ya da mevsimi olarak tanımladığımız bitki ve toprağın zarar görmediği dönemde meraların otlatılması bu bakımdan oldukça önem taşımaktadır. Bir başka önemli nokta, bitkiler fotosentez yoluyla kendi besinin kendi yapabildiği ve kök veya kök boğazı gibi organlarında daha önce biriktirdiği yedek besin maddesine ihtiyaç

duymadığı dönemde yapılan otlatma merada minimum zarar eşığı oluşturmaktadır. Bu nedenle bölgelerin iklim, toprak vd. ekolojik şartlarına göre otlatma zamanı farklı zaman aralıklarındadır. Trakya meralarında, Tarım ve Orman Bakanlığının Mera Islah ve Amenajman (Yönetim) projelerinde otlatma mevsimi uygulaması 1 Mayıs ± 15 başlangıç ve 1 Kasım ± 15 bitiş tarihi olarak 180 günlük bir süreç olarak kabul edilir (Şekil 2). Ancak otlatmaya başlama tarihi kararında en önemli unsur; bitkilerin otlatma olgunluğuna gelmesi göz önüne bulundurularak otlatmaya başlamak esas olmalıdır. Otlatma mevsimi uygulaması Bölgenin tüm meralarında yaygınlaştırılmalı ve zorunlu olmalıdır. Otlatma kapasitesi fazlalığında ağır otlatmaya maruz kalan meralarda otlatma günü düzenlemesi yapılmalıdır.

- Kış ve erken ilkbahar dönemi dinlendirme bitki gelişimi ve toprak yapısının bozulmaması açısından son derece önemlidir. Bölgede meralarda küçükbaş ağırlıklı bir otlatma yapılmaktadır. Küçükbaşlarda mera tahribatı daha fazla olmakta ve kış dönemi otlatma da devam etmektedir. Bölgede meralarda küçükbaş ağırlıklı bir otlatma yapılmaktadır. Münavebeli otlatma sistemlerinin uygulanabilir duruma getirip, koruma -otlatma şeklinde bir programlama yapılmalıdır. Meranın korunan alanları dışında belli bir parça kış otlatması için küçükbaşlara ayrılabilir.

Sorun: Rotasyonel bir otlatma sisteminin uygulanamaması

- Mera yönetim ilkeleri ve mera ıslahı bir arada düşünülüp, yürütülmelidir. Otlatma sistemleri doğal meralarda uygulanabilirliği zor olsa da ekolojiye uygun otlatma sistemleri geliştirilmelidir. Yabancı ot fazlalığında "Yabancı otlarla mücadeleyle yönelik bir otlatma sistemi" gibi bazı mera yönetim uygulamaları yapılabilir. Azalan tür oranı %35-40 dolaylarında ise "Doğal tohumlamaya yönelik münavebeli otlatma sistemi" gibi otlatma sistemleri seçilebilir. Parçalı yapıya sahip meralarda, her bir parça bir parsel olarak değerlendirilebilir. Hayvanların otlatılması için, otlatma mevsimi geldiğinde öncelikle bitki örtüsü en iyi gelişen parselden başlatılıp, sonrasında diğer parsellere geçilebilir. Böylelikle dinlendirme-otlatma şeklinde bir rotasyon yapılmış olacaktır. Çit imkânı varsa çitle çevirme bir diğer uygulamadır. Bu amaçla, dikenli tel çit, elektrikli tel çit gibi materyaller kullanılabilir.

Sorun: Kuraklığın mera üzerindeki olumsuz etkileri

Bitkisel verimliliğin ve kalitenin artırılmasını amaçlayan mera ıslahı, kuraklık konusunda önem taşımaktadır. Kuraklığa bağlı olarak bitkisel üretimdeki azalmanın yanı sıra mera vejetasyonunun tür kompozisyonu, bitki ile kaplılık derecesi ve yem kalitesi de olumsuz yönde etkilenmektedir. Bitki ile kaplı alanı ne kadar arttırabilirsek o toprakta su muhafazası da o kadar artmaktadır. Bu yüzden kurak dönemlerde otlatma uygulamalarının yeniden planlanması ve bu dönemde hayvanların besin ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik alternatif yem kaynaklarının oluşturulması mera bitki örtülerinin devamlılığı açısından önem arz etmektedir. Meralarda ağır otlatma etkilerinin azaltılması beraberinde kuraklığın olumsuz etkilerini de minimize edecektir.

- Alternatif yem kaynaklarının oluşturulması mera bitki örtülerinin devamlılığı açısından önem taşımaktadır. Yem bitkileri ekim alanı %5 civarında olan Trakya'da meralarda otlatma yoğunluğunu azaltmak amaçlı yem bitkisi tohumluk sorunları çözülmeli, destekler arttırılmalı, cazip hâle getirilmelidir. Hayvanların ek kaba yem ihtiyaçları yem bitkilerinden karşılanmalıdır.
- İklim değişikliğine adapte olabilecek yem bitkileri türleri ve ıslahı üzerinde Üniversiteler, Araştırma Enstitüleri daha fazla proje yapmalıdır. Bu tür projelerle, ayrıca meralardaki kurak koşullara uyum sağlayabilen türlerin belirlenmesine de olanak tanınacaktır. Islah edilen türlerin tekrar merada yaygınlaştırılması meraların verimliliğini arttırmada etkili olacağı tahmin edilmektedir.
- Kuraklık etkisini azaltmak için, su erozyonunu engellemek veya toprakta suyu tutabilmek için de birtakım önlemler alınabilir. Bu uygulamalar, meralarda küçük çukurlardan oluşan gözleme yapıları, karık açmak, yırtma(havalandırma), teras oluşturmak vb.

Sorun: Meralarda ıslah işlemlerinin uygulanmaması

- Mera ıslahında, kaliteyi arttırmak amaçlı gübreleme, tohumlama, yabancı ot kontrolü en fazla uygulanan yöntemlerdir. Otlatma veya iklim değişikliği sonucu toprak veya bitki örtüsü bozulmuş meralarda öncelikle mera durumu belirlenmelidir. Sonrasında uygun ıslah yöntemi seçilmelidir.

- Kullanılmayan/az kullanılan meralarda, otların ekonomik katkı sağlamaşı için kullanımlarının teşvik edilmesi ve gerektiği zaman otların biçilerek değerdendirilmesi önerilebilir. Ayrıca Bölgede taban mera özelliği gösteren kaliteli ve yüksek verimli kesimlerin otunun biçilerek değerdendirilmesi, üretken mera kullanımı için daha uygun olacaktır.
- Meralarda yabancı ot popölasyonu yüksek olması durumunda uygun otlatma sistemleri ile veya hangi tür yoğunsa o türe özgü bir yabancı ot mücadele yöntemi (biyolojik, kimyasal, mekanik) seçilmelidir.
- Gübreleme mera verimliliği üzerinde oldukça etkilidir. Kimyasal veya organik gübreleme bu amaçla kullanılabilir. Toprak yapısının iyileştirilmesinde, toprak organik maddesi artırımı önemlidir. Bu nedenle organik gübreleme mera ıslah programlarına dâhil edilebilir. Bu tür uygulamalar mera bitkilerinin ihtiyacı olan su ihtiyacının ve bitkilerin besin ihtiyaçlarının bir kısmının giderilmesini de sağlayabilmektedir. Meralarda toprak iyileştirici organik gübreler üzerinde önemle durulmalı bu konuda da araştırmalara öncelik verilmelidir. Yapmış olduğumuz çalışmalarda, dinlendirilmiş hayvansal gübrelerin toprak, bitki ve ot verimliliğinde önemli iyileştirmelerde bulunduğu görölmüştür. Ancak bu gübrelerin miktarı, atılma sıklığı ve zamanı mera durumuna göre belirlenmeli ve kontrollü kullanımı sağlanmalıdır.
- Toplulaştırma ile gelen tarım alanlarının meraya dönüştürölmesi için Mera ıslah projesi yapılmalıdır. Toplulaştırma projelerinde mera konusunda uzman personelde dâhil edilmelidir.

Sorun: İdari sorunlar

- Mera kanunu yeniden revize edilerek, eksiklikler giderilmelidir.
- İl Tarım ve Orman Bakanlığının Müdürlüklerinin ayır Mera Şubelerinde personel sayısı artırılıp, mera yönetimi konusunda bölgede her yıl eğitimlerinin yapılması ve bu konuda bilinçlendirilmesi gerekmektedir.
- Mera yararlanıcılarının, mera yönetim birliklerinin ve çobanların eğitimi için İl Tarım ve Orman Müdürlüğü ve Halk Eğitim Merkezi Müdürlüğü iş birliği ile sürü yönetim eğitimi verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abdul-Jabbar, A.S., Sammis, T.W., & Lugg, A.P. (1982). Effect of moisture level on the root pattern of Alfalfa. *Irrigation Science*, 3, 197-207. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:39477448>
- Adams, K.M. (1996). Influence of sward defoliation and soil disturbance on seedling emergence and survival in the Southern Tall Grassveld. *Afr J. Range For Sci.* 13, 131- 136. doi: 10.1080/10220119.1996.9647909
- Altın M., (1992). Çayır ve Mera Islahı. T.U Facult of Agricultural Press. No: 152,13, s. 29
- Altın, M. & Tuna, C., (2001). Trakya meralarının bazı özellikleri ile yöre tarımındaki önemi. Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi, 17-21 Eylül 2001., Tekirdağ. 19-24.
- Altın, M., Gökkuş A. & Koç, A. (2005). Çayır Mera Islahı Ders kitabı. T. C. Tarım Ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Müdürlüğü, Ankara, 468 p
- Altın, M., Gökkuş, A. & Koç, A., (2011). Çayır Mera Yönetimi, I. Cilt (Genel İlkeler). T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, (2018). Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü. Toprak Organik Karbonu Projesi, Teknik Özet. Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/karbon-proje-27eylul2018-20211104152537.pdf>
- Anonim, (2021).Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Çevresel Göstergeler. Erozyon Tehlikesi Altındaki Alanlar. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/cevresel_gostergeler_-2021tr-rev-20220622105837.pdf
- Anonim, (2024). The UNCCD Global Land Outlook 2024.Thematic Report on Rangelands and Pastoralists is available for preview online at <https://bit.ly/4dv7ZPL>
- Bassiri, M., Wilson A.M. & Grand B. (1988). Root excision and temporary dehydration effects on emergence and seedling growth of 4 range species. *Journal of Range Management*, 41
- Bilgili, A. & Daşçı, M. (2015). The possible effects of drought on natural pastures. *Alinteri* 28 (B): 55-58
- Burke, I.C., Lauenroth, W.K., Vinton, M.A., Hook, P.B., Kelly, R.H., Epstein, H.E., Aguiar, M.R., Robles, M.D., Aguilera, M.O., Murphy, K.L. & Gill, R.A. (1998). Plant-soil interactions in temperate grasslands. *Biogeochemistry* 42:121-143. <https://www.jstor.org/stable/1469342>
- Chaves, M.M., Maroco, J.P. & Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant, *Funct. Plant Biol.*, 30: 239-264. DOI: 10.1071/FP02076
- Cheng, Y., Tsubo, M., Itoa T.Y., Nishihara, E. & Shinoda, M. (2011). Impact of rainfall variability and grazing pressure on plant diversity in Mongolian grasslands. *J. Arid Environ* 75:471-476. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.12.019>
- Chyba, J., Kroulík, M., Křištof, K., Misiewicz, P.A & Chaney K. (2014). Influence of soil compaction by farm machinery and livestock on water infiltration rate on grassland *J. Agronomy Research* 12(1), 59-64. <https://www.geyseco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C02410001.pdf>

- Da Silva, A.P., Imhoff, S. & Corsi, M. (2003). Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. *Soil & Tillage Research* 70(1), 83-90. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00122-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00122-8)
- Daşci, M., Koç A., Çomaklı, B., Güllap, M.K., Cengiz M.M. & Erkovan, H.I. (2010). Importance of annual and seasonal precipitation variations for the sustainable use of rangelands in semi arid regions with high altitude. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 5(16), 2184-2191, 18 August, 2010 Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR>
- Davidson, E., Belk, E. & Boone, R.D. (1998). Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, 4, 217-227. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1998.00128.x>
- Diñç, U. & Şenol, S., (1998). Toprak Etüt ve Haritalama. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Kitapları, Yayın No: A-50, Adana, 235s.
- Du Toit, GVN. (1986). Die fisiese uitwerking van beweiding deur skape op Karooveld. MSc Agric Dissertation, University of the Free State.
- Euckert, D.N., Whigham, T.L. & Spears, B.M. (1978). Effects of burning on infiltration, sediment and other soil properties in a mesquite-tobosagrass community. *Journal of Range Management*, 31, 420-425. <http://dx.doi.org/10.2307/3897199>
- Fakhar Izadi, N., Naseri K. & Mesdaghi, M. (2019). Investigation of relationship between precipitation and temperature with range production of grasslands in North and North-east of Iran. *Journal of Rangeland Science*, 2019, Vol. 9, No. 3, 277-284. <https://oiccpres.com/jrs/article/view/2708/6105>
- Gamoun, M., (2016). Rain use efficiency, primary production and rainfall relationship in desert rangelands of Tunisia. *Land Degradation and Development* 27(3):738-747. <https://doi.org/10.1002/ldr.2418>
- Gao, Y.Z., Chen, Q., Lin, S., Giese, M. & Brueck, H. (2011). Resource manipulation effects on net primary production, biomass allocation and rain-use efficiency of two semi-arid grassland sites in Inner Mongolia, China. *Oecologia* 165: 855-864. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1890-z>
- Garwood, E.A. & Sinclair, J. (1979). Use of water by six grass species. II. Root distribution and use of soil water. *Journal of Agricultural Science*, 93: 25-35 <https://doi.org/10.1017/S0021859600086081>
- Giorgi, F., Mearns, L., Shields, CA., & McDaniel, L. (1998). Regional nested model simulations of present day and 2 × CO₂ Climate over the central plains of the U.S. *Climatic Change*, 40, 457-493. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:150471722>
- Gliessman, S.R (Ed). (2000). Agroecosystem sustainability: Developing Practical Strategies (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420041514>
- Gökkuş, A., & Koç, A. (1993). The nitrogen cycle within rangeland ecosystems. *Journal of Ecology* 7: 3-9

- Guido, R., Zolloa, A., Tommasib, P., Paciuccib M., Comegnac, L. & Mercoglianoa, P. (2014). Evaluation of the effects of climate changes on land slide activity of Orvieto clayey slope *Procedia Earth and Planetary Science* 9, 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2014.06.017>
- Günay, S., Kurt, C., Şen, C. & Tuna, Y.T., (2015). Farklı eğim derecelerindeki korunan ve otlatılan meralarda bazı ıslah metotlarının bitki örtüsü ve su erozyonuna etkileri. Gıda Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Proje No: TAGEM-TA-071102002 Yayın No: TAGEM 2015-1
- Hafercamp, M.R., Volesky J.D, Borman M.M., Heitschmidt R.K. & Currie P.G. (1993). Effect of mechanical treatments and climatic factors on the productivity of Northern Great Plains Rangelands. *Journal of Range Management*, 46: 346-350. DOI: 10.2307/4002470
- Hahn, B.D., Richardson, F.D., Hoffman, M.T., Roberts, R., Todd, S.W. & Carrick, P.J. (2005). A simulation-model of long term climate, livestock and vegetation interactions on communal rangelands in the semi-arid succulent Karoo, Namaqualand, South Africa, *Journal of Ecological Modelling*. 183: 211-230 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.028>
- Herbel, C.H. & Gibbens, R.P. (1989). Metric potential of clay loam soils on arid rangelands of the Southwestern United States. Proc. XVI. Int. Grassl. Cong., France, 519-520. DOI: 10.2307/3899545
- Herbel, C.H. & Pieper, R.D. (1991). Grazing management. semiarid lands and deserts; soil resource and reclamation. Ed. J. Skujins, Marcel Dekker, Inc. New York., 361-385. <https://doi.org/10.1201/9781482293319>
- Hermias, C. van der W., du Preez, C.C., & Snyman, H.A. (2022). Rangeland degradation impacts on vegetation cover, soil properties and ecosystem functioning in an arid and semi-arid climate, *South Africa Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2022, 10, 10-32 <https://www.scirp.org/journal/gep>
- Hicks, R.A., Briske, D.D., Call, C.A. & Ansley, R.J. (1990). Co-Existence of a perennial C3 bunchgrass in a C4 dominated grassland: An Evaluation of Gas Exchange Characteristics. *Photosynthetica*, 24: 63-74. <https://agrilife.org/vernon/files/2012/11/ANS1990-05-Hicks-et-al-PSTCA24-63-74.pdf>
- Holechek, J.L., Pieper, R.D. & Herbel, C.H. (2004). Range management: Principles and practices. Prentice Hall, New Jersey 607.
- Holechek, J., Hatim L., Geli, M.E., Cibils, A.F. & Sawalhah, M.N. (2020). Climate change, rangelands, and sustainability of ranching in the Western United States Sustainability, 12:494. <https://doi.org/10.3390/su12124942>
- Howden, S.M., Crimp S.J., & Stokes C.J. (2008). Climate change and Australian livestock systems: Impacts, research and policy issues. *Aust. Journal Exp. Agric.*, 48, 780-788, <https://doi.org/10.1071/EA08033>.
- IPCC, (1995). Impacts, adaptation and mitigation options, IPCC, Working Group II, p. 878, Cambridge University Press, Cambridge. <https://www.ipcc.ch/report/ar2/wg2/>

- Jacobs, L. (1988). Amazing Graze: How the livestock industry is ruining the american west. United Nations Environmental Program. *Desertification Control Bulletin*, No. 17, 13-17.
- Kemp, P.R. & Williams, G.J. (1980). A physiological basis for niche separation between *Agropyron smithii* (C3) and *Bouteloua gracilis*(C4).*Ecology* 61: 846- 858. <https://doi.org/10.2307/1936755>
- Kinucan, R.J., & Smeins, F.E. (1992). Soil seed bank of a semi-arid Texas Grassland under three long-standing (36-years) grazing regimes. *Am. Midl. Nat.* 128, 11-21. doi: 10.2307/2426408
- Knapp, A.K., Beier C., Briske D.D., Classen A.T., Luo Y., Reichstein M., Smith M.D., Smith S.D., Bell, J.E., Fay P.A., Heisler J.L., Leavitt S.W., Sherry R., Smith B. & Weng E., (2008). Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems, *BioScience*, Volume 58, Issue 9, October 2008, 811-821, <https://doi.org/10.1641/B580908>
- Koç, A. (1995). Effects of topography and soil moisture and temperature on some properties of rangeland covers. (PhD Thesis). Atatürk Univ. Graduate School of Natural and Applied Sciences. Department of Field Crops, Erzurum.
- Koç, A. (2001). Autumn and spring drought periods affect vegetation on high elevation rangelands of Turkey. *Journal Range Management*, 54: 622-627. DOI: 10.2307/4003594
- Kotzé, E., Snyman, H.A. & Du Preez, C.C. (2020). Rangeland management and soil quality in South Africa. In R. Lal, & Steward, BA. (Eds.), *Soil Degradation and Restoration in Africa* (pp. 145-170). Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22321-8>
- Lauenroth, W.K., Dodd J.L. & Sims P.L. (1978). The effects of water-induced and nitrogen-induced stresses on plant community structure in a semi-arid grassland. *Oecologia* 36: 211-222.
- Le Houerou H.N. (1984). Rein use efficiency: a unifying concept in arid land ecology. *Journal Arid. Environ.*, 7: 213-247. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)31362-4](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31362-4)
- Liu, S., Wan, L., Nie, Z. & Li, X. (2020). Fractal and topological analyses and antioxidant defense systems of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Root System under Drought and Rehydration Regimes. *Agronomy*, 10(6), 805. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060805>
- Martin, R., Müller, B., Linstädter, A. & Frank K. (2014). How much climate change can pastoral livelihoods tolerate? Modelling rangeland use and evaluating risk. *Global Environmental Change* 24: 183-192 DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2013.09.009
- Mood, S.G. (2008). A Contribution to some ethnobotanical aspects of Birjand Flora (IRAN), *Pak. Journal Bot.*, Vol. 40, p. 1783-1791. [https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40\(4\)/PJB40\(4\)1783.pdf](https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40(4)/PJB40(4)1783.pdf)
- Moret-Fernandéz, D., Pueyo, Y., Bueno, C.G. & Alados, C.L. (2011). Hydro-physical responses of gypseous and non-gypseous soils to livestock grazing in a semi-arid region of NE Spain. *Agricultural Water Management* 98(12), 1822-1827. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.001>.
- Munkhtsetseg, E., Kimura, R., Wang, J. & Shinoda, M. (2007). Pasture yield response to precipitation and high temperature in Mongolia. *Journal of Arid Environments* (70): 94-110, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.11.013>

- Naderi, H., (2007). Analysis of vegetation in relation to topography and some of soil physico chemical characteristic in Nodoushan Rangeland, Yazd Province. MS thesis, Tarbiat Modares University, 150p (In Persian).
- Öztürk, O. (2021). Kırklareli koşullarında farklı damla sulama lateral derinliklerinin yalın ve karışım halinde ekilen yoncanın verimi, kalite parametreleri ve kök gelişimi üzerine etkisi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 133.
- Pietola, L., Horn, R. & Yli-Halla, M. (2005). Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. In: *Soil Tillage Research* 82: 99-108. DOI: 10.1016/j.still.2004.08.004
- Pittock, A.B. (1993). A climate change perspective on grasslands. Proc. XVII Int. Grassland Cong. 13-16 February; Palmerston North, NewZealand, 1061-1067,
- Pittock, A.B. (1995). Climate change and world food supply: special issue of global environmental changes and food policy. *Environment*, 37: 25-30. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00139157.1995.9930960>
- Polley, H.W., Bailey, D.W., Nowak, R.S. & Stafford-Smith M. (2017). Ecological consequences of climate change on rangelands. *Rangeland Systems*, 229-260. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-46709-2_7
- Schenk, H.J. & Jackson, R.B. (2002). Rooting depths, lateral root spreads and belowground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *Journal of Ecology* 90: 480-494. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2745.2002.00682.x>
- Schönbach, P., Wan, H., Gierus, M., Loges, R., Müller, K., Lin, L., Susenbeth, A. & Taube, F. (2012). Effects of grazing and precipitation on herbage production, herbage nutritive value and performance of sheep in continental steppe. *Grassland Forage Science* 67: 535-545. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2494.2012.00874.x>
- Sharp, R. & Davies, W. (1985). Root growth and water uptake by maize plants in drying soil, *Journal Exp. Bot.*, 36: 1441-1456 <https://academic.oup.com/jxb/article-abstract/36/9/1441/425813?redirectedFrom=fulltext>
- Smart, A., Dunn, B., Johnson, P., Xu, L. & Gates, R., (2007). Using weather data to explain herbage yield on three great plain plant communities, *Journal of Rangeland Ecology and Manage.* 60(2):146-153. <https://doi.org/10.2111/05-099R4.1>
- Smith, R.E. (1990). Analysis of Infiltration through a two-layer soil profile. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 1219-1227. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400050004x>
- Şen, C. (2017). The effects of soil moisture and temperature on vegetation composition and yield at different pasture sites. *Journal Agric.Sc & Vet. Med.*, vol. 5 no 2, 1-10. <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/384711>
- Şen, C. & Öztürk, O., (2017). The relationship between soil moisture and temperature vegetation on Kırklareli City Lüleburgaz District a natural pasture vegetation. *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* ISSN:[2454-1850] [Vol-3, Issue-3, March- 2017 <https://ijoeear.com/issue-detail/issue-march-2017>

- Şen, C. (2020). Climate, drought and pasture innovative approaches in meadow-rangeland and forage crops, Chapter 1,3-29 İksad Yayınevi. <https://iksadyayinevi.com/home/innovative-approaches-in-meadow-rangeland-and-forage-crops/>
- Şen, C., Balkan A., Başer İ. & Bilgin O., 2022. The climate change impacts on cultivated agricultural areas and natural vegetation. Innovative Agricultural Practices In Soil, Plant And Environment, Chapter 10 İksad Yayınevi, . 285-327. <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2022/03/INNOVATIVE-AGRICULTURAL-PRACTICES-IN-SOIL-PLANT-AND-ENVIRONMENT.pdf>
- Tarman, Ö., (1972). Yem Bitkileri, Çayır ve Mera Kültürü. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 464, Cilt: I, Ders Kitabı No: 157, Ankara
- Te Krony, D.M & Egli D.B. (1991). Relationship of seed vigor to crop yield: a review. *Crop Sci.*, 31: 816-822. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100030054x>
- Terri, J.A. & Stowe, L.G. (1976). Climatic patterns and the distribution of C4 grasses in North America. *Oecologia* 23: 1-12. <https://doi.org/10.1007/bf00351210>
- Thurow, T.L., Charles, A. & Taylor, J.R. (1999). Viewpoint: the role of drought in range management. *Journal of Range Management*, 52 (5), 413-419. <http://hdl.handle.net/10150/644044>
- Tieszen, L.L., Senyimba, M.M., Imbamba, SK. & Troughton, JH. (1979). The distribution of C3 and C4 grasses and carbon isotope discrimination along an altitudinal and moisture gradient in Kenya. *Oecologia* (Berlin), 37: 337-350. DOI: 10.1007/BF00347910
- Tosun, F. (1976). Çayır Mera ve Yayla Kültürü ve Bunlardan Faydalanma Yöntemleri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fak. Ders Notları, Erzurum.
- Türkeş, M. (2010). Klimatoloji ve Meteoroloji. Birinci Baskı, *Kriter Yayınevi* - Yayın No. 63, *Fiziki Coğrafya Serisi* No. 1, ISBN: 978-605-4613-26-7, 650 + XXII sayfa: İstanbul. <https://www.kriter yayinevi.com/wp-content/uploads/2022/10/KLIMATOLOJII-VE-METEOROLOJII.pdf>
- Vallentine, J.F. (1990). Grazing Management. Academic Press. San Diego, California
- Waller, S.S., Moser, L.E., Reece, P.E. & Gates, G.A. (1985). Understanding grass Growth : The key to profitable livestock production.Univ.of Nebreska, *Inst. Of Agric. And Natirul Res. Center of Grassland Studies*, 18 p.
- Weber, K.T. & Gokhale, B. (2010). Effect of grazing treatment on soil moisture in semiarid rangelands 161-174 in K.T. Weber and K. Davis (Eds.), Final Report: Forecasting Rangeland Condition with GIS in Southeastern Idaho (NNG06GD82G). 189. https://giscenter.isu.edu/research/techpg/nasa_oneal/pdf/ch15.pdf
- Wenberg, W. (1959). Çayır meralarda toprak ve su muhafazası. En büyük tehlike erozyon. *Tabiatı Koruma Cemiyeti Yay.* No:5. S. 109-111. https://acikders.ankara.edu.tr/plugin-file.php/91217/mod_resource/content/1/hafta14.pdf
- Weniger, F.C. (1973). Fundamental of Turkey Field Culture Mentess Press, İstanbul

- Wilkes, A. (2008). Towards mainstreaming climate change in grassland management policies and practices on the Tibetan Plateau, *ICRAF Southeast Asia Working Paper* No 68. <https://www.cifor-icraf.org/publications/downloads/Publications/PDFS/WP08200.pdf>
- Xiao, C., Janssens, I.A., Liu, P., Zhou, Z. & Sun, O.J. (2007). Irrigation and enhanced soil carbon input effects on below-ground carbon cycling in semiarid temperate grasslands. *New Phytologist* 174: 835-846. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02054.x>
- Yu, Y., Wei, W., Chen, L. D., Jia, F. Y., Yang, L., Zhang, H. D., & Feng, T. J. (2015). Responses of vertical soil moisture to rainfall pulses and land uses in a typical loess hilly area, China, *Solid Earth*, 6, 595-608, <https://doi.org/10.5194/se-6-595-2015>, 2015.

İKLİME DUYARLI TOPRAK YÖNETİMİ

Duygu Boyraz Erdem¹

¹Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-9130-8769 dboyraz@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

İklim değişikliği günümüzde daha sık gözlemlenmeye başlayan sonuçları itibariyle önemli bir küresel sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda küresel ölçekte yaşanan taşkın, yangın ve kuraklık gibi doğal afetler, tüm ekosistemi ve insan yaşamını tehdit etmekte; bu afetlerin görülme sıklığı, etkisi ve süresinde artışlar gözlemlenmektedir. İklim değişikliği artık bir çevre sorunu olmaktan öte doğrudan insan yaşamının sürdürülebilirliğini sağlayabilme sorunudur. Gelecek nesillerin yaşam standartlarının sağlanabilmesi için iklim değişikliğine karşı gerekli önlemleri almak artık kaçınılmazdır (Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, 2021).

İklim değişikliği etkilerinin ortaya çıkacağı sektörlerin başında tarım sektörü gelmektedir. Tarım büyük ölçüde iklim olaylarına bağlı olarak yapılan bir faaliyet olduğu için (Bazzaz ve Sombroek, 1996), iklim değişikliğinin tarıma etkisi diğer sektörlerden daha fazladır. Ayrıca, tarım, doğal kaynakları kullanan bir faaliyet olması nedeniyle toprak ve su kaynakları üzerinde etkilidir ve doğal kaynaklardaki değişiklikler tarımsal üretimi etkilemektedir. Tüm bu

özellikler ve diğer sektörlerden farklı yapısı nedeniyle tarım, iklim değişikliğinin getireceği etkilerden daha fazla etkilenmekte ve etki genişliği daha fazla olmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012).

İklim değişikliği ile aşırı sıcaklıklar ve azalan yağışlar nedeniyle toprakta bitki için gerekli olan yararlı su miktarı azalmaktadır. Bununla birlikte, toprakların organik madde içeriklerinin düşük olması nedeniyle toprakta tutulan su miktarını önemli düzeyde etkilemekte ve özellikle kuru koşullar altında yetiştirilen bitkilerde verim ve kalite özelliklerinin düşmesine sebep olmaktadır.

İklim değişikliğinin etkilerinin fazlasıyla hissedildiği son yıllarda iklim değişikliğinin etkileriyle başa çıkmanın yolları daha yoğun şekilde aranmaya başlanmıştır. Bu süreçte toprakların yönetimi, mevcut durumun tespiti, mevcut-taki toprak özelliklerinin iyileştirilmesi ve sonucunda da iklim değişikliğinden en az düzeyde etkilenilmeye çalışılması hedeflenmektedir.

2. ÇÖLLEŞME/ TOPRAK BOZULUMU/ ARAZİ TAHRİBATI NEDİR?

Çölleşme veya toprak bozulumu veya arazi bozulumu ülkemiz ve dolayısıyla dünya mirasından geri getirilemez boyutlarda kaybetmeye başladığımız veya tamamen yitirdiğimiz doğal kaynağımız olan toprakların yeryüzündeki işlevlerinin değişkenliği ile biyo-üretkenliğinin kaybedilmesidir. Çölleşme, kamuoyunda toprak/arazi bozulumuna oranla kelime olarak ürkütücü ve kalıcı bir imaj yaratmak için tercih edilen bir tanım olarak kabul edilmektedir.

Bilimsel boyutuyla çölleşme, kutup ve kutup altı bölgeler dışında kalan ve yıllık yağışın, potansiyel evapotranspirasyona oranının 0,05 ile 0,65 arasında değiştiği yöreleri kapsayan kurak, yarı kurak ve kuru alt nemli alanlarda iklim değişiklikleri ve anızın yakılması, arazileri çoraklaştırma, organik ve inorganik atıklarla toksin elementlerin birikimi, radyoaktif bulaşmalar, aşırı gübre kullanımı, yanlış sürüm ve işleme teknikleri ile toprakların kompaksiyonu, yüzeyde kabuk oluşumu, ormansızlaşma, yanlış mera yönetimi, yanlış ve amaç dışı arazi kullanımı gibi birçok yanlış eylemler ile insan aktivitelerinin de dâhil olduğu çeşitli etmenlerin sonucunda ortaya çıkan “arazi bozulumu”dur. Özellikle sanayi devriminden sonra dünyanın gündeminden düşmeyen iklim değişikliği karşılaştırılabilir zaman dilimleri içinde gözlenebilen doğal iklim

değişikliklerine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini özellikle karbondioksit, metan, diazotmonoksit, hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar ve kükürtheksaflorür gibi sera gazlarıyla bazen insan aktiviteleri sonucunda iklimde ortaya çıkan değişimleri ifade etmektedir.

Toprak bozulumu insanlar tarafından genellikle yanlış kullanımların neden olduğu eylemler sonucunda toprağın fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik özelliklerinin yitirilmeleri ve bozulmaları sonrasında ortaya çıkan ve verimliliklerinin düşmesine neden olan toprak kalitesindeki azalmalardır. Bu kavrama organik maddenin kaybı, toprak verimliliğinin azalması, toprak yorgunluğu, toprağın strüktürel konumunun değişimiyle bozulumu, erozyon, tuzlulukta istenmeyen değişimler, asitlik veya alkalileşmenin oluşması, toksin kimyasalların ve kirleticilerin etkileri, aşırı su baskınları, gleyleşme ve bunun gibi verimliliğe etken tüm faktörlerin olumsuz etkilenmesinin ortaya çıkardığı olaylar dâhildir.

Toprak, dünyamızı oluşturan hava, su ve kara bileşenleri arasında yer alan ve başta insan olmak üzere tüm canlıların yaşamının temelini oluşturan çok önemli bir doğal kaynaktır. Bir fındık tanesi büyüklüğündeki toprak parçası içinde dahi bizlerin göremeyeceği boyutta binlerce canlı yer almaktadır. Tüm bu canlıların yaşamlarını etkileyen, kullanım açısından ihtiyaçlarını karşılaması açısından toprağın en önemli bölümü yüzey toprağıdır yani tarımsal alan için kullanılan bölümdür. Bu olgu keşfedildikten bu yana toprak yüzeyi ihtiyaca binaen çoğu alanda kullanıma başlanmıştır. Özellikle toprağı işleme yani tarım hız kazanmıştır. Bununla beraber ivme kazanan başka bir husus ise toprağın tüketilmesi yani tahribi olmuştur. Özellikle de sanayii devriminden sonra birim alanda olabildiğince fazla üretmek amacıyla devreye sokulan tarımsal uygulamalar toprak kaynaklarına büyük bir darbe vurmuştur. Toprağın sahip olduğu fiziksel, kimyasal biyolojik özelliklerin bir daha ulaşılamayacak şekilde yok olma durumuna tüketmek bir diğer deyişle arazi tahribatı diyebiliriz (Karaca ve Turgay, 2012).

Arazi tahribatı sadece bölgesel bir sorun değildir. Sonuçlarının verdiği ciddi zararlardan dolayı tüm dünyanın ortak bir sorunu olmuştur. Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesine (UNCCD) göre, yer küremizde tarımsal açıdan kullanılabilecek arazilerin %25'i tahrip olmuştur. Bu kayba sadece ekonomik açıdan bakıldığında yılda kırk milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir. Her yıl 12 milyon hektarlık arazi "Birleşik Krallık arazisinin yarısı

kadardır” beşerî faktörlerinden dolayı tahrip olmaktadır. 1981-2003 yılları arasında uzaktan algılama verileri kullanılarak yapılan küresel arazi tahribatı analizi 22 yıllık dönem süresince arazilerin %24’ünün bozulmuş olduğunu göstermiştir. Bu değerlendirmede tarım alanlarının ve ormanların orantısız bir şekilde tahrip olduğu belirlenmiş, degrade alanların %19’unu tarımsal alanlar, %43’ünü orman alanları oluşturmuştur. Bu tahrip %78’inin nemli bölgelerde, %22’sinin kurak alanlarda meydana geldiğini belirlenmiştir (Dengiz ve ark., 2020).

Arazi tahribatının neden olduğu sonuçları hem doğal ekosistemi hemde insanoğlunun refahını baltalamaktadır. Özellikle tarımsal arazi kaynaklarının tahribi toprak bozulmasına ve sonuç olarak verimi azaltmasına neden olmaktadır. Bu sorun çiftçileri daha fazla girdi kullanmaya zorlayacağı ve sonunda toprağın terk edilmesine yol açabileceği için gıda güvenliği için bir tehdit oluşturmaktadır (Gomiero, 2016).

Özetle Arazi Tahribatı, Doğada yürüyen ve toprağı etkileyen genetiksel olaylarla ve/veya insanların toprağı yanlış ve amaç dışı yönetim etkinlikleri sonucunda oluşmasına neden oldukları sorunlar ile arazilerin kendine özgün doğal ekolojik görevinin ve/veya ekonomik işlevlerinin sürdürülebilirliğinin çok uzun devam edememesi veya yitirilmesidir.

2.1. Arazi Tahribatının Nedenleri

Arazi tahribatının nedenleri 3 kategori altında toplanmaktadır. Bunlar: A) Doğal nedenler, B) Teknik nedenler ve C) Sosyoekonomik, yönetsel ve yasal nedenlerdir.

Doğal nedenler: A1- Toprak aşınımı; su ve rüzgâr erozyonu, kumul hareketleri,

A2- Topraklardaki bitki besin elementlerinin yüzeyden veya yıkanmayla profilden uzaklaşarak toprak verim kalitesindeki bozulmalar,

A3- İklimsel değişimlerdir.

Teknik nedenler: B1- Ormansızlaşma,

B2-Meraların, özellikle yamaç alanlarındaki meraların, yanlış, düzensiz, kontrolsüz ve zamansız- ağır biçimde otlatılmaları,

B3-Hidrojeolojik yapının veya hidrolojik döngünün yapay yollarla etkilenmesi,

B4- Anız yakımı,

B5-Tarım topraklarının yanlış yönetimi ve toprak yorgunluğunun oluşması,

B6- Çiftçi uygulamalarında tarla içi plansız sulamanın neden olduğu yüksek taban suyunun sürekli etkisi, çoraklaşma etmenleri ve sulama oranı ve randımanın arzu edilen düzeylerde olmaması,

B7- Tarım ve orman niteliğindeki alanların amaç dışı kullanımı (Toprak betonlaşması),

B8- Özellikle tarım topraklarındaki tuzlulaşma, alkalileşme gibi çoraklaşma ile asitleşme sorunları,

B9- Endüstrinin organik/inorganik atıkları ve deterjanlar gibi evsel atıklarla toprakların kimyasallarla bulaşması ile toksin elementlerin birikimi,

B10- Toprak sıkışması ile pulluk (altı)/trafik katmanlarının oluşması ile ortaya çıkan strüktürsüzleşme ve kabuklaşma gibi toprakların fiziksel bozulumu,

B11- Tarım ve orman ekosistemlerinin plansız olarak yönetimi veya arazilerin yanlış kullanımı veya tarım, mera ve orman alanlarının karşılıklı olarak yanlış yapılanmaları (orman alanının tarım, tarım alanının mera, orman alanının mera, mera alanların tarım vb. gibi yanlış kullanılmaları ve bu yapılanmaların yasal eksiklikler nedeniyle önlenememesi)'dir.

Sosyoekonomik, yönetimsel ve yasal nedenler: C1-Farklı amaçlar için arazi yönetimi ve kullanılması yetkisinin birçok kurum ve kuruluşun idaresinde olması ve kendi aralarındaki eşgüdüm eksikliği veya kopukluğu nedeniyle toprak kullanımının ve korunmasının kavram kargaşasına neden olması ve doğal kaynakların rasyonel kullanımına uygun mevzuatın olmaması veya yetersiz kalması nedeniyle yasal mevzuattan kaynaklanan sorunlar.

C2- Arazi bozulumuyla ilişkin tüm sorunların neden olduğu doğal kaynakların yitilmesi ve bu kaynakları doğrudan veya dolaylı biçimde kullanan ülke insanların gelirlerinin önemli ölçüde düşmesiyle ve göreceli olarak daha zengin doğal kaynak alanlarına göç.

C3- Uygun/modern ve/veya çağın teknolojisini yakalayabilmiş, yenilenmiş geleneksel sürüm ekim- dikim- bakım- sürdürülebilir mera ve orman yöneti-

mi kuramlarını üreticilere eğitimle ve uygulama-larla benimsetilmemesi olgusunun gündeme getirdiği eğitimsizliktir (Cangir ve Boyraz, 2000, 2005).

2.2. Toprak/Arazi Bozulumunu/ Arazi Tahribatını Ortaya Çıkaran Etmenler ve Bu Etmenlerin Alt Başlıkları

ÇÖLLEŞME= ARAZİ BOZULUMU=TOPRAK BOZULUMU= ARAZİ TAHRİBATI

A -Yasal Mevzuattaki Sorunlar

B - Kırsal Alanda ve Kentte Yaşayanların Bilinçlendirilmemesi

C - Kırsal Alanda Yaşayanların Ekonomik Sorunlarının Giderilmemesi ve Kırsal Fakirliğin Kaldırılmamasıyla Sosyoekonomik Sorunlara Çözüm Getirilememesi

D - İklim Etkisi

D - 1) Ülkesel

D - 2) Küresel

E - Orman Bozulumu

E - 1) Yanlış yönetim

E - 2) Ormansızlaşma

F - Su kaynaklarının kullanılma oranının ve randımanının düşüklüğü ve iyileştirilmemesi

G - Biyoçeşitliliğin korunamaması

H - Arazi (Tarım ve hayvancılık sektörü arazilerinin) Yönetimindeki Sorunlar

H - 1) Tarım topraklarının yanlış kullanımı

H - 2) Tarım topraklarının amaç dışı kullanımı (Toprak betonlaşması)

H - 3) Çayır ve meraların yanlış yönetimi

I - Hızlandırılmış Toprak Erozyonu Varlığı

I - 1) Su erozyonu

I - 2) Rüzgâr erozyonu

I - 3) Kumullaşma ve kumul hareketleri

İ - Arazilerin Kimyasal ve Biyolojik Bozulmaları

- İ - 1) Organik madde (humus) kaybı
- İ - 2) Anız Yakma
- İ - 3) Tuzlulaşma- alkalileşme- çoraklaşma
- İ - 4) Organik atıklar (Toksin elementlerin birikimi)
- İ - 5) Sanayinin inorganik atıkları (Toksin elementlerin birikimi)
- İ - 6) Deterjanlar vb gibi kimyasallarla bulaşma
(Toksin elementlerin birikimi)
- İ - 7) Ağır metal bulaşmaları
- İ - 8) Radyoaktif bulaşmalar
- İ - 9) Pestisit kirliliği
- İ - 10) Bulaşıcı hastalık ve böcekler
- İ - 11) Aşırı gübre kullanımı
- İ - 12) Antagonist etkileşim
- İ - 13) Bitki besin elementlerinin yüzeyden uzaklaştırılması
- İ - 14) Yıkanmayla bitki besin elementlerinin azalması
- İ - 15) Asitleşme
- İ - 16) Toprak yorgunluğu
- İ - 17) Devamlı ve/veya periyodik ıslaklık, gleyleşme

K - Arazilerin Fiziksel Bozulumu

- K - 1) Kompaksiyon: Pulluk veya trafik katmanı oluşumu
- K - 2) Levhalı strüktür hâkimiyeti
- K - 3) Strüktürsüzlük oluşumu veya masifleşme
- K - 4) Kabuk bağlama

2.3. Toprak/Arazi Bozulmasını/ Arazi Tahribatı ile Mücadele

Arazi tahribatı ile mücadele arazilerin ve tarım topraklarının uygulanması gerekli amenajman uygulamaları doğrultusunda, doğal nitelik ve yeteneklerine uygun kullanılarak, ekonomik verimliliği de düşünülerek geliştirilen “Bütünleşik Sürdürülebilir Havza Yönetimi” İlkelerine bağlı kalarak oluşturulan Sürdürülebilir Arazi Yönetimi kuramlarıdır. Bütünleşik Sürdürülebilir Havza Yönetimi, kırsal ve kentsel tasarımını yasalarımızdaki çevre düzeni planı kavramı çerçevesinde oluştururken, tüm arazi kullanım türlerini birliktelik ilkeleri içinde değerlendirmek ve yalnız kendi amacına dönük bağımsız planların yapılmasıyla doğanın ekolojik işlevini de göz ardı etmemektir. Örneğin bir alt havza ve havza ölçeğinde arazilerin yönetim planları yaparken mera, çayır, orman, fundalık, makilik, tarım topraklarının amenajmanını ve sanayi, toprak sanayi, turizm, ikinci konut, yazlık yerleşim, turizm vb. gibi yerleşim yerleriyle birlikte kentsel tasarımı ayrı ayrı bağımsız koşullarıyla bireysel olarak değerlendirmeyerek; farklı mesleklerin ortak ve birbiriyle örtüşen coğrafi bilgilendirme sistemi bakış açısıyla (eşik analizi boyutuyla); ekolojik dengeler de gözetilerek; Anayasamızın 35. maddesindeki “mülkiyet hakkının kullanılması toplum yararına aykırı olamaz” hükmüne bağlı kalarak planların ve geleceğe dönük demografik yapı gelişimleri de göz önünde tutularak orta vadeli uygulama programlarının ortaya konmasıdır (Boyraz, 2012).

Arazi tahribatı ile mücadele programlarının temel amaçları:

- Mevcut sağlıklı araziye koruyarak yeni arazi bozulmalarının önüne geçmek;
- Biyolojik çeşitliliği, toprak sağlığını ve gıda üretimini artırırken bozulmayı yavaşlatabilen sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarını benimseyerek mevcut bozulmayı azaltmak;
- Bozulmuş toprakların doğal veya daha üretken bir duruma getirilmesi ve onarılması için çabaların artırılması.

Arazi tahribatı ile Mücadele İçin Temel İlkeleri:

- İklim değişikliği senaryolarını da içeren koşulları da kapsayan durumlarda ve toprak bozulmasına karşı baskı altında olan hassas arazilerde, çölleşme düzeylerinin bilimsel ölçütler kullanılarak belirlenmesi ve benzer alanların dağılımlarının saptanması,

2. Maddede belirlenen hassas alanlar öncelikle olmak üzere, korunması gereken ekosistemlerin ve biyo çeşitliliğe anlamlı oranda sahip bölgelerin seçimi ve bu alanlarda da izleme merkezleri kurarak, bilimsel veri tabanını oluşturmak,
3. Komşu ülkelerin ve dünyanın izlediği yöntemlerde irdelenerek güncel çevre koruma ve sürdürülebilir kullanım politikalarının irdelenmesi; varsa eksikliklerinin giderilmesi için zamanında önlem alınması,
4. Ayrıca yeni ve/veya ek politikaların bilimsel düzeyde, ekonomik boyutlarıyla, sosyal ve teknik ölçütlerin uygulanabilme sistem ve düzeneklerinin belirlenmesi,
5. Arazi bozulumu konusunda toplumun bilinçlendirilmesi amacıyla kamunun, ilgili toplulukların ve özellikle çölleşmeden etkilenen toplulukların her türlü yayın ve yayım araçlarıyla bilgilendirilmesinin ve ulusal bilgilendirme seminerlerinin düzenli yapılmasının sağlanması,
6. Çölleşme ile Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programında yer alan düzenlemeler, etkinlikler ve öngörülen sürelerde yapılması gerekli çalışmaların bütün süreçlerinde kamu kurum ve kuruluşlarının, yerel yönetimlerin, sivil toplum kuruluşlarının, yerel toplulukların ve diğer ilgili grupların yerel, bölgesel ve ulusal düzeylerde etkin katılımının sağlanması,
7. Gerekli olan alt havzalarda ve bölgelerde erken uyarı sistemlerinin bilgi ağları aracılığıyla oluşturularak bir merkeze bağlı olarak bilgi (veri toplama) bankasını fonksiyonel kılmak,
8. Diğer ülkelerin ulusal eylem programlarıyla bağlantı kurulması, bilgi ağları aracılığıyla bilgi alışverişinin sağlanması ve Bölgesel Eylem Programları (Ulusal programların güçlendirilmesi ve uyum içinde uygulanmasına yardımcı olabilmek amacıyla bir bölge içinde yer alan ülkelerin birlikte hazırladığı programa verilen isim)'nın oluşturulması,
9. Yukarıda izlenen yollar ve yöntemlerden elde edilen deneyimler yardımıyla ulusal stratejilerin oluşturularak çölleşmenin durdurulması ve/veya etkilerinin en alt düzeye indirilmesi için gerekli önlemlerin alınması ve sürdürülebilir arazi ve su kullanımlarının geliştirilmeleriyle sürdürülebilir arazi/su yönetimlerinin oluşturulması, biyoçeşitlilik alanlarının korunmaya alınması ve bu kullanımlardan oluşabilecek sosyal çelişkilerin önlenbilmesidir (Cangir ve Boyraz 2008).

Arazi tahribatına ilişkin etki ve çözüm önceliğine bağlı sorunların

A) Düzeltilemeyen kalıcı arazi tahribatı sorunları ve

B) Düzeltilebilir arazi tahribatı sorunları olarak sınıflandırılması da yapılmaktadır.

A-Geriye kazanılamayacak biçimde toprak/arazi ve su kaynaklarının yitilmesine neden olan ögeler:

A1) Toprak betonlaşması (toprak örtülmesi, kaynak tüketimi, çarpık kentleşme, yanlış kentleşme ve amaç dışı arazi kullanımı, toprak mühürlenmesi)

A2) Yapı ve tuğla, kiremit, seramik gibi toprak sanayi kolunda toprakların, yerüstü ve yeraltı kayaçlarının ham madde olarak aşırı düzeyde kullanımıyla, ekosisteme zarar verecek boyutta yer almasıdır.

B-Düzeltilebilir çölleşme sorunlarında bölgemiz için öncelikli olanlar:

B1) Erozyon

B2) Ormansızlaşma

B3) Mera alanlarının bozulumu

B4) Toprakların organik madde kaybı

B5) Arazilerin fiziksel bozulmaları

B6) Yanlış arazi kullanımı

B7) Kullanılabilir suyun azalması

B8) Çoraklaşma ve toksin elementlerce bulaşma

B9) Sulanan topraklarda tuzluluk sorunu

B10) Tarım ilaçları

B11) Toprak kirlenmesi

B12) Doğal vejetasyon ve biyoçeşitliliğin bozuludur.

Düzeltilebilir çölleşme sorunlarının çözümü için ana paydaş “kırsal ve kentsel bölge için bütünleşik çok meslekli görüşlere ve önerilere yönelik Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Planları”nın havza boyutunda yapılmasıdır (Anonim 2005).

3. TOPRAK/ARAZİ BOZULUMUNU/ ARAZİ TAHRİBATINI ÖNLEMELİK İÇİN ÖNERİLER

1. Ayrıntılı toprak haritalarının ve Arazi kullanım planlarının acilen yapılmasının gerekliliği,
2. Trakya Bölgesinin Tarımsal Sit Alanı ilan edilerek diğer kullanımlara yenilerinin eklenmesinin önüne geçilmesi,
3. Arazilerin tarım dışı amaçlı kullanımı ile ilgili farklı Kurumların ve Kuruluşların Yetki kargaşasının kaldırılması (tek kamu kurumunun yetkilendirilmesi),
4. Yetkili kurumun yetkisi, denetimi, cezai uygulamasının yaptırımı olacak ve ceza uygulamalarının caydırıcı olacak şekilde uygulanması,
5. Arazi bütünlüğünü koruyacak çiftçi ve diğer toplum örgütlerinin sayısının ve etkinliğinin artırılması,
6. Tarım arazilerinin tarımsal üretim dışında rant amaçlı satılmasının önüne geçilmesi,
7. 5403 sayılı kanunun ve yönetmeliklerinin yoruma açık maddelerinin objektif, bilimin ışığında ve net bir şekilde yeniden düzenlenmesi,
8. Kamu yararı kararı alınması gereken araziler ile ilgili kararların ülke ölçeğinde değil o bölge halkı için kamu yararının değerlendirilmesinin yapılması,
9. Her ildeki 5403 kapsamında yerel yöneticilerin hassasiyetinin artırılmasına yönelik uygulamalara yönelik eğitimlerin yapılması,
10. 5403 sayılı kanun çerçevesinde arazi kullanımı ile ilgili yerel karar alma organı olan toprak koruma kurulları idari yönetimden bağımsız hale getirilmesi,
11. 5403 sayılı kanunda arazi değerlendirilmesi arazi kullanım yetenek sınıfları baz alınarak yapılması,
12. Çiftçi bazında toprakların önemini anlatan ve arazi kullanım yetenek sınıfları hakkında bilgilendirme ve eğitim çalışmaları yapılması,
13. Arazi kullanım planındaki AKK sınıflarının tapu kayıtlarına işlenerek destekleme uygulamalarının arazi kullanım yetenek sınıfının dikkate alınması sağlanması,

14. Tarım topraklarını edinen kişilerin sadece tarımsal amaçlı kullanacağını taahhüt etmesi,
15. 5403 sayılı kanunda arazi değerlendirilmesi arazi kullanım yetenek sınıfları baz alınarak yapılması,
16. Çiftçi bazında arazi kullanım yetenek sınıfları hakkında bilgilendirme ve eğitim çalışmaları yapılması,
17. Sanayi ve kent atıklarının geliş güzel arazilere atılmasının önüne geçilmesi için Kamu kurumlarının bu konuda yetkilendirilmesi ve gerekli ceza yaptırımlarının caydırıcı olması sağlanması,
18. Maden işletmelerinin çalıştıkları sahaları işleri bittikten sonra (en fazla 5 yıl) tarımsal üretime yeniden kazandırılması, kazandırmayan işletmelerin cezai yaptırımlarının caydırıcı olmasının sağlanması,
19. Toprak ve bitki analizleri yapılarak gübre kullanımlarının analiz sonuçlarına göre yapılması,
20. Bölgede hâkim yetiştirilen ürünlerin üretiminde azaltılmış toprak işleme uygulamalarına geçilmesi,
21. Toprak erozyonunu önleyecek (eğime dik sürüm, toprak yüzeyinin bitki örtüsü ile kaplı olması vb.) uygulamalara dikkat edilmesi,
22. Eğimli arazilerde toprak işleme azaltılarak çok yıllık bitkilerin üretiminin artırılması, koruyucu toprak işleme uygulamalarının yaygınlaştırılması,
23. Fazla gübre kullanımı konusunda çiftçilerin farkındalığının artırılması,
24. Üreticilerin yetiştirdikleri bitkinin toprak istekleri göz önünde bulundurularak uygulama yapması hakkında bilinçlendirilmesi,
25. Geçmişte uygulanan ÇATAK gibi projelerinin geliştirilerek yeniden uygulamaya aktarılması,
26. Toprak düzenleyici, ıslah materyalinin kullanımının yaygınlaştırılması,
27. Toprakların organik madde miktarını artıracı uygulamaların yaygınlaştırılması,
28. Mikrobiyal gübre kullanımının artırılması,
29. Ekim nöbeti uygulamalarının çeşitlendirilmesi,
30. Karar vericilerin tarımı, tarımın koşullarını bilenler arasından olmasının sağlanmasıdır.

4. SONUÇ

TR21 bölgesi toprak özellikleriyle, iklim özellikleriyle, bölgeye adapte olmuş bitki türleriyle son derece öneme sahip bir bölgedir. Tarımsal üretim için bu kadar öneme sahip bir bölgede arazi tahribatının oluşumunun önüne geçilmelidir. Arazi tahribatının hiç oluşmaması ve oluşuktan sonra giderilebilmesi için gerekenlerin yapılması konusunda bölge ve ülke halkı olarak üzerimize düşeni yapmakla sorumluyuz. Arazilerin akılcı kullanımı için gerekli önlemlerin alınması ve günümüzde ön plana çıkan iklim değişikliği ile olan ilişkisinde toprak amenajmanı kurallarına uyulması gerekmektedir. Arazilerin doğal yapılarının konumu ekosistemin sürdürülebilirliğine yönelik olarak korunması için gerekli her türlü teknik ve yasal gerekliliği de yerine getirmek koşuluyla düzenlenmelidir. Bu konudaki yasaların tasarımı, bilimsel veri tabanına ve ekosistemlerin sürdürülebilirlik ilkesine ters düşmemelidir. Hızlı nüfus artışı ve göçler de arazi tahribatını destekleyen bir olgudur. Kontrol edilemeyen ve teşkilatsız sanayi, tarımsal yapı ile kent toplumunun arazi kullanımını plansız ve rastgele kullanımı istemleri yan yana geldiği zaman sorunların boyutu da artmakta ve geriye dönülemeyecek noktalara da ulaşmaktadır. Sonuç olarak ulusal, bölgesel veya havza ve yerel ölçekte arazi kullanımı politikalarının yetersizliği ön plana çıkmaktadır. Düzeltilebilir çölleşme sorunlarının çözümü için ana paydaş “kırsal ve kentsel bölge için bütünleşik çok meslekli görüşlere ve önerilere yönelik Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Planları”nın havza boyutunda yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Bazzaz, F. A., Sombroek, W. G. (1996). Global Climate Change and Agricultural Production. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. <http://www.fao.org/docrep/w5183e/w5183e0f.htm#13> (Son erişim tarihi: 03.03.2025).
- Boyraz, D. (2012). Çölleşme= Toprak/Arazi Bozulumu. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi. 1(1), 35-39.
- Cangir, C. and D. Boyraz, (2000). A Review of Problems and Degradation in the Arable Lands of Turkey and Thrace and Necessity of Rearrangement. 2nd International Symposium on New Technologies for Environmental and Agro-Applications. 18-20 October 2000. pp: 388-397. ISBN 975-374-29-8. Turkey. Tekirdağ.
- Cangir, C. ve D. Boyraz, (2005). Ülkemizde Yanlış ve Amaç Dışı Arazi Kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi. Tarım Haftası'2005 Kongre. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. 3-7 Ocak 2005. Milli Kütüphane Ankara. Cilt 1. S: 155-179
- Cangir C., D. Boyraz, (2008). İklim Değişikliği ve Çölleşme veya Toprak/ Arazi Bozulumunun Türkiye'deki Boyutları ve Çölleşme ile Mücadele. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi. 2008 5(2).
- Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB), (2005). Çölleşme ile Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programı. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi. (Editörler: M. Düzgün, S. Kapur, C. Cangir, E. Akça, D. Boyraz, N. Gülşen) T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. Ankara.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), (2012). Türkiye'de İklim Değişikliğinin Tarım ve Gıda Güvencesine Etkileri. Türkiye'nin İklim Değişikliği II. Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Projesi Yayını, Ankara.
- Dengiz, O., Öztaş, T., Haliloğlu, M., ve Şahin, N. (2020). Arazi tahribatının dengelenmesi. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi, 13-17.
- Gomiero, T. (2016). "Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge." Sustainability 8(3): 281.
- Karaca, A. ve O. C. Turgay (2012). "Toprak kirliliği." Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi 1.1: 13-19.
- Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM), 2021. "İklim Değişikliği ve Tarım Değerlendirme Raporu." <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Belgeler/IKLIM%20DEGISIKLIGI%20VE%20TARIM%20DEGERLENDIRME%20RAPORU.pdf> (Son erişim tarihi: 03.03.2025)

İKLİME DUYARLI SU YÖNETİMİ

Tolga Erdem¹, Huzur Deveci² Fatih Konukcu³, Ahmet İstanbulluoğlu⁴

¹Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Müh. Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-5887-9586 terdem@nku.edu.tr

²Öğr. Gör. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ, Orcid: 0000-0002-0143-2185 huzurdeveci@nku.edu.tr

³Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Müh. Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-2873-990X fkonukcu@nku.edu.tr

⁴Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Müh. Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0001-8080-0152 aistanbulluoglu@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

Su yüzyıllardan beri tüm medeniyetler için vazgeçilmez bir kaynak olmuştur. Oldukça kısıtlı olan tatlı su kaynaklarına ulaşmak her geçen gün zorlaşmaktadır. Ayrıca su yeryüzünde eşit bir şekilde dağılım göstermemektedir. Suyun kullanım alanları çok geniştir ve günden güne suya olan talep artmaktadır ve artmaya da devam edecektir. 2050 yılına kadar sadece suya olan arz ve talep değişmeyecek aynı zamanda ekosistemdeki değişiklikler de bu durumdan etkilenecektir. Nüfus artışı ve iklim değişikliğinin etkisiyle birlikte Türkiye’de ve TR21 Trakya Bölgesi’nde suya olan talebin artacağı tahmin edilmektedir. Bunun sonucu olarak su stresi ve kıtlığı gibi sorunlarla karşı karşıya kalınacaktır. İklim değişikliğinden en çok etkilenecek sektörler arasında tarım

sektörü gelmektedir ve suyun büyük kısmı tarımda kullanılmaktadır. İklim değişikliğinin etkisiyle birlikte bitki su ihtiyacı, su mevcudiyeti (yüzey suyu, kar ve buzullar, yeraltı su kaynakları, toprak nem vb.), suyun kalitesi, aşırı iklim olayları (özellikle taşkınlar, kuraklık) çok iyi bir şekilde belirlenmelidir. Gerekli önlemlerin alınması için sürdürülebilir su yönetimi stratejileri ve politikalarının geliştirilmesi sağlanmalı ve su kıtlığı ile başa çıkabilmek için önlemler alınmalıdır.

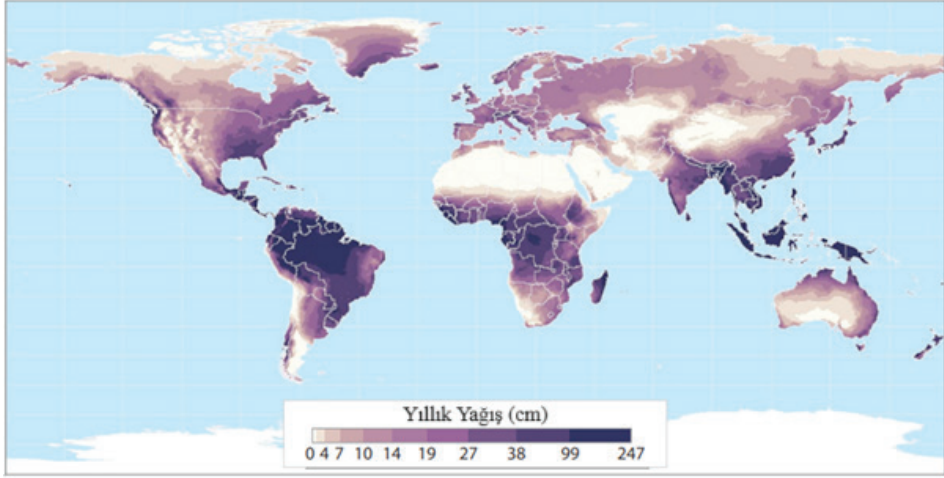
2. DÜNYA ÇAPINDA VE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR TATLI SU KAYNAKLARI VE SU KITLIĞI

Su, dünyadaki yaşamın temel maddesidir. Dünya yüzeyinin %70'i sudur. Su, üzerimizdeki atmosferde, çevremizdeki okyanuslarda, nehirlerde ve göllerde ve altımızdaki kayalarda bulunmaktadır. Yaşam için önemine rağmen tatlı su, Dünya üzerinde son derece nadir bir kaynaktır. Dünya üzerinde bulunan suyun %3'ten azı tatlı sudur ve geri kalan %97'si okyanuslardaki gibi tuzlu sudur. Dünyadaki tatlı suyun çoğuna insanlar kolaylıkla erişememektedir. Dünyadaki tatlı suyun yaklaşık %69'u buzullarda ve kutup buzullarında buz şeklinde kilitlenmiş durumda olup, dünyanın tatlı suyunun diğer %30'u yeraltı suyu şeklinde yer altında bulunmaktadır. Dünyadaki tatlı suyun yalnızca %1'i insan kullanımına hazırdır (Gleick ve Coley, 2021).

Su stokları arasındaki yağış, buharlaşma ve nehir akışı şeklindeki ana doğal akışlar hakkında, gözlem ve model tahminlerinin kombinasyonları da dâhil olmak üzere çok sayıda çalışma yapılmıştır (Wisser vd., 2010; Gosling ve Arnel, 2016). Su dengesindeki bileşenler yıldan yıla değişmektedir. Bu bileşenlerin ve ölçümü ile ilgili zorluklar ve belirsizlikler bulunmaktadır. Ancak karadaki toplam yağışa ilişkin mevcut tahmin yılda yaklaşık 110.000 km³/yıl, doğal buharlaşma ve terleme yaklaşık 68.000 km³/yıl, nehirlerin okyanuslara ve iç sulara boşaltımı yaklaşık 26.000 km³/yıl'dır. Geriye kalan 16.000 km³/yıl, insanların net su tüketimidir ve bu da kişi başına ortalama 2.000 m³/yıl'a karşılık gelmektedir (Gleick ve Coley, 2021).

Ancak mevcut yüzey tatlı suyu dünya çapında yer ve zaman açısından eşit şekilde dağılmamıştır (Şekil 1). Brezilya, Rusya, Kanada, Endonezya, Çin, Kolombiya ve Amerika Birleşik Devletleri dünyadaki yüzey tatlı su kaynaklarının

çoğuna sahiptir. Sonuç olarak, dünya nüfusunun yaklaşık beşte biri suyun kıt olduğu bölgelerde yaşamakta olup, her bir kişiye ortalama olarak yılda 1.000 m³'ten az su düşmektedir. Bu su eksikliği, insanların temiz, kullanılabilir suya erişiminin yanı sıra, bazı bölgelerin ekonomik kalkınmasını ve jeopolitiğini de etkilemektedir (Gleick ve Coley, 2021).



Şekil 1. Yağışın dünya çapında dengesiz dağılımı (Gleick ve Coley 2021).

Birleşmiş Milletler Dünya Su Kalkınma Raporu'nun (WWDR, 2019) 2018 baskısı, temiz su mevcudiyetine ilişkin mevcut eğilimler ve geleceğe yönelik beklentiler hakkında bir güncelleme yapmıştır. Bir nüfusun, yeterli miktarda ve kabul edilebilir kalitede, suya sürdürülebilir erişimi güvence altına alma kapasitesi anlamına gelen su güvenliği, çoğu insan için hâlihazırda risk altındadır ve durum önümüzdeki birkaç on yıl içinde daha da kötüleşecektir (Burek vd., 2016; Boretti ve Rosa, 2019). Temiz su kıtlığı, 7,7 milyar insanın yaşadığı günümüz dünyasında önemli bir sorundur. Su sistemi üzerindeki baskı, dünya nüfusunun %22 ila %34 artışla 2050 yılına kadar 9,4 ila 10,2 milyara ulaşacaktır. Yerel kaynaklarla orantısız şekilde gerçekleşen nüfus artışı, bu stresi daha da ağırlaştıracaktır. Nüfus artışı, daha çok temiz su kaynaklarının kıt ve hâlihazırda önemli bir sorun olduğu Afrika ve Asya ülkelerinde beklenmektedir (Boretti ve Rosa 2019).

Şu anda, küresel nüfusun yarısından biraz azı, yani 3,6 milyar insan veya %47'si, her yıl en az bir ay su kıtlığı çeken bölgelerde yaşamaktadır (WWDR, 2019; Boretti ve Rosa, 2019). Bunların temiz su yerine yalnızca kirlilik ve bulaşıcı hastalıklar taşıyabilen kirli suya erişimleri vardır. Kirli su içen toplumlarda ishal, kolera, dizanteri ve diğer hastalıklara yakalanma riski daha yüksektir. Temiz içme suyuna erişim sıkıntısı her yıl 3 milyondan fazla ölüme neden olmaktadır. Mekonnen ve Hoekstra'ya (2016) göre bu sayı daha da büyüktür ve 4,0 milyar insan, yani küresel nüfusun %52'si kadardır. 2050 yılına geldiğinde küresel nüfusun yarısından fazlası (%57) her yıl en az bir ay su kıtlığı çeken bölgelerde yaşayacaktır (WWDR, 2019, Boretti ve Rosa, 2019). WWDR'nin su talebi, su kaynakları ve su kalitesi tahmini, tahmin edilmesi zor birçok jeopolitik faktöre bağlıdır. WWDR'de yalnızca kısmen tartışılan su kaynaklarının ve su kalitesinin azalmasının kontrol edilmesi çok daha zor olabilir (Boretti ve Rosa, 2019). Bu nedenle WWDR'nin bu tahmini eksik bir tahmin de olabilir.

Tatlı suya erişim ekonomik kalkınma için de önemlidir. Örneğin tatlı su kaynakları balıkçılığın gelişmesini sağlar. Dünyanın dört bir yanındaki insanlar bu habitatlardan balık avlayarak dünya çapında 158 milyon insanı beslemeye yetecek hayvansal protein sağlamaktadır. Bu hem yerel balıkçılar için geçim kaynağı hem de tüccarlar için gelir kaynağıdır (Anonim, 2025).

Tatlı su, yaşam alanı olarak kullanımının ötesinde, tarım gibi diğer ekonomik faaliyetlerde de önemli bir kaynaktır. Bir tahmine göre dünyadaki tatlı suyun yaklaşık 70'i tarım için kullanılmaktadır. Dünyanın dört bir yanındaki çiftçiler, suyu yüzey ve yer altı su kaynaklarından tarlalarına taşıyarak sulama için kullanmaktadır. Bu tarımsal faaliyetler dünya çapında 1 milyardan fazla insanı kapsamaktadır ve her yıl 2,4 trilyon doların üzerinde ekonomik değer yaratmaktadır. Gelecekte tarımsal tatlı suya olan talep, küresel nüfus arttıkça artacaktır. Bir tahmine göre, talep 2050 yılına kadar yüzde 50 artacaktır. Su kullanımındaki bu artış, dünyanın sınırlı olan tatlı su kaynaklarını daha da zorlayacak ve tatlı suya erişimi daha da önemli hâle getirecektir (Anonim, 2025).

2.1. Küresel ve Bölgesel Su Kullanımı

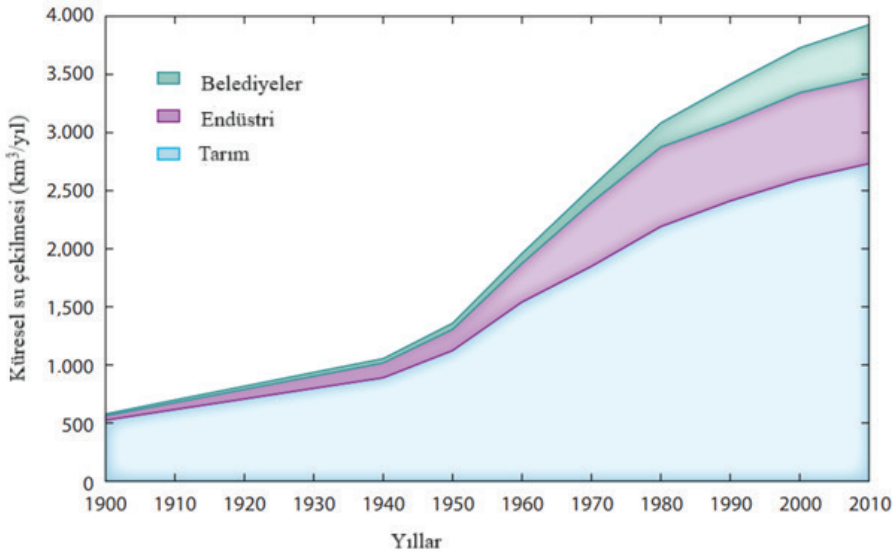
Bölgelere ve farklı ekonomik sektörlere göre su çekimlerine ilişkin veriler en çok aranan bilgiler arasında yer almaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), ülkelere göre su çekimi tahminlerini standartlaştırmaya

çalışan AQUASTAT veri tabanını hizmete açmış olup, sınırlamalarına rağmen mevcut en kapsamlı veri kümeleri arasında yer almaktadır. AQUASTAT veri tabanında su çekimleri üç ana kategoriye ayrılmıştır: tarım, sanayi ve belediye/evsel, ancak su muhasebe sistemlerinde tutarsızlıklar vardır (FAO, 2020).

Tarımsal su çekimleri sulama, hayvan sulama ve temizleme ve su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılan sulardan oluşmaktadır. Tarım ürünlerinin işlenmesinde kullanılan su, endüstriyel veya belediye su çekimi kapsamına dâhildir. Kırsal alanlarda tarımsal su çekimleri sıklıkla evsel kullanım amaçlı suyu da içermektedir.

Endüstriyel su çekimleri, bir ürünün üretilmesi, işlenmesi, yıkanması, seyriltilmesi, soğutulması veya taşınması gibi amaçlarla kamu dağıtım ağına bağlı olmayan, kendi kendine yeten endüstriler tarafından kullanılan sudan ve bir ürüne eklenen su veya üretim tesisinde sanitasyon ihtiyaçları için kullanılan sudan oluşur.

Belediyelerin su çekimleri, evsel kullanım için suyun yanı sıra bir belediye veya başka bir kamu tedarikçisi tarafından ticari, endüstriyel ve kurumsal amaçlarla sağlanan suyu da içeren geniş bir kategoridir.



Şekil 2. 1900'den 2010'a kadar sektörlere göre küresel su çekimi (km³/yıl).

(Küresel su çekiminde sulu tarım hâkimdir)

Küresel su çekimi 1900 ile 2010 yılları arasında neredeyse altı kat artmıştır (Şekil 2) (FAO, 2020, Gleick ve Coley, 2021,). Bu da yıllık %1,8 artış oranına karşılık gelmektedir. Wada vd. (2016) mevcut yıllık büyüme oranının daha düşük, yalnızca %1 olduğunu, ancak bu rakamın iyimser olabileceğini belirtmektedir. Büyümenin en hızlı olduğu dönem, küresel su çekiminin 2,5 kat arttığı 1950 ile 1980 yılları arasındadır. Yüzey ve yeraltı suyu kullanımı da dâhil olmak üzere suyun evsel tüketim amaçlı kullanımında da benzer bir eğilim vardır (Wada ve Bierkens, 2014). Büyüme hızı 1980’de yavaşlamaya başlarken su çekiminin 2000 yılı civarında yavaşlamaya başladığına dair bazı göstergeler vardır. 1951-1960, 1961-1970 ve 1971-1980 yıllarını kapsayan 10’ar yıllık dönemlerde %30’luk bir küresel su çekimi artışına kıyasla, 2001 ile 2010 yılları arasında su çekimi yalnızca %2,7 artmıştır.

2.2. 2050 Yılına Kadar Küresel Su Talebi ve Arzı

Küresel su talebi önümüzdeki yirmi yılda sanayi, ev ve tarım olmak üzere üç bileşenin tamamında önemli ölçüde artacaktır. Endüstriyel ve yurt içi talep tarımsal talepten daha hızlı büyüyecek ancak tarıma olan talep en büyük talep olmaya devam edecektir. Şu anda yılda yaklaşık 4.600 km³ olan tüm kullanımlara yönelik küresel su talebi, 2050 yılına kadar %20 ila %30 artarak yılda 5.500 ila 6.000 km³e çıkacaktır. 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusu %22 ila %32 artışla 9,4 ila 10,2 milyar kişiye ulaşacaktır. 2050 yılına kadar gıda talebi %60 artacak ve bu artış daha fazla ekilebilir alan ve üretimin yoğunlaşmasını gerektirecektir. Bu da su kullanımının artması anlamına gelmektedir (Boretti ve Rosa, 2019; WWDR, 2019; Gleick ve Coley, 2021).

Su talebi su mevcudiyetini aşamaz. Su talebi artarken, azalan kaynaklar ve kirlilik nedeniyle su bulunabilirliği azalmaktadır. Kalitenin bozulmasına ve mekânsal ve zamansal dağılımın değişmesine rağmen, mevcut yüzey suyu kaynaklarının kıtasal düzeyde yaklaşık olarak sabit kalacağı tahmin edilmektedir. Büyük ihtimalle yeraltı suları daralacak ve kıyı bölgelerine tuz girişi çok ciddi boyutlara ulaşacaktır. Buna karşılık, nüfus artışı, gayrisafi yurt içi hasıla ve su talebindeki artış küresel düzeyde ve eşitsiz bir şekilde artacaktır. Değişiklikler ülke düzeyinden ve küresel ortalamadan ziyade alt bölge düzeyinde çok daha belirgin olacaktır (Wada vd., 2016; Boretti ve Rosa, 2019; Gleick ve Coley, 2021).

2.3. 2050 Yılına Kadar Diğer Ekolojik Değişiklikler

Ekosistemlerdeki değişiklikler, su talebindeki ve arzındaki değişikliklerden etkilenecektir. Ekosistemlerin korunması veya restorasyonu, su kaynaklarının hem miktarını hem de kalitesini insanların kullanımına elverişliliği açısından etkilemesi beklenmektedir. Küresel arazi kullanımının yaklaşık %30'u ormanlıktır ve bu alanın %65'i hâlihazırda bozulmuş durumdadır (FAO, 2016; Boretti ve Rosa, 2019). Geniş orman alanları ve sulak alanlar, hayvan otlatmak veya bitkisel üretim için otlaklara veya tarım alanlarına dönüştürülmüştür. Doğal sulak alan kaybı 1700 yılından bu yana %87 olmuştur. Sulak alan kaybı oranı 20. yüzyılda ve 21. yüzyılın başlarında %370 daha hızlı olmuştur (Davidson, 2014; Boretti ve Rosa, 2019). Topraklar da değişmektedir. Dünya'daki toprakların çoğu sadece orta, kötü veya çok kötü durumda olup (FAO, 2016; Boretti ve Rosa, 2019), bu durumun gelecekte daha da kötüleşmesi beklenmektedir. Başlıca küresel sorunlar toprak erozyonu, topraktaki organik karbon kaybı ve besin dengesizliğidir. Günümüzde ekim alanlarından kaynaklanan toprak erozyonu her yıl 25 ila 40 milyar ton toprağı alıp götürmektedir. Ürün verimi ve toprağın su, karbon ve besin maddelerini düzenleme yeteneğı azalmaktadır. Şu anda karadan 23 ila 42 milyon ton nitrojen ve 15 ila 26 milyon ton fosfor taşınmaktadır. Toprak erozyonu ve besin maddesi akışının su kalitesi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Toprakların sodiklik ve tuzluluğı hem sulanan hem de sulanmayan alanlarda küresel bir sorundur. Sodyumluluk ve tuzluluk her yıl 0,3 ila 1,5 milyon hektar tarım arazisini yok etmektedir (FAO 2016; Boretti ve Rosa 2019). Üretim potansiyeli de 20 ila 46 milyon hektar arasında azalmıştır. Ekosistemlerin, biyolojik çeşitliliğın ve toprak bozulmasının 2050 yılına kadar her zamankinden daha hızlı bir şekilde devam etmesi beklenmektedir. Bu bozunumun şüphesiz suyun bulunabilirliği ve kalitesi üzerinde de önemli etkisi olacaktır.

Temiz su talebi arttıkça ve temiz su mevcudiyeti azaldıkça, yerel koşullar küresel seviyeden çok daha kötü olduğundan, temiz su talebi, küresel seviyeden çok daha erken bir zamanda bazı yerel seviyelerde temiz su mevcudiyetini aşacaktır. Bu kırılma noktaları dünyanın birçok bölgesinde 2050'den önce ortaya çıkabilir. Hayati bir kaynağın yetersiz olduğı ve insanların bunun için mücadele edeceğı göz önüne alındığında, su krizini önlemek için hiçbir şey yapılmazsa, 2050'ye kadar su temini büyük olasılıkla toplumsal rekabet ve çatışma zeminine kayacaktır (Boretti ve Rosa, 2019).

2.4. Türkiye'nin Su Arzı ve Talebi

Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 574 mm'dir ve bu da yaklaşık 450 Milyar Metreküp (MM) suya karşılık gelmektedir. Günümüzün teknik ve ekonomik koşullarında çeşitli amaçlarla kullanılabilecek yüzey suyu potansiyeli ortalama 94 MM/yıldır. Türkiye'nin tüketilebilir yüzey ve yeraltı suyu potansiyeli 112 MM/yıl olup, bunun 57 MM'ü değerlendirilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Türkiye'nin su potansiyelleri (DSİ, 2018).		
Ortalama yıllık yağış (mm/yıl)		574
Türkiye Yüzölçümü (km ²)		783 577
Toplam su hacmi (BCM)		450
Yıllık ikinci tur (MM)		186
Kullanılabilir yüzey suyu (MM)		94
Yıllık çekilen yeraltı suyu (MM)		18
Toplam kullanılabilir su potansiyeli (MM)		112
Güncel su kullanımı	Tarım (MM)	44 (%77)
	Şehirler ve sanayi (MM)	13 (%23)
	Toplam (MM)	57 (%100)

Türkiye, Avrupa'daki ülkeler arasında su güvenliği tehdidinin en yüksek olduğu ülkelerden biridir. 1960'lı yıllarda 28 milyon olan nüfusun 2023'te 84 milyona hızlı bir şekilde artması nedeniyle su kaynaklarının mevcudiyeti bugün kişi başına 4000 m³/yıl'dan 1333 m³/yıl'a düşmüştür (DSİ, 2018). Türkiye'de su talebi geçen yüzyılın ikinci yarısında yaklaşık iki katına çıkmıştır. Türkiye'nin genel su talebi, kuraklığın (veya iklim değişikliğinin) etkileri ile daha da artmaya devam etmektedir. Türkiye önümüzdeki yıllarda su kıtlığı yaşayacak ülkeler arasında yer alması beklenmektedir. Nüfus artışı ve iklim değişikliğinin etkisiyle su mevcudiyetinin 2050 yılında 1000 m³/yıl civarına düşmesi bekleniyor (SYGM, 2016). Türkiye'nin toplam su arzının yaklaşık %77'si tarımsal sulamada, geri kalan %23'ü ise içme-evsel ve endüstriyel amaçlarla kullanılmaktadır (DSİ, 2018).

Hem iyimser hem de kötümser senaryolara göre Türkiye'de 2015-2100 yıllarında yağış miktarında azalma beklenmektedir. 2050 yılından itibaren 250-300 mm'ye kadar (ortalama 60 mm) daha belirgin azalmalar öngörülmektedir. Özellikle Ege ve Akdeniz kıyıları ile Güneydoğu ve Doğu bölgelerinde olumsuz

yağış anomalileri göze çarpmaktadır. Karadeniz'in doğusunda toplam yağışlarda artış ve aşırı yağış olayları beklenmektedir. Karla kaplı alanlarda ve kar yağışı miktarında ciddi azalma olacağı öngörülmektedir (SYGM, 2016).

2030, 2050 ve 2100 yılları için Türkiye havzalarındaki yüzey sularında %-52 ile %-61 arasında değişim ve %20, %35 ve %50 oranında yüzey sularında azalma tahminleri rapor edilmiştir. 2100 yılına gelindiğinde Türkiye, güney Akdeniz bölgelerinde artan su stresine yol açabilecek kurak alanların genişlemesiyle karşı karşıya kalabilir (Bozkurt ve Şen, 2012).

2.5. Su Kıtlığı ve Stresi

Su stresi niteliksel olarak evsel, tarımsal ve/veya endüstriyel ihtiyaçlar için yeterli tatlı suyun bulunmaması olarak tanımlanabilir. Su stresi, nüfus artışı, sanayileşme ve/veya koruma uygulamalarının eksikliği nedeniyle su kaynaklarının aşırı kullanımından kaynaklanabileceği gibi iklim değişiklikleri ve/veya yıl boyunca değişken miktarlarda su alan bölgelerde depolama kapasitesinin olmaması nedeniyle yağışların azalmasından da kaynaklanabilir. Falkenmark (1986)'nın çalışmasına dayanarak, dünyadaki su ile ilgili kurumlar genel olarak "su stresi" koşullarını kişi başına yılda 1.700 m³'ten az kullanılabilir su ve "şiddetli su stresini" kişi başına yılda 1.000 m³'ten az olarak tanımlamaktadır.

Su kıtlığının üç temel unsuru olan su talebi, su kaynakları ve su kirliliği, nüfus artışı ve ekonomik büyüme ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Bunlar güçlü bir şekilde birbirine bağlıdır ve küresel koşullardan çok daha kötü olacak yerel koşullarla birlikte zaman ve mekân açısından önemli ölçüde değişmektedir. Bir bölgenin temel hidrolojisi, demografik yapısı ve ekonomisi, su altyapısının seviyesi ve türü, insan taleplerini karşılamak için inşa edilen kurumlar ve bu taleplerin doğası da dâhil olmak üzere birçok faktör su kıtlığına neden olmaktadır (Gleick ve Cooley, 2021). Su kıtlığı veya stresine sebep olan durumlar aşağıda açıklanmıştır.

Hidroloji: Geçici bölgesel nem dengesizliğine kuraklık denir. Temelde su kıtlığı olarak tanımlanan bir iklim olgusudur. Hidrolojik, meteorolojik, tarımsal ve ekonomik olmak üzere birçok farklı kuraklık türü vardır. Örneğin hidrolojik ve meteorolojik kuraklık, ortalama olarak beklenen su miktarına kıyasla yüzey akışı, yeraltı suyu, yağış veya suyla ilgili başka bir ölçümde eksiklik ola-

rak tanımlanabilir. Tarımsal kuraklık, özellikle kritik bir dönemde bir ürünün başarılı bir şekilde üretilmesi için gerekli suyun kıtlığıdır. Sosyal veya ekonomik kuraklık, suya yönelik belirli bir sosyal veya ekonomik talebin tam olarak karşılanamaması durumunda tanımlanabilir. Ekolojik kuraklık, doğal olarak mevcut su kaynaklarında ekosistemler arasında stres yaratan bir eksiklik (Wilhite ve Glantz 1985; Mann ve Gleick 2015).

Demografik ve ekonomik faktörler: Nüfus arttıkça kişi başına düşen su miktarı azalır. Basit ölçüm (kişi başına su mevcudiyeti (birim nüfus başına su)) su kıtlığını ölçmenin yaygın bir yoludur. Nüfus ve ekonomik büyümeyle birlikte suya olan talep de geleneksel olarak artmıştır, kıtlığa ve arz/talep dengesizliklerine ölçülebilir ve önemli yeni katkılar sağlamıştır. Ekonomik faktörler, yoksulluk nedeniyle insanların ihtiyaç duydukları su hizmetlerini ödeyememeleri ve bu hizmetlere erişimden mahrum kalmaları durumunda algılanan kıtlık da tetiklenebilmektedir (Molle ve Mollinga, 2003).

İklim değişikliği: İnsan kaynaklı iklim değişiklikleri hızlanmıştır. Su ve iklim değişikliği ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır. Aşırı hava olayları suyu daha kıt, daha öngörülemez, daha kirli veya bunların üçünün birden ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Su döngüsü boyunca meydana gelen bu etkiler sürdürülebilir kalkınmayı, biyolojik çeşitliliği, insanların suya ve sanitasyona erişimini tehdit etmektedir.

İklim değişimiyle birlikte sıcaklık arttıkça buharlaşma ve terleme oranlarındaki artışlar; su ve buz stokları ve akışlarındaki bölgesel değişimler; kuraklık ve sel gibi aşırı hava olayların yoğunluk ve sıklığındaki değişiklikler; deniz seviyeleri yükseldikçe kıyı akiferleri ve haliçlerdeki tatlı su-tuzlu su dengelerindeki değişimler ve daha fazlası artık kaçınılmaz olan sonuçlar arasında yer almaktadır (IPCC, 2014a; IPCC, 2014b). İklim değişikliklerinin aynı zamanda tatlı su arzını ve talebini değiştirerek su kıtlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri olması beklenmektedir. İklim modelleri gelişmeye devam etse de iklim değişikliğinin bölgesel ve yerel hidroloji açısından uzun vadeli ayrıntılı etkilerine ilişkin belirsizlikler de devam etmektedir. İklim değişiklikleri hızlandıkça, yüz milyonlarca insan için su kıtlığı riskinin artması beklenmektedir. Bu durum, kıtlık risklerini azaltmaya yönelik büyük çabaların da önüne geçmektedir (Gampe vd., 2016).

Altyapı ve kurumlar: Suyun fiziksel veya ekonomik olarak bulunabilirliği bir sorun olmasa da yetersiz altyapı veya kurumsallaşma ve su yönetim

sistemleriyle ilgili sorunlar, istenilen su hizmet-lerinin talep noktasına ulaşmasını engellemesi durumunda, su kıtlığı ortaya çıkabilmektedir. Kurum-sal yetersizliklerin bir başka yönü de su politikalarının kullanılabilecek su miktarını kısıtlamasıdır. Ekosistemleri koruma ve yenileme çabaları (çevresel akış veya minimum akış miktarı) ve insanlar tarafından kullanılmış olan suyun tekrar alıcı ortama verilmesi durumunda çevre koruma tedbirleri kapsamında getirilen kısıtlamalar buna örnek olarak verilebilir (Fischhendler ve Zilberman, 2005).

3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMSAL SU YÖNETİMİNE ETKİSİ

Bitkisel ve hayvansal üretim sistemleri yağış ve sıcaklık gibi iklimsel değişkenlere kritik derecede bağlı olduğundan tarım, iklim değişikliğinden en ciddi şekilde etkilenebilecek sektördür. İklim değişikliği özellikle tarımsal su ihtiyacını, su mevcudiyetini ve su kalitesini etkilemektedir (Kundzewicz vd., 2007; Cai vd., 2015). İklim değişikliğinin su yönetimi üzerindeki etkileri, FAO (Tural vd., 2011), Uluslararası Gıda Politikası Araştırma Enstitüsü (IFPRI) (Nelson vd., 2009), Hükûmetler arası İklim Değişikliği Paneli IPCC (IPCC, 2013; IPCC, 2014a; IPCC, 2014b) gibi uluslararası kuruluşların yakın zamanda sunduğu çok sayıda özel raporda değerlendirilmiştir. Daha yakın zamanlarda Cai vd. (2015) iklim değişikliğinin tarımsal su yönetimi üzerindeki etkilerine ilişkin bir rapor yayınlamıştır. Bu çalışmaların hepsi ortak bir sonuca varmaktadır: İklim değişikliği tarımı olumsuz etkileyecek, dolayısıyla küresel gıda güvenliğini de tehdit edecektir (Cai vd., 2015).

İklim değişikliği, yerel ve bölgesel düzeyde değişen sıcaklıklar ve yağışların bir sonucu olarak hem su mevcudiyetini hem de ürünlerin su ihtiyacını önemli ölçüde değiştirmektedir. Bitkilerin su ihtiyacı (Evapotranspirasyon) toprak ve su yüzeyinden atmosfere doğru meydana gelen su buharlaşması (Evaporasyon) ve bitkilerin yüzeyinden meydana gelen terlemenin toplamı ile ifade edilmektedir. Yağışlar ve sulama suyu ile bitkilerin su ihtiyacının karşılanabilmesi, bitkisel üretimi belirleyen önemli faktördür (Cai vd., 2015).

3.1. İklim Değişikliği Altında Bitki Su İhtiyacı (ET)

Bitki su tüketimi (ET), kuru koşullarda yağışlarla (yani etkili yağış ile), sulanan ürünlerde hem yağış hem de sulamayla tamamen veya kısmen karşılanabilir.

bilmektedir. Yağmurla beslenen ürünlerin su açığı (yani ET ile etkili yağış arasındaki fark) iklim projeksiyon senaryolarına karşı duyarlıdır (Zhang ve Cai 2013).

Genellikle sıcaklıkların artmasıyla buharlaşma talebinin de artması beklenir ancak daha sıcak bir atmosfer mutlaka daha yüksek buharlaşmaya neden olmayabilir (Ohmura ve Wild 2002; Zhang ve Cai 2013). Bunun nedeni muhtemelen daha sıcak iklimlerde ET’de gözlemlenen düşüşün günlük sıcaklık aralığındaki (GSA) düşüş olmasıdır (GSA, günlük maksimum sıcaklık ile günlük minimum sıcaklık arasındaki fark olarak tanımlanır). Son IPCC raporları (IPCC, 2014a; IPCC, 2014b), GSA’nın azalmasının ET’nin azalmasına yol açan birincil faktör olduğunu göstermiştir.

İklim değişikliğinin bitkinin su gereksinimleri üzerindeki etkilerinin bölgesel heterojenliği önemlidir. Sulanan bitkilerde sulama ihtiyacı ve su açığında bazı eğilimler tanımlanabilir. Afrika, Avustralya ve Çin’de su gereksinimlerinin azalması beklenebilirken diğer bölgeler (Avrupa, Kuzey Hindistan, Güney Amerika’nın doğu kısmı ve Amerika Birleşik Devletleri’nin doğusu) iklim değişikliğinden olumsuz etkilenebilir (Zhang ve Cai 2013).

Bitki su ihtiyacı ve açığı Batı Avrupa’da azalacak, ancak Doğu Avrupa’da artacaktır. Değişen yağışlar nedeniyle Güney Avrupa’nın kuzeye göre yine benzer şekilde su ihtiyacı ve açığı artacaktır. Akdeniz ülkeleri (Portekiz, İspanya ve Türkiye) ile Orta ve Doğu Avrupa’nın bazı bölgelerinde su stresinin yoğunlaşması muhtemeldir (Bates vd., 2008).

Türkiye’nin Trakya Bölgesi’nde yapılan bir araştırma (Deveci ve Konukcu, 2024) sonuçlarına göre 2012 yılı ortalama ET_0 değerleri Penman Monteith (Allen vd. 1998) yöntemine göre 3,0 mm/gün olarak hesaplanmıştır. İklim değişikliği projeksiyonları dikkate alındığında ET_0 ’ın 2016 ile 2025 yılları arasında 3,2 mm’ye (%7 artış), 2046-2055 arasında 3,6 mm’ye (%20 artış) ve 2076 ile 2085 arasında 4,0 mm’ye (%33 artış) çıkması beklenmektedir. Ayrıca Deveci ve Konukcu (2024) her 1°C sıcaklık artışında 0,1 mm/gün (4%) ET_0 değerinin artacağını belirlemişlerdir.

Belirli bitkiler için büyüme mevsiminin zamanlamasının değişmesi, iklim değişikliği altında sulama gereksinimlerinin tahminini de karmaşık hâle getirmektedir (Mínguez vd., 2007). Artan sıcaklık, büyüme periyodunu uzatarak kuzey ılıman bölgelerde hem daha erken ekime hem de daha geç hasada olanak tanıyacak, ancak dünyanın diğer tüm bölgelerinde büyüme periyodunu

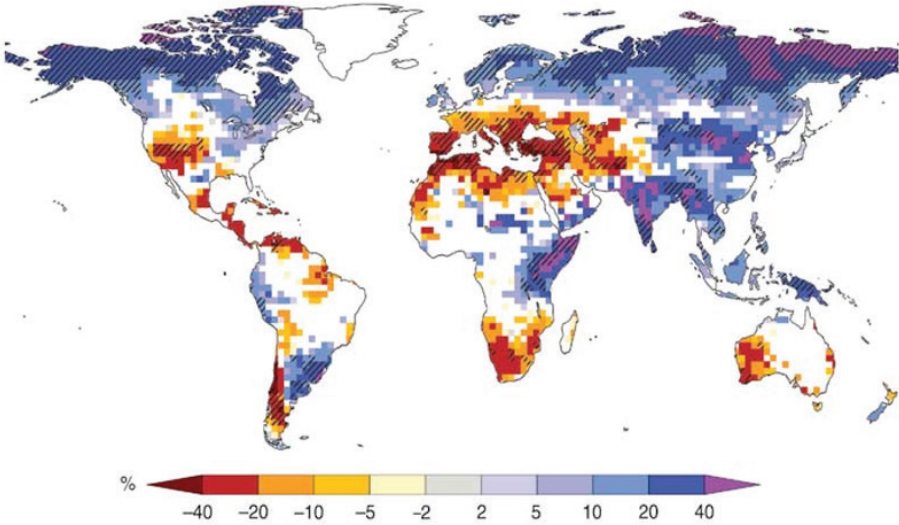
da kısıltacaktır (Turral vd., 2011). Daha uzun büyüme dönemleri muhtemelen mahsulün su ihtiyacını artıracaktır. Ayrıca iklim değıştikçe bir ürün belirli bir bölgede ekime uygun olmayabilir. Bu tür tarımsal değışiklikler, bitkinin su ihtiyacına ilişkin tahminleri daha karmaşık hâle getirmektedir. Ayarlanan ürün takvimleri, artan bitki su kullanım etkinliği ve gelişmiş sulama teknolojileri gibi adaptasyon önlemleri, bitkilerin su ihtiyacını daha da azaltabilmektedir (Cai vd., 2015).

3.2. İklim Değişikliği Altında Su Mevcudiyeti

Tarımda, kuru tarım koşulları için mevcut olan suya yeşil su denir (yani toprakta depolanan ve bitkinin büyümesi için kullanılabilen su). Nehirler, göller ve yeraltı sularındaki sulara ise mavi su denir. Sulanan bitkiler için mevcut su hem yeşil suyu hem de mavi suyu içerir (Falkenmark ve Rockström 2006). Toplam yağış miktarı yanında mevsimsel yağış dağılımındaki değişim, yağmurla yetişen bitkiler için belirleyici bir faktör olacaktır. Sulama, mavi suyun yüzey veya yer altı su kaynaklarından çekilmesi yoluyla bitkinin büyüme mevsimi içindeki su kıtlığının etkisini hafifletmeye yönelik bir önlemdir. Yağış ve sıcaklıktaki yerel ve bölgesel değışiklikler sulama suyu miktarını etkilemektedir (Rosegrant vd., 2002; Schewe vd., 2014).

Yüzey suyu: İklim değışikliğinin nehirler, göller, rezervuarlar ve sulak alanlardaki yüzey suyu kaynakları üzerindeki etkileri öncelikle yağışın zamanlaması, yeri, miktarı ve şekli (kar veya yağmur) tarafından belirlenir (Bates vd., 2008). Yerel dağılım yağış açısından sıcaklıktan daha değışkendir ve önemlidir.

Yağış ve sıcaklıktaki değışiklikler yüzey akışında ve su mevcudiyetinde değışikliklere yol açmaktadır (Şekil 3). Yüzyılın ortasına kadar yüksek enlemlerde ve Doğu ve Güneydoğu Asya'nın kalabalık bölgeleri de dâhil olmak üzere bazı nemli tropikal bölgelerde akışın %10 ila %40 oranında artacağı ve bazı kurak bölgelerin orta enlemlerde ve kurak tropik bölgelerde yağışların azalması ve buharlaşma oranının artması nedeniyle akışın %10 ila %30 oranında azalacağı yüksek bir güvenle tahmin edilmektedir. Ayrıca birçok yarı kurak bölgenin (örneğin, Akdeniz Havzası, Batı Amerika Birleşik Devletleri, Güney Afrika ve Kuzeydoğu Brezilya) iklim değışikliğı nedeniyle su kaynaklarında azalmaya maruz kalacağına dair daha kuvvetli tahminler vardır (IPCC, 2007).



Şekil 3. 1980-1999’a kıyasla 2090-2099 dönemi için yıllık akışta (yüzde cinsinden su mevcudiyeti) büyük ölçekli göreceli değişiklikler (IPCC, 2007).

Dünyadaki birçok büyük ölçekli sulama sistemi yüzey suyuna bağlıdır: İklim değişikliğinin etkisi, nehir havzası ölçeğinde memba-mansap su tahsisi sorunları ve birçok bölgede uluslararası su paylaşımı problemleri nedeniyle sulama suyu yönetimi daha karmaşık hâle gelebilir (Turral vd., 2011; Cai vd., 2015).

Kar ve buzullar: Buzul buzu, küresel tatlı suyun yaklaşık %70’ini “depolararak” Dünya üzerindeki en büyük tatlı su rezervi olarak kabul edilmektedir. Buzul buzu/karı olarak depolanan su, özellikle tarıma yönelik bir bölgenin hidrolojik sigortası olarak değerlendirilmektedir. Dünyadaki pek çok sulama sistemi, ürün gelişme mevsiminde memba buzul alanlarında eriyen karlardan elde edilen su akışına bağlıdır. Kışın veya ilkbaharın başlarında artan sıcaklık, sulama mevsimi öncesinde ve/veya sonrasında su akışını arttırmakta, ancak mahsul mevsimi içindeki akışı azaltmaktadır (Cai vd., 2015).

Küresel ısınma etkilerinin karın hâkim olduğu bölgelerde hidrolojik döngüyü önemli ölçüde değiştirme potansiyeli vardır. Kış yağışlarının kardan yağmura dönüştüğü yerlerde artan sıcaklığın nehir akış rejimlerinin mevsimselliğini değiştireceği yönünde önemli kanıtlar elde edilmiştir. Bu, birçok kıtasal ve dağlık bölgede kar erimesinden kaynaklanan en yüksek akarsu akışlarının

zamanlamasını değiştirecektir. Sonuç olarak, karların daha erken erimesi nedeniyle kış aylarında akış artarken, yaz aylarında akış azalmaktadır. Marjinal miktarda kar yağışı olan alçak rakımlı yerler bu etkiye karşı daha hassastır ve çoğu durumda en yüksek akış suya en çok ihtiyaç duyulan dönemden önce meydana gelebilir. Rezervuar depolama kapasitesi maksimum akıştaki bu değişimi karşılamak için yetersiz olduğundan, “erken suyun” çoğu boşa gidecek ve okyanusta son bulacaktır (Barnett vd., 2005; Kundzewicz vd., 2007; IPCC 2013; Cai vd., 2015).

Örneğin iklim değişikliği projeksiyonlarına göre Türkiye’de karla kaplı alanlarda ve kar yağışı miktarlarında azalma öngörülmektedir. Türkiye’nin doğusunda kış ve ilkbahar aylarında kar örtüsü kalınlığının azalması yağışın karakterinde bir değişikliğe işaret etmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi’nde karların azalması, günümüzde erimenin yaşandığı ilkbahar ve yaz aylarında derelerin debilerinde ciddi düşüslere neden olabilecektir. Bu durum Türkiye’nin tarım sektöründe ve enerji sektöründe ekonomik kayıplara neden olacaktır. Özellikle sıcaklıkların artmasına bağlı olarak artan buharlaşma, tarım sektöründe sulama ihtiyacını da artıracaktır (SYGM 2016).

Yeraltı suyu kaynakları: Yeraltı suyu, aşırı iklim olayları sırasında tampon görevi gördüğü için birçok topluluğun su güvenliği açısından hayati öneme sahiptir. Sulama, birçok bölgede yeraltı suyunun birincil kullanıcısıdır. Bununla birlikte, sulama için yoğun yeraltı suyu pompalaması hâlihazırda yeraltı suyunun tükenmesine neden olmuştur ve bu durum, iklim değişikliği nedeniyle gelecekte daha da kötüleşebilecek ve yeraltı suyunun sürdürülebilirliğini tehdit edebilecektir (Taylor vd., 2013).

İklim değişkenliği ve değişimi yeraltı suyu sistemlerini doğrudan yeraltı suyunun beslenmesi yoluyla ve dolaylı olarak da insanların su temini için yeraltı suyunun çekilmesini değiştirerek etkilemektedir (Taylor vd., 2013). Buzulların erimesi üzerindeki ısınma etkileri ilkbaharda yüzey akışını artırıp yazın azaltabilir ve yeraltı suyuna olan talebi daha da artırabilir. Kuraklıkların ve diğer aşırı iklim olaylarının artması nedeniyle bu tür durumlar daha da kötüleşebilir (Hagg vd., 2007). Üstelik iklim değişikliği, deniz seviyesinin yükselmesi ve yer altı sularına tuzlu su girişi nedeniyle adalar ve kıyı bölgelerindeki yeraltı su kaynakları üzerinde büyük bir tehdit oluşturabilir (Bates vd., 2008). Bu nedenle, ek yüzey suyu depolama kapasitesinin yanı sıra, özellikle yağışlı yıllarda bitkilerin büyüme mevsimi öncesinde ve sonrasında yeraltı suyuna

yapay besleme, bazı bölgelerde hidrolojik sigortayı geliştirmek için etkili önlemler olabilir.

Toprak nemi: Yağmur suyu ile beslenen bitkiler, iklim sisteminin önemli bir değişkeni olan toprak nemine bağlıdır. Toprak nemi yağış, sıcaklık ve rüzgâr hızı gibi diğer iklim değişkenlerinin yanı sıra toprağın fiziksel koşullarından da etkilenir. Bu nedenle, öngörülen iklim değişikliğinin yerel ve bölgesel ölçekte toprak nemi üzerinde önemli etkileri olabilir (Seneviratne vd., 2010, Cai vd., 2015). Bu tür bir değişikliğin yağmur suyu ile beslenen ürünler üzerinde doğrudan olumlu veya olumsuz etkisi olabilir. Küçük ölçekli yağış hasadı projeleri, yağış değişiminin hem miktar hem de zamansal dağılımı üzerindeki etkisini azaltmanın anahtarıdır (Turral vd., 2011; IPCC, 2013).

3.3. Su Kalitesi

İnsanlar ve çevre için su bulunabilirliği yalnızca su miktarına değil aynı zamanda su kalitesine de bağlıdır çünkü su kalitesi ve miktarı birbiriyle bağlantılıdır ve birbirini etkiler. Ancak iklim değişikliğinin su kalitesi üzerindeki etkisi, su miktarına kıyasla yeterince araştırılmamıştır (Kundzewicz vd., 2007, Bates vd., 2008). İklim değişikliği su kütlelerindeki su sıcaklıklarının değişmesi yoluyla su kalitesini doğrudan etkilemektedir. Öte yandan, tarım ve diğer sektörlerdeki insan faaliyetleri, atık suyun bertarafı nedeniyle dolaylı olarak su kalitesinin bozulmasından birincil derecede sorumludur.

İklim değişikliği nedeniyle tarımsal faaliyetlerden dolayı su kalitesinin bozulmasının birçok nedeni vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Tarım arazilerinde toprak erozyonu,
- Kıyı bölgelerde yeraltı suyunun aşırı çekilmesi sonrası küresel ısınmanın nedeniyle yükselen deniz suyunun kara içlerine doğru girişim sonucu akiferlerde tuz birikmesi,
- Toprak işleme, gübreleme ve pestisit uygulamaları da dâhil olmak üzere arazi kullanımı ve yönetimi,
- Kuraklık sırasında kanalizasyon arıtma tesislerinden gelen suyla sulama,
- Geleneksel sulama yöntemleriyle aşırı su uygulaması (özellikle yüzey sulama) sonucu kirlenmiş dönüş (yüzey drenaj) suyunun akıma karışmasıdır (Cai vd., 2015).

Tarımsal faaliyetlerin daha uzun büyüme sezonlarına ve azalan su mevcudiyetine uyum sağlaması gerekecektir. Yeni ürünler daha kuru ve daha sıcak koşullara uygun olacak ve bu da daha yüksek konsantrasyonlu daha düşük hacimli atık su deşarjına yol açacaktır. İstenmeyen su kalitesi etkilerini, özellikle de tarımla ilgili olanları ele almaya yönelik planlar, su kaynaklarının korunması, tarımsal uyum faaliyetleri ve su temini, kentsel drenaj ve arıtma sistemleri gibi diğer sektörlerdeki operasyonel prosedürlerden, iklim değişimine bağlı olarak değişebilecek müdahalelerin entegrasyonunu gerektirecektir (Cai vd., 2015; Murdoch vd., 2000).

3.4. Aşırı İklim Olayları

İklim değişikliği yalnızca sıcaklık ve yağış gibi iklim değişkenlerindeki uzun vadeli eğilimleri ve değişimleri değil, aynı zamanda aşırı olayların sıklığını, yoğunluğunu ve süresini de etkilemektedir. Aşırı iklim olayı, bir iklim değişkeninin değerinin bir üst (veya alt) eşiğin üzerinde (veya altında) meydana gelmesi olarak tanımlanabilir. Aşırı iklim olayları arasında sel, kuraklık, sıcak hava dalgası, kasırga ve tayfun yer alır. Geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısındaki “milyar dolarlık felaketlerin” yüzde 70’inden fazlası aşırı iklim olaylarıyla ilgilidir (Cai vd., 2015).

Tarım, tüm dünyada aşırı iklim olaylarından önemli ölçüde etkilenmektedir (Nelson vd., 2009; Turrall vd. 2011; IPCC, 2012). Bu aşırı olayların sıklığı ve şiddetinin gelecekte iklim değişikliği nedeniyle daha da artması muhtemeldir (IPCC, 2012). Aslında gözlemler, küresel ölçekte olağandışı sıcak gün ve gecelerin sayısında artış, yoğun yağışların sayısında artış gibi çeşitli aşırı iklim koşullarında son 60 yılda artan bir eğilimin olduğunu göstermektedir: tropik dışı siklonların kutup yönüne doğru kayması, karların erimesi ve buzullarla beslenen nehirlerde ilkbaharda zirve nehir akışlarının daha erken ortaya çıkması gibi (IPCC, 2012; Cai vd., 2015). Burada, aşırı iklim olayları arasında tarım için en önemli iki olay olan sel ve kuraklık ele alınmıştır.

Taşkınlar: Taşkınlar veya seller birçok bölgede en çok rapor edilen doğal afet olayıdır ve yılda ortalama 140 milyon insanı etkilemektedir. Yağış yoğunluğunda gözlenen artış, iklim değişikliğinin taşkınların şiddeti ve sıklığı üzerinde hâlihazırda bir etkisi olduğunu göstermektedir (WDR, 2003; WDR, 2004).

Taşkın üreten süreçler arasında yoğun ve/veya uzun süreli yağışlar, kar erimesi, baraj yıkılması, buz heyelanlar veya fırtına nedeniyle akımın tıkanması yer alır. Taşkınlar yağış şiddet ve miktarına, zamanlamasına, yağış şekline (yağmur veya kar), nehirlerin ve drenaj havzalarının önceki koşullarına (kar ve buzun varlığı), toprağın durumuna (donmuş veya doymuş olup olmadığı), kar/buz erimesinin hızı ve zamanlaması, kentleşme, bentlerin, barajların ve rezervuarların varlığına bağlıdır (WDR, 2003; WDR, 2004).

Tarım arazileri, taşkın genişleme alanları ve taşkın yataklarının içinde veya yakınında konumlanmaları nedeniyle taşkınlara karşı yüksek hassasiyete sahip olduğundan, taşkınlar genellikle kayıp ve hasar açısından kırsal alanlar üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Ayrıca yoğun yağışlar toprakta aşırı nem oluşmasına neden olur ve bu da tarımsal üretimi önemli ölçüde etkiler. Aşırı yağışlar aynı zamanda zararlılar ve bitki hastalıkları, kültürel faaliyetlerin gecikmesi, toprak erozyonu nedeniyle tarımsal kayıplara neden olduğu gibi salgın hastalıklar, yaprak mantarı patojenlerinin yaygınlığı ve toprak kaynaklı patojenlerin enfekte olmayan alanlara yayılması gibi çevresel sorunlara da neden olmaktadır (Rosenzweig vd., 2001; Cai vd., 2015).

Çoğunlukla şiddetli su baskınlarına neden olan kasırgalar ve tayfunlar belki de en yıkıcı aşırı iklim olaylarıdır. Çok kuvvetli rüzgârlar ve çok şiddetli yağışların birleşiminden oluşurlar ve genellikle deniz seviyesinin yükselmesiyle ilişkilendirilirler. İklim değişikliği kaynaklı kasırgaların sıklığının ve yoğunluğunun gelecekte değişmesi muhtemeldir, ancak eğilimlere ilişkin belirsizlikler yüksek seviyededir ve etkileri de karmaşıktır (Knutson ve Tuleya 2004; Cai vd., 2015).

Kuraklık: Kuraklık, esas olarak kuru (yani yağış eksikliği) ve sıcak (yani yüksek sıcaklık) hava koşullarıyla ilişkili olan ve bazı aşırı durumlarda sıcak hava dalgalarının da eşlik ettiği bir aşırı iklim şeklidir (Mishra ve Singh, 2010).

Kuraklık meteorolojik sistemlerden tarımsal sistemlere kadar genişlemekte, su miktarını, kalitesini, tarımsal üretimi (Calanca vd., 2007, Mishra ve Singh, 2010), gıda güvenliğini (Schmidhuber ve Tubiello, 2007) ve ekonomiyi (Wang vd., 2011) yerel, bölgesel ve ulusal ölçeklerde büyük ölçüde olumsuz etkilemektedir. “Tarımsal kuraklık”, ürünleri etkileyen, toprağın en üstteki bir metre kadarındaki (kök bölgesi) nem eksikliğiyle ilgilidir (Trenberth vd., 2007).

Kuraklık, tarımda sıcaklık stresi, zararlılar ve su kıtlığı gibi birçok faktör nedeniyle kayıplara neden olmaktadır. Örneğin Orta ve Doğu Avrupa'da kuraklık sırasında böceklerin yayılması nedeniyle verimlilik genellikle düşmektedir (Eitzinger vd., 2013).

Son yıllarda meydana gelen iklim değişikliğiyle birlikte kuraklığın arttığına veya azaldığına dair kesin bir kanıt olmamasına rağmen, Güney ve Orta Avrupa, Alp Bölgesi, Orta Kuzey Amerika, Akdeniz Bölgesi, Avustralya, Güney Afrika, Meksika ve Kuzeydoğu Brezilya gibi bazı bölgelerde kuraklığın gelecekte yoğunlaşması beklenmektedir (Calanca vd., 2007; Wang vd., 2011; IPCC, 2012; Sheffield vd., 2012; Eitzinger vd., 2013; Cai vd., 2015).

Isı dalgalarına genellikle kuraklık olaylarının eşlik etmesi ve periyodunun uzaması bitkisel ve hayvansal üretim üzerinde baskılar oluşturmaktadır (Lobell vd., 2013). Sıcak hava dalgalarından kaynaklanan ekonomik kayıplar oldukça fazladır (García-Herrera vd., 2003; Beniston, 2009). Örneğin, Avrupa'da 1540 yılından bu yana en sıcak yazı yaşanmasına neden olan 2003 sıcak hava dalgası, Avrupa'da brüt birincil üretimin %30 oranında azalmasına neden olmuştur (Ciais vd., 2005). 21. yüzyılın sonuna ilişkin birçok tahmine göre sıcak hava dalgalarının gelecekte daha sık meydana gelmesi beklenmektedir (Meehl ve Tebaldi, 2004).

4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAPSAMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR SU YÖNETİMİ STRATEJİLERİ/POLİTİKALARI

İklim değişikliğine uyum seçeneklerinin mutlaka ve mutlaka yatırımları, gelişmiş ve uygulanabilir yönetim ve politikaları, kurumların kapasite geliştirmelerini kapsamaları, geliştirmesi ve birleştirmesi gerekmektedir. Bu tür seçeneklerin de farklı ölçeklerde uygulanması gerekmektedir: tarla ve çiftlik ölçeğinde; sulama projesi (özellikle büyük şebekeler) ölçeğinde; yüzey veya yeraltı suyu havzası ölçeğinde, nehir havzalarında (sınır ötesi nehir havzaları dâhil); ve ulusal düzeyde (Tablo 2) (Turral vd., 2011; FAO, 2013). McGray vd. (2007) ve OECD (2009), kalkınmadan iklim değişikliğine kadar uzanan süreci kapsayan uyum faaliyetlerinin dört kategoride düzenlenebileceğini bildirmiştir.

İnsani gelişmenin desteklenmesi: Bu faaliyetler yoksulluğun azaltılmasına ve nedeni ne olursa olsun insanları zarar görmeye açık hâle getiren faktörlerin ele alınmasına odaklanmaktadır.

Müdahale kapasitesinin oluşturulması: Çoğunlukla kapasite geliştirme niteliğinde olan bu faaliyetler, kalkınma çabalarından uyarlanan kurumsallaşma ve teknolojik yaklaşımları içermeye eğilimindedir.

İklim riskinin yönetilmesi: Bu kategorideki faaliyetler özellikle tehlikelere ve etkilere odaklanmakta ve iklim riski yönetimi kavramını takip etmektedir.

İklim değişikliğiyle yüzleşmek: Neredeyse yalnızca iklim değişikliğinin etkilerini ele almaya odaklanılmaktadır. Bu kategorideki faaliyetler, tarihsel iklim değişkenliğinin ötesinde iklim değişikliğine bağlı riskleri hedefleme eğilimindedir.

4.1. Su Kıtlığıyla Başa Çıkmak

Su kıtlığı hâlihazırda dünya çapında birçok nehir havzasında tarımın karşı karşıya olduğu temel zorluktur. Suyun kıt olduğu bölgelerde iklim değişikliğinin gerilimleri artırması ve su rekabetini artırması beklenmektedir. Tarımın gıda ve diğer mallara olan talebi karşılamaya devam etmesi durumunda hem arz hem de talep tarafında çaba gösterilmesi gerekecektir (FAO 2013).

Su kaynaklarının geliştirilmesi şu başlıkları içermektedir:

- Geleneksel su kaynaklarına erişimin artırılması ve bunların yönetiminin iyileştirilmesi,
- Habitat rehabilitasyonu,
- Baraj operasyonları,
- Drenaj suyunun ve atık suyun yeniden kullanımı,
- Nehir havzaları arasında suyun transferi,
- Tuzlu suyun arıtılması ve
- Kirlilik kontrolüdür.

Tablo 2. Su kaynakları için farklı ölçeklerde iklim değişikliğine uyum seçenekleri (Turral vd., 2011; FAO, 2013).

Seçenek	Tarla/ Çiftlik	Sulama Şebekesi	Havza/ Akifer	Nehir Havzası	Ulusal
1. Yatırım					
Çiftlikte su depolama hasadı	+				
Yeraltı suyu gelişimi	+				
Sulama altyapısının modernizasyonu		+			
Kuraklık ve taşkınlar karşı dayanıklılık için bitki ıslahı	+				
Baraj inşaatı/iyileştirme		+	+	+	
Drenaj	+		+	+	
Uygun balık türlerinin geliştirilmesi	+		+	+	
2. Arazi, su ve bitki yönetimi					
Toprağın nem tutma kapasitesinin artırılması	+				
Ürün desenini değiştirme ve çeşitlendirme	+				
Ürün (ve balık hasadı) takviminin uyarlanması	+				
Destekleme sulama	+	+			
Kısıntılı sulama		+			
Alternatif ıslak ve kuru çeltik üretim sistemi	+	+			
Drenaj ve taşkın yönetimi		+	+	+	
Sulama şebekelerinin işletiminin iyileştirilmesi		+			
Entegre su kaynakları yönetimi				+	
Baraj işletme kurallarının uyarlanması				+	
Nehirlerde kıyı habitat restorasyonu veya oluşturulması				+	
3. Politikalar, kurumlar ve kapasite geliştirme					
Sulama ve drenaj altyapısının iklim koşullarına dayanıklı olması		+	+	+	
Suyun yeniden tahsisi (sektörler arasında veya sektörler içinde)	+	+	+	+	+
Arazi/su haklarına erişimin güçlendirilmesi	+	+	+	+	+
Ürün sigortaları	+		+	+	
Geliştirilmiş iş hava tahmini kapasitesi	+	+	+	+	+
Geliştirilmiş hidrolojik izleme				+	
Sel/kuraklık gelişimi					+
Gıda saklama stratejilerinin gözden geçirilmesi					+

Çiftçilerin daha az suyla daha fazla üretmesine yardımcı olmak için teknik, yönetsel, yasal ve yatırım seçeneklerinin bir kombinasyonuna ihtiyaç vardır. Bu seçeneklerin, çiftçileri su kıtlığı konusunda uyaran ve suyun çiftlik düzeyinde daha verimli kullanımını ödüllendiren bir politika ve teşvik çerçevesiyle desteklenmesi gerekmektedir (FAO, 2013).

4.2. Direnç Geliştirme

Direnç oluşturmak, çiftçilerin şoklara maruz kalmasını veya hassasiyetini azaltmayı veya tepki verme kapasitelerini arttırmayı içerir. Daha değişken yağmur suyu kaynakları karşısında tarımsal sistemlerin tamponlama kapasitesinin artırılabilmesi birincil öneme sahiptir. Bu, toprakta, yüzey rezervuarlarında veya yer altı rezervuarlarında su depolama kapasitesinin artırılmasını gerektirir. İhtiyaç duyulduğunda suya erişim kapasitesini artıran herhangi bir eylem, iklim değişkenliğine karşı dayanıklılığı artıracaktır (FAO, 2013).

Su depolama kapasitesini artırmak için çiftlik düzeyinde yapılması gereken faaliyetler şunlardır (FAO, 2013):

- Su hasadı,
- Toprağın nem tutma kapasitesinin artırılması,
- Toprağın su emme (infiltrasyon) ve su tutma kapasitesinin artırılması ve
- Mümkün olan yerlerde yeraltı suyuna daha sistematik erişimin sağlanmasıdır.

Ürün sezonunun kritik dönemlerinde destek sulama, ürün kayıplarını azaltabilir ve verimliliği artırabilir.

4.3. Tarla ve Çiftlik Seviyesinde Adaptasyon

Tarla ve çiftlik seviyesindeki adaptasyon şunları içerir (FAO, 2013):

Buharlaştırma kayıplarını azaltan daha verimli sulama teknolojileri: Basınçlı sulama, özellikle damla sulama veya damla sulamayla birlikte malç ve gece sulaması gibi önlemler, sulanan alan miktarının artırılması yerine, su verimliliğini sağlayan kısıntılı sulama yaklaşımı ile aynı hacim su ile daha fazla alanı sulayarak çiftçinin hasat ettiği toplam ürünü artırmayı amaçlamaktadır.

Bitki seçimi ve tarımsal faaliyetlerin takvimlerindeki değişiklikler: Bu, çiftçilerin yeni sıcaklıklara ve yağış düzenlerine uyum sağlamasına yardımcı olacaktır. Kurak dönemlere karşı daha iyi dayanıklılığa sahip mahsullerin veya çeşitlerin kullanılması tercih edilecektir. Erkenci çeşitlerin seçimi ve yazlık ürünlerde, ilkbaharda mümkün olabilecek en erken tarihte ekim yapmak yaz kuraklıklarından kaçarak daha az etkilenme ve ilkbahar yağışlarından maksimum faydalanmayı sağlayabilir.

Çeşitliliğin artırılması: Ağaçların, ekilen ürünlerin, balıkların ve hayvanların daha iyi entegrasyonunu içeren tarımsal çeşitlendirme, riski azaltacak ve tarım sistemlerinin dayanıklılığını artıracaktır. Özellikle yoğun göç gerektirmeyen ve çevresel toleransları geniş olan su türlerinin yetiştirilmesi ve avlanması, su ürünleri yetiştiriciliği ve avcılığın yeni iklim koşullarına uyum sağlamasına yardımcı olacaktır.

Artan taşkın sıklığına ve daha şiddetli yağışlara karşı daha sistematik önlemler benimsemek: Çiftçilerin ayrıca artan sel sıklığına ve daha yoğun yağışlara yanıt vermek için daha sistematik önlemler alması gerekecektir. Erozyon kontrolü eylemleri ile daha iyi drenaj kapasitelerinin bir kombinasyonuna ihtiyaç duyulacaktır.

4.4. Sulama Şebekesi Düzeyinde Uyum Faaliyetleri

Sulama şebekesi düzeyindeki uyum faaliyetleri şunlar üzerinde yoğunlaşmıştır (FAO, 2007, FAO, 2013):

Sulama sistemlerinin modernizasyonu: Sulama planlarında iklim değişikliğine uyum sağlamaya yönelik eylemlerin, sulama modernizasyonunun genel bağlamında ele alınması gerekmektedir. Modern sulama sistemleri, daha iyi su tahsis mekanizmalarına, su kıtlığıyla ilgili uyarıların çiftçilere net bir şekilde iletilmesine ve suyun daha esnek ve güvenilir dağıtımı için hem altyapının hem de yönetimin uyarlanması ihtiyacı duymaktadır (FAO, 2007).

Sulama planı dâhilinde ara depolama ve mümkün olduğunda yeraltı suyunu erişim: Bunlar, su temininin dayanıklılığını ve güvenilirliğini oluşturmaya yönelik seçeneklerin bir parçasıdır ve sulama planlarına yönelik uyum planlarında dikkate alınmalıdır.

Suyun fiyatlandırılması ve su piyasalarının kurulması: Bunlar genellikle daha iyi su kullanımını teşvik etmek ve su israfını azaltmak için talep yönetimi araçları olarak savunulur. Bu seçeneklerin bazı yerlerde etkili olduğu kanıtlanmış olsa da teknik, kurumsal ve politik nedenlerin birleşiminden dolayı uygulanması genellikle zordur. Daha verimli su kullanımı davranışını teşvik etmek için daha basit ve daha etkili olabilecek, mevsimsel tahsislerin kullanıcılara veya kullanıcı gruplarına sınırlandırılması gibi başka seçenekler de vardır.

4.5. Havza, Nehir Havzası ve Ulusal Düzeyde Adaptasyon

Daha üst seviyelerde iklim değişikliğine uyum, politika düzenlemeleri ile altyapı ve yönetime yapılan yatırımların bir kombinasyonunu içermektedir. Nehir havzalarında aşırı hava olaylarının artan sıklığı ve şiddeti, barajların depolama kapasitesinde ve yönetiminde ve nehir koruma çalışmalarında düzenlemeler yapılmasını gerektirmektedir (FAO, 2013).

Taşkın yönetimi planları: Taşkın yönetimi planları, arazi kullanım planlaması, erken uyarı sistemleri ve sigortalama gibi yapısal düzenlemeler ile eğitim, farkındalık ve kapasite geliştirme gibi yapısal olmayan düzenlemelerin bir kombinasyonu olmalıdır (FAO, 2013).

Kuraklık yönetim planları: Benzer şekilde, kuraklığa acil müdahaleden, önleme, hazırlık, yardım ve rehabilitasyon ile kuraklığın etkilerini hafifletmeye yönelik uzun vadeli önlemleri içeren kuraklık yönetim planlarına geçiş yapılmasına ihtiyaç duyulacaktır (FAO ve NDMC, 2008, FAO, 2013).

Taşkın ve kuraklığa uyum için bitki tür ve çeşidi seçimi: Kuraklık ve taşkın durumunda bitki tür ve çeşidi seçiminde, su yöneticileri ve çiftçiler tarafından taşkın ve kuraklığa karşı kullanılan adaptasyon yaklaşımları sistematik olarak dikkate alınmalıdır. Taşkın zararlarını azaltmak ve erozyon kontrolünü sağlamak için habitat mühendisliği ve rehabilitasyona da ihtiyaç duyulacaktır. (FAO, 2013).

Nehir havzalarında entegre su kaynakları yönetimi: Artan su kullanımı ve aşırı iklim olayları nehir havzalarında yaşayan insanlar ve toplulukların birbirine bağımlılığını artıracak ve eylemlerle birlikte nehir havzalarında entegre su kaynakları yönetimi giderek daha önemli hâle gelecektir. Havzanın bir kısmında meydana gelen bir olumsuzluğun havzanın aşağı kısmındaki insanlar üze-

rinde etkileri olacaktır. İklim değişikliğinin su kıtlığının artmasına neden olduğu yerlerde, su sağlamanın iyileştirilmesi ve talep yönetimi seçeneklerinden oluşan tüm paketin dikkate alınması gerekecektir (FAO, 2012). Hayvancılık ve balıkçılık da dâhil olmak üzere suyun çoklu kullanımına uyum sağlamak için arazi ve su kaynakları kullanımında daha etkin ve sürdürülebilir yönetimin prensiplerinin benimsenmesi gerekmektedir (FAO, 2013).

Gelişmiş hava tahmini ve hidrolojik izleme veya meteorolojik okur-yazarlık: Gelişmiş hava tahmini ve hidrolojik izleme, modern uyum stratejilerinin kritik bir unsuru hâline gelecektir (Faurès vd., 2010). Ancak mevsimsel tahminlerin zamanlaması ve güvenilirliğindeki gelişmeler, çiftçiler için yeni fırsatlar sunmaktadır. Çabalar bu tahminlerin doğruluğunu artırmaya odaklandıkça, bilginin çiftçilere iletilme şeklinin iyileştirilmesine ve çiftçilerin iklim bilgisinden en iyi şekilde yararlanma kapasitelerinin geliştirilmesine artık daha fazla önem verilmelidir (Gommes vd., 2010). Ürün sezonu boyunca izleme ve erken uyarı, çiftçilerin bilinçli kararlar almasına yardımcı olmak için bir öncelik olmaya devam etmektedir (FAO, 2013).

Tarım sigortaları: Sigortalar, uyum stratejilerinin bir parçası olarak sistematik olarak dikkate alınması gereken potansiyel bir çözümü temsil etmektedir. Ulusal ürün sigorta programları, sel, kuraklık, dolu hasarı vb. aşırı iklim olaylarının neden olduğu felaketler açısından eleştirel bir şekilde yeniden değerlendirilmelidir. Ulusal hükûmetlerin ürün sigortalarını teşvik etmedeki rolü, ulusal çıkarları yansıtmalı ve aynı zamanda özel sigorta şirketlerinin sorunsuz işleyişini sağlamalıdır. Bu, üreticiler, sigorta şirketleri ve hükûmetler arasında paylaşılan risk kavramına dayanmalıdır (FAO, 2013).

4.6. İklim Değişimine Başarılı Bir Uyum İçin Gerekli Koşullar

İklim değişikliğine uyum hem kırsal kalkınma hem de su kıtlığı programlarında ana akım hâline getirilmeli ve ayrı ayrı yürütülmemelidir. Su, toprak ve gıda politikaları daha uyumlu hâle getirilmeli ve iklim değişikliği perspektifinden değerlendirilmelidir. Özellikle tarım ve kırsal kalkınma hedeflerinin su planlamasına dâhil edilmesi ve diğer su kullanım sektörlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Büyük ölçüde doğrudan su yönetimiyle ilgili olan afet risk yönetimi stratejileriyle de bağlantı kurulmalıdır (FAO, 2013).

4.7. İklim Değişikliğinin Önlenmesi/Azaltılması İçin Su Yönetimi

Sulu tarım, küresel tarım alanının yalnızca %20'sini oluşturmakta ancak daha yoğun bir şekilde yönetilmektedir. Ortalama olarak sulu tarım, kuru tarım sisteminden daha fazla miktarda inorganik gübre ve diğer tarımsal kimyasallar kullanmaktadır. Sonuç olarak, geliştirilmiş ürün yönetimi uygulamaları yoluyla sera gazlarını azaltmaya yönelik çabaların, kuru tarım alanlarına göre sulanan alanlarda daha fazla etkiye sahip olması beklenmektedir (FAO, 2013).

Sulanan arazilerin %38'inde yeraltı suyu sulama amaçlı kullanılmaktadır. Yeraltı suyunun kullanımı yaygınlaşmakta (Siebert et al. 2010) ve bu da fosil yakıtların kullanımını artırmakta ve sonuçta su sağlamada enerji maliyetleri ve sera gazı salınımı artmaktadır (FAO, 2013).

Tarımsal metan (CH_4) emisyonları, insan faaliyetlerinden kaynaklanan CH_4 emisyonlarının %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Bu emisyonların üçte biri sürekli göllendirme yöntemi ile çeltik tarımı yapma sonucu oluşan anaerobik koşullardan kaynaklanmaktadır. Sulanan çeltik alanları nispeten hızlı bir şekilde yetiştirilirse, çeltik tarlalarından kaynaklanan CH_4 emisyonlarındaki gelecekteki artışların küçük olması beklenmektedir (Gitz vd., 2012).

Büyüme mevsimi sırasındaki emisyonlar, aerobik çeltik yetiştirmek ve koşulların izin verdiği durumlarda alternatif ıslatma ve kurutma gibi çeşitli su yönetimi uygulamaları kullanılarak azaltılabilir. Çeltik yetiştirilmediği zaman suya doygunluğun önlenmesi ve çeltik yetiştirme mevsimi boyunca sürekli göllendirme süresinin kısaltılması, çeltik tarlalarından kaynaklanan CH_4 emisyonlarının azaltılmasında etkili seçeneklerdir. Şu anda, gerçek aerobik çeltik verimi nispeten daha düşüktür (hektar başına 2 tondan az) ve bu, doğal drenaj koşulları uygun olsa bile benimsenme konusunda yeterli değildir (CAWMA; 2007). Aerobik çeltik su tasarrufu sağlamakta ve nitröz oksit emisyonlarını azaltabilir (Gitz vd., 2012).

Sulanan alanlarda karbon emisyonunu azaltmanın en etkili yöntemlerinden birisi de pompalama enerji gereksiniminin fosil yakıtlar yerine güneş veya rüzgâr gibi sürdürülebilir enerji kaynaklarından karşılanması olabilir.

5. SONUÇLAR

Canlıların en temel gereksinimi sudur. Su potansiyeli, küresel iklim değişikliği, artan nüfus ve çevre kirliliği gibi sorunlarla yüz yüzedir. Suyu kullanan ihtiyaç gruplarının çok dağınık olması ve bunların suyu çok farklı şekilde kullanmak istemeleri, sorunların çözümünü de zorlaştırmaktadır. Türkiye su zengini bir ülke değildir, aksine su azlığı yaşayan bir ülkedir. 2050 yılına kadar su arzı ve talebinde yaşanacak sıkıntılar ekosistemleri de etkileyecektir. Ormanlık alanlar azalacak, toprak bozulacak, erozyonlar oluşacak, biyolojik çeşitlilik azalacak, suyun bulunabilirliği ve kalitesi olumsuz etkilenecektir. Su kıtlığı ve stresine iklim değişikliği, hidrolojik faktörler, demografik ve ekonomik faktörler, yetersiz altyapı veya kurumsallaşma sebep olmaktadır. İklim değişikliğinin sürdürülebilir su yönetimine etkisinin azaltılması için insani gelişmenin desteklenmesi, müdahale kapasitesinin oluşturulması, iklim riskinin yönetilmesi, iklim değişikliğiyle yüzleşmek gibi uyum faaliyetlerine önem verilmelidir. Sürdürülebilir su yönetimi için ise su kıtlığıyla başa çıkmak, direnç geliştirmek, tarla ve çiftlik seviyesinde adaptasyon sağlamak, sulama şebekesi düzeyinde uyum faaliyetleri belirlemek, havza, nehir havzası ve ulusal düzeyde adaptasyon sağlamak gerekmektedir. Taşkın yönetimi planları, kuraklık yönetim planları, taşkın ve kuraklığa uyum için bitki tür ve çeşidi seçimi, nehir havzalarında entegre su kaynakları yönetimi, gelişmiş hava tahmini ve hidrolojik izleme sistemleri veya meteorolojik okur-yazarlığın arttırılması, tarım sigortalarına teşvik için politikalar geliştirilmelidir. Sürdürülebilir su yönetimi için iklim değişikliğini azaltmak için önlemler almak ve başarılı bir şekilde uyum sağlamak en önemli hedeflerden biri olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
- Anonim (2025). Freshwater Resources. National Geographic. <https://education.national-geographic.org/resource/freshwater-resources/>
- Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303-309. <https://doi.org/10.1038/nature04141>

- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. P. (2008). Technical paper of the inter-governmental panel on climate change. IPCC, Geneva, 210.
- Beniston, M. (2007). Linking extreme climate events and economic impacts: examples from the Swiss Alps. *Energy Policy*, 35(11), 5384-5392. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.01.032>
- Boretti, A., Rosa, L. Reassessing the projections of the World Water Development Report. *npj Clean Water* 2(1), 15 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- Bozkurt, D., & Sen, O. L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.021>
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M.T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L.F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B., & Wiberg, D. (2016). Water futures and solution-fast track initiative (Final Report). IIASA Working Paper. IIASA, Laxenburg, Austria: WP-16-006. <https://pure.iiasa.ac.at/13008>
- Cai, X., Zhang, X., Noël, P. H., & Shafiee-Jood, M. (2015). Impacts of climate change on agricultural water management: a review. *WIREs Water*, 2(5), 439-455. <https://doi.org/10.1002/wat2.1089>
- Calanca, P. (2007). Climate change and drought occurrence in the Alpine region: how severe are becoming the extremes?. *Global and planetary Change*, 57(1-2), 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.001>
- Canziani, M. L., Palutikof, O. F., van der Linden, J. P., & Hanson, C. E. (eds.) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, pp. 173-210. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A. D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G.,...Valentini, R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058), 529-533. <https://doi.org/10.1038/nature03972>
- Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (CAWMA). 2007. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute. https://archive.iwmi.org/assessment/files_new/synthesis/Summary_SynthesisBook.pdf
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934-941. <https://doi.org/10.1071/MF14173>
- Deveci, H., & Konukcu, F. (2024). Modeling the Effect of Climate Change on Evapotranspiration in the Thrace Region. *Atmosphere*, 15(10), 1188. <https://doi.org/10.3390/atmos15101188>

- Devlet Su İşleri (DSİ), (2018). Türkiye'nin Su Kaynaklarının Mevcut Durumu. <http://www.dsi.gov.tr/>
- Eitzinger, J., Trnka, M., Semerádová, D., Thaler, S., Svobodová, E., Hlavinka, P., Šiška, B., Takáč, J., Malatinská, L., Nováková, M., Dubrovský, M., & Žalud, Z. (2013). Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe-hotspots, regional differences and common trends. *The Journal of Agricultural Science*, 151(6), 787-812. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000767>
- Falkenmark, M. (1986). Falkenmark Fresh water-time for a modified approach. *Ambio*, 15 (4), 192-200. <https://www.jstor.org/stable/4313251>
- Falkenmark, M., & Rockström, J. (2006). The new blue and green water paradigm: breaking new ground for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3), 129-132. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2006\)132:3\(129\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:3(129))
- Faurès, J. M., Bernardi, M., & Gommès, R. (2010). There is no such thing as an average: how farmers manage uncertainty related to climate and other factors. *International Journal of Water Resources Development*, 26(4), 523-542. <https://doi.org/10.1080/07900627.2010.519515>
- Fischhendler, I., & Zilberman, D. (2005). Packaging policies to reform the water sector: the case of the Central Valley Project Improvement Act. *Water Resources Research*, 41(7). <https://doi.org/10.1029/2004WR003786>
- Food and Agriculture Organization of the United National (FAO), (2007). The State of Food and Agriculture. Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d0c64d8e-f537-40a7-970ebb89733fc54d/content>
- Food and Agriculture Organization of the United National (FAO), (2012). The State of Food and Agriculture. Rome. <https://www.fao.org/4/i3028e/i3028e.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United National (FAO), (2013). Climate Smart Agriculture Sourcebook. Rome. <https://www.fao.org/climatechange/37491-0c425f2caa2f5e6f3b9162d39c8507fa3.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United National (FAO), (2016). Global Forest Resources Assessment 2015. How are the world's forests changing? Second edition. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/29b8ae23-99f9-4a05-b7969a35d02af29d/content>
- Food and Agriculture Organization of the United National (FAO), (2020). AQUASTAT—FAO's global information system on water and agriculture. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>
- Gampe, D., Nikulin, G., & Ludwig, R. (2016). Using an ensemble of regional climate models to assess climate change impacts on water scarcity in European river basins. *Science of the Total Environment*, 573, 1503-1518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.053>

- García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R. M., Luterbacher, J., & Fischer, E. M. (2010). A review of the European summer heat wave of 2003. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40(4), 267-306. <https://doi.org/10.1080/10643380802238137>
- Gitz, V. (2012). The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition (HLPE), High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. Italy. <https://coilink.org/20.500.12592/pd4grn>
- Gleick, P. H., & Cooley, H. (2021). Freshwater scarcity. *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 319-348. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-envi-ron-012220-101319>
- Gommes, R., Acunzo, M., Baas, S., Bernardi, M., Jost, S., Mukhala, E., & Ramasamy, S. (2010). Communication Approaches in Applied Agrometeorology. In K. Stigter (Ed.), *Applied Agrometeorology* (pp. 263-286). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74698-0_5
- Gosling, S. N., & Arnell, N. W. (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134(3), 371-385. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>
- Hagg, W., Braun, L. N., Kuhn, M., & Nesgaard, T. I. (2007). Modelling of hydrological response to climate change in glacierized Central Asian catchments. *Journal of Hydrology*, 332(1-2), 40-53. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.021>
- IPCC, (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf
- IPCC, (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf
- IPCC, (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf
- IPCC, (2014a). Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCrac-

- ken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf
- IPCC, (2014b). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf
- Knutson, T. R., & Tuleya, R. E. (2004). Impact of CO₂-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: Sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization. *Journal of Climate*, 17(18), 3477-3495. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<3477:IOCWOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<3477:IOCWOS>2.0.CO;2)
- Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Doll, P., Kabat, P., Jimenez, B., Miller, K., Oki, T., Zekai, S. and Shiklomanov, I. (2007) Freshwater resources and their management. In: Parry,
- Loell, D. B., Hammer, G. L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2013). The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*, 3(5), 497-501. <https://doi.org/10.1038/nclimate1832>
- Mann, M. E., & Gleick, P. H. (2015). Climate change and California drought in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(13), 3858-3859. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503667112>
- McGray, H., Hammill, A., Bradley, R., Schipper, L., & Parry, J. E. (2007). Weathering the storm: Options for framing adaptation and development (Vol. 57). Washington, DC: World Resources Institute. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/118667084/weathering_the_storm-libre.pdf?1728130309=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DWeathering_the_Storm.pdf&Expires=1741610990&Signature=DmQ8~bfREFjsgOFdw7-0PezAkitgExnnHziqsXZdCKP4NxxV4D9yObCAIoNu~vr9EDNk2ZeF~6jpUjIKSieKerDeUurJ8i5udZaodK8twkGeutx72bxyh3Wa7NYJOMFfjybyQFiRy-Xk-QJOFmUmEzWDIKNWCm8QMclRDxpGvfeEZuFFqKYwttdg8tSSgj3GBH7ru8fcckOiw-qellGjTP6YEHxVg8pVqJ0etuJ7p8XTt6pl905jsCbQ93q9qzbbMQcchi69rDLnby~larZMfj3H9QvGCvFtEkhyU3DFhGkR6lKwji9kqzRUMy29hXEz6yPT0ejk6iArZWm3UQKluEQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Meehl, G. A., & Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686), 994-997. <https://doi.org/10.1126/science.1098704>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), e1500323. <https://doi.org/doi:10.1126/sciadv.1500323>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>

- Mínguez, M. I., Ruiz-Ramos, M., Díaz-Ambrona, C. H., Quemada, M., & Sau, F. (2007). First-order impacts on winter and summer crops assessed with various high-resolution climate models in the Iberian Peninsula. *Climatic Change*, 81, 343-355. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9223-2>
- Molle, F., & Mollinga, P. (2003). Water poverty indicators: conceptual problems and policy issues. *Water Policy*, 5(5-6), 529-544. <https://doi.org/10.2166/wp.2003.0034>
- Murdoch, P. S., Baron, J. S., & Miller, T. L. (2000). Potential effects of climate change on surface-water quality in North America 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(2), 347-366. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04273.x>
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing M., & Lee, D. (2009). Climate change: impact on agriculture and costs of adaptation Washington, DC: International Food Policy Research Institute. https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=1Vpe0JvYTJYC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Climate+change:+impact+on+agriculture+and+costs+of+adaptation+Washington&ots=Xor199Zwid&sig=7Qr4w8f_NKKK_oVsRg0UgYGuKyK&redir_esc=y#v=onepage&q=Climate%20change%3A%20impact%20on%20agriculture%20and%20costs%20of%20adaptation%20Washington&f=false
- OECD (2009), OECD Annual Report 2009, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/annrep-2009-en>
- Ohmura, A., & Wild, M. (2002). Is the hydrological cycle accelerating?. *Science*, 298(5597), 1345-1346. <https://doi.org/doi:10.1126/science.1078972>
- Rosegrant, M. W., Cai, X., & Cline, S. A. (2002). World water and food to 2025: dealing with scarcity. International Food Policy Research Institute, Washington D.C.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X. B., Epstein, P. R., & Chivian, E. (2001). Climate change and extreme weather events-Implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change and Human Health* 2, 90-104. <https://doi.org/10.1023/A:1015086831467>
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B. M., Colón-González, F. J., Gosling, S. N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F. T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., Kabat, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3245-3250. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222460110>
- Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19703-19708. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701976104>
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., Orlowsky, B., & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: a review. *Earth-Science Reviews*, 99(3-4), 125-161. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>

- Sheffield, J., Wood, E. F., & Roderick, M. L. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. *Nature*, 491(7424), 435-438. <https://doi.org/10.1038/nature11575>
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., & Portmann, F. T. (2010). Groundwater use for irrigation-a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(10), 1863-1880. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010>
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf
- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., Longuevergne, L., Leblanc, M., Famiglietti, J. S., Edmunds, M., Konikow, L., Green, T. R., Chen, J., Taniguchi, M., Bierkens, M. F. P., MacDonald, A., Fan, Y., Maxwell, R. M., Yechieli, Y., Treidel, H. (2013). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4), 322-329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Soden, B., & Zhai, P. (2007). *Observations. Surface and Atmospheric Climate Change. Chapter 3*. Cambridge University Press, Cambridge (United Kingdom); IPCC Working Group I, National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, DSRC R/AL/8, 325 Broadway, Boulder, CO 80305 (United States). <https://doi.org/https://doi.org/> Other: ISBN 978-0521-70596-7; TRN: GB07CC229 NLC
- Turrall, H., Burke, J., & Faurès, J. M. (2011). Climate change, water and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/docrep/014/i2096e/i2096e00.htm>
- United Nations Educational Scientific Cultural Organization (WWDR). (2019). The United Nations World Water Development Report 2018. United Nations. <https://doi.org/https://doi.org/10.18356/dc00fb4d-en>
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P., & Wiberg, D. (2016). Modeling global water use for the 21st century: the water futures and solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, 9(1), 175-222. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016>
- Wada, Y., & Bierkens, M. F. P. (2014). Sustainability of global water use: past reconstruction and future projections. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104003>
- Wang, D., Hejazi, M., Cai, X., & Valocchi, A. J. (2011). Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois. *Water Resources Research*, 47(9). <https://doi.org/10.1029/2010WR009845>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>

- Wisser, D., Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J., & Schumann, A. H. (2010). Reconstructing 20th century global hydrography: a contribution to the Global Terrestrial Network-Hydrology (GTN-H). *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(1), 1-24. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1-2010>
- World Disaster Report (WDR), (2003). Focus on Ethics in Aid. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000130424>
- World Disaster Report (WDR), (2004). Focus on Community Resilience. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva. <https://www.climatecentre.org/downloads/files/reports/World%20Disaster%20Reports/WDR%202004.pdf>
- Zhang, X., & Cai, X. (2013). Climate change impacts on global agricultural water deficit. *Geophysical Research Letters*, 40(6), 1111-1117. <https://doi.org/10.1002/grl.50279>

İKLİME DUYARLI SULAMA YÖNETİMİ

Mehmet Şener¹, Tolga Erdem²

¹Doç.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Müh. Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-6736-0567 msener@nku.edu.tr

²Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Müh. Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-5887-9586 terdem@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

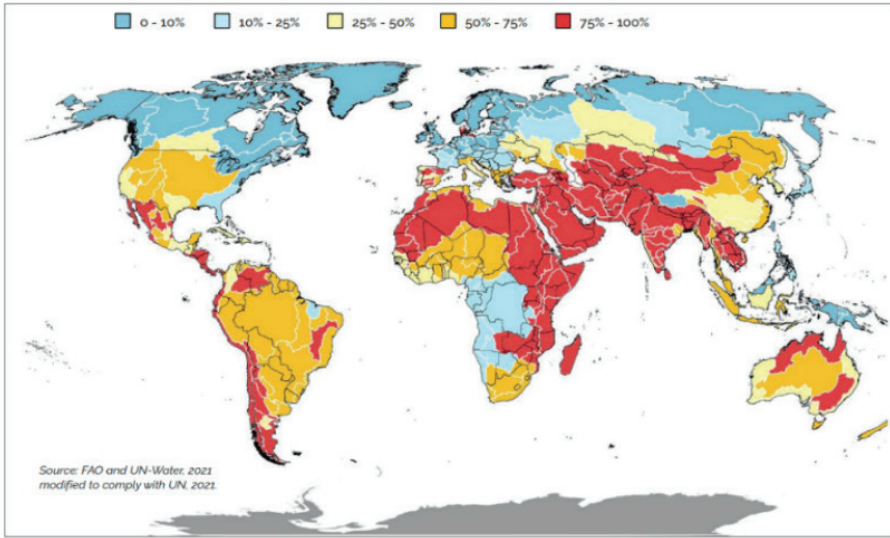
Toprak ve su kaynakları başta tarım olmak üzere yoksulluğun azaltılması, ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik için dayanak oluşturmaktadır. Kalkınma ve ekonomik büyüme kaynaklar üzerinde baskı oluşturmakta ve insanlar ve doğa için toprak ve su güvenliğini bir sorun hâline getirmektedir. Gıda, enerji ve diğer beşerî tüketimler için olan talebi karşılamak ve ekosistemleri korumak için gerekli olan su miktarı ile ilgili büyük belirsizlikler sürmektedir. Yaşanan bu belirsizlik, iklim değişikliğinin de etkisiyle artmaktadır (Kalkınma Bakanlığı, 2018)

Türkiye, Akdeniz kuşağında yer alması nedeniyle küresel iklim değişikliğinin etkilerinin yoğun olarak hissetmesi beklenmektedir (UNEP, 2012). İklim değişikliği ile 21. yüzyılda ülkemizde daha sık, şiddetli ve uzun süreli kuraklıklar, sıcak hava dalgaları ve orman yangınlarının görülmesi beklenmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Artan nüfus ve gıda talebine karşın mev-

cut arzın daralması ve üretimi bölgelerinin değişmesi sonucu küresel gıda ve tarımsal ürün arzında önemli sorunlar beklenmektedir. Doğal kaynakların kirlenmesi ise gıda güvenilirliği sorununu daha da büyüteceği tahmin edilmektedir.

On Besinci İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporunda iklim değişikliğine paralel olarak, yaşanan su kıtlığına karşı sektörlerde su talebinde dikkate değer bir artışların olduğundan bahsedilmiştir (O'Neill ve ark. 2015). Değişen iklim ve doğal kaynaklara karşı birtakım tedbirlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır. İklim değişikliğinin etkisi altında su ve gıda güvenliğinin sağlanması temel görev olduğu ifade edilmiştir (IPCC, 2015). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ise su stresinin dünyanın çok büyük bir kısmında yaşanmakta olduğunu ve iklim değişimi etkilerini azaltılmasına yönelik daha az suyla daha fazla gıda üretilmesi vizyonu ortaya koymuştur (FAO, 2021). Benzer olarak, Birleşmiş Milletler (BM)'nin 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi çerçevesinde belirlediği 17 hedeften birisi (SDG6) temiz su ve sanitasyona, SDG 2 sıfır açlık ve SDG 13 iklim aksiyonuna odaklanmıştır (UN, 2025). SDG 2 ile açlık probleminin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Küresel ve bölgesel olarak gıdaya ulaşımında yaşanacak aksaklıkların giderilmesi bireylerin yeterli miktarda gıda ihtiyacının karşılanması ve açlık probleminin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. SDG 6'da özellikle temiz su kaynakları üzerinde etkili evsel, endüstri ve tarımsal atıkların kontrol altına alınarak su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına odaklanılmıştır. SDG13 ile özellikle iklim değişikliğinin etkilerini azaltacak ve uyum sağlayacak faaliyetler üzerinde durulmaktadır. İklim değişimi ile ilgili tarımsal faaliyetler incelendiğinde dikkate alınan konular arasında sulama öncelik taşımaktadır. Özellikle sulama faaliyetlerinin değişen iklim koşullarına göre adaptasyonun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aşırı ve verimsiz su kullanım yöntemleri ile yanlış sulama programlarından uzaklaşılması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu eylem planlarında, tarımsal sulama verimliliği açısından basınçlı sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması büyük önem arz etmektedir.

Türkiye su ve toprak kaynakları incelendiğinde, tarım arazi varlığımız 23,1 milyon ha, teknik ve ekonomik açıdan sulanabilir arazi varlığımız 13,5 milyon ha iken 2023 yılı itibarıyla sulama açılan arazi büyüklüğü 7,1 milyon ha olup 2026 yılında 7,52 milyon ha'a ulaşmak hedeflenmektedir (AA, 2025).



Şekil.1. Tarım sektörü kaynaklı su stress seviyeleri (FAO, 2021).

Türkiye, 98 milyon m³ yerüstü ve 14 milyar m³ yeraltı su kaynağına sahiptir. Toplamda 112 milyar m³'lük potansiyelin ülke genelinde 60 milyar m³'lük kısmı kullanılmaktadır. Tarımsal su kullanımı 60 milyar m³'lük kullanımın %77'sine karşılık gelmektedir (TAGEM, 2021). Diğer yandan, geleneksel yüzey sulama yöntemlerine sulama etkinliği %40'larda iken modern sulama yöntemleri ile yağmurlama sulama yönteminde %70, damla sulama yönteminde ise %90'lara kadar çıkartılabilmektedir (Çakmak ve ark. 2007).

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIMSAL SULAMA

Günümüzde su kaynakları, hızlı artan nüfus ve kentsel ve endüstriyel büyüme; iklim değişikliği altında gerçekleşen taşkın ve kuraklık gibi ekstrem hava ve iklim koşulları; aşırı su kullanımı, su kirliliği; su ve kara ekosistemlerinin bozulması gibi faktörlerin birleşimi nedeniyle tehdit altındadır (Koç, 2024). İklim değişikliğine karşı koyma için uygulanabilecek üç temel yöntem bulunmaktadır. Bunlar: 1) İklim değişikliklerinin etkilerine karşı mevcut sistemin direncini yükseltmeye yönelik olarak **adaptasyon**, 2) İklim değişikliğini önlemek ya da en azından sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik **hafifletme** ve 3) iklim

değişikliğinin oluşturduğu risklere karşı yeni politikalar ve stratejiler belirleyecek **yönetim** faaliyetleridir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011).

Türkiye’de iklim değişikliğinin tarım sektöründe beklenen en önemli etkisinin kuraklık olacağı tahmin edilmektedir. Sıcaklıktaki artış buharlaşmayı artırmakta, bu da sulama için depolanan suyun hacminin düşmesine neden olabilmektedir. Ayrıca sıcaklık rejimindeki değişiklikler kar yağış zamanını ve süresini değiştirmekte böylece yaz döneminde ihtiyaç duyulan su miktarının karşılanamamasına neden olabilmektedir. Yeraltı suyu miktarı ve dönüşüm oranı da yine etkilenen diğer faktörlerdir. Yerleşim yerlerinde veya bazı sanayi kollarında kullanılan tarım dışı su talebi sıcaklık ile artabilmektedir. Suyun kullanımı konusunda sektörler arası rekabet ortaya çıkabilmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

İklim değişikliği sonucundan artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri ve su kıtlığı etkilerine karşı tarımsal üretim doğrudan tehdit altına girmektedir. Su kaynaklarının daha verimli kullanımı ve sürdürülebilir tarımsal üretim için alınması gerekli tedbirleri şu şekilde sıralayabiliriz.

1. Su verimliliği artırılmasına yönelik tedbirlerin alınması
2. Teknolojik destekli sulama faaliyetlerinin benimsenmesi
3. Sürdürülebilir politikalar ve yönetim stratejilerinin geliştirilmesi

Bu çalışmada su verimliliğinin arttıran sulama teknikleri üzerine durulmuştur. Bu başlık altında basınçlı sulama sistemlerinin kullanımı, toprak nem ölçüm cihazları ve akıllı sulama teknolojilerinden bahsedilecektir.

2.1. Basınçlı Sulama Yöntemleri

İklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya yönelik, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına yönelik olarak izlenebilecek yollar arasında, modern basınçlı sulama yöntemlerinin (yağmurlama ve damla) yaygınlaştırılması çok büyük öneme sahiptir. Basınçlı sulama sistemleri sayesinde hem iletimi ve dağıtım randımanında yükselme sağlanırken yüzey sulama yöntemlerine göre su kaynağı talebinde de azalma yaşanmaktadır.

Damla sulama, bir damlatıcı aracılığıyla bitkiye ihtiyaç duyduğu miktarda suyun damlacıklar hâlinde verilmesi işlemidir. Bu işlemde su doğrudan bitkilerin köklerine uygulanır ve bitkilerin gerekli besinleri etkili bir şekilde almasına yardımcı olur. Bu yöntemin kullanılmasının diğer sulama yöntemlerinden daha fazla su tasarrufu sağladığı ve çoğu bitki için daha uygun olduğu birçok araştırma ile kanıtlanmıştır.



Şekil 2. Damla sulama yönteminin uygulanaşı (Greenthumb, 2025).

Yağmurlama sulama yönteminde su doğal yağışa benzer biçimde toprak yüzeyine uygulanmaktadır. Bu yöntemde su kapalı borularla mekanik yağmurlayıcı başlıklara kadar taşınır ve basınç altında başlıklardan su yağmur şeklinde püskürtülerek uygulanmaktadır.



Şekil 3. Yağmurlama sulama yönteminin uygulanaşı (Fırat Tarım, 2025).

Sulama faaliyetinde temel problemlerin başında yeknesak su dağıtımının sağlanamaması nedeniyle aşırı su uygulanması gelmektedir. Özellikle tesviyesi yapılmamış, toplulaştırma faaliyetlerinin gerçekleştirilmediği alanlarda yüzey sulama yöntemleri aşırı su kaybına neden olmaktadır. Günümüzde yeni sulama projelerinde küresel ısınmanın etkilerini azaltmaya yönelik olarak düşük basınçlı sulama yöntemleri ön plana çıkmaktadır.

Çiftçiler basınçlı sulama yöntemleri ile aşağıdaki faydaları sağlayabilmektedir.

- Yüksek sulama randımanı
- Tesviye gereksinimi yoktur
- Eğimli arazilerde kullanılabilir
- Gübre ve ilaç kullanımı otomasyona dâhil edilmiştir
- Düşük işçi gideri
- Düşük işletme gideri
- Düşük sızma etkisi ile yer altı sularının korunması
- Otomasyona uygunluk

Kuraklık ve su kısıtına yönelik sulama yönetimi

İklim değişikliğinin etkisi altında üç farklı kuraklıkla karşı karşıya kalınmaktadır bunlar, Meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıklardır. Meteorolojik kuraklıkta yağışların azalması ve yüksek sıcaklık görülmektedir. Hidrolojik kuraklıkta ise akışlarda azalma yaşanmaktadır Tarımsal kuraklık, topraktaki nemin azalması ile bitkilerde su sıkıntısı ve verimde azalma görülmektedir.

Tarımsal kuraklığın yaşandığı alanlarda, kök bölgesinde bitkinin gelişim periyodu boyunca yeterli nemin sağlanması gerekmektedir. Bitki gelişimi periyodunca toprak nem dolayısı ile bitki su ihtiyacının karşılanmasında ancak iyi programlanmış bir sulama yönetimi ile başa çıkılabilir (Tarım Orman Bakanlığı, 2024).

(Climate-Adapt, 2025)'de, iklim değişikliği ile su kaynaklarında yaşanacak azalma suyun daha efektif kullanılması yönünde ciddi baskılar yaptığı vurgulanmıştır. Su kullanıcıları kısıtlı su kaynaklarını gelirlerini maksimize etmek için değişik sulama uygulamalarına yönelmeleri gerekebilmektedir. Su kullanıcıları su stresi altındaki bitkileri kısıtlı ve destekleme sulama programlarına yönelmeleri gerekebilir. Kısıtlı sulama çalışmalarında tam sulama koşulları için yeterli su kaynağının olmadığı durumlarda, tüketilen birim su başına maksimum üretimi hedeflenmektedir. Kısıtlı sulama ile su verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir. Bu uygulamanın yapılabilmesi için sulama suyunun kontrolünün yüksek olması ve sulanan bitkinin su kısıtına karşı toleransının bilinmesi gerekmektedir. Yüksek su stresi gösteren bitkiler üzerinde bu yöntemin uygulanmasından kaçınılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, Çeltik gibi özel bitkilerde aralıklı sulama (sırayla ıslatma ve kurutma) gibi teknikler uygulanılarak su kaynakları korunurken bir yandan da gıda güvenliğini temin altına alacak verimin korunması sağlanabilir (Masseroni ve ark, 2018).

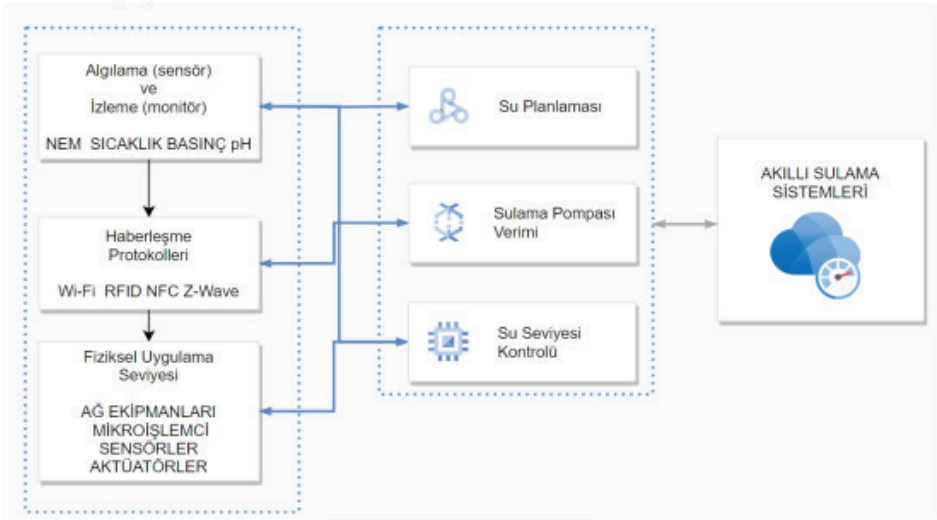
Sulama zamanı planlaması

Bitki su ihtiyacının doğru olarak belirlenmesi iyi yönetim uygulamalarının en önemlisidir. Sulama zamanı planlaması bitki su stresine sokmadan veya en az düzeyde tutularak çiftçi geliri en üst düzeyde tutulurken, suyun aşırı kullanımın önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Bilindiği üzere bitki su tüketimi topraktan buharlaşma ve bitki yapraklarından gerçekleşen terleme miktarının toplamıdır. Bu yüzden sulama zamanı planlamasında toprak ve nem

miktarlarının doğru ve ihtiyaç duyulan zamanda ve sıklıkta belirlenebilmesi son derece önemlidir. Su kısıtının olduğu kuraklığın yaşandığı bölgelerde su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla, çok değişik sistemler sayesinde ne zaman ne kadar su uygulanacağı sorusunun yanında tarla parselinin veya sulama sisteminin neresine daha çok odaklanılması gerektiği sorusuna da cevap aranmaktadır.

2.2. Otomatik Sulama Sistemleri

Akıllı sulama sistemleri; bitkiye doğru zamanda yeterli miktarda su verilmesi için geliştirilmiş akıllı vana, sensör kontrolü ile arazi ve bitki durumu ölçümlerini karşılaştırarak sulama çözümü sunan sistemlerdir Akıllı sulama sistemleri, genellikle tarım ve peyzaj uygulamalarında su kullanımını optimize etmek için kullanılan ileri teknolojik sistemlerdir. Temel bir akıllı sulama sistemi; sensörler, kontrolörler, iletişim sistemleri, vanalar ve yağmurlama sistemleri, hava durumu istasyonları ve veri analitiği yazılımından meydana gelmektedir (Şekil, 2)



Şekil 4. Akıllı sulama sistemi elemanları (Şahin, 2024).

Akıllı sulama sistemleri ve nem sensörleri kullanımı ile toprağın nem durumu izlenebilir ve sulama işlemleri otomatik hâle getirilebilir. Böylece, gereğinden fazla su kullanımının önüne geçilerek hem enerji hem de su tasarrufu elde edilebilir. Akıllı sulama sistemleri iklim değişikliğine adaptasyon sürecinde önemli roller almaktadır. Akıllı tarım uygulamaları arasında: uydu tabanlı sulama programlaması, yapay zekâ destekli karar destek sistemleri ve IoT (Nesnelerin interneti) tabanlı sensör ağlarını sıralayabiliriz.

Uzaktan algılama ve sensör teknolojisi

Toprak nem sensörleri sayesinde toprak nem miktarının doğru olarak saptanması ve ihtiyaca istinaden sulama uygulamasının yapılması sağlanabilir. Çoğu zaman çiftçiler bölgeden ve aileden gelen kültürel davranışlar sergilemektedir. Toprak nem değerinin belirlenmeden sulama faaliyetlerini gerçekleştirmektedirler bu durumda erken sulama zamanı planlaması ile aşırı sulama yapmaya veya geç sulama ile bitki stresinin artarak verim düşmelerine neden olmaktadır. Hâlbuki toprak nem sensörler sayesinde sulama zamanı planlamasının iki ögesi olan ne zaman ve ne kadar su uygulanması konusunda tatminkâr tahminler ve uygulamalar yapma şansı doğmaktadır.

Toprak nem sensörleri bitki su stres seviyelerinde dikkate alınarak kritik gelişim periyotlarında toprak nem seviyelerinin belirlenmesine son derece kullanışlı araçlardır.

Uzaktan algılama teknolojileri sahip olduğu üstün yetenekler ile hayatımızın her alanında yaygın olarak kullanıma girmiştir. Geniş bir spektrumdan elde edilen veriler ile bitki ve toprak hakkında hayati bilgilere sahip olmamızı sağlamaktadır.

Uydu merkezli ve sensörlü erken uyarı, izleme teknolojileri, bilgi sistemleri ile entegre tarımsal uygulama teknolojileri gibi dünya genelinde hızla yaygınlaşan teknolojilerin kullanımına yatırımlar yapılmalı ve bu teknolojiler uyum kapasitesi düşük tarımsal işletmelerin erişimi önceliklendirilecek şekilde yaygınlaştırılmalıdır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

Yapay Zekâ destekli karar destek sistemleri

Yapay zekâ, bilgisayar ve robot gibi insan yapımı araçlar kullanarak insanlar ve hayvanlar gibi doğal sistemleri taklit etmekle alakalıdır. Bu yöntem, bilginin-özellikle de kesin olmayan belirsiz bilginin- bilgisayar hafızasında depolanabilmesi ve bu bilgiden otomatik olarak çıkarımlar yapılabilmesi amacıyla bilginin nasıl temsil edilebileceğini anlamayı içermektedir (Terzi ve ark. 2019)

Tarım ve Orman Bakanlığı, tarlalarda su tüketimini düşürerek israfı önleyen ve tarımsal verimliliği artıran sulama otomasyonu yatırımlarını ülke geneline yaymak için çalışma yürütmektedir. Yapay zekâ destekli otomasyon çalışmaları kapsamında, toprak nem sensörleri, hava durumu istasyonları ve bitki ölçüm cihazları gibi sensörler sayesinde toprak nem düzeyi, hava durumu ve bitki hakkında önemli veriler toplanmaktadır. Elde edilen veriler bulut tabanlı platformlarda işlenerek gerçek zamanlı olarak çiftçilerin kullanımına sunulmaktadır (DSİ 2025).

İnternet tabanlı destek platformlar

Tarla yönetim sistemi adı altında tarla içi tüm faaliyetleriniz izlenerek mümkün olduğunca en kısa zaman diliminde çiftçilere geri dönüş yapılmaktadır. Bu yönetim sisteminde tarlada gerçekleştirilen toprak işleme, gübreleme, ilaçlama ve hasat faaliyetleri uydu ve dron sistemleri ile izlenerek gerekli müdahalelerin yapılması sağlanmaktadır. Bu yönetim sisteminde, çiftçiler anlaşmalı oldukları firma-lar ile yaptıkları iş ortaklığına istinaden sulama sezonu boyunca uydu ve dron takip sistemleri sayesinde su stresinin gözlemlendiği tarla bölümleri belirlenerek, stres koşullarına göre sulama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Bu uygulama ile çiftçiler sulama faaliyetlerini tam zamanında gerçekleştirirken su tasarrufu da sağlamış olmaktadır. Böylece gıda güvenliği adına yüksek verim alınırken, iklim değişikliğinin etkisi altında kalan alanlarda su kaynaklarının sürdürülebilirliğine katkı sağlanmaktadır.

Güvenli Gübre ve İlaç Kullanımı

Tarımsal su kullanımı, toprak, yeraltı suyu ve yüzey sularının kirlenmesine neden olmaktadırlar suyun kirlenmesine neden olan kirleticiler sediment, bitki besin maddeleri, eriyen ve erimeyen tuzlar, tarımsal ilaçlar, toksik iz ele-

mentler ve patojenler olarak sıralanabilir. Sulama suyu ile taşınan kimyasal maddeler, gübreler ve pestisitler kirlilik tehdidi oluşturabilmektedir (Çakmak ve ark. 2008).

Tarımsal ilaçlar suda çözünme, toprak adsorpsiyonu ve kalıcılık açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Son derece hızlı bir şekilde yeraltı suyuna karışabilmektedir. Aslında yarı ömür olarak belirlenen kalıcılık özellikleri sızıntı için maruz kalacak süreyi de göstermektedir. Bir kimyasalın adsorpsiyonu ve çözünürlüğü toprak profilindeki hareket hızını belirler. Uygulanacak kimyasalların belirlenmesin kullanıcılar ilaçların çözünme, adsorpsiyon ve kalıcılık özelliklerine göre seçim yapmaları özellikle yeraltı suyu kirliliğinin azaltılması ve önlenmesi yönünde çok önemlidir (Waskom ve ark 1994). Kirliliğinin önlenmesi için çiftçilerin gübre ve tarımsal ilaçları bilinçli kullanmaları sağlanmalıdır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değişikliğinin etkileri günümüzde görülmeye başlanmıştır. Özellikle tarımsal üretimin önünde bir engel teşkil eden su kaynakları üzerine etkilerinin azaltılması amacıyla sulu tarım sektöründe birtakım değişikliklerin yapılması zorunluluktur. Sulu tarım sektöründe su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir bir üretim için:

- Ar-Ge verileriyle geliştirilen ve tarımda etkin su kullanımını sağlayan araç, ileri teknik ve teknolojilerin kullanımının desteklenmeli.
- Bitki su ihtiyacının karşılanmasında kayıpları minimize edecek, bitkiyi strese sokmadan ihtiyacını zamanında karşılayabileceğimiz sulamada otonom sistemlerin geliştirilmesi ve kullanılmasına yönelik destekler arttırılmalı.
- Basınçlı sulama sistemlerin etkinliğinin arttırılması amacıyla akıllı sulama sistemlerinin yaygınlaştırılmalı.
- Ayrıca çevre dostu dijital ve yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanımının önü açılmalıdır.

KAYNAKLAR

- AA, 2025. DSİ 3 yılda 420 bin hektar tarım alanını suyla buluşturacak. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/dsi-3-yilda-420-bin-hektar-tarim-alanini-suyla-bulusturacak/3165065>
- BM, 2021 The United Nations World Water Development Report 2021
- Çakmak, B., Yıldırım, M. ve Aküzüm, T., 2007. Türkiye’de Tarımsal Sulama Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası II. Su Politikaları Kongresi. Cilt I, s.215- 224, Ankara.
- Climate-ADAPT, (2025). Improvement of irrigation efficiency. <http://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/improvement-of-irrigation-efficiency>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2024). İklim değişikliğine uyum stratejisi ve eylem planı (2024-2030). 321s. Ankara
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011. Türkiye’nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı. 124 s. Ankara
- DSİ, (2025). Yapay Zekâ Destekli Otomasyon Çalışmaları <https://dsi.gov.tr/Haber/De-tay/12868>
- Greenthumb, 2025. A guide to Drip Irrigation System. <https://www.greenthumb.com/a-guide-to-drip-irrigation-systems/>
- Fırat tarım, 2025. Fırat tarım. Yağmurlama Sulama Yöntemi, <https://firattarim.com.tr/index.php/component/spsimpleportfolio/item/22-yagmurlama-sulama-yontemi>
- FAO, (2021). The State of the World’s Land and Water Resources for Food and Agriculture- Systems at breaking point. Synthesis report 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- Kalkınma Bakanlığı, (2018). Tarımda Toprak ve Suyun Sürdürülebilir Kullanımı. Özel İhtisas Komisyonu Raporu. On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)
- IPCC, 2015. Global warming of 1.5 °C. Special report. Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://ipcc.ch/report/sr15>:
- Koç, 2024. Su Kaynakları Yönetiminin Geleceği, Su Güvenliği ve Ortaya Çıkan Sorunlar. 10(1): 211-223. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi. Artvin
- Masseroni, D. ve diğerleri (2018) ‘Avrupa’da pirinç sulama için ilk otomatik sistemin performansının değerlendirilmesi’, *Tarımsal Su Yönetimi* , 201, s. 58-69. doi: 10.1016/j.agwat.2017.12.019 .
- O’Neill, S., Williams, H.T.P., Kurz, T, Wiersma, B., Boykoff,M., 2015. Dominant frames in legacy and social media coverage of the IPCC Fifth Assessment Report. *Nature Climate Change* 5(4):380-385
- Şahin, H., (2024). “Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları”, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1): 41-60.
- TAGEM, (2021). Tarımsal sulama sektör politika belgesi 2021-2025. T.C. tarım ve orman bakanlığı tarımsal araştırmalar ve politikalar genel müdürlüğü. Ankara

- Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023. Değişen İklimle Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2023-2033) ve Eylem Planı. 100 s. Ankara
- Tarım ve Orman Bakanlığı, (2024). Sürdürülebilir İyi Tarım Uygulamaları. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. 2024.
- Terzi, İ., Özgüven, M.M., Altaş, Z., Uygun, T. 2019. Tarımda yapay zeka kullanım International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference 24-27 April 2019- Erciyes University - Kayseri/Türkiye
- UN, 2025. The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/goals#>
- UNEP, (2012). Building Design and Construction: Forging Resource Efficiency and Sustainable Development, United Nations Environmental Programme Sustainable Buildings and Climate Initiative. <https://studylib.net/doc/18820994/building-design-and-construction>
- Waskom, R.M., Cardon, G.E., Croissant, R.I., Mortvedt, G.A., Walker, L.R., Westfall, D.G. 1994. Best Management Practices For Irrigation Management. Bulletin XCM- 173. Colorado States University Cooperation Extension.

TR21 TRAKYA BÖLGESİ İÇİN İKLİME DUYARLI GÜBRELEME

Mehmet Ali Gürbüz¹

¹Dr., Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü-Kırklareli Orcid: 0009-0004-9443-6901 gurbuzmehmetali@tarimorman.gov.tr

⁴Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendislik Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0002-5887-9586 terdem@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

İklim değişikliğinin, Trakya Yöresinde yaşam üzerindeki etkisi yıldan yıla daha belirgin hâle gelmektedir. Bu etkilerin başında sıcaklıkların artışı ve yağışlardaki düzensizliğin artışı gelmektedir. Bu durumdan en büyük etkiyi, büyük kısmı yağışa bağlı olarak yürütüldüğü için tarım görmektedir. Kuraklık ve su kıtlığı hemen hemen bütün tarımsal faaliyetleri için yönetilmesi zor bir faktör hâline gelmektedir. Yöredeki bu iklim değişikliği etkilerinin tarımsal verimliliği ve toprak sağlığını olumsuz etkileyerek gübre kullanımında yeni yaklaşımları gerekli kılması kaçınılmazdır. Bu yüzden tarımsal faaliyetlerin önemli bir bileşeni olan gübreleme uygulamalarının Yöre özelinde ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik bir perspektiften yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Yöre topraklarının tamamında olmasa da yaygın bir sorun olarak beliren ve ürün verimini etkileyen düşük organik madde miktarı ve asidik reaksiyon gibi problemleri, bu süreçte çözülmesi gereken elzem problemleri olarak ortaya çıkmaktadır. İklim duyarlı gübreleme stratejileri kapsamında, sera gazı emisyonlarını azaltan ve toprak karbonunu ko-

ruyan uygulamalar öne çıkmaktadır. Örneğin, örtü bitkisi ve yeşil gübreleme uygulamaları, hassas gübreleme teknikleri ve nitrifikasyon inhibitörlü gübre kullanımı, gübrelerden kaynaklanan N_2O emisyonlarını azaltırken verimliliği korumayı hedefler. Benzer şekilde, organik gübrelerin ve biyogübrelerin kullanımı, kimyasal gübrelere olan bağımlılığı düşürerek iklim dostu bir yaklaşım sunar. Bu stratejiler, Trakya'da kuraklık ve aşırı hava olaylarına karşı dayanıklı tarım sistemleri geliştirmeyi destekler. Uzun vadede, bölge tarımının iklim değişikliğine uyumlu hâle gelmesi için toprağın organik maddesini artırmak, ekim nöbeti (münavebe) uygulamalarını çeşitlendirmek ve çiftçileri sürdürülebilir gübreleme yöntemleri konusunda bilinçlendirmek kritik öneme sahiptir. Bu sayede Trakya Yöresindeki tarımsal faaliyetler hem üretkenliğini koruyup hem de iklim değişikliği karşısında dayanıklı hâle gelebilecektir.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIM ÜZERİNE BEKLENEN ETKİLERİ

İklim değişikliği, artan sıcaklıklar, deniz seviyesinin yükselmesi, kuraklıklar ve taşkınlar gibi çeşitli çevresel etkilere neden olmuştur. Bu değişiklikler, su kaynakları, enerji, ulaşım, vahşi yaşam, tarım, ekosistemler ve insan sağlığı gibi temel kaynakları etkilemektedir (NOAA, 2025).

İklim değişikliği, tarım üzerinde çok yönlü etkiler yaratarak ürün verimliliğini, hayvan sağlığını, toprak kalitesini ve su kaynaklarının erişilebilirliğini etkilemektedir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve aşırı hava olaylarının sıklığındaki artış, tarımsal üretkenliğin düşmesine ve gıda güvensizliğinin artmasına neden olmaktadır. Örneğin yapılan araştırmalar, küresel ısınmanın buğday verimini özellikle tropikal bölgelerde %5,5 oranında düşürdüğünü göstermektedir. Benzer şekilde, yüksek sera gazı emisyon senaryoları altında mısır veriminin 2030 yılına kadar %24 azalması beklenmektedir (NOAA, 2025).

Kurak alanların genişlemesi, şu anda dünyanın kara alanlarının %40'ını kaplayarak tarıma elverişli arazilerin azalmasına ve su kıtlığının artmasına neden olmak suretiyle bu zorlukları daha da artırmaktadır. Bu değişim, özellikle Afrika'da ekonomik kayıplara yol açmış ve artan kuraklık nedeniyle 1990-2015 yılları arasında gayrisafi yurt içi hasılda %12'lik bir düşüş yaşanmıştır (Carrington, 2024). Ayrıca, iklim değişikliğinin 1961 yılından bu yana küresel

tarımsal üretkenlikte %21’lik bir azalmaya neden olduğu hesaplanmıştır; bu oran, yaklaşık dokuz yıllık üretkenlik artışının kaybedilmesine eşittir (Ortiz-Bobea ve ark., 2021). Bu düşüş, Afrika ve Latin Amerika gibi daha sıcak bölgelerde yaklaşık %30-33 oranında gerçekleşerek çok daha belirgin hâle gelmiştir (Lobell ve ark., 2011).

Hayvancılık üretimi de iklim değişikliğine karşı hassastır, çünkü sıcaklık stresi hayvanların sağlığını, üreme yeteneklerini ve verimliliklerini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, iklim değişikliği tarımın çevresel etkilerini artırarak sera gazı emisyonlarının, toprak erozyonunun ve biyoçeşitlilik kaybının artmasına yol açabilir (Thornton ve Herrero, 2015).

İklim değişikliği sonucu ortaya çıkan sıcaklık artışları ve artan karbondioksit miktarı bazı bölgelerde tarım ürünlerinin miktarına kısa vadede pozitif bir etki yapıyor gibi görülse de uzun vadede bu bileşenler, ürün kalitesinde ve üretim miktarında azalmalara sebep olabilmektedir. Tarımsal üretimin yükseltilmesi için sıcaklıkların ve karbondioksit miktarının artması tek başına yeterli olamamaktadır. Artan sıcaklık ve karbondioksit miktarının tarımsal üretim üzerinde pozitif etki yapabilmesi için toprak yapısının ve kalitesinin tarım yapmaya elverişli olması gerekmektedir. Ayrıca toprak neminin ideal ve tarım yapılacak alanın suya erişebilir olması ve bu şartların bir araya gelerek tarım yapmaya uygun ortamı oluşturması şarttır (Akalın, 2014).

3. TRAKYA YÖRESİNİN GENEL COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ

Trakya yöremiz, ülkemizin kuzey batısında bulunan Marmara bölgemizin Avrupa kesiminde yer almakta, 2 372 100 ha alanı kaplamakta ve ülke yüzölçümünün %3,1’ini oluşturmaktadır. Trakya’nın batısında Meriç Nehri Yunanistan sınırını oluşturmakta, kuzeyinde Bulgaristan ve Karadeniz, güneyinde ise Marmara Denizi yer almaktadır. Trakya’nın yaklaşık %63’ü Meriç, %37’si ise Marmara Havzasında yer almaktadır. Trakya kesimi fizyografik olarak dalgalı (penneplen) yapıya sahiptir. En yüksek nokta Trakya’nın kuzey kısmında yer alan Istranca Dağlarındaki Mahya Tepesi (1031 m)’dir. Trakya’nın ortalama yüksekliği 180 m dir. Trakya’nın orta kesiminde Ergene Nehri ve havzası adeta bir ana drenaj kanalı gibi havzanın kuzey, batı ve güneyinden toplanan akarsuların birleşmesi ile oluşur ve Meriç Nehri ile birleşerek Ege Denizine dökülür. Trakya jeolojik olarak volkanik, tortul ve metamorfik kütleleri dağınık

şekilde içermekte ve Balkan Yarımadasının devamı şeklinde yer almaktadır. Dolayısıyla farklı ana materyallerden toprak oluşumlarının gerçekleştiği bir bölge olmaktadır. Bu durum toprakların özelliklerine de yansımakta ve idarelerini güçleştirmektedir. Bölge, iklim olarak ise yazları sıcak ve kurak, kışları ise serin ve yağışlıdır. Trakya'nın orta kesimi en kurak kısmı olup burada yağış 560 mm civarında iken, Karadeniz'e yakın olan kuzey-batı kısımlarda 800-1000 mm'ye ulaşmaktadır.

4. TRAKYA YÖRESİNİN TARIMSAL ÖZELLİKLERİ

Trakya Bölgesi, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alarak Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli illerini kapsamaktadır. Bu bölge, tarımsal faaliyetlere nispeten uygun arazileriyle öne çıkmakta olup, geniş düzlükler ve alçak tepelerden oluşmaktadır. Toplam yüzölçümünün yaklaşık %65'i tarım arazisi olarak kullanılmakta, bu da bölgenin tarımsal üretimdeki önemini göstermektedir.

Bölgede en çok yetiştirilen tarım ürünleri arasında buğday, ayçiçeği ve çeltik bulunmaktadır. Trakya, Türkiye'nin ayçiçeği ve çeltik üretiminin yaklaşık %50'ini karşılamaktadır. Buğdayda ise Türkiye buğday ekim alanının yaklaşık %5'i Trakya'da bulunmasına rağmen, üretimin %10'u bu bölgeden sağlanmaktadır. hâlihazırda sulanan tarım arazilerinin oranı il il değişmekle birlikte yöre tarım arazilerinin yaklaşık 1/7'sinin sulandığı söylenebilir. Edirne'de sulanan alanlar fazla olduğu için, çeltik tarımı da bu ilimizde yoğunlaşmıştır. Diğer iki ilde sulanan arazilerde çoğunlukla dane ve silajlık mısır ve bazı durumlarda ayçiçeği tarımı yapılmaktadır. Tablo1'de, Yörede en çok ekilen ürünlerin ekim alanları ve kullanılan azotlu ve fosforlu gübre miktarları verilmektedir. Tablo 1'de Edirne ilimizdeki birim alana kullanılan azot ve fosfor miktarının çeltik tarımından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. İl sıralamasında ortalama olarak azot kullanımında Kırklareli ve Fosforlu gübre kullanımında Edirne gelmektedir. Kırklareli ve Edirne'deki gübre kullanımı normal düzeylerde kabul edildiğinde Edirne ilimizdeki kullanımın aşırıya kaçtığını ve azaltılması yönünde araştırma ve diğer toprak analizi vb. çalışmalar yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Trakya'da tarla tarımının yanı sıra bağcılık, meyvecilik ve sebze üretimi de önemli bir yer tutmaktadır. Domates, biber, patlıcan, kabak ve salatalık gibi sebzeler yaygın olarak yetiştirilmekte, ayrıca elma, armut, şeftali, erik ve ki-

raz gibi meyveler de üretilmektedir. Bölgenin güney kesiminde yoğun olmak üzere, her ilin belli bölgelerinde bağcılıkta önemli tarımsal faaliyetlerdendir. Örneğin Tekirdağ-Şarköy-Mürefte de üzüm bağları, meyve bahçeleri ve zeytinlikler bulunmaktadır.

Ancak, son 50 yılda iklim değişikliğinin yanı sıra, sanayileşme ve hızlı kentleşme nedeniyle tarım alanları üzerinde baskılar artmıştır. Sanayi ve evsel atıklar, toprak, su ve hava kirliliğine neden olarak tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Bu durum, sürdürülebilir tarım uygulamalarının önemini artırmakta ve çevre dostu tarım sistemlerinin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Tablo 1. Trakya Yöresindeki illerin 2018 yılı tarımsal ürün ekiliş ve gübre tüketim miktarları (TÜİK, 2021).

	Ekili alan, ha						Kullanılan kimyasal gübre, kg/ha	
İl/Ürün	Buğday	Arpa	Mısır	Kanola	Ayçiçeği	Çeltik	Azot, N	Fosfor, P ₂ O ₅
Edirne	139.389	5.183	9.010	3.136	95.450	48.593	165,0	43,1
Kırklareli	128.968	5.016	11.927	2.520	75.002	2.545	129,8	21,6
Tekirdağ	187.799	13.328	5.456	18.303	148.129	3.880	117,4	29,8

5. TRAKYA YÖRESİ TOPRAKLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Toprak-Su ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü döneminde yapılan arazi etüt çalışmaları, Trakya Bölgesinin tarım arazileri Meriç ve Marmara Havzalarında yer almaktadır. Arazilerin büyük bir kısmı Meriç Havzasında oluşan iç penepren ova ve düzlüklerde yer almakta ve bu havzada altı Büyük Toprak Grubu tespit edilmiştir. Bunlar:

- 1) Kalkersiz Kahverengi,
- 2) Kahverengi Orman,
- 3) Kalkersiz Kahverengi Orman,
- 4) Vertisol,
- 5) Alüviyal
- 6) Hidromorfik Alüviyal.

Trakya'nın ve Marmara Denizi'nin Marmara Denizi ve Karadeniz kıyıları, Marmara Havzası olarak adlandırılmış ve bu Havza'da on Büyük Toprak Grubu tespit edilmiştir. Bunlar:

- 1) Kireçsiz Kahverengi Orman,
- 2) Kahverengi Orman,
- 3) Rendzina,
- 4) Kireçsiz Kahverengi,
- 5) Kırmızı-Kahverengi Akdeniz,
- 6) Kırmızı-Sarı Podzolik,
- 7) Vertisol,
- 8) Kolüviyal,
- 9) Alüviyal,

10) Hidromorfik Alüviyal topraklar olarak sınıflandırılmışlardır. (Anonim, 1980; Anonim, 1970).

Arazilerinin tamamı Trakya'da bulunan Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ'da bulunan büyük toprak gruplarını ve bunların kapladığı alanlar Tablo 2'de görülmektedir (Anonim, 1991a; Anonim 1991b; Anonim 1993).

Tablo 2. Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde büyük toprak grupları ve alanları (ha).

Büyük Toprak Grubu	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Toplam
Alüviyal Topraklar	85 395	33 317	54 265	172 977
Hidromorfik Alüviyal Topraklar	14 710	-	218	14 928
Vertisol Topraklar	98 167	101 443	126 046	323 656
Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar	208 056	341 055	133 710	682 821
Kahverengi Orman Toprakları	10 371	33 236	103 324	146 931
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	197 765	137 551	197 195	532 511
Toplam	614 464	646 602	614758	1 875 824

Tablo 2. incelendiğinde, her üç ilde de Kireçsiz Kahverengi Orman ve Kireçsiz Kahverengi büyük gruplarına ait toprakların en fazla alan kaplayan topraklar olduğu görülmektedir. Bu toprak sınıflarından sonra Vertisol ve Alüviyal büyük gruplarına ait topraklar gelmektedir.

Yörede yakın tarihte yapılan bir araştırmanın verilerine göre Trakya topraklarının özellikleri; bünye bakımından toprakların yaklaşık, 1/3'ü hafif, 1/5'orta ve 2/5'i ağır bünyeli olduğu söylenebilir. Toprak reaksiyonu bakımından, yaklaşık 2/5'i asit, 1/5'i nötr ve 2/5'i alkaline reaksiyonlu, tuz bakımından 3/4'ü tuzsuz ve diğer kısmı çok hafif ve hafif tuzlu, kireç bakımından 1/2'si kireçsiz ve çok az kireçli, 1/7 az kireçli, 1/5'i orta kireçli ve kireçli ve 1/10'u ise çok kireçli sayılabilir. Organik madde bakımından 1/5'i çok az (<%1), 3/5'i az (%1-2), 1/5'i ise orta (%2-3) ve zengin (>%3), fosfor bakımından 1/5'i yetersiz ve çok yetersiz, 1/4'ü orta, 3/10'u yüksek ve 1/5'i çok yüksek, ekstrakte edilebilir potasyum bakımından, 1/7'si az, 1/4'ü orta ve yeterli, 3/5'i yüksek ve çok yüksek sınıfında yer almıştır. Ekstrakte edilebilir magnezyum bakımından 1/10'u yetersiz ve çok yetersiz, 3/5'i orta ve 1/5'i ise yüksek ve çok yüksek, ekstrakte edilebilir demir bakımından ise yaklaşık 1/10 az, kalan kısmı ise yeterli sınıfında yer almıştır (Gülbüz ve ark., 2019).

Ülkemizin de yer aldığı, kurak ve yarı kurak bölgelerde ürün verimini belirleyen başlıca unsur, bitkilere yağış ve sulama ile verilebilen su miktarıdır. Gelecek iklim projeksiyonları, Trakya Yöresinde kuraklıkların daha sık görüleceğini, yağışlardaki düzensizliklerin artacağını bitkilerin su ihtiyacının doğal yollarla karşılanmasının güç hâle geleceği yönündedir. Bu yüzden tarımsal faaliyetlerin Trakya gibi büyük oranda yağışa bağlı sürdürüldüğü yerlerde, suyun sınırlı olduğu bölgelerde, mevcut kaynakla en fazla ürün elde edebilmek için, üretimi etkileyen diğer faktörlerin olumsuz etkilerinin elemine edilmesi gerekmektedir. Bunlar, uygun toprak hazırlığı, ekim zamanı ve sıklığı, yeterli yabancı ot kontrolü, hastalık ve zararlılarla mücadele, yöreye adapte olmuş tohum çeşidi seçimi, toprak ıslahı ve gübreleme olarak sayılabilir.

Yukarıdaki Trakya topraklarının özelliklerine ilişkin bir değerlendirme yapacak olursak, bünye bakımından yöre topraklarının 1/3'ü hafif bünyeli topraklardan oluşmaktadır. Bu bünye sınıfındaki toprakların su tutma kapasitesi düşüktür. Bunu artırmak gerekmektedir. Bu da ancak, bu tür toprakların organik madde miktarının artırılması yoluyla olabilir.

5.1. Trakya Yöresi Topraklarının Toprak Reaksiyonu (pH) ve Tarımsal Üretim ve İklim Değişikliği Bakımından Yönetimi

Trakya toprakları reaksiyon bakımından 2/5 yani yaklaşık %40 gibi önemli bir kısmı asit reaksiyonlu topraklardan oluşmaktadır. Trakya yöresindeki toprak asitliğine, asit koşulların genel olarak yağışın fazlalığından dolayı oluşmasının aksine, toprak ana materyali ve bunun üzerine tarımsal üretimde kullanılan asit reaksiyonlu gübrelerin neden olduğu söylenebilir. Hafif asit reaksiyonlu olarak doğal hâlde bulunan tarım topraklarına kireçleme yapmadan uzun süre amonyum azotu içeren gübrelerin kullanımı toprakların asitliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu tür gübreler, nitrifikasyon sırasında H^+ iyonu salmaktadır. Gübrelerin asitlik etkisine azot formu yanı sıra azota eşlik eden bileşiminde etkisi olur. Örneğin amonyum sülfatın toprakta çözünmesi sonucu sülfürik asit oluşur ve bu da asitliği artırır. Kimyevi gübrelerin toprakta meydana getirdiği asitliği ölçmek için, gübre olarak verilen her bir kg azotun (N) oluşturduğu asitliği nötralize edecek kalsiyum karbonat $CaCO_3$ =kireç miktarı esas alınır. Bu duruma göre azot içeren gübrelerin asitlik etkileri (kg $CaCO_3$ /kg N) olarak ifade edilir (Tablo 3).

Tablo 3. Yörede yaygın olarak kullanılan kimyasal gübrelerin asitlik değerleri.	
Azot ve fosfor kaynağı gübre	$CaCO_3$ eş değeri (kg $CaCO_3$ /kg N)
Üre	1,8
Amonyum nitrat	1,8
Amonyum sülfat	5,4
Monoamonyum fosfat (MAP)	5,4
Diamonyum fosfat (DAP)	3,6

Topraklarda pH, 5,5'in altına düştüğü zaman, düşük toprak pH'ı toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini belirlemekte ve "asit toprak sendromu" diye adlandırılan bir durumu ortaya çıkarmaktadır. Bu durumun bitkilere şu olumsuz etkileri olmaktadır (Sağlam, 1994). Bunlar;

- Alüminyum ve mangan toksisitesi
- Kalsiyum, magnezyum ve molibden noksanlığı
- Baklagillerde nodül oluşumunun engellenmesi

- d. Bitki hastalıklarının artması
- e. Hidrojen toksisitesi ve fosfor yarayışlılığının azalması
- f. Diğer bazı iz elementlerin ve ağır metallerin toksik hâle gelmesi
- g. Toprakların fiziksel ve biyolojik özelliklerinin bozulması, bitki çıkışının ve gelişmesinin yavaşlaması.

Bitkiler, toprak asitliği konusunda farklı pH isteklerine sahiptirler. Genel bir kural olarak kültür bitkilerinden buğdaygiller baklagillere oranla toprak asitliğine daha dayanıklıdır. Aşağıdaki Tablo 4 bazı bitkilerin optimum gelişebildikleri pH aralıkları verilmektedir.

Şayet bu asit reaksiyonlu topraklarda asitliği seven ve asit koşullara toleranslı çilek, ahududu, böğürtlen, patates ve yulaf gibi bitkiler yetiştirmeyip, buğday, ayçiçeği, çeltik ve mısır gibi ürünler yetiştirmeyi planlıyorsak o zaman bu toprakların kireçlenmesi gerekmektedir. Zira kireçleme yörede yapılan bir çalışmada, ayçiçeğinin su kullanma verimini %12,7, mısır bitkisinin verimini ise %13,8 artırmaktadır (Gürbüz ve Yüksel 2012; Gürbüz ve Yüksel, 2014). Bu çalışmada Şekil 1’de farklı miktarda uygulanan (kontrol (K0) toprağın 0-30 cm hedefleyen kireçleme miktarı (K1) ve toprağın 0-60 cm derinliğini hedefleyen kireç miktarı uygulaması (K2)) kirecin ayçiçeği ve mısır bitkisi gelişimine etkisi görülmektedir. Kontrol (K0) saksılarında bulunan ayçiçeği ve mısır bitkilerinin diğer kireçleme konularından (K1 ve K2)’den daha zayıf olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Bazı kültür bitkilerinin optimum pH istekleri (Havlin ve ark., 1999).

Bitki	pH	Bitki	pH
Yonca	6,2-7,5	Bezelye	6,0-7,0
Arpa	5,5-7,0	Çam	4,5-5,0
Buğday	5,5-7,0	Şeker patates	5,0-5,7
Ayçiçeği	6,0-7,5	Çavdar	5,5-7,0
Lahana	5,7-7,0	Soya	5,5-7,0
Mısır	5,5-7,0	İspanak	6,0-7,0
Pamuk	5,5-7,0	Çilek	5,2-6,5
İri bakla	5,5-7,0	Tütün	5,0-6,0
Hıyar	5,5-6,7	Domates	5,5-6,7
Marul	6,0-7,0	Fiğ	5,5-7,0
Yulaf	5,5-7,0	Elma	5,2-7,5
Soğan	6,0-6,7	Fasülye	5,5-7,0

Avustralya’da kireçleme buğday ürün veriminde ilk yıl %13 düşüş, ikinci yıl %12 artış olmuştur. Kanola’da ilk %73 ve ikinci yıl %17 verim artışı, fiğde %73 verim artışı gerçekleşmiştir (Ashley ve ark., 2003). Kireçleme toprak pH’sını yükselterek bakteri popülasyonunun ve aktivitesinin değişmesini teşvik eder, böylece toprak organik maddesinin mineralizasyonunu artırabilir (Ahmad ve ark., 2014). Bu durumda toprak organik maddesinden mineralize olarak bitkiye sağlanan besin elementi düzeylerinde artış beklenmektedir. Kireçlemeden kaynaklanan sera gazı etkisi “Toprakların Kireç miktarının ve Kireçlemenin Sera Gazı Emisyonuna Etkisi” başlığı altında tartışılacaktır.



Şekil 1. Asit reaksiyonlu bir toprağa (Kırklareli-Kavaklı pH: 4,6, aynı sulama seviyesinde) uygulanan farklı düzeylerdeki kirecin ayçiçeği ve mısır bitki gelişimine etkisi.

5.2. Trakya Yöresi Topraklarının Toprak Tuzluluğu ve Tarım ve İklim Değişikliğine Uyumlu Yönetimi

Toprak tuzluluğu bakımından yöre topraklarının ¼’ü ancak tuzlu ve hafif tuzlu sınıfta yer almaktadır. Yörede toprak tuzluluğu bakımından tuz değeri yüksek olan alanların çoğu İpsala ve Ergene Nehri kenarlarındaki çeltik ekimi yapılan alanlarda bulunmaktadır. Topraklarda tuzlulaşma, doğal ve antropojenik işlemler olmak üzere iki şekilde oluşmaktadır. Doğal tuzlulaşma, esasen toprak oluşum süreçlerinden birisidir. Öncelikle toprakların oluşumu sırasında parçalanma ve ayrışma olayları ile toprak ana materyalinden ortaya çıkan tuzlar, yağışın fazla olduğu yörelerde drenaj suları ile akarsulara ve onların da vasıtası ile göl ve denizlere taşınırlar. Yağışın az olduğu yerlerde ise toprak profilinde veya arazinin topoğrafyasına bağlı olarak çukur yerlere arazinin do-

ğal drenajı (yüzey ve yüzeyaltı) ile gelerek su ile birlikte ulaşırlar. Daha sonra toprak yüzeyindeki ve toprağın alt katmanlarındaki suyun buharlaşma ile kaybı sonucu tuzlar toprakta kalır. Bu tuz taşınması neticesinde arazilerin özellikle çukur ve kapalı havza tipi yerlerinde önemli miktarda tuz birikmiş olur.

Trakya Yöresinde bu tür kapalı havza alanları pek az bulunduğundan geniş tuzlu alanlara rastlamamaktayız. Çünkü, kurak ve yarı kurak yörelerde arazinin tuzlulaşmasının asıl nedeni yağışların topraklardaki çözünabilir tuzları arazinin bir yerinden başka bir yerine taşınması ve oralarda özellikle kapalı havzalarda yağıştan fazla buharlaşmanın olması sonucu toprak içerisindeki tuzların birikmesidir. Yağışlı bölgelerde de denizin (deniz suyunun tuz oranı %1-3,5 arasında) etkisi altındaki sahile yakın kıyı kesimlerinde, özellikle nehir ağzına yakın yerlerde taban suyu yükselerek tuzlulaşmaya neden olabilmektedir. Gelibolu sahillerinde yer yer bu tür tuzlu alanlara rastlanmaktadır. Sulama ve gübreleme gibi tarımsal uygulamalar ise antropojenik işlemler sonucu tuzlulaşmaya neden olabilmektedir. Sulama sularının içerdiği tuzlar, şüphesiz suların kaynaklarından ve akışları boyunca temas ettikleri yüzeylerden çözdükleri tuzlardır. Bunlar sulama suyunun kalitesini tayin ederler. Fazla miktarda çözünmüş tuz ihtiva eden suların kalitesi düşüktür. Suyla birlikte toprağa verilen bu tuzlar, suyun bitki tarafından transpirasyon ve topraktan da evaporasyonla uzaklaşması sonucu toprakta birikirler. Suyla gelen katyonlardan kalsiyum ve magnezyum çökeltme eğilimi gösterirken, sodyum toprak çözeltisinde erimiş hâlde veya toprak kolloidleri üzerinde adsorbe edilir ve konsantrasyonunun artması ile toprağa damgasını vurur. Yani toprağı dispers eder, geçirgenliğini düşürür ve alkalileşme denen olaya yol açar.

Sulamanın diğer bir etkisi de uzun yıllar boyunca yağışlarla toprağın üst horizonlarından alt horizonlarına doğru yıkanan tuzların, taban suyunun yükselerek yüzeye çıkması ve kapillarite yoluyla beraberinde taşıdığı tuzların toprağın üst kısımlarına taşınmasına neden olmasıdır. Taban suyunun arazi yüzeyine çıkmasının nedeni, çoğu zaman aşırı sulama, kapillarite ile tuzların yüzeye çıkmasının nedeni ise kısıntılı sulama uygulamalarıdır.

Kimyasal gübrelerin uygulanmasında, toprak reaksiyonu asit ise gübrelerin asitliği artırma etkisine, alkaline ise tuzlulaştırma etkisine dikkat etmek gerekir.

Gübre olarak, kimyasal bileşikler uygulanmakta ve çoğu bu materyallerin çoğu esasen suda veya hafif asitte çözünabilen tuzlardır. Gübrelemenin toprakları tuzlulaştırması etkisine gelince, gübre olarak toprağa uygulanan bu tür

materyaller, toprakta çözüldükleri andan itibaren toprağın tuz içeriğini artırmış olurlar. Bunlardan bir kısmı bitki tarafından besin olarak kökler aracılığı ile alınırlar. Bir kısmı ise toprakta bir vejetasyon döneminden fazla kalabilirler. Özellikle katı gübrelerle birlikte asıl bitki besin maddesinin yanı sıra değişik amaçlarla kaplama materyali olarak kullanılan (jips, kireç v.s) maddeler de toprakta çözüldükleri zaman tuz niteliği taşımaktadır. Gübrelerin toprakta bıraktıkları bu tuz etkisini belirtmek ve değişik gübrelerin toprakta oluşturduğu tuzluluğu kıyaslamak için “tuz indeksi” ifadesi kullanılmaktadır. Tuz indeksi söz konusu gübrenin toprağın ozmotik basıncında oluşturduğu artışın, aynı ağırlıktaki sodyum nitratın oluşturduğu ozmotik basınca oranı olarak tanımlanır ve oransal olarak 100 üzerinden ifade edilir (Sağlam, 1994). Tablo 5’de piyasada fazla miktarda kullanılan gübrelerin tuz indeksi değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Piyasada bulunan ve satılan bazı kimyasal gübrelerin tuz indeksi değerleri.

Gübreler	Besin maddesi içeriği, %	Tuz indeksi* %	Toplam besin maddesi **%	Oransal tuzluluk %
Sodyum nitrat	16,5 N	100	16,5	100
Amonyum nitrat	35 N	104,7	35,0	49,4
Amonyum sülfat	21 N	69,0	21,0	53,7
Amonyak çözeltisi	82 N	47,1	82,0	9,4
Kalsiyum nitrat	11,9 N 17Ca	52,5	28,8	30,1
Üre	46 N	75,4	46	26,7
DAP	21 N 23 P	34,2	44	12,7
MAP	12 N 27 P	29,9	39	12,7
Süperfosfat	7,8 P	7,8	7,8	16,5
Triple süperfosfat	19,6 P	10,1	19,6	8,5
Potasyum klorür	49,8 K	116,3	49,8	38,5
Potasyum nitrat	13 N 38 K	73,6	51	23,6
Potasyum sülfat	45 K	46,1	45	17,0
Kalsiyum karbonat	40 Ca	4,7	40	1,90
Kalsiyum sülfat	23 Ca	8,1	23	5,80
Magnezyum oksit	60 Mg	1,7	60	0,50
Magnezyum sülfat	16 Mg	44	16	44,5

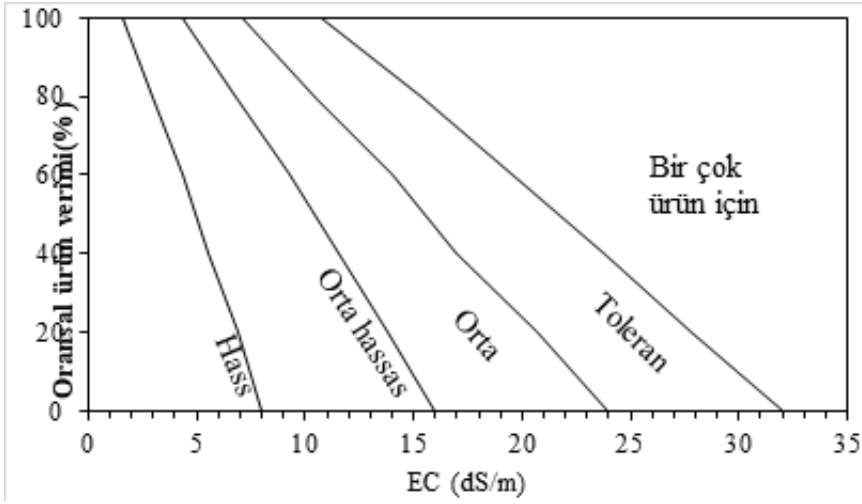
* Tuz indeksi, eşit ağırlıkta gübrenin ozmotik basınçta oluşturduğu artıştan hesaplanmıştır. ** Toplam besin maddesi N, P, K, Ca, Mg toplamı olarak verilmiştir. Örneğin monoamonyum fosfatta $12N+27P = 39$ elde edilmiştir.

Gübrelerin tuz indeksi değerleri (Tablo 5) incelendiğinde birinci sırada potasyum klorürün, ikinci sırada ise amonyum nitratın geldiği görülmektedir. Bu gübrelerin her ikisi de tarımsal üretimde bol miktarda kullanılan gübrelerdir. Amonyum nitrat ülkemizde en çok üretilen azot kaynağı, potasyum klorür ise doğrudan kullanımdan çok 15-15-15 ve 20-20-20 gibi kompoze gübrelerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu gübrelerin toprakta oluşturacağı tuzluluğu da göz önüne alarak kurak dönemlerde ve tuzlu topraklarda kullanımı sınırlandırılmalı ve tuz indeksi değeri düşük gübreler tercih edilmelidir. Tuzlar bitki büyümesine üç şekilde etki ederler;

Fiziksel etki; Osmotik basıncın yükselmesi sonucu bitkinin su alımı ve dolayısıyla beslenmesi yavaşlar veya tamamıyla durur. Bitki su alımında güçlük çeker. Buna osmotik basınç etkisi de denir. Trakya Yöresinde lokal alanlarda tuzluluğa rastlanabilmektedir. Kuraklığın artması ile topraktaki su miktarı ve suyun alımı güçleşmektedir. Bunun üzerine kimyasal gübreleri fazla kullanarak veya tuzlu sularla sulama yaparak tuzluluk oluşturarak birde osmotik potansiyelini artırmamız gerekir. $OP = 0,36 (EC \times 103)$ (Güngör ve Erözel 1994). Çünkü topraktaki suyun bitki tarafından alımını etkileyen potansiyellerden birisi osmotik potansiyeldir ve bu toprağın elektriksel iletkenliğinin 0,36 gibi bir faktörle çarpılması ile hesap edilmektedir. Yani su potansiyelini artırarak bitkilerin toprakta azalan sudan yararlanmasını güçleştirmektedir. Kuraklığa bitkileri daha hassas hâle getirmektedir.

Kimyasal etki; Bir kısım tuzlar, bitki besin maddelerinin alımını zorlaştırıp, metabolizmayı bozarak bitkinin bünyesine zarar verirler. Buna özel iyonların toksisitesi de denir. Bunlara klor içeriği yüksek (NaCl) bor içeriği yüksek gübre veya sulama suları örnek olarak verilebilir. Avustralya'daki bazı tuzlu topraklarda buğday kökleri Na^+ ve Cl^- iyonlarını fazla aldığından besin dengesizliği yaşanır. Yüksek Na^+ seviyeleri, kalsiyum (Ca^{2+}) ve potasyum (K^+) alımını engelleyerek bitki hücre zarlarını zayıflatır ve yaprak yanıklıklarına sebep olur.

Dolaylı Etkiler; Tuzluluk veya alkaliliğin toprak üzerinde meydana getirdiği değişiklikler, bitkilerin gelişmesine etki eder. Örneğin su alımının sağlanması için metabolik enerjinin kullanılması ve verimde düşme meydana gelmesi gibi. Bitki, su alımını sağlamak için hücre içindeki osmotik basıncı artıran prolin ve şeker üretimini artırır, ancak bu süreç enerji gerektirir ve verimde %20'ye varan düşüşlere neden olur. Tuzlu toprak koşullarında pamuk bitkisi, suyu almak için daha fazla metabolik enerji harcar. Bu, fotosentez hızını ve büyümeyi yavaşlatarak verim kaybına (%15-30) yol açar.



Şekil 2. Toprak tuzluluğunun bitkilerin tuza tolerans durumuna göre ürün verimine etkisi (Ayers ve Westcot, 1985).

5.3. Trakya Toprakların Kireç Düzeyi ve Kireçlemenin Sera Gazı Emisyonuna Etkisi

Kireç içeriği yüksek olan toprakların, atmosferdeki CO₂'yi yakalayıp kararlı kalsiyum karbonat (CaCO₃) mineralleri oluşturma potansiyeli bulunmaktadır. Bu süreç toprak karbon depolama (carbon sequestration) olarak adlandırılmaktadır ve uzun vadede iklim değişikliğini hafifletici bir rol oynayabilir. Karbonat-silikat döngüsü, silikat minerallerinin aşınması sonucu kireçli bileşiklerin oluşmasını sağlar ve bu süreç, jeolojik zaman ölçeklerinde atmosferik CO₂'nin azaltılmasına katkıda bulunur. Ancak, bu mekanizma hızlı karbon döngüsünden farklı olarak binlerce ila milyonlarca yıl ölçeğinde etkilidir. Yüksek kireç içeriğine sahip topraklar, kimyasal ayrışma süreçleriyle atmosferdeki CO₂'yi yakalayıp karbonat mineralleri şeklinde depolayabilir. Ancak, bu süreç sadece CO₂'nin tutulmasını sağlamaz, aynı zamanda silikat minerallerinin ayrışmasıyla birlikte atmosferik CO₂ tüketimini teşvik eden bir geri besleme mekanizmasını devreye sokar. Silikat minerallerinin aşınması ve çözünmesi, atmosferdeki CO₂ ile reaksiyona girerek bikarbonat iyonlarının oluşumuna yol açar; bu iyonlar daha sonra okyanuslarda çökerek CaCO₃

formunda uzun süreli karbon depolanmasını sağlar. Bu geri besleme mekanizması sayesinde, dünyanın sıcaklığı ve atmosferdeki CO₂ dengesi milyonlarca yıl boyunca büyük ölçüde korunabilmiştir (Walker ve ark., 1981).

Trakya Topraklarının kireç içeriğinin 1/2'si kireçsiz ve çok az kireçli, 1/7 az kireçli, 1/5'i orta kireçli ve kireçli ve 1/10'u ise çok kireçli olduğu durumun sera gazı emisyonları bakımından değerlendirmek gerekmektedir. Yörede kireçli toprakların (kireç>%10) toplam tarım topraklarımızın %30'u civarında olduğu tahmin edilmektedir.

Kireçli topraklarda ülkemizde özellikle son yıllarda amonyum nitrat gübresinin kullanımına gelen kısıtlamalardan dolayı üre gübresi kullanımı artmıştır. Yapılan araştırmalara göre, bu gübrelerde uygulanan azotun NH₃ olarak kaybolma oranı %0 ile %50 arasında değişebilir. Amonyak (NH₃) doğrudan bir sera gazı olmasa da, atmosfere salındığında ince partikül madde (PM_{2.5}) oluşumuna katkıda bulunarak hava kalitesini olumsuz etkileyebilir. Aynı zamanda toprak asitleşmesine ve su kaynaklarında ötrofikasyona yol açarak sera gazı dinamiklerini dolaylı olarak değiştirebilir. NH₃'nin atmosfere karışarak nitrat (NO₃⁻) ve nitrit (NO₂⁻) formlarına dönüşmesi, azot çevrimini etkileyerek sera gazı olan azot oksitlerin (N₂O) oluşumunu artırabilir. Ayrıca uygulanan azotlu gübrenin etkinliğini azaltması nedeniyle hem ürün kayıplarına ve hem de ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu yüzden amonyak kayıplarının minimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Bu yüzden, üre gübresinin kireçli topraklarda kullanımı ve NH₃ emisyonlarını azaltma stratejileri şunlardır:

- Gübre Seçimi: Üre yerine amonyum bazlı gübrelerin kullanılması, NH₃ volatilizasyonunu azaltabilir.
- Uygulama Teknikleri: Gübrelerin yüzeye serpilerek uygulanması yerine toprağa karıştırılması, NH₃ kayıplarını önemli ölçüde düşürebilir.
- Uygulama Zamanlaması: Serin hava koşullarında ve uygun nem seviyelerinde gübreleme yapmak, volatilizasyonu azaltabilir.

Trakya yöresi topraklarının yaklaşık 2/5'ünün asit reaksiyon nedeniyle ekilen ürünün çeşidine göre kireçlenmesi gerektiği durumda uygulanan kirecin ve uygulamadan kaynaklanan topraktaki azot döngüsünün sera gazı üretimine etkisini değerlendirmek gerekmektedir.

Tarımda yaygın şekilde kullanılan kireç (CaCO_3) ve dolomit uygulamaları, doğrudan atmosferik CO_2 emisyonuna neden olmaktadır. Yapılan araştırmaya göre, kireç taşı uygulamaları sonucunda oluşan net CO_2 emisyonu, her bir ton kireç taşı için yaklaşık 0,059 metrik ton karbon olarak hesaplanmıştır. Dolomit uygulamaları için ise bu değer 0,064 metrik ton karbon olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, önceki dönemde IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından rapor edilen tahminler-den daha düşük seviyelerdedir. Bu durum, kireç uygulamalarının sera gazı emisyonlarına katkısının geçmişteki varsayımlardan daha düşük olabileceğini ortaya koymaktadır (West McBride, 2005). Asidik koşullarda toprağa ilave edilen CaCO_3 çözünerek Ca iyonları ve CO_2 gazı açığa çıkabilmektedir.

Amonyum bazlı gübrelerin ve kireç uygulamalarının sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini inceleyen bir derleme çalışmasına göre, kireçlemenin N_2O emisyonlarını azaltma potansiyeli bulunmaktadır. Kireçleme, toprak pH'sını yükselterek denitrifikasyon sürecini tamamlamaya yardımcı olur ve N_2O 'nun zararsız azot gazına (N_2) dönüşmesini kolaylaştırır. Bununla birlikte, yükselen pH seviyesi nedeniyle amonyak volatilizasyonunda belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Özellikle amonyum bazlı gübrelerin kullanıldığı sistemlerde, kireçleme sonrası NH_3 volatilizasyonu önemli ölçüde artış göstermektedir. Bu nedenle, kireç uygulamalarının dengeli bir şekilde yapılması ve uygun azot yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Sherlock ve Jewell, 2019).

Toprak pH seviyesinin düzenlenmesi amacıyla yapılan kireç uygulamalarının, sera gazı emisyonları üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada, kireçleme ile pH seviyesi 6.3'e yükseltilmiş topraklarda azot oksit (N_2O) emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. N_2O emisyonları, kireç uygulanmamış topraklarda $547 \text{ g N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ seviyesinde ölçülürken, kireç uygulanan topraklarda bu miktarın $46 \text{ g N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ 'ye kadar düştüğü belirlenmiştir. Ancak, bu uygulamanın bir yan etkisi olarak amonyak (NH_3) volatilizasyonunda artış gözlemlenmiştir. Kireçleme yapılan topraklarda NH_3 kayıpları $0,36 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$ 'den $1,92 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$ seviyesine yükselmiştir. Bu bulgular, kireç uygulamalarının N_2O emisyonlarını azaltırken, NH_3 kayıplarını artırabileceğini göstermektedir. (Mkhabela ve ark. 2006).

Tarım arazilerinde kireç kullanımının N_2O emisyonlarını azaltabileceği ve bitki verimini artırabileceği bilinmektedir. Kireçleme, toprak pH'sını artırarak mikrobiyal süreçleri düzenler ve denitrifikasyon yoluyla N_2O kayıplarının azal-

masına katkı sağlar. Bununla birlikte, kireçleme, topraktaki azotun amonyak formunda volatilizasyonunu teşvik edebilir. Bu nedenle, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve bitki besin maddesi kayıplarının önlenmesi için, kireç uygulamalarının kontrollü bir şekilde yapılması ve aşırı kireç uygulamalarından kaçınılması büyük önem taşımaktadır.

Kireç (CaCO_3) ve jips (CaSO_4) uygulamalarının tarım topraklarında sera gazı emisyonları üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmada, kireç uygulamalarının N_2O emisyonlarını her zaman azaltmadığı, bazı durumlarda artırdığı belirlenmiştir. Bu durum, toprak pH'sının değişmesiyle birlikte nitrojen çevrimi süreçlerinin farklı şekilde etkileşime girmesiyle açıklanabilir. Öte yandan, jips uygulamalarının N_2O emisyonlarını azaltmada daha tutarlı bir etkisi olduğu görülmüştür. Kireç uygulamalarının sera gazı salınımına olan etkileri, toprağın başlangıçtaki pH değeri ve kullanılan azot kaynaklarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir (Ribeiro, 2024).

5.4. Toprak Organik Maddesinin Tarımsal Üretim Üzerine Etkisi

Toprak organik maddesi, bitkisel ve hayvansal doku artıklarının toprağa düşüp ayrışmaya başlamasından, mineralize oluncaya kadar, ayrışmanın değişik aşamalarındaki çeşitli organik bileşikler ifade eder. Bunlar içerisinde; taze bitki kökleri ve sapları, ahır gübresi, taze yeşil gübre, taze mutfak artıkları ve çöpler, böcekler ve solucanların ayrışmamış vücutları, bitkisel ve hayvansal hayatın sayısız artık maddeleri ile oldukça kararlı durumda bulunan, bitki ve hayvan dokularına ait hiçbir iz taşımayan organik maddeler ve ayrışmanın değişik devrelerindeki ara ürünleri yer almaktadır. Diğer bir ifade ile organik madde topraktaki bütün organik bileşikler içerisine alır. Bitkisel artıklar hayvansal artıklardan daha fazladır.

Topraklarda az miktarda bulunan organik madde, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerinde önemli ölçüde etkilidir. Toprağın iyi strüktür kazanması, agregatların kararlı (dayanıklı) hâle gelmesi, toprağın su tutma kapasitesinin artması, havalanmasının yeterli olması ve uygun tav durumunu koruması gibi fiziksel özellikler organik maddenin yeterli olması durumunda oluşabilmektedir. Bunun yanı sıra toprakların katyon değişim kapasitelerinin büyük bir kısmı, yine organik mad-deden kaynaklanmaktadır.

Sahip olduğu yüksek adsorpsiyon kapasitesi ile toprakta NH_4 , K, PO_4 , Ca ve Mg gibi iyonların tutulmalarını, tutulan bu iyonların bitki gereksinimine göre zaman içerisinde ve yavaş bir şekilde toprak çözeltisine geçmelerini, böylece de bitkilerin besin maddelerini aldığı esas ortam olan toprak çözeltisindeki bitki besin maddelerinin sürekli olarak yenilenmelerini sağlamaktadır.

Yöre topraklarının organik madde bakımından büyük bir bölümünün (1/5'i çok az (<%1,0), 3/5'i az (%1-2), 1/5'i ise orta (%2-3) ve zengin (>%3) yaklaşık %80'inin düşük olduğu belirlenmiştir (Gürbüz ve ark., 2019). Bu durumun sebebini yöre topraklarının uzun süredir devam eden tarım kül-türünde aramak gerekir. Son yüzyılda toprak işleme sistemine makina gücünün girmesiyle beraber, yoğun toprak işleme uygulamaları, toprağın alt-üst edilmesi topraktaki organik maddenin mineralize olarak azalmasına neden olmuştur. Maalesef bu esnada bu azalmayı ikame edecek organik gübre kaynakları yeterince eklenememiştir. Şu anda bile birincil organik madde kaynağı olan çiftlik gübresinin uygun koşullarda olgunlaştırılarak tarım alanlarına organik madde ve besin elementi kaynağı olarak kullanımı oldukça sınırlıdır. Yörede entansif tarım işletmeleri bulunmasına rağmen, bunların gübreleri büyük oranda biyogaz çevrim santrallerinde enerjiye dönüştürülmektedir. Bunun dışında kalan küçük işletmelerin ise düzenli depolama ve olgunlaştırma tesisi bulunmadığı için hem çevresel ve hem de iklim değişikliği süreci bakımından önemli sera gazı üretimine neden olmaktadır. Bu konu, ilgili otoriteler bakımından değerlendirilerek çözüm bulunması gereken önemli sorunlardandır.

Farklı ekosistemleri barındıran ve bu nedenle insanların gereksinimi olan farklı hizmetlerin giderilmesi için gerekli olan sulak alanların kurutularak tarımsal üretime açılması ve ormanların ve meraların yüzeyindeki bitki örtüsünün ağaç-çalı vb. temizlenmesi, öncelikle bu ekosistemlerin özelliklerinin değişmesine ve insanlık için gerekli olan hizmetleri yerine getirememelerine neden olmaktadır. Bu işlemler sonucunda daha önce bu tür ortamlarda depolanmış organik karbon, toprak işleme ile havalandırmanın etkisi ile hızlı bir şekilde atmosfere geri salınmaktadır. Organik karbonun atmosfere salınması, sera gazı emisyonunun artmasına neden olurken, toprağın sağlığının göstergesi kabul edilen organik karbon miktarının azalması toprağın fonksiyonlarını beklediği gibi yerine getirmesini sınırlandırmakta ve bozulmaya karşı direncinin azalmasına yol açmaktadır. Bu süreç, Su tutma yeteneğini azaltmakta, suya dayanıklı agregat düzeyini düşürmekte ve toprağı erozyon etkisine açık hâle

getirmektedir. Yapılan bir çalışmada 1,2 g/cm³ hacim ağırlığına sahip bir toprakta organik madde miktarının artışına bağlı olarak su tutma kapasitesindeki artış Tablo 6'de verilmiştir (Jones, 2006).

Tablo 6. Toprakta organik madde artışının su tutma kapasitesine CO ₂ tutulumuna etkisi.		
Toprakta Organik madde artışı %	Ekstra su (mm)	Toprakta CO ₂ Tutunumu (ton/ha)
1	14,4	132
2	28,8	264
3	43,2	396

Organik madde toprak oluşturan unsurlardan biri olan biyolojik aktiviteyi oluşturmakta ve toprağın pedolojik anlamda ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Organik maddenin ayrışması ile birçok bitki besin maddesi (N, P, S, gibi) açığa çıkar. Bu yüzden organik madde ile toprak verimliliği arasında sıkı bir ilişki mevcuttur.

Toprak organik maddesinin bir bölümünü oluşturan bitki artıkları, toprağın yüzeyini örterek malç görevi yaparak suyun korunmasına yardımcı olurken, toprağın daha serin kalmasını sağlamaktadır. Toprağa karıştırılıp mineralize olduktan sonra ise bitki besin maddesi deposu olması nedeniyle bitkilerin besin elementi ihtiyacının bir bölümünü sağlamaktadır. Katyon değişim kapasitesini artırması ve toprakların strüktürü ve su tutma yeteneğine yaptığı katkılarla bitkilerin mevcut sudan yararlanma oranını iyileştirerek yani su kullanım randımanının artmasına katkıda bulunmaktadır.

5.5. Toprak Organik Maddesinin Büyük Bir Karbon Havuzu ve Sera Gazı Kaynağı/Yutağı Olarak Sera Gazı Emisyonları ve İklim Değişikliği Üzerindeki Etkileri

Topraklar, dünya üzerindeki en büyük karbon depolarından biridir ve yüzeyin ilk 2 metresinde yaklaşık 2300-2400 gigaton (Gt) organik karbon içermektedir (Lal, 2004). Bu miktar, atmosferde bulunan karbon miktarının yaklaşık üç katıdır (Smith ve ark., 2014).

Toprakta organik karbonun depolanması, sadece gıda güvenliğini sağlamak ve toprak kalitesini iyileştirmek için değil, aynı zamanda iklim değişikliğinin tarımsal üretime olası olumsuz etkisini dengelemek için de son derece önemlidir (Lal, 2020). Korumalı toprak işleme altında, toprak hiç veya çok az karıştırıldığından organik maddenin oksidasyonu çok azalır ve dolayısıyla, agregat dayanıklılığı başta olmak üzere birçok fiziksel toprak özelliği gelişir, mikrobiyal çeşitlilik ve toprak organik karbonunun depolanması artar (Jat ve ark., 2013). Sıfır veya azaltılmış toprak işleme uygulamaları altında toprakta organik karbon birikiminin bir başka nedeni, toprak erozyonuna karşı fiziksel örtü görevi gören bitki atıklarının malçlama etkisi olarak ifade edilmektedir (Carretta ve ark., 2021).

Bu nedenle, toprak organik karbon stoklarında meydana gelen küçük değişiklikler bile atmosferdeki CO₂ konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkileyebilir (Paustian ve ark., 2016). Toprak organik maddesi dinamikleri, sera gazı akışları ile yakından ilişkilidir. Toprak organik maddesi parçalandığında karbon, CO₂ olarak açığa çıkar ve bazı toprak süreçleri ayrıca metan (CH₄) ve diazot monoksit (N₂O) emisyonlarına neden olur (Stockmann ve ark., 2013). Arazi kullanımı ve yönetimi değişiklikleri, toprakları sera gazı kaynağına veya yutağına dönüştürebilir. Tarım ve arazi kullanımı değişiklikleri, küresel antropojenik sera gazı emisyonlarının yaklaşık %25'inden sorumludur. Bunun yaklaşık %10-14'ü doğrudan tarımdan (çoğunlukla toprak ve hayvancılıktan) ve %12-17'si arazi örtüsü değişikliklerinden (örneğin, ormansızlaşmadan) kaynaklanmaktadır (Smith ve ark., 2014).

Tarımsal işlemlerden toprak işleme ve gübreleme süreçleri, özellikle gübrelenmiş topraklardan kaynaklanan N₂O ve pirinç tarlaları ile hayvansal atıklardan kaynaklanan CH₄ emisyonları, tarımsal emisyonların yaklaşık %37'sini oluşturmaktadır (Stockmann ve ark., 2013). Doğal ekosistemlerin tarım arazilerine dönüştürülmesi, tarihsel olarak yaygın toprak organik karbon kayıplarına yol açmıştır. İşlenen topraklar, doğal ormanlara veya çayırlara kıyasla genellikle üst toprak karbonunun %30-50'sini kaybeder (Paustian ve ark., 2016). Çoğu zaman, bu süreç yıllık 0,5-2 ton karbonun hektar başına CO₂ olarak atmosfere salınmasına neden olur (Lal, 2004). Bu nedenle, sürdürülemez arazi kullanımı nedeniyle toprak karbonunun azalması, atmosfere önemli miktarda CO₂ eklenmesine yol açmıştır. Öte yandan, doğal toprakları korumak veya bozunmuş arazileri restore etmek, zamanla toprak organik karbon stoklarını

yeniden oluşturabilir (Minasny ve ark., 2017). Ayrıca, toprak yönetimi CO₂ dışındaki gazları da etkiler; örneğin, yoğun gübre kullanımı veya yanlış azot yönetimi, N₂O emisyonlarını artırırken, havalandırılan ve aşırı su tutmayan topraklar CH₄ emisyonlarını azaltabilir.

5.6. Toprak Organik Maddesinin Yönetimi ve İklim Değişikliğiyle Mücadele

İyileştirilmiş toprak yönetimi, sera gazı emisyonlarını azaltma ve toprak karbonunu artırma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir (Smith ve ark., 2014). İklim duyarlı toprak yönetimi uygulamaları, toprak organik karbonu artırarak atmosferden CO₂'nin çekilmesine yardımcı olabilir. Bu uygulamalar arasında şunlar yer alır:

- Sürümü azaltılmış veya doğrudan ekim sistemleri (toprak bozunmasını önlemek için); Toprak işlemede pulluk kullanımının yer aldığı geleneksel uygulamalardan koruyucu işleme uygulamalarına geçiş, toprak profili içinde toprak organik maddesinin birikmesine, zamanla agregatların dayanıklılığının artmasına ve ekosistem hizmetlerinin iyileştirilmesine önemli katkı sağlayacaktır. Toprağın suyu tutma yeteneği, özellikle suyun sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde daha çok önemlidir (Günel ve Çelik, 2022).
- Yeşil gübreleme, örtü bitkileri ve derin köklü bitkilerin ekimi: Yörede yapılan bir çalışmada buğday-ayçiçeği arasında kalan kış döneminde yeşil gübreleme amacıyla fiğ yetiştirilmesi durumunda toprağın organik madde miktarının arttığını (6 yılda 1,34 den 2,17'ye) ve münavebedeki bitkilerin azot ihtiyacının büyük bölümünün karşılandığını belirlenmiştir (Gürbüz, 2010), örtü bitkileri toprağın hem erozyona karşı korunmasına ve hem de karbon tutumu yaparak sera gazlarının azaltılmasında etkili olabilmektedir. Edirne'de yapılan bir araştırmada ön bitki amacıyla ekilen fiğın hasadı geciktirildikçe toprak nemi azalmış ve ayçiçeği ürün verimi düşmüştür (Evcı ve ark., 2006). Bu yüzden ekilen örtü bitkilerinin ilkbaharda erkenden yeşil gübreleme veya ürün amaçlı kaldırılması gerekmektedir. Derin köklü bitkiler ise kuraklığa karşı daha dayanıklı olmakta ve değişen iklim koşullarına daha iyi adapte olabilmektedir.

- Organik katkı maddeleri (örneğin, hayvan gübresi, kompost, bitki artıkları) kullanımı; bu tür maddelerin toprağın organik madde düzeyini artırdığı kadimden beri bilinmekte ve çiftçiler tarafından uygulanmaya çalışılmaktadır.
- Minimum toprak işleme, koruyucu toprak işleme uygulamaları: Bölgede yağışa bağlı olarak yetiştirilen ve ana münavebe olan ayçiçeği ve buğday tarımında, toprak strüktürünün yeniden oluşmasına ve oluşan bu strüktürün korunması için koruyucu işleme yöntemlerinin uygulanmasını gerektirmektedir (Bayhan, 2016)
- Ağır metal içeriği uygun arıtma çamurlarının kullanılması; İski atık su çamurunun kullanılması ile Tekirdağ-Karaevli Mahallesinden alınan bir toprağın özelliklerine etkisini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre toprağın su tutma kapasitesi ve infiltrasyon hızı önemli oranda artarken, erozyonla toprak kaybında ise azalma belirlenmiştir (Tablo 7) (Gezer, 2012).

Tablo 7. Tekirdağ -Karaevli toprağına İSKİ arıtma çamurunun toprağın su tutma kapasitesi, su alma hızı ve erozyonla toprak kaybına etkisi.

İSKİ Atık su Arıtma çamuru (ASÇ) uygulaması	Toprağın su tutma kapasitesi (%)	Toprağın su alma hızı (mm/saat)	Erozyonla toprak kaybı (kg/da)
0 ton	12	18	83
2 ton/da	15	22	65
4 ton/da	21	26	57
8 ton/da	24	33	53

Bu uygulamaların her biri ya toprak karbon girdilerini artırarak ya da karbon kayıplarını azaltarak toprak organik maddesinin korunmasını destekler. Örneğin, organik kalıntılar veya gübre eklenmesi karbon girişini artırırken, sürüm yapılmaması ve örtü bitkileri kullanımı toprak karbonunu koruyarak mikrobiyal bozunmayı yavaşlatır (Powlson ve ark., 2011).

İyi yönetilen topraklar, organik madde açısından zengin olduğunda, daha az sera gazı yayma eğilimindedir ve hatta atmosferden CO₂ çekerek karbon yutağı hâline gelebilir (Lal, 2020). Bu kavram, “iklim dostu topraklar” veya “4 per mille” girişimi gibi küresel girişimlerin temelini oluşturmaktadır (Minasny ve ark., 2017).

5.7. Toprak Karbonu Tutma Potansiyeli ve İklim Etkisi

Toprak organik karbonunun artırılması, umut verici bir doğal iklim çözümü olarak değerlendirilmektedir. Araştırmalar, iyileştirilmiş toprak yönetimi uygulamalarının küresel karbon emisyonlarının önemli bir bölümünü dengeleyebileceğini göstermektedir. Lal (2004), bu tür uygulamaların dünya genelinde yılda 0,4-1,2 Gt karbon tutma potansiyeline sahip olduğunu ve bu miktarın küresel fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonlarının %5-15'ine denk geldiğini belirtmiştir.

Ancak, toprak karbon depolama potansiyelinin sınırlamaları da bulunmaktadır. Örneğin, her toprağın belirli bir karbon depolama kapasitesi vardır ve toprak organik karbon seviyeleri arttıkça, yeni bir denge noktasına ulaşarak tutulum (sekestrasyon) oranı yavaşlar (Powlson ve ark., 2011). Çoğu toprak, sürdürülebilir yönetim uygulamalarının uygulanmaya başlanmasından sonra yaklaşık 20-30 yıl içinde maksimum yeni karbon depolama kapasitesine ulaşır (Minasny ve ark., 2017). Dahası, toprakta depolanan karbon geri dönüşümlüdür-yani, sürdürülebilir uygulamaların terk edilmesiyle (örneğin, sürüm uygulamasına geri dönülmesi veya çayırların tarım arazisine dönüştürülmesi), kazanılan karbon hızla atmosfere geri salınabilir (Conant ve ark., 2011).

Toprak organik maddesinin korunması ve artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir araç olarak görülmektedir. Ancak, bu stratejilerin uzun vadeli etkili olabilmesi için sürekli ve sürdürülebilir uygulama hâline getirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

5.8. Azotlu Gübre Kullanımı ve Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Azot (N) gübrelerinin kullanımı, tarımsal sera gazı emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etki, esas olarak topraklardan nitroz oksit (N₂O) salınımı yoluyla gerçekleşir. Çiftçiler azotlu gübre uyguladığında, topraktaki mikroorganizmalar bu azotun bir kısmını nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri yoluyla N₂O'ya dönüştürebilmektedir.

Nitroz oksit (N₂O), karbon dioksit (CO₂) kıyasla yaklaşık 265-300 kat daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahip güçlü bir sera gazıdır (100 yıllık zaman ölçeğinde). Tarım, küresel N₂O emisyonlarının en büyük kaynaklarından biridir; toprak yönetimi (gübre ve hayvan gübresi uygulamaları dâhil) antropojenik N₂O emisyonlarının yaklaşık %50-60'na katkıda bulunur.

Bu, gübreleme uygulamalarının doğrudan iklim üzerindeki etkileri şekillendirdiği anlamına gelir. Farklı azotlu gübre uygulamaları, N_2O emisyonlarını büyük ölçüde değiştirebilir. Genel olarak, yüksek dozda azot uygulanması, mahsulün ihtiyaç duyduğundan daha fazla olduğunda orantısız şekilde artan N_2O kayıplarına neden olur.

IPCC (Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli) geleneksel olarak, uygulanan azotun yaklaşık %1'inin N_2O -N olarak kaybolduğunu varsaymaktadır. Ancak, pratikte bu %1'lik oran ortalama bir tahmindir ve yüksek azot dozlarında emisyonlar üstel olarak artma eğilimindedir. Küresel çapta yapılan bir meta-analiz, N_2O emisyonlarının, optimum azot seviyelerinin aşılmasının ardından hızlandığını ve emisyon faktörlerinin doğrusal olmayan bir şekilde arttığını göstermiştir.

Başka bir deyişle, azot eksikliği olan bir toprağa az miktarda gübre eklemek, N_2O emisyonu açısından minimal bir etkiye sahip olabilir; ancak zaten yeterli miktarda azot içeren bir toprağa aynı miktarda gübre eklemek, N_2O emisyonlarında büyük bir artışa neden olabilir. Bu yüzden ekim öncesi topraklardaki mineral azot düzeyinin belirlenerek ayçiçeği, buğday hatta mısır ve çeltik gibi yörede yoğun gübre kullanılan bitkilerin gübre uygulamalarını kalibre etmek gerekmektedir. Bu konuda topraktaki mineral azot miktarına göre ayçiçeği-azot kalibrasyon çalışması yapılmıştır (Gürbüz ve Kardeş, 2024). Ancak uygulamaya geçmesi ve diğer araştırma çalışmalarının devamı için ilgili kuruluşların teşvik ve zorlamasına ihtiyaç vardır.

Örneğin, Çin'deki bir tarım arazisinde yapılan bir çalışma, azot gübrelemesinin, gübrenlenmemiş tarlalara kıyasla N_2O emisyonlarını ortalama %120 artırdığını göstermiştir. N_2O artışı, gübre kaynaklı metan (CH_4) emisyonlarındaki %32'lik artışı önemli ölçüde aşmıştır, bu da eklenen azottan kaynaklanan ana sera gazının N_2O olduğunu göstermektedir (Huang, 2023).

Bu tür veriler, aşırı azot gübrelemesinin sadece azalan verim getirilerine neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda orantısız şekilde yüksek sera gazı emisyonlarına da yol açtığını göstermektedir. Gübre türü ve uygulama yöntemi de N_2O emisyonlarını etkileyebilir. Nitrat bazlı gübreler ve hayvan gübreleri, toprak nemli ve oksijen açısından fakirse (denitrifikasyonu teşvik eden koşullar) hızla N_2O üretebilirken, amonyum bazlı gübreler iyi havalanmış topraklarda nitrifikasyon yoluyla daha fazla N_2O üretebilir. Yaygın bir görüş olarak bitkilerin amonyum formunda azotla beslenmesi N_2O üretiminin azalmasına

neden olabilmektedir. Ancak bazı bitkiler sadece azot ihtiyaçlarının az olduğu gelişmelerinin başlangıcında amonyum alımı ile azot ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Bitki gelişiminin artması ile azot ihtiyacı artmakta ve sadece amonyum formu ile azot ihtiyacının karşılanması iletim demetlerinde tahribata yol açmaktadır (Britto, 2002).

Çevresel koşullar bu etkileri daha da belirgin hâle getirebilir. Örneğin, organik karbon açısından zengin veya hafif asidik topraklar ($\text{pH} < 7$), gübrelemeye karşı daha güçlü doğrusal olmayan N_2O tepkileri gösterebilir. Sonuç olarak, bitkiler tarafından alınmayan veya toprakta bağlanmayan herhangi bir azot, N_2O üreten mikroplar için bir substrat hâline gelebilir. Bu yüzden toprakta azot birikimine neden olacak aşırı azot uygulamalarından kaçınmak gerekmektedir.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise N_2O 'nun gübrelerle ilişkili tek sera gazı olmadığıdır. Sentetik azot gübresi üretimi de enerji yoğun bir süreçtir (Haber-Bosch süreci); genellikle doğal gaz tüketimi gerektirir ve büyük miktarda CO_2 yayar.

Yakın zamanda yapılan bir analiz, 2018 yılında sentetik azot gübre tedarik zincirinin (üretim, taşıma ve saha kullanımı) yaklaşık 1,13 gigaton CO_2 eş değeri sera gazı emisyonuna neden olduğunu tahmin etmektedir. Bu, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %2,1'ine ve aynı yıl içinde tarımdan kaynaklanan tüm emisyonların %10'undan fazlasına eşittir (Menegat ve ark, 2022).

Tarla koşullarında, N_2O ana bileşen olsa da diğer gazlar üzerinde de küçük etkiler bulunmaktadır. Azot ilaveleri, toprak karbon döngüsünü ve bitki artıklarının ayrışmasını etkileyebilir; bazı çalışmalar, CO_2 akışında küçük artışlar veya metan alımında değişiklikler olduğunu göstermektedir. Çünkü ilave azot toprak organik maddesinin varılan C/N dengesini daraltarak mikrobiyal ayrışmayı hızlandıracaktır. Ancak, N_2O hem sera gazı etkisinin büyüklüğü hem de azot girdileriyle doğrudan ilişkisi nedeniyle ana endişe kaynağı olmaya devam etmektedir. İklim üzerindeki etkisi, CO_2 eş değerleri açısından şu şekilde hesaplanabilir:

Her 1 kg N_2O emisyonu, yaklaşık 265 kg CO_2 eş değerinde ısınmaya neden olur. %1 emisyon faktörü kullanıldığında, 100 kg azot (tipik olarak 1 hektar tahıl için uygulanan miktar) yaklaşık 1 kg N_2O -N yayabilir (yaklaşık 1,57 kg N_2O gazı), bu da yaklaşık 0,94 ton CO_2 eş değer sera gazına karşılık gelir.

Bu yüksek küresel ısınma maliyeti, azot gübrelerinin iklim üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik araştırmaları teşvik etmiştir.

5.9. Nitroz oksit (N_2O) emisyonlarını azaltma yöntemleri

Azot gübre kullanımı ile N_2O emisyonları arasındaki bağlantı göz önüne alındığında, tarımsal sistemlerde verimden ödün vermeden N_2O azaltmak için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir.

Ana yöntemler şunlardır:

- Gübre yönetiminin optimize edilmesi,
- İnhibitörler veya geliştirilmiş verimlilik sağlayan gübrelerin kullanılması,
- Alternatif tarımsal uygulamaların benimsenmesi,
- Azot uygulama oranını ve zamanlamasını optimize edilmesi,
- Azotu doğru miktarda ve doğru zamanda uygulamak esastır.
- Aşırı uygulama, yalnızca gübre israfına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda N_2O emisyonlarını büyük ölçüde artırır.
- Çin’de yapılan bir modelleme çalışması, sentetik azot gübresi kullanımının %30 azaltılmasının, küresel ısınma üzerindeki etkileri büyük ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir.
- Nitrifikasyon İnhibitörleri
- Amonyumun (NH_4^+) nitrata (NO_3^-) dönüşümünü yavaşlatarak N_2O oluşumunu engeller.
- Meta-analizler, bu inhibitörlerin doğrudan N_2O emisyonlarını %8 ila %57 arasında azaltılabileceğini göstermiştir.

Ancak, bazı durumlarda amonyumun daha uzun süre toprakta kalması amonyak (NH_3) volatilizasyonunu artırabilir. (Trakya Toprakların Kireç düzeyi ve Kireçlemenin Sera Gazı Emisyonuna Etkisi bölümünde ayrıntılı olarak işlenmişti).

Kırklareli Yöresinde tane mısır üretiminde nitrifikasyon inhibitörü DMPP ve üreaz inhibitörü NBPT içeren gübrelerin tam (%100) ve azaltılmış (%75) dozlarının etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, yaprak ve tanede azot miktar-

ları (klorofil, azot, protein) açısından NBPT ve derine azotlu gübreleme uygulamaları daha etkin bulunmuştur. Tek seferde uygulanan %100 NBPT'nin, azot salınımını mısır bitkisinin azot ihtiyacıyla senkronize etmek için etkili bir yöntem olduğu, bu gübrenin azaltılmış (%75) kullanımında ise azotun agromomik etkinliğinin arttığı belirlenmiştir (Atav ve ark, 2025).

5.10. Fosforlu Gübrelerin Kullanımı ve Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Fosfor (P), bitki büyümesi için temel bir besin maddesidir, ancak P gübrelereinin üretimi yoğun enerji tüketimine neden olur ve sera gazı (GHG) emisyonlarına katkı sağlar. Modern fosfat gübrelere, fosfat kayasının madencilik yoluyla çıkarılması ve kimyasal olarak işlenmesi (genellikle sülfat asidi ile) sonucu elde edilir. Bu endüstriyel aşamalar fosil enerji kullanır ve CO₂ salınımı olur. Nitekim, gübre üretimi (azot, fosfor ve potasyum gübrelere dâhil) küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %1,5'inden sorumludur. Fosfor gübrelereinin bu karbon ayak izindeki payı, azot gübrelere en büyük katkısı yapsa da dikkate değerdir.

Örneğin, yaşam döngüsü analizleri, bir ton P₂O₅ (fosfat gübresindeki besin içeriği) üretmenin yaklaşık 0,6-1,4 ton CO₂-eş değerinde emisyonu açtığını göstermiştir (Goel, 2021). Endonezya'da yapılan bir vaka çalışması, her ton P₂O₅ için yaklaşık 1,38 ton CO₂ salınımının gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu emisyonların çoğu sülfat asidi üretimi (enerji yoğun bir süreç) ve ham fosfat kayasının deniz yoluyla taşınmasından kaynaklanmıştır Benzer şekilde, Avrupa'da yapılan bir analiz, daha verimli işlemlerde bu değerin daha düşük (yaklaşık 0,63-0,95 t CO₂ / ton P₂O₅) olduğunu göstermiştir (Nashira, 2024). Bu veriler, fosfor gübresi üretiminin önemli bir karbon ayak izine sahip olduğunu ve bunun yakıt tüketimi, kimyasal reaksiyonlar ve uzun mesafeli taşımalardan kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Fosfor gübrelereinin Sera Gazı Yoğunluğunu düşürmek için daha temiz enerji girdileri ve daha yerel kaynaklardan temin edilmesi gerekmektedir.

Bitkilerin ihtiyacını aşan fosfor gübresi kullanımı, çevresel emisyonlara ve kirliliğe neden olabilir. Azottan farklı olarak, aşırı fosfor topraktan gaz hâline geçmez; bunun yerine birikir veya su kaynaklarına karışır. Tarımsal alanlardan gelen P akışı, tatlı su ekosistemlerinde ötrofikasyona neden olur.

Trakya Yöresi topraklarının ancak beşte birinin fosfor bakımından yetersiz olduğu, yaklaşık yarısının ise yüksek ve çok yüksek miktarda alınabilir fosfor içerdiği önceki bölümde belirtilmişti. Bu analiz sonuçlarına göre, ekim yapılan alanların en az yarısına birkaç yıl için fosforlu gübre kullanımına ihtiyaç görünmemektedir. Bu durum, uzun yıllar ekimle birlikte taban gübresi olarak fosforlu gübrelerin bol miktarda kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Birkaç yılda bir toprak analizi yaptırarak fosfor düzeyi eksik olarak belirlenen alanlarda fosforlu gübreler kullanılabilir. Ancak üreticinin fosforlu gübrelerin kullanımında uyması gereken en temel kural bu tür gübrelerin etkinliğinin fazla olması için ekim makinası ile birlikte banda uygulama yapmalarıdır. Serpme uygulamada etkinlik azalmakta ve fazla miktarda gübreye ihtiyaç olmaktadır.

Örneğin, Kuzey Amerika'daki Erie Gölü son yıllarda yoğun alg patlamaları yaşamıştır; bunun başlıca sebebi tarımsal gübre ve hayvan atıklarının akıntı yoluyla göle ulaşmasıdır (Stone, 2021). Bu tür olaylar Türkiye'de de aşırı kirlilik kaynaklı dönemsel olarak sulak alanlarda ve tatlı sularda meydana gelmektedir. Bu duruma benzer son yıllarda Marmara Denizi'nde görülen müsilaj oluşumunda da ortamdaki fosfor düzeyinin artışının önemli etkisi olduğu belirtilmektedir (Yümün ve Kam, 2021).

5.11. Potasyumlu Gübrelerin Kullanımı Sera Gazı Emisyonları Üzerindeki Etkisi

Bitkilerin azot kadar topraktan en fazla miktarda kaldırdığı diğer makro besin elementi de potasyumdur. Bitki biyokütlesinde ortalama %2-5 arasında bulunur. Trakya yöresindeki tarım alanlarının ancak 1/7 sinin potasyum bakımından az grupta yer aldığı önceki bölümde belirtilmişti. Bu durum topraklardaki potasyum eksikliğinin belli alanlarda görüldüğünü göstermektedir. Bu yüzden yörede potasyum içeren 15-15-15 gibi kompoze taban gübrelerinin kullanımı önemli miktarlara ulaşmaktadır. Bu gübrenin uzun yıllar kullanımı ile toprakların fosfor düzeyi de artmış, potasyum bitki tarafından daha fazla alındığı için hâlâ eksik düzeylerde. Bazı durumlarda, özellikle mısır, çeltik ve bazen sulanan ayçiçeği tarımında toprakta fosfor yeterli olduğu hâlde üretici, piyasada sadece fosforlu gübre bulamadığı için aynı gübreyi tercih etmek zorunda kalmaktadır. Bu gübrenin de potasyum içeriği düşük olduğu için özellikle silajlık ve tane mısırın potasyum ihtiyacını karşılamakta yeter-

siz kalmaktadır. Gübre üreticilerinin granül formda potasyum sülfat gübresi ürettiği bilinmektedir. Ancak bu gübrenin Trakya Yöresinde yaygın bir şekilde bayilerde bulunmamasından dolayı çoğu zaman yeterli potasyum bitkilere sağlanamamakta ve üretim kayıpları olmaktadır.

Potasyum (K) gübrelerinin üretimi, diğer mineral gübreler gibi çevresel ve sera gazı emisyonlarına katkıda bulunur. Potasyum gübrelerinin üretim süreci esas olarak potas madenlerinin çıkarılması, işlenmesi ve taşınmasını içermektedir. Fosfor ve azot gübrelerine göre potasyum gübrelerinin sera gazı emisyonları daha düşük olmakla birlikte, üretim ve nakliye süreçleri hâlâ dikkate değer emisyonlara neden olabilir. Özellikle madencilik faaliyetleri sırasında kullanılan enerji ve taşıma mesafesi, bu emisyonların temel kaynağını oluşturmaktadır (Hasler ve ark., 2015).

Potasyum gübrelerinin aşırı kullanımı, çevresel problemlere yol açabilir. Potasyumun aşırı uygulanması doğrudan sera gazı üretimine yol açmaz, ancak topraklarda tuzluluk artışına ve bitki büyümesini engelleyen iyon dengesizliklerine neden olabilir. Tuzlanma sonucu verim düşüşleri ortaya çıkabilir, bu da toprakların üretkenliğini azaltarak dolaylı olarak arazi kullanımının genişlemesine, daha fazla gübre kullanımına ve dolayısıyla dolaylı sera gazı emisyonlarına sebep olabilir (Roberts, 2008). Potasyumun aşırı kullanımı ayrıca su kaynaklarında potasyum birikmesine neden olarak su kalitesini bozabilir (Sharpley ve Withers, 1994).

Potasyum gübrelerinin hiç kullanılmaması durumunda, bitki büyümesi ve verimlilikte önemli düşüşler yaşanabilir. Potasyum, bitkilerde su ve besin kullanım verimliliğini artıran bir elementtir. Potasyum eksikliği bitki büyümesini, verimliliği ve stres koşullarına dayanıklılığı azaltır. Bu durum, toplam sera gazı emisyonlarının artmasına dolaylı olarak neden olabilir. Örneğin, Brezilya'da yapılan bir çalışma, potasyum gübresi eksikliğinin tahıl verimini yaklaşık %20-30 azalttığını göstermiştir (Zörb ve Peiter, 2014).

5.12. Mikrobesein Gübreleri Üretiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları

Mikrobesein gübreleri, bitki büyümesi için gerekli olan çinko, demir, mangan, bakır ve bor gibi mikro elementleri içerir. Bu gübrelerin üretimi, ham

maddelerin çıkarılması, işlenmesi ve gübre hâline getirilmesi süreçlerini kapsar ve genellikle enerji yoğun işlemler gerektirir. Üretim süreçlerinde kullanılan enerji, çoğunlukla fosil yakıtlara dayanmakta olup, sera gazı (GHG) emisyonlarına neden olmaktadır (Nanda ve ark., 2022).

Tarım alanlarında mikrobesein gübrelerinin aşırı ve bilinçsiz kullanımı çevresel sorunlara neden olabilir. Özellikle aşırı uygulama, toprakta toksisiteye, bitkilerde besin alımının engellenmesine ve sonuçta verim kaybına yol açabilir. Ayrıca, fazla uygulanan mikro elementler yüzey akışı veya sızıntı yoluyla yer altı ve yüzey sularına karışarak ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bu durum, dolaylı olarak daha fazla gübre kullanımı ve dolayısıyla sera gazı emisyonlarının artmasına neden olabilir (Alloway, 2008).

Mikrobesein gübrelerinin kullanılmaması veya yetersiz kullanımı, bitkilerin gelişiminde önemli sorunlara yol açabilir. Örneğin, çinko veya demir eksikliği, bitkilerin büyümesini ve üretkenliğini ciddi şekilde sınırlayabilir. Örneğin, yapılan araştırmalar, çinko gübrelemesi yapılmayan buğday tarlalarında verim kaybının %40'a kadar çıkabildiğini göstermektedir (Cakmak, 2008).

5.13. Mikrobiyal Gübreler, Biyogübreler ve Yaprak Gübrelerinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkileri

Mikrobiyal gübreler ve biyogübreler, sera gazı emisyonlarını azaltmada önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle atmosferik azotu bağlayan bakteriler (örneğin, *Rhizobium* ve *Azospirillum*) ve fosfor çözündürücü mikroorganizmalar, mineral gübre kullanımını azaltarak dolaylı olarak N_2O emisyonlarını düşürebilir (Adesemoye ve Kloepper, 2009). Ayrıca, biyogübre uygulamaları toprak organik maddesini artırarak karbon tutulumunu teşvik edebilir ve genel sera gazı dengesine olumlu katkı sağlayabilir (Smith ve ark., 2014).

Yaprak gübreleri, bitkilerin besin alım verimliliğini artırarak toprak bazı gübre uygulamalarına olan ihtiyacı azaltabilir. Özellikle azot ve fosfor içeren yaprak gübreleri, toprak yüzeyindeki nitrat yıkanmasını ve bunun sonucunda oluşan N_2O emisyonlarını minimize edebilir (Fageria ve ark., 2009). Kuraklığın risk olduğu dönemlerde, topraktan gübre uygulamaları bitkinin su alımını da olumsuz etkileyeceğinden destekleyici bir gübreleme yöntemi olarak Yörede yetiştirilen tarımsal ürünlerde bu seçenekten de yararlanmak gerekmektedir.

5.14. Dünyada İklim Dostu Gübreleme Uygulamaları

İklim dostu gübreleme uygulamaları, tarımın sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik çalışmalarını içerirken aynı zamanda verimliliği korumayı amaçlar. Gübre kullanımı, özellikle azot bazlı olanlar, tarım alanlarında en önemli sera gazlarından biri olan azot protoksit (N_2O) yayılımına neden olmaktadır. Bu nedenle, gübrelerin etkin yönetimi büyük önem taşımaktadır.

Avrupa Birliği'nin (AB) Çiftlikten Çatala (Farm to Fork) Stratejisi, 2030 yılına kadar kimyasal gübre kullanımını %20 oranında azaltmayı hedefliyor. (Anonim 2021) AB'nin Azot Kirliliğini Azaltma Planı, tarım kaynaklı azot ve fosfor kayıplarını %50 azaltmayı amaçlıyor. 2022 yılında açıklanan Sürdürülebilir Karbon Döngüleri stratejisi, biyogübrelerin kullanımını artırarak kimyasal gübre bağımlılığını düşürmeyi planlıyor.

Bu kapsamda hem organik hem de sentetik gübrelerin iklim dostu şekilde kullanılması öne çıkmaktadır. "4R" prensipleri (doğru kaynak, doğru oran, doğru zaman ve doğru yer) bu yönetimin temelini oluşturur. Bu makalede, buğday, ayçiçeği ve çeltik tarımında iklim dostu gübreleme uygulamaları üzerine gerçekleştirilmiş araştırmalar ve vaka çalışmaları ele alınmaktadır (FAO, 2022).

Buğday Tarımında Sürdürülebilir Gübreleme Yöntemleri: Buğday tarımında gübreleme stratejileri, toprak sağlığını geliştirerek verimliliği artırır. Dengeli gübreleme ve hassas uygulama teknikleri, girdi verimliliğini yüksek tutarken fazla kullanımın önünü keser. Hindistan'da "Nutrient Expert" isimli karar destek aracı, buğday çiftçilerinin gübre kullanımını optimize etmelerini sağlamış, sera gazı emisyonlarını %12-20 oranında azaltmıştır.

Ayrıca, organik katkılar ve ekim nöbeti uygulamaları da büyük öneme sahiptir. ABD'de, baklagil ekim nöbeti ve hayvan gübreleri ile beslenen organik sistemlerin, sentetik gübre kullanılan sistemlere göre daha az karbon saldıgı gözlemlenmiştir (USDA, 2023). Benzer şekilde, sentetik azot gübresinin %25'inin organik gübrelerle değiştirilmesi, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmıştır (IPCC, 2021).

Ayçiçeği Tarımında Düşük Girdi ve Organik Gübre Kullanımı: Ayçiçeği, derin kök sistemine sahip olduğundan topraktan verimli besin alabilen bir bitkidir. Bu nedenle aşırı gübreleme gerektirmez. ABD'deki bir çalışmada, bak-

lagil bitkilerinin ekim nöbetinde kullanılmasıyla ayçiçeği tarımında sentetik gübre kullanımının minimuma indirildiği görülmüştür (USDA, 2023). Bununla birlikte, gübrelerin derine uygulanması, azotun etkili kullanımını sağlamıştır. Yörede ayçiçeğine yönelik gübreleme stratejileri iklim değişikliği ve kuraklık etkileri göz önüne alınarak yeniden değerlendirilmelidir. Çünkü bazı üreticiler kurak yıllarda gübrelemenin ürün verimini azaltıcı etkisini fark etmiş ve gübre kullanımını tamamen kaldırmışlardır. Bu durumun da mahsurları olabilir. Çünkü toprak analizi yaptırarak eksikliği görülen makro ve mikro besin elementlerinin karşılanması daha yararlı olabilir.

Çeltik Tarımında İklim Dostu Gübreleme Teknikleri: Çeltik tarımı, özellikle metan (CH₄) salınımı nedeniyle sera gazı emisyonlarının yüksek olduğu bir sektördür. Tablo 1’de de gösterildiği gibi yöremizde en yüksek azotlu ve fosforlu gübre kullanımı da çeltik ekiminin tamamına yakınının yapıldığı Edirne ilimizdedir. Bu aşırı kimyasal gübre kullanımının azaltılması için Yörede siyanobakterilerin biyogübre amacıyla kullanımı konusunda araştırma çalışmaları başlamıştır. Çünkü bu fotosentetik organizmalar, gelecekteki tarımsal ürün üretimi için faydalı olabilecek potansiyel bir azot kaynağıdır. Zira yapılarında yaklaşık %4-5 azot içerirler. Bu yüzden çeltik tava ortamında ilk yıl biyokütle olarak çoğalmaları sağlanıp, sonraki yıllarda bu kütlenin toprağa karıştırılması ile her kültür döneminde 75kg N/ ha sağladığı belirlenmiştir (Irisarri, 2001).

3. SONUÇ

İklim değişikliği, Trakya Yöresi’nin tarımsal üretimini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen kritik bir faktördür. Artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri ve kuraklık gibi değişkenler, geleneksel tarım uygulamalarının sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır. Bölge topraklarının önemli bir kısmı düşük organik madde içeriği, asidik reaksiyon gibi sorunlarla karşı karşıya olup, bu durum tarımsal verimliliği olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çerçevede, iklime duyarlı gübreleme stratejileri ve sürdürülebilir toprak yönetimi yaklaşımları büyük önem taşımaktadır. Bilinçli gübre kullanımı ve gübreleme tekniklerinin benimsenmesi, organik gübrelerin kullanımı, kireçleme uygulamaları ve münavebe sistemleri gibi yöntemler, toprak verimliliğini artırırken aynı zamanda sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedeflemektedir. Kimyasal gübrelerin aşırı kullanımının toprak asitleşmesini ve tuzlanmayı ar-

tırdığı göz önüne alındığında, gübreleme stratejilerinin dikkatlice planlanması gerekmektedir.

Toprak organik madde içeriğinin artırılması hem karbon tutulumu hem de su tutma kapasitesinin iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Topraklardaki organik madde zenginleştirme uygulamalarında geleneksel çiftlik gübresi ve yeşil gübreleme uygulamalarının yanı sıra ağır metal içeriği düşük arıtma çamurlarının ve diğer atıkların (biyokütle santral külleri vb.) da değerlendirilmesinde yarar görülmektedir. Bu gübreleme uygulamalarına ilave olarak tarımsal atıkların ve örtü bitkilerinin kullanıldığı koruyucu toprak işleme yöntemlerinin benimsenmesi ve uygulanması toprak sağlığını koruyarak uzun vadede tarımsal sürdürülebilirliği destekleyen pratikler olacaktır.

Sonuç olarak, Trakya tarımının iklim değişikliğine dayanıklı hâle gelmesi için toprak yönetimi ve gübreleme uygulamalarında bütüncül bir yaklaşım benimsenmelidir. Bilinçli gübreleme teknikleri, toprak sağlığını iyileştiren uygulamalar ve çiftçilerin farkındalığını artıran eğitim programları, Yörenin tarımsal üretkenliğini koruyarak iklim değişikliğine uyum sağlamasını destekleyecektir.

KAYNAKLAR

- Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009). Plant-microbe interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0>
- Ahmad, M., Lee, S. S., Dou, X., Mohan, D., Sung, J. K., Yang, J. E., & Ok, Y. S. (2014). Effects of biochar on soil microbial communities and biogeochemical reactions: A review. *Journal of Environmental Management*, 135, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.007>
- Akalın, M. (2014). İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkileri: Bu etkileri gidermeye yönelik uyum ve azaltım stratejileri. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 351-377.
- Alloway, B. J. (2008) Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition (2nd ed.). International Zinc Association ve International Fertilizer Industry Association.
- Anonim, (1970). Meriç Havzası Toprakları. Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları: 205, Köy İşleri Bakanlığı Yayınları:122.
- Anonim, (1980). Marmara Havzası Toprakları. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Yayınları:229, Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No:309, Raporlar Serisi: 91. Ankara.

- Anonim (1991a). Kırklareli İli Arazi Varlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. İl Rapor No: 39. Ankara
- Anonim (1991b). Edirne İli Arazi Varlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. İl Rapor No: 22. Ankara.
- Anonim (1993). Tekirdağ İli Arazi Varlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. İl Rapor No: 59. Ankara.
- Anonim (2021). Çiftlikten Çatala Stratejisi: Sürdürülebilir Gıda Sistemi İçin Yol Haritası. https://ec.europa.eu/food/farm2fork_en
- Ashley MP, Dowling KY, Chan P, Hocking B, Scott D, Michalk M. Newell and J. Carne. 2003. Lime response of winter crops on a duplex soil at Oolong in SE NSW. www.regional.org.au/au/asa/2003/c/17/mead.
- Atav, V., Gürbüz, M. A., Kayali, E., & Yalinkiliç, E. (2025). Optimizing Nitrogen Management in Maize (*Zea mays* L.) Using Urease and Nitrification Inhibitors. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 56(4), 528-541. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2424236>
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and agriculture organization of the United Nations.
- Bayhan, Y., (2016). İkinci Ürün Ayçiçeği Üretiminde Farklı Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Yöntemlerinin Enerji Kullanım Etkinliğinin Karşılaştırılması, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 13, 2, 102-109.
- Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2002). NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159(6), 567-584. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1-2), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Carrington, D. (2024). World's top climate scientists expect global heating to blast past 1.5 C target. *The Guardian*, 8.
- Carretta, L., Tarolli, P., Cardinali, A., Nasta, P., Romano, N., Masin, R. (2021). Evaluation of runoff and soil erosion under conventional tillage and no-till management: A case study in northeast Italy. *Catena*, 197: 104972.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J.,... & Thornton, P. (2013). Carbon and other biogeochemical cycles. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J.,... & Thornton, P. (2013). Carbon and other biogeochemical cycles. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (pp. 465-570). Cambridge University Press.
- Conant, R. T., Ogle, S. M., Paul, E. A., & Paustian, K. (2011). Measuring and monitoring soil organic carbon stocks in agricultural lands for climate mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(3), 169-173.

- Cordell, D., & White, S. (2011). Peak phosphorus: Clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. *Sustainability*, 3(10), 2027-2049.
- Evcı, G., Kaya, Y., Pekcan, V., Durak, S., Kahraman, T. (2006). Trakya Bölgesinde Ayçiçeği Öncesinde Ön Bitki Tarımının Ayçiçeği Verimine, Uygulanacak Azot Dozuna ve Toprakta Tutulan Su Miktarına Etkisi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7, 1, 71-75.
- Fageria, N. K., Filho, M. B., Moreira, A., & Guimarães, C. M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of plant nutrition*, 32(6), 1044-1064.
- FAO. (2022). Dünya Geneline Gübre Kullanım Trendleri ve Azaltım Stratejileri. Gıda ve Tarım Örgütü Raporu. <https://www.fao.org>
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R.,... & Sutton, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), 889-892.
- Gezer, E. (2012). İkinci ürün silajlık mısır üretiminde İSKİ atık su arıtma çamuru kullanımının toprak özellikleri, bitki gelişimi ve su kullanımına etkisi.
- Goel, S., Kansal, A., & Pfister, S. (2021). Sourcing phosphorus for agriculture: Life cycle assessment of three options for India. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105750.
- Günel, E., & Çelik, İ. (2022). Toprak işlemenin toprağın kalitesine etkisi. H. Günel & M. Budak (Eds.), *Toprak kalitesi ve değerlendirilmesi* (ss. 67-100). İKSAD PUBLISHINGİ HOUSE.
- Güngör, Y. Erözel, 1994. Drenaj ve Arazi Islahı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1341, Ders Kitabı No, 389.
- Gürbüz, M.A., (2010). Trakya da Baklagillerin Buğday- Ayçiçeği Münavebesine Dâhil Edilmesinin Toprakların Organik Madde ve Azot Miktarı Üzerine Etkileri. I. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 01-04 Haziran 2010, Eskişehir.
- Gürbüz, M. A., Yüksel, A.N., (2012). Asit Toprakları Kireçlemenin Mısır Bitkisinin Su Kullanma Randımanı Üzerine Etkileri. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu. 24-25 Mayıs 2012.Cilt 1, S:85-92. İzmir.
- Gürbüz, M. A., Kayalı, E., (2014). Toprak Özelliklerinin Su Kullanma Randımanı Üzerine Etkisi, II. Uluslararası Katılımlı Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu, 16-18 Eylül 2014. Konya.
- Gürbüz, M. A., Yüksel, A. N., (2014). Asit Toprakları Kireçlemenin Ayçiçeği Bitkisinin Su Kullanma Randımanı Üzerine Etkileri, 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2014. Tekirdağ.
- Gürbüz, M. A., Kayalı, E., Bahar, E., Öz, T. A., & Kurşun, İ. (2019). Trakya topraklarının veri tabanının oluşturulması ve bazı toprak özellikleri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(1), 28-36. DOI :10.33409/tbbbd.595133
- Gürbüz, M. A., & Kardeş, T. A. (2024). Sunflower-nitrogen calibration based on the amount of mineral nitrogen in soil under rainfed conditions in thrace region. *Soil Studies*, 13(1), 43-54. <https://doi.org/10.21657/soilst.1520597>.

- Hasler, K., Brentrup, F., & Römer, W. (2014). Environmental impacts of potash fertilizers. *Sustainable Agriculture Reviews*, 17, 123-147.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., Nelson W.L., 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*, 1999. (Toprak Verimliliği ve Gübreler. Çevirenler; N Güzel, K.Y. GÜLÜT, G. BÜYÜK, 2004). 6. Basım. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:246, Ders Kitapları Yayın No: A-80. Adana.
- Huang, M., Gu, C., & Bai, Y. (2023). Effect of fertilization on methane and nitrous oxide emissions and global warming potential on agricultural land in China: a meta-analysis. *Agriculture*, 14(1), 34.
- Huang, X., Zou, Y., Qiao, C., Liu, Q., Liu, J., Kang, R.,... & Wu, W. (2023). Effects of biological nitrification inhibitor on nitrous oxide and nosZ, nirK, nirS denitrifying bacteria in Paddy soils. *Sustainability*, 15(6), 5348.
- IPCC. (2021). Tarım, Ormancılık ve Arazi Kullanımı Sektöründe İklim Değişikliği Azaltımı. <https://www.ipcc.ch/report>
- Irisarri, P., Gonnet, S., Deambrosi, E., Monza, J. 2001. "Cyanobacterial inoculation and nitrogen fertilization in rice", *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(2), 237-242.
- Jat, M. L., Gathala, M. K., Saharawat, Y. S., Tetarwal, J. P., Gupta, R. (2013). Double no-till and permanent raised beds in maize-wheat rotation of north-western Indo-Gangetic plains of India: effects on crop yields, water productivity, profitability and soil physical properties. *Field Crops Research* 149: 291-299.
- Jones, C. E. (2006). Carbon and catchments. National 'Managing the Carbon Cycle' Forum, Queanbeyan, NSW, 22-23 November 2006. <http://www.amazingcarbon.com>
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lal, R. (2020). Managing soils for negative feedback to climate change and positive impact on food and nutritional security. *Soil Science and Plant Nutrition* 66(1): 1-9.
- Lam, S. K., Suter, H., Mosier, A. R., & Chen, D. (2017). Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N₂O emission: A double-edged sword?. *Global Change Biology*, 23(2), 485-489.
- Liu, L., Wen, Z., Liu, S., Zhang, X., & Liu, X. (2024). Decline in atmospheric nitrogen deposition in China between 2010 and 2020. *Nature Geoscience*, 17(8), 733-736.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
- Menegat, S., Ledo, A., & Tirado, R. (2022). Greenhouse gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilisers in agriculture. *Scientific Reports*, 12(1), 1-13.
- Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A.,... & Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86.

- Mkhabela, M. S., Gordon, R., Burton, D., Madani, A., & Hart, W. (2006). Effect of lime, dicandamide and soil water content on ammonia and nitrous oxide emissions following application of liquid hog manure to a marshland soil. *Plant and Soil*, 284, 351-361.
- Nanda, S., Mohanty, P., Pant, K. K., Naik, S., & Kozinski, J. A. (2022). Life cycle assessment of micronutrient fertilizers: Environmental impacts and management practices. *Journal of Cleaner Production*, 351, 131472. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131472>
- Nashira, A., Istiqomah, I., Putri, A. N., & Badari, M. F. (2024). Carbon Footprint Analysis on Phosphoric Acid Production Using Wet Process at PT Petrokimia Gresik. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 517, p. 08005). EDP Sciences.
- NOAA, (2025). National Oceanic and Atmospheric Administration. Climate change impacts. NOAA. Erişim tarihi: March 19, 2025, from <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/climate-change-impacts>.
- Ortiz-Bobea, A., Wang, H., Carrillo, C. M., & Gollin, D. (2021). Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*, 11(4), 306-312. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49-57.
- Powlson, D. S., Whitmore, A. P., & Goulding, K. W. T. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62(1), 42-55.
- Ribeiro, P. L., Hamta, Z., & Mühling, K. H. (2024). Greenhouse gas emissions from sandy soils amended with lime and gypsum under different initial soil pH and nitrogen sources. *Soil Use and Management*, 40(3), e13089.
- Roberts, T. L. (2008). Improving nutrient use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(3), 177-182.
- Sağlam M. T., 1994 *Toprak Kimyası*, Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Yayın No:190, Ders Kitabı No: 21. Tekirdağ.
- Schlegel, A. J., & Havlin, J. L. (2017). Corn yield and grain nutrient uptake from 50 years of nitrogen and phosphorus fertilization. *Agronomy Journal*, 109(1), 335-342..
- Schoumans, O. F., Chardon, W. J., Bechmann, M., Gascuel-Oudoux, C., Hofman, G., Kronvang, B.,... & Rubaek, G. H. (2014). Mitigation options to reduce phosphorus losses from the agricultural sector and improve surface water quality: A review. *Science of the Total Environment*, 468, 1255-1266.
- Sharpley, A. N., & Withers, P. J. (1994). The environmentally-sound management of agricultural phosphorus. *Fertilizer Research*, 39(2), 133-146.
- Sherlock, R. R., & Jewell, P. (2019). Greenhouse gas emissions from ammonium-based nitrogen fertilisers and lime. *Fertiliser Association of New Zealand*
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A.,... & Tubiello, F. (2014). Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In *Climate Change 2014: Mi-*

- tigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC (pp. 811-922). Cambridge University Press.
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M.,... & Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80-99.
- Stone T, (2021) Six things to know about Lake Erie's algal blooms, (erişim, 18.03.2025) <https://www.osu.edu/impact/research-and-innovation/algal-bloom-primer>
- Thornton, P. K., & Herrero, M. (2015). Adapting to climate change in the mixed crop-livestock farming systems in sub-Saharan Africa. *Nature Climate Change*, 5(9), 830-836. <https://doi.org/10.1038/nclimate2754>
- Tian, H., Xu, R., Canadell, J. G., Thompson, R. L., Winiwarer, W., Suntharalingam, P.,... & Yao, Y. (2020). A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*, 586(7828), 248-256.
- TÜİK. (2021). "Tekirdağ, Kırklareli, Edirne, İstanbul illeri Bitkisel Üretim Alanları" <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> Son erişim tarihi: 09.03.2022.
- USDA. (2023). Hassas Tarım ve Biyogübre Kullanımı: ABD Tarım Politikaları Üzerine Bir Analiz. <https://www.usda.gov>
- Walker, J. C., Hays, P. B., & Kasting, J. F. (1981). A negative feedback mechanism for the long-term stabilization of Earth's surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 86(C10), 9776-9782.
- West, T. O., & McBride, A. C. (2005). The contribution of agricultural lime to carbon dioxide emissions in the United States: Dissolution, transport, and net emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108(2), 145-154. doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.002
- Yümün, Z. Ü., & Kam, E. (2021). Marmara Denizi'nde müsilaj sorunu ve çözüm yöntemleri. Marmara Denizi'nin Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture-status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656-669.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ-TARIMSAL MEKANİZASYON VE TOPRAK BOZUNUMU İLİŞKİSİ

Bahattin Akdemir¹

*¹Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği
Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0001-9872-1823 bakdemir@nku.edu.tr*

1. GİRİŞ

Küresel ısınma, atmosferdeki gazların konsantrasyonunun artması sonucunda yeryüzü sıcaklığının yükselmesidir. Sera gazları gezegenin enerji dengesini bozmakta ve yüzey ısısının yükselmesine neden olmaktadır. Sera gazlarının bu etkisine sera etkisi, bu yolla meydana gelen ısınma olayına da 'küresel ısınma'denilmektedir (Ahmet, 2019; Doğan ve ark. 2010). Başta fosil yakıt kullanımı olmak üzere, sanayileşme, enerji üretimi, ormanların yok olması ve diğer insan aktiviteleri küresel ısınma ve iklim değişikliğinin nedenleri arasındadır. Birleşmiş Milletler 2007 yılında yayınladığı İklim Raporu'nda Küresel ısınmanın, son 50 yılda %90 oranında insan eliyle yaratıldığını ve ekonomik büyüme (sanayileşme) ve nüfus artışı ile giderek daha da geri dönüşü zor olan bir hâl aldığını belirtmektedir (Ahmet, 2019; Demir ve ark. 2007).

Tarımsal mekanizasyon; tarımsal alanların geliştirilmesi, her türlü tarımsal üretimin yapılması ve ürünlerin temel değerlendirme işlemlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla ileri üretim teknolojilerinin gereği olarak kullanılan her türlü enerji kaynağı ve mekanik güç kullanarak çalıştırılan değişik tip tarımsal araç ve gereç ile tarım alet ve makinalarının; tasarımı, yapımı, geliştirilmesi,

pazarlanması, yayımı eğitimi seçimi, işletilmesi kullanımı tamir-bakımı ve korunmasına yönelik faaliyetleri kapsayan bir bilim dalı olarak tanımlanabilir (Zeren, 1991).

Tarımsal mekanizasyon tarımsal faaliyetlerin zamanında ve etkin yapılmasında, işin kalitesinde ve tarımsal üretimde kilit rol oynar. Tarımsal üretim maliyetleri içinde en büyük payı traktör ve tarım alet ve makinaları almaktadır. Tarımsal girdiler tarım makineleri ile arazilere uygulanır. Tarımda alet ve makine kullanımı bugün uydudan alınan sinyallerle kontrol edilebilen tarım makinaları aşamasına gelmiştir.

Tarım makinalarının imalat süreçleri, tarım makinalarının tükettiği fosil yakıtlar, tarımsal üretimde kullanılan tohumluk, gübre, ilaç, sulama gibi girdiler tarımsal kaynaklı karbon emisyonlarının önemli bir nedenidir. Tarımsal mekanizasyon; tarım alet ve makinalarının tasarımı, imalatı, seçimi, ayarlanması, kullanımı, tamir ve bakımı ile ilgilenir. Bütün bu süreçler iklim değişikliği açısından önemlidir.

Bu çalışmada; iklim değişikliği, tarımsal mekanizasyon ve toprak bozunumu ilişkisi tarımsal üretimde karbon ayak izi, iklim akıllı tarım, tarım alet ve makinaları ve toprak etkileşimi. Tarım makinaları imalatında karbon ayak izinin azaltılmasıyla ilgili standartlar, traktörler için egzoz emisyon sınıfları, alternatif yakıtla çalışan traktörler konu başlıklarında incelenmiştir. Tarım alet ve makinalarının imalatından kullanımına kadar olan süreçler için önerilerde bulunulmuştur.

2. TOPRAK BOZUNUMU VE TARIMSAL MEKANİZASYON İLİŞKİSİ

Toprak işleme en eski toprak yönetimi sistemi olarak kabul edilir. Bazı bölgelerde toprak işleme anız yakma şeklinde tarımın bir parçası olarak uygulanmaktadır. Bu yöntem her ne kadar yasal olarak reddedilse de hâlâ zaman zaman uygulanan bir yöntemdir. Eski sistemlerde kontrollü yanma ile bir orman alanı temizlendikten sonra, tohum doğrudan toprağa yerleştirilirdi. Antik Mısır mezarlarındaki resimler, çiftçileri ekimden önce bir salıncak-pulluk ve öküz kullanarak tasvir ediyor. Gerçekten de kulaklı pulluk ile simgelenen toprak işleme neredeyse tarımla eşanlamlı hâle gelmiştir (Zaimoğlu, 2019; Dick ve Durkalski, 1997).

Tarım alet ve makinelerinin toprağa etkileri direkt etki ve dolaylı etki olarak gruplandırılabilir. Direkt etki; toprağı kesip, kaldırıp, devirip, ufalayarak ve sıkıştırma yaparak ortaya çıkan etkilerdir. Dolaylı etki ise tarımsal üretim girdilerinin uygulanması ile ilgili ayarlarının doğru yapılmaması vb. nedenlerden dolayı girdilerin gereğinden fazla veya eksik miktarda uygulanmasıyla toprakta, suda ve çevrede oluşan olumsuz etkilerdir.

Toprak sıkışması, başlıca toprak hasarı süreçlerinden biridir: Gittikçe ağırlaşan tarım makineleri, genellikle zor hava koşullarında toprak üzerinde hareket ettiğinde ortaya çıkar. Sıkışma; toprağın doğası, suyun içeriğı, mahsul türleri ve yüzeye uygulanan yük ile bağlantılıdır. Tarım ekipmanlarının tekrarlanan geçişleri, toprağın sıkışmasını ve makaslanmasını sağlar, böylece havalandırma, sızdırma ve mahsul kökü penetrasyonu kapasitesini azaltır. Toprak sıkışmasının, verimde azalma, hastalık oluşma riski ve önemli miktarda yakıt ve zaman harcanan tarlayı sürme ve/veya toprak sıkışmasını önleme gibi yenileme çalışmaları yapma ihtiyacı gibi etkileri vardır.

Günümüz dünyasında toprak işlemez tarım veya azaltılmış toprak işleme gibi tarım teknikleri; erozyonu önlemek, topraktaki nem içeriğini korumak ve toprağın organik madde içeriğini arttırmaktır gibi birçok sebeple tercih edildiği bilinmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, atmosferdeki CO₂ miktarını azaltmak için sıfır sürüm ya da diğer bir deyişle toprak işlemez tarım uygulamalarının etkili önlemler arasında olduğu belirlenmiştir (Yokuş ve ark., 2009).

Dünyada doğal flora dediğimiz bitki örtüsünün, zamanla gıda güvenliği amacı ile ekili tarım arazilerine konvansiyonel toprak işleme sistemi yöntemleri kullanılarak dönüştürülmesi, toprak organik madde içeriğinde önemli bir düşüşe neden olmuştur (Zaimoğlu, 2019; Paustian et al., 2000; Lal, 2002). Tohum yatağı hazırlığı için pulluk, ya da ot kontrolü için çapalama gibi mekanik toprak işlemeyi kullanan tarım yöntemleri çeşitli mekanizmalarla toprakta C kaybını destekleyebilir ve aynı zamanda toprağın agregat yapısını bozar (Zaimoğlu, 2019; Karlen & Cambardella, 1996). Aynı zamanda artan havalandırma ile kısa süreli mikrobiyal aktiviteyi uyarır, bu da atmosfere salınan yüksek CO₂ ve diğer gazların ortaya çıkmasına neden olur (Bayer ve ark., 2000). Bitki artıkları bu sayede toprağa karışır, toprağın derinliklerinde ayrışma koşulları genellikle yüzeyden daha elverişlidir (Zaimoğlu, 2019; Klodivko, 2001). Toprak işleme, toprakları erozyona daha meyilli bırakabilir ve bu da topraktaki karbonun daha fazla kaybına neden olur. Pulluk, çizel, diskaro ve dip kazandan

sonra bir geçişli olarak toprağı sıkıştırmanın CO₂ çıkışındaki ani düşüşe sebep olduğu ve dördüncü geçiş ile çok daha az CO₂ çıkışı elde edildiğı bildirilmiştir. Bu ani düşüşün sıkışma sonrası toprak hacim ağırlığındaki artışla da doğrudan ilgili olduğunu bildirmiştir (Vurarak ve Bilgili, 2015; Sezer, 2014).

Toprak işlemez tarımla kaplanan yaklaşık 20 milyon hektarlık bir alan Brezilya'yı dünyanın en büyük ikinci toprak işlemez tarım ülkesi hâline getirmiştir. Bu genişleme sadece güney bölgedeki geleneksel topraklarda değil (%72) değil, aynı zamanda merkez-batı bölgesindeki alanlarda (%28) doğal örtü temizlendikten sonra da gerçekleşmektedir. Günümüzde Amazon Bölgesi'ndeki çiftçiler, eski meraları masrafsız olması sebebiyle toprak işleme olmadan soya fasulyesi ve mısır ekerek değerlendirmektedir. Toprağı yapılan etkilerin yoğunluğunu gösteren toprak işleme sistemlerinde, en fazla CO₂ çıkışı toprağı çok fazla havalandırıldığı, alışlagelmiş toprak işleme sistemlerinde gerçekleşmiş, diğer azaltılmış toprak işleme sistemlerinde daha az gaz çıkışı tespit edilmiş, en az CO₂ çıkışı ise toprak işlemez tarım sistemlerinde gerçekleşmiştir (Zaimoğlu, 2019; Febrapdp, 2006)

Toprak işleme konusu doğrudan çevre kirliliğı faktörleri arasında sayılmasa da, dolaylı etkileri nedeniyle bu konu kapsamına alınmıştır. Arazinin konumu, toprak yapısı ve iklim koşulları dikkate alınmadan yapılan yanlış toprak işleme yöntemleri ile toprağı özellikle yağış suları ile taşınmasına, daha genel ifadeyle erozyona sebep olunmaktadır. Söz konusu durum; toprağı verimsizleşmesine yol açmakla birlikte akarsuların kirlenmesine, baraj ve kanalların toprakla dolmasına neden olmaktadır. Bitkilerin gelişmesinde önemli en fazla olan A horizonu denilen üst toprak tabakasının 2,5 cm kalınlığındaki bir kısmı en iyi koşullarda 300-1000 yılda oluşabilmektedir. Bu tabakanın çok dikkatli korunması gerekir. Avrupa ülkelerinde 20 yılda meydana gelen erozyon Türkiye'de 1 yılda meydana gelmektedir. Başka bir deyişle, topraklarımız 20 kat daha fazla bir hızla yok olmaktadır. Türkiye'de her yıl yaklaşık 380 milyon ton üst toprağı denizlere veya göklere taşındığı tahmin edilmektedir (Yıldız, 2024).

Kansanga ark. (2020)'nın yaptıkları bir çalışmada, Afrika için yeni bir Yeşil Devrim arayışının devam etmesi bağlamında Gana'daki küçük çiftçi tarımsal mekanizasyonunun çevresel ve geçim kaynakları üzerindeki etkilerini incelemek için politik ekolojiden teorik bakış açısıyla sunmaktadır. Bulgular, tarımsal kalkınma, çevresel bozulma ve kırsal geçim kaynakları arasındaki karmaşık bağlantıları vurgulamaktadır. Tarımsal üretkenlikte ölçek getirilerinin artma-

sına ve traktör tabanlı mekanizasyonla arazi hazırlamada hız artışına rağmen, tarım arazilerindeki büyük ağaçların sürme hizmetleri elde etmenin ön koşulu olarak temizlenmesi, kritik gıda tedariki, kültürel ve sosyoekonomik değere sahip hayati doğal olarak büyüyen ağaç türleri olan shea (*Vitellaria paradoxa*) ve dawadawa'nın (*Parkia biglobosa*) tükenmesi de dâhil olmak üzere arazi bozulmasını teşvik etmektedir. Bu çalışma, yaygın yoksulluk ve yaygın cinsiyet eşitsizliği ile işaretlenmiş tarım toplumlarında uygulandığında tarımsal maki-neleşmenin olumsuz ekolojik, sosyoekonomik ve politik etkilerini göstermektedir. Sürdürülebilir tarımın ve çevre korumacılığının eş zamanlı olarak teşvik edilmesi için koruyucu tarım önerilmektedir.

Tarımsal çevre verimliliğini (AEE) iyileştirmek, sürdürülebilir ve yeşil tarım-sal ilerleme için kritik öneme sahiptir. Ancak, tarımsal mekanizasyonun tarım-sal çevre verimliliği üzerindeki etkisine ilişkin sınırlı araştırma bulunmaktadır. Bu çalışma, Çin Tarım ve Köy İşleri Bakanlığının ulusal sabit gözlem noktalarından alınan mikro düzeydeki anket verilerini yenilikçi bir şekilde kullanarak, AEE'yi ölçmek için istenmeyen çıktılarla süper verimli gevşeklik tabanlı bir ölçüm (SBM) modeli kullanmıştır. Ek olarak, tarımsal mekanizasyonun AEE üzerindeki etkisini incelemek için bir Tobit regresyon modeli kullanılmıştır. Bulgular, mekanizasyonun kapsamı belirli bir eşiğin altına düştüğünde, daha fazla artış AEE'yi olumsuz etkilemiştir. Tersine, bu eşiğin aşılması AEE'yi artırmıştır. Tarımsal çevre verimliliğinin artırılmasını desteklemek amacıyla tarım-sal mekanizasyonun geliştirilmesi, tarımsal karbon emisyonlarının azaltılması ve yerel koşullara uygun tarımsal mekanizasyon sistemlerin geliştirilmesi önerilmektedir (Fan et al., 2024).

Tarım makineleri için uygun mevcut tarım arazilerinin belirlenmesi, tarım-sal üretimi optimize etmenin ve tarımsal mekanizasyonu artırmanın en umut verici yoludur. Tarım makineleri için uygun tarım arazilerinin birleştirilmesi (FCAM), sürdürülebilir üretimi ve mekanize tarımı artırmak için etkili bir araç olarak uygulanmaktadır. Yapılan bir çalışmada, makine öğrenimi yaklaşımı kullanılarak, arazi birleştirme planlarında tarım arazilerinin tarım makineleri için uygunluğunu dört parametreye göre değerlendirmektedir: doğal kaynak zenginliği, tarım makinelerine erişilebilirlik, sosyoekonomik düzey ve ekolojik sınırlamalar. Sonuçlar, tarım arazilerinin çoğunun (%76,41) FCAM için temelde veya orta düzeyde uygun olduğunu göstermiştir. Eğitim genellikle arazinin tarım makineleri için uygun olduğunun bir göstergesi olsa da traktör yollarına

erişimin zor olması, sürekli nüfus azalması ve ekolojik kırılganlık gibi diğer faktörler, arazinin FCAM için genel uygunluğunu büyük ölçüde azaltmıştır. Ayrıca FCAM uygulanırsa tarım arazilerinin potansiyel verimliliğinin 720,8 kg/ha artacağı tahmin edilmiştir. Ancak, FCAM planlarının başarılı bir şekilde uygulanması ve modern ve sürdürülebilir bir tarım sisteminin elde edilmesi, tarım arazisi ekosisteminin korunmasını güçlendirmek ve engebeli arazilere uygun tarım makinelerine yönelik Ar-Ge'yi teşvik etmek gibi bazı ek stratejilerin yanı sıra daha fazla finansal destek gerektirecektir (Yang et al., 2023).

Küçük çiftçiler dünyanın başlıca gıda üreticileridir ve büyüyen nüfusu beslemek için 2050 yılına kadar üretimi %100'e kadar artırmak zorunda kalacaklardır. Bu, doğal kaynakları koruyarak başarılmalıdır ve bu nedenle sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon (SAM) sürecin temelini oluşturacaktır. Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon, iklim açısından akıllı ve çevre dostudur ve esasen belirli mekanizasyon girdileri gerektiren sıfır toprak işleme ise koruyucu tarımı anlamına gelir. Mekanizasyon yalnızca ürün üretimi için değil, aynı zamanda işleme ve tüm değer zinciri boyunca gereklidir. Küçük çiftçi dostu inovasyon platformları aracılığıyla iyileştirilmiş bilgi akışları ve sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon teknolojileri için bölgesel mükemmellik merkezleri aracılığıyla sürekli geliştirilmesi ve test edilmesi, özellikle Sahra Altı Afrika için gerekli olacaktır (Sims & Kienzle, 2017).

İklim değişikliği gıda güvenliğini kötüleştiriyor ve iklim tehlikelerinden kaynaklanan kayıpları azaltma ve gıda üretiminin iklim dayanıklılığı (CRFP) olarak bilinen yüksek gıda verimini geri kazanma yeteneğini gerekli kılıyor. Tarımsal mekanizasyon, hızlı, geniş kapsamlı ve zamanında operasyonlar yoluyla CRFP'yi artırmak için umut verici bir adaptasyon stratejisi sunuyor. Ancak, tarımsal mekanizasyonun CRFP üzerindeki etkisi belirsizliğini koruyor. Çin'i bir saha çalışması olarak ele alarak, 1994'ten 2022'ye kadar il CRFP'sini karakterize etmek için bir değerlendirme çerçevesi önerilmiş ve tarımsal mekanizasyonun CRFP üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Sonuçlar, sık kuraklık ve sellere rağmen, Çin'deki CRFP'nin 2004'ten beri tahıl üretimini güvence altına almayı amaçlayan ulusal politikalar tarafından yönlendirilen bir artış eğiliminde olduğunu gösteriyor. Tarım makinelerinin yapısını iyileştirme ve bölgelerarası operasyonları optimize etme konusunda iklime dayanıklı gıda üretimi ve küresel gıda güvenliği hakkında ile ilgili öneriler açıklanmıştır (Fang et al., 2024).

Bilindiği üzere tarımsal üretimde mekanizasyonun gerek ürün kalitesi ve gerekse ürün verimi üzerine önemli bir etkisi bulunmaktadır. Mekanizasyon, tarımsal üretim teknolojisindeki gelişmeye bağlı olarak sürekli kendini yenileme özelliğindedir. Bu sebeple herhangi bir tarımsal alanda tarımsal mekanizasyonun durumu periyodik olarak belirlenmesinde yarar vardır. Bu amaçla Elbistan ilçesindeki bazı köylerin tarımsal üretim ve mekanizasyon potansiyelini belirlemek için bir çalışma yürütülmüştür. Bunun için ilçenin 5 köyünde yer alan 70 tarım işletmesinde bir anket çalışması yapılmıştır. İşletmelerin seçimi çiftçi kayıt sistemi kayıtlarına göre işletmelerin %81'nin tek, geri kalanında ise iki traktöre sahip olduğu ve mevcut traktörlerin orta büyüklükte olduğu saptanmıştır. Bu traktörlerin işletmelerin %45'inde toprak işlemede kullanıldıkları ve bunu sırasıyla ekim (%16), taşıma (%14), çapalama (%9), sulama (%8), ilaçlama (%2) ve diğer (%2) işlemlerin izlediği saptanmıştır (Özpınar ve Çay, 2018).

Tarım, tüm ülkelerin ekonomik sisteminde vazgeçilmez bir rol oynar ve tarımsal karbon emisyonları sorunu küresel ekonominin sürdürülebilir kalkınması için bir zorluk hâline gelmiştir. Bu arka plana karşı, 2005'ten 2019'a kadar Çin'deki 30 eyalet, doğrudan merkezi hükûmete bağlı belediyeler ve özerk bölgelerin (Hong Kong, Makao ve Tibet hariç) verilerine dayanarak tarımsal mekanizasyon, büyük ölçekli işletme ve tarımsal karbon emisyonları arasındaki statik ve dinamik ilişkileri keşfetmek için kapsamlı bir şekilde iki yönlü sabit etkili panel modeli ve panel vektör otoregresif (PVAR) modelini kullanarak saptamıştır. Analizler, tarımsal mekanizasyonun ve büyük ölçekli işletmenin tarımsal karbon emisyonlarını desteklediğini ve kentleşme düzeyinin artırılmasının tarımsal karbon emisyonlarının artışını sınırlamaya yardımcı olacağını göstermektedir. Ancak dinamik bir perspektifte, tarımsal mekanizasyon ve tarımsal karbon emisyonları arasında iki yönlü bir Granger nedensellik ilişkisi vardır. Tarımsal mekanizasyon, tarımsal karbon emisyonlarının önemli bir nedenidir ve teşvik edici etkisi sürdürülebilirdir, büyük ölçekli operasyonun tarımsal karbon emisyonları üzerindeki kısa vadeli etkisi ise olumludur ve uzun vadede tarımsal karbon emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur. Buna göre, çalışma hükûmetin şu çabaları göstermesini önermektedir: birincisi, temiz enerjiyle çalışan tarımsal makinelerin araştırma ve geliştirmesini hızlandırmak; ikincisi, arazinin etkili bir şekilde transferini yönlendirmek ve çiftçileri pestisit kimyasal maddelerinin kullanım verimlili-

ğini artırırken tarımsal kimyasal madde girdisinin miktarını azaltmaya teşvik etmek; üçüncüsü, kentleşmeyi teşvik etme sürecinde ekolojik medeniyet kavramını desteklemek (Guan et al., 2023).

İklim değişikliği, tarımsal mekanizasyon süreci ve gübre kullanımı gibi tarımsal üretimin tüm yönleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olan, tüm ülkelere karşı karşıya olduğu önemli bir çevre sorunu hâline gelmiştir. Tarımsal üretim sırasında tarımsal makineler ve gübreler tarafından üretilen sera gazları, iklim değişikliğinin önemli bir nedenidir. Yukarıdaki gerçeklere dayanarak, tarımsal mekanizasyon, iklim değişikliği ve tarımsal karbon emisyonları arasındaki bağlantıyı araştırmak, düşük karbonlu tarımın geliştirilmesi ve iklim değişikliğinin ele alınması için çok önemlidir. Araştırma hedeflerine ulaşmak için, 2000'den 2019'a kadar olan yılları kapsayan Çin'in birden fazla eyaletinden (şehrinden) gelen verileri analiz etmek için çeşitli ekonometrik modeller ve yöntemler kullanıldı. İklim değişikliğini değerlendirmek için yağış, güneş ışığı, tarımsal mekanizasyon ve karbon emisyonları arasındaki bağlantıyı kurmak için Granger testlerini benimsedi. Bulgular, yağış, güneş ışığı, tarımsal mekanizasyon ve çiftçilikte karbon emisyonları arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tarımsal makineleşmenin tarımın karbon emisyonları üzerinde olumlu etkileri olduğunu ve iklim değişikliğinin de tarımsal makineleşme ve tarımın karbon emisyonları üzerinde de uzun vadeli etkileri olduğunu saptamıştır. Son olarak, bu makalede; Çin tarımının düşük karbonlu gelişimi için uygun olan yeşil yolu incelemiş ve hükûmetin bölgelere göre düşük karbonlu tarım politikaları formüle etmesi ve tarım makinelerini aktif olarak teşvik etmesi gerektiği savunulmuştur (Zaimoğlu et al., 2022).

3. KORUYUCU TARIM

Koruyucu tarım insanlığın gereksinim ve faaliyetlerinin çevre ve diğer canlı türleri üzerindeki uzun vadeli etkilerini dikkate alarak, doğru üretim yapma düşüncesidir. Bu üretim faaliyeti içinde özellikle yenilenemeyen veya yenilenmesi çok uzun yıllar alan doğal kaynakları korumak ve çevreyi bozulmaktan veya kirlenmekten koruyan yöntemleri uygulamak iki önemli düşünce olarak karşımıza çıkar. Doğal ekosistemde çok sağlam olan dengenin agro-ekosistemde daha narin olduğu bu nedenle toprak işleme, gübreleme, sulama ve

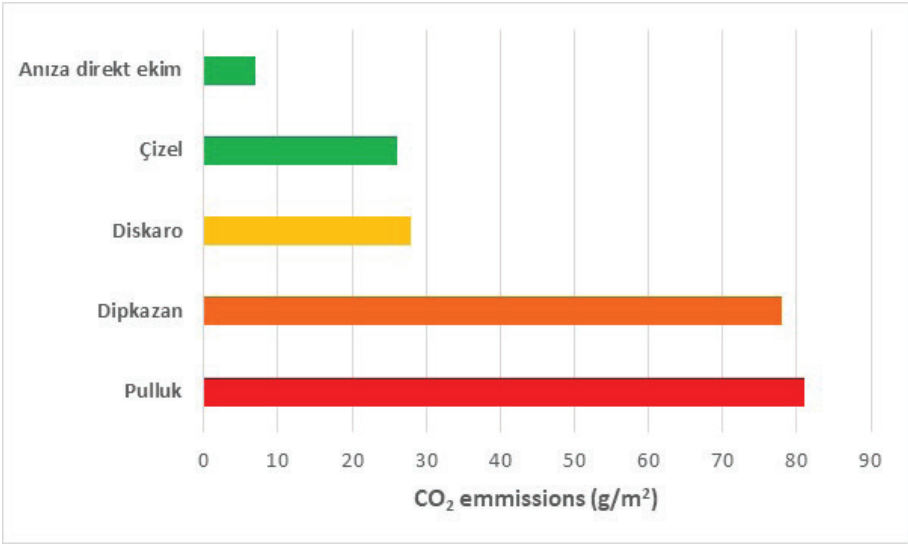
ilaçlamanın çok dikkatli yapılması gerektiği, yanlış uygulamaların onarılması çok güç olan çevre sorunları yaratacağı gerçeği son yıllarda doğru bir yaklaşımla önem kazanmıştır. Koruyucu tarım faaliyeti Azaltılmış toprak işleme koruyucu toprak işlemenin alt grubunu oluşturur. Bu sistemde genellikle birincil toprak işlemede çizel veya diskli aletler, ikincil toprak işleme ve tohum yatağı hazırlamada diskli aletler veya kültivatör kullanılır. Geleneksel toprak işlemeye göre önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanır (Berkman, 1986; Yalçın vd., 2003).

Düşük miktarda kimyasal kullanımı, enerji tasarrufu, toprak ve su gibi doğal kaynakların korunarak kullanımı olarak değerlendirilen koruyucu tarım içerisinde koruyucu toprak işleme önemli bir yer tutmaktadır. Genel olarak koruyucu tarım, toprak işlemeyi azaltan, değiştiren ve ortadan kaldıran yöntemlerden birini içerir. Koruyucu tarım ve koruyucu toprak işlemede ürün artıkları (anız) yakılmaz ve yıl boyunca düzgün bir toprak üstü atık dağılımı sağlanır (Yalçın vd., 2003).

“Koruyucu Tarım, ekilebilir arazilerde kayıpların gerçekleşmesini engellerken aynı zamanda tahribata uğramış arazileri de iyileştirebilen çiftçilik sistemidir.” (FAO, 2021). Koruyucu Tarımın üç ilkesi aşağıdaki belirtilmiştir (FAO, 2018):

1. Toprak işlenmesinin en aza indirilmesi: Toprağa yapılacak mekanik müdahalelerin azaltılarak toprak işlemesiz doğrudan ekime geçilmesi,
2. Toprak yüzeyinde daimî organik örtü sağlanması: Ekin kalıntıları ve/veya örtü bitkileri ile daimi toprak organik örtünün sağlanması,
3. Ürün çeşitliliğinin sağlanması: Ekim nöbetine dâhil edilen ürün deseniinde çeşitlilik gerçekleştirilmesidir.

Topraktan GHG emisyonunu azaltmak için toprak bozulmasını azaltın: Toprak işleme operasyonlarının büyük ölçüde azaltılması nedeniyle, fosil yakıtlardan ve toprak agregalarının parçalanmasından kaynaklanan CO2 emisyon hacmi büyük ölçüde azalacaktır (Şekil 1).



Şekil 1. Toprak işlemeden 5 saat sonra birikmiş CO₂ emisyonu (Reicosky, 1997).

3.1. Koruyucu Toprak İşlemede Yöntemler, Örtü Bitkisi ve Ekim Nöbetinin Önemi

Toprak işleme; geleneksel toprak işleme (conventional tillage) ve koruyucu toprak işleme (conservation tillage) olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır (Aykas ve ark., 2010). Sürdürülebilir tarımda, toprağın devrilmesini hedef alan ve tarla trafiğini artıran geleneksel toprak işlemeden çok, koruyucu toprak işleminin devreye sokulması büyük önem taşır.

Toprak işleme; Geleneksel toprak işleme ve koruyucu toprak işleme olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır. Sürdürülebilir tarımda, toprağın devrilmesini hedef alan ve tarla trafiğini artıran geleneksel toprak işlemeden çok, koruyucu toprak işleminin devreye sokulması büyük önem taşır. Belirli bir toprak ve ürün için hangi toprak işleme sisteminin seçileceğine, uygulamanın yapılacağı bölgedeki topografya, iklim ve hava koşulları, toprak yapısı dikkate alınarak karar verilmelidir. Bir bölgede koruyucu toprak işleme uygulamasına geçilecekse, öncelikle konu uzmanlarına danışılıp, o bölgeye uygun iyi bir ekim nöbeti hazırlanarak işe başlanmalıdır.

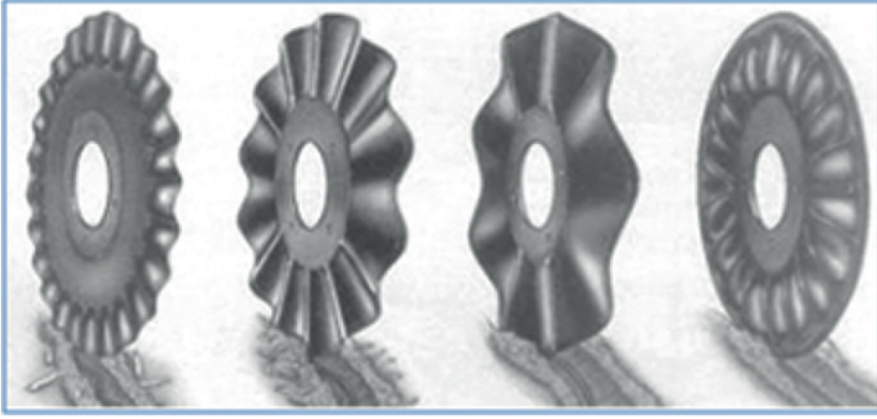
Koruyucu Toprak İşleme: Koruyucu toprak işleme; yıllık yağış miktarının 200-500 mm olduğu bölgelerde topraktan su kaybını önleyen bir yöntem olduğu için daha uygundur. Toprak işleme sistemi seçilmeden önce toprak özellikleri ve iklim koşulları dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. Koruyucu toprak işleme sisteminde toprağı devirerek işleyen pulluk ve benzeri aletler kullanılmaz. Toprak sıkışıklığının sorun olduğu yerlerde toprağı belli bir derinlikte yırtarak işleyen çizel vb. aletler kullanılır. Bu sistemde ön bitki veya ürün artıkları tarla yüzeyinde bırakılır. Erozyon kontrolünde koruyucu toprak işleme ve doğrudan ekimin olumlu etkileri ortaya konulmuştur. Genel kural olarak koruyucu toprak işleme sisteminde tarla yüzeyinin en az %30 oranında bitki artığı ile kaplı hâlde bulunması amaçlanır (Köller, 2003).

Yüzeyde çok az miktarda bitki örtüsü bulunmasının bile erozyonu büyük ölçüde önlediğı yapılan araştırmalar ile saptanmıştır. Koruyucu toprak işleme; yabancı ot kontrolü ve tohum yatağı hazırlığı için yapılan ve geleneksel toprak işlemeye göre tarlada geçiş sayısını önemli ölçüde azaltan bir sistemdir. Bu sistem, prensip olarak toprağı devirmeden işlemeye yönelik uygulamaları içerir. Koruyucu toprak işlemede geleneksel toprak işlemede olduğu gibi temel toprak işleme, tohum yatağı hazırlama ve ekim işlemleri ayrı ayrı veya birleştirilerek yapılabilir. Koruyucu toprak işleme sisteminde iki temel düşüncenin gerçekleşmesi hedeflenir. Ön bitki veya ikinci ürün artıklarının tarla yüzeyine veya yüzeye yakın katmanlara yerleştirilmesi, Toprak işleme yoğunluğunun azaltılması (Aykas ve ark, 2010)

Koruyucu toprak işleme işçilik, enerji tüketimi ve zamanlılık açısından önemli ölçüde tasarruf sağlar. Bu yöntemin geleneksel toprak işlemeye oranla birçok avantajı vardır. Koruyucu toprak işleme sisteminde kullanılan makine ve ekipmanların toplam güç gereksinimleri, yakıt tüketimleri, çalışma saatleri, yatırım maliyetleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bu sistemin uygulandığı topraklarda agregat stabilitesi ve organik madde içeriğı daha yüksektir. Dolayısıyla erozyon riski daha azdır. Yapılan araştırmalarda farklı toprak işleme sistemleri arasında N_2O (Azot Oksit) emisyon oranı önemli bir farklılık göstermemekle beraber, koruyucu toprak işleme sisteminde azot ve herbisit yıkanması daha az bulunmuştur. Toprak strüktürü, koruyucu toprak işleme sisteminde özellikle doğrudan ekimde daha homojen yapıdadır.

Koruyucu Toprak İşleme Yöntemleri:

- a. Toprak İşlemesiz (Doğrudan Ekim) Tarım
- b. Azaltılmış Toprak İşlemeli Tarım
 1. Malçlı Toprak İşlemeli Ekim
 2. Azaltılmış Toprak İşlemeli Ekim
 3. Bozulmamış Sırtta Ekim
 4. Şeritvari Toprak İşlemeli Ekim
- a. **Şerit hâlinde toprak işleme (strip tillage):** Tohum yatağı hazırlığı için ekim öncesi tarla yüzeyinin 1/3 ünün işlenmesine izin veren koruyucu toprak işleme uygulamasıdır. Bu uygulamada toprak işleme genellikle ekimle beraber yapılır ve ekim sıralarının geleceği bölgelerde 5 ila 30 cm genişliğinde toprak işleme yapılarak bunun dışında kalan bölgeler anızla kaplı bırakılır. Bu uygulamanın yanında sırtta ekim için toprak yalnız sırtların yapılacağı şeritlerde diskli ve benzeri aletlerle işlenir.
- b. **Ekim sırasında toprak işleme (plant-tillage):** Toprak frezesi, rototiller veya PTO tahrikli tırmık ile ekim makinası birleştirilerek yapılan uygulamadır. Bu uygulamada tarlanın tamamında toprak işlemesi yapılabilceği gibi şerit hâlinde toprak işlemeye benzer şekilde sadece ekimin yapılacağı sıralarda toprak işlemesi yapılabilir.
- c. **Malçlı toprak işleme (mulch tillage):** Malçlı toprak işlemenin temel felsefesi tüm yıl boyunca toprak yüzeyini bitki artıkları veya bitkiyle kaplı tutarak kaymak tabakası oluşumunu önlemek, filiz çıkış sorunlarını ve erozyonu azaltmaktır. Bu amaçla çizel, kültivatör, diskaro gibi aletler kullanılır. Malçlı toprak işlemenin ardından ekim ve doğrudan ekimde tohumun ekileceği bölgenin samandan temizlenmesi gerekir. Bu amaçla dalgalı yüzeye sahip özel çizi açıcılar ile donatılmış uygun ekim makinelerinin kullanılması hayati önem taşımaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı yüzeye sahip çizi açıcılar.

Azaltılmış Toprak İşleme: Azaltılmış toprak işlemede, pulluk kullanmaksızın ilk adımda çizel ve diskli aletler, ikinci adımda ise tohum yatağı da hazırlamak üzere diskli aletler ve kültivatör kullanılır (Aykas ve ark., 2005). Toprak yüzeyinde, %15 ile %30 arasında bitki kalıntısı kalacak şekilde, toprak devirmeden yapılan bu mekanik müdahale sonunda hektar başına 500-1000 kg kalıntı kalmış olur (WWF, 2021).

Koruyucu Toprak İşleme Yöntemleri;

- Rotovator, rototiller gibi ekipmanlarla yapılan toprak işleme her ne kadar azaltılmış toprak işleme olarak görülse de toprağı teksele bir hâle getirdiğı için tavsiye edilmez.
- Diskaro + ekim +Kültivatör + ekim •Döner çapa

Anıza Direkt Ekim

- Kültivatör + ekim •Döner çapa + ekim
- Çizel veya kültivatör + ekim

Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsünde 2001 ile 2005 yılları arasında tesadüf blokları (şerit parseller) deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak bir araştırmada uygulama konuları olarak 5 ayrı toprak işleme yöntemi denenmiştir. Bunlar ayçiçeğı hasadı sonrası;

1. “Goble disk çekilerek sapların parçalanması + Mibzerle ekim” (Azaltılmış toprak işleme)”
2. “Goble disk ile sapların parçalanması + Çizel + Tırmık + Mibzerle ekim”
3. Ayçiçeği hasadı sonrası “Sap toplama tırmığı ile sapların toplanması + Kazayağı + Tırmık + Mibzerle ekim”
4. Ayçiçeği hasadı sonrası “Sap toplama tırmığı ile sapların toplanması + Mibzerle ekim” (Toprak İşlemesiz)
5. Ayçiçeği hasadı sonrası “Sap toplama tırmığı ile sapların toplanması + Kulaklı pulluk (15-20 cm) + Dişli tırmık + Mibzerle ekim” (Geleneksel)

Buğday tohum yatağı hazırlama konusunu oluşturan “ayçiçeği hasadı sonrası goble disk ile sapların parçalanması + 7’li çizel + tırmık + mibzerle ekim”, 563,6 kg/da tane verimi, 45,0 g bin tane ağırlığı, 82,5 kg hektolitreye ağırlığı, 476 adet başak/m², 8,9 cm başak uzunluğu, 39,2 adet başakta tane sayısı ve 85,6 cm bitki boyu ile ilk sırada yer almıştır. Ekonomik analizler sonucunda ayçiçeği hasadından sonra kuru şartlarda yapılan buğday yetiştiriciliğinde, 2012 yılı fiyatları ile dekara tane verimi yönünden beş ayrı toprak işleme yöntemi içerisinde 2 no’lu ayçiçeği hasadı sonrası “goble disk çekilerek sapların parçalanması + 7’li çizel + tırmık + mibzerle ekim” konusu 563,6 kg/da tane verimi, 112,38 TL dekardan net gelir ve 0,40 TL/kg ürün maliyeti ile en karlı tohum yatağı hazırlama yöntemi olarak belirlenmiştir (Süzer, 2014).

Anıza Direkt Ekim

Önceki ürünün hasadı sonrası herhangi bir toprak işleme yapmadan, doğrudan ekim makinesi ile yapılan ekimdir (Şekil 3).



Şekil 3. Anıza direkt ekim.

Trakya Bölgesinde anıza direk ekim ayçiçeğinde bazı çiftçiler tarafından Tarım ve Orman Bakanlığı'nın desteği ile de uygulanmaktadır. Tekirdağ Önder Çiftçi Kooperatifi ile birlikte yürütülen projemizde; toprağın yapısını bozmadan minimum müdahale ile topraktaki su kaybının önlenmesi, toprakta organik madde artışı için tarlada yeterli bitki örtüsü ve artığın bırakılmasıyla makro ve mikrobiyal çeşitliliğin artırılması gibi avantajlarla daha az maliyetlerle uygulanabilecek doğrudan anıza ekim yönteminin benimsetilerek üreticilerimizin kazançlarının artırılması amaçlanmıştır. Bakanlığın Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü'nün "Tarım Arazilerinin Kullanımının Etkinleştirilmesi Projeleri" kapsamında hazırlanan proje %75 Bakanlık, %25 çiftçi katkısı şeklinde olup toplam 5 ilçede 38 üreticiyle birlikte 2.150 dekar alanda uygulanmaktadır. Projeye Hayrabolu İrtem Tarım Makineleri 2 adet anıza ekim makinesiyle destek vermiştir. Proje sonunda tüm çıktılar yeniden gözden geçirilip anıza ekimin iklim değişikliği ve kuraklıkla mücadele bakımından yeni bir yöntem olarak kullanılıp kullanılamayacağı değerlendirilerek üreticilerimize duyurulacaktır (Şekil 4) (Anonim, 2025).



Şekil 4. Anıza direkt ekim (Tekirdağ).

4. TARIMSAL ÜRETİMDE KARBON AYAK İZİ

Kyoto Protokolünde baz alınan gazlar; karbon dioksit (CO_2), Metan (CH_4), Nitroksit (N_2O), HidroFloro Karbonlar (HFCs), Perfloro Karbonlar (PFCs) ve Sülfür Heksaflorit (SF_6)'dir. Bu gazlar arasında en tehlikeli olan Sülfür Heksaflorit ve en az tehlikeli olanı ise karbon Dioksit olarak tanımlanmaktadır. Ancak

atmosferdeki miktarı açısından CO₂ diğer gazlara oranla çok yüksek seviyede olmasından dolayı çevreye verdiği zarar açısından en tehlikeli gaz CO₂'dir (Şahin ve Avcioğlu, 2016; Bekiroğlu, 2011).

Tarımsal üretim kaynaklı sera gazı salınımı; hayvancılık, çeltik tarlaları, diğer faaliyetlerdir başlıklarında 3 ana başlıkta incelenmektedir. Çeltik tarlalarında bulunan suyun içerisindeki organik maddelerin oksijensiz ortamda ayrışması sonucu metan gazı ortaya çıkmaktadır. Çeltik tarlalarından salınan metan gazı miktarı birkaç parametreye bağlıdır. Bu parametreler ayrışacak organik madde miktarı, sulama tipi, sulama miktarı ve benzeri parametreler olarak sıralanabilir. Sera gazı salınımına neden olan diğer tarımsal kaynaklı faaliyetler; tarımsal atıkların yakılması, tarımsal topraklarda azotlu gübre kullanımı ve biyokütlenin açık alanlarda yakılması olarak sıralanabilir (Şahin ve Avcioğlu, 2016; Aydın ve ark, 2011).

Tarlalarda yapılan üretim sonrası üreticilerin daha kolay sürüm işlemleri ya da daha kolay tohum yatağı oluşturmak amacı ile anız ve yabancı otları yakması hem topraktaki organik madde kaynağının büyük bir bölümünü yok etmekte hem de atmosfere fazla miktarlarda CO₂ salınımına neden olmaktadır. Üreticilerin bilinçlendirilmesi sağlanmalı ve anız yakılmasının önüne geçilmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Mevcut yasal düzenlemelerde anız yakılmasına ait birçok yasak olmasına karşın; hâlen birçok üretici anız yakmaktadır (Şahin ve Avcioğlu, 2016; Cangir ve ark., 2016).

Tarımda emisyon azaltımı, düşük maliyeti ve kolay uygulama alanı ile ülkemizde ve dünyada emisyon azaltım stratejileri arasında önemli bir sektör olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle emisyonların çok büyük bir kısmına neden olan enterik fermentasyon (%47), tarım toprakları (%40), gübre yönetimi (%11) konularında önlemler alınması bu sektörden kaynaklanan emisyonların azaltılmasını sağlayacaktır (Ağaçayak ve Öztürk, 2017).

Gübre Yönetimi:

- Metan emisyonlarının tutulması
- Biyogaz üretimi
- Kompostlaştırma
- Toprak Yönetimi
- Toprak analizlerinin yapılması

- Mineral gübre uygulamalarının kontrolü
- Toprak karbon tutma kapasitesinin kompost uygulamalarıyla artırılması
- Karbon oranı yüksek artıkların toprakta kullanılması
- Toprak işlemez tarım uygulamalarının artırılması

Yukarıda sayılan yöntemler kullanılarak dünyanın birçok yerinde tarım kaynaklı sera gazı emisyonları önemli ölçüde azaltılmış, aynı anda verim de artırılmıştır (Zaimoğlu, 2019).

4.1. Tarım Makinaları İmalatında Karbon Ayak İzinin Azaltılmasıyla İlgili Standartlar

Tarım Makinaları İmalatında Karbon Ayak İzinin Azaltılmasıyla İlgili Standartlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

- TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi
- ISO 14064 Sera Gazı Emisyonlarına ilişkin Kalite Belgesi
- Yenilenebilir enerji sertifikası (I-REC)
- Çevre dostu yeşil bina (LEED sertifikası)
- Atık yönetimi
- Su yönetimi
- Tedarikçi izleme sistemi (Tedarikçi değerlendirme sistemi ve süreç denetimi) tarım makinaları imalatının iklim değişikliği üzerindeki etkisini azaltmak için uygulanmaktadır.

TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi: Bu standardın amacı, enerji verimliliği, enerji kullanımı ve enerji tüketimi dâhil, enerji performansının sürekli olarak iyileştirilmesi için kuruluşların gerekli olan sistemleri ve prosesleri oluşturabilmesini sağlamaktır. Bu standart, Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) kapsamı ve sınırları dâhilinde tesisler, donanım, sistem veya enerji kullanan proseslerin tasarım ve tedarikine uygulanır. Bir Enerji Yönetim Sisteminin (EnYS) geliştirilmesi ve uygulanması geçerli yasal şartları ve diğer şartları karşılarken, enerji verimliliği, enerji kullanımı ve enerji tüketimi ile ilgili enerji politikasını, amaçları, enerji hedeflerini ve faaliyet planlarını kapsar. Bu amaç ve hedefler doğrultusunda hazırlanan TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Siste-

mi standardı ile işletmeler ve kurumlar; enerji tüketiminin doğru yönetilmesi, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, çevresel etkinin azaltılması ve rekabet avantajları konusunda avantaj sağlayabilmektedir (TSE, 2025-a).

TS EN ISO 14064-1 Standardı: Standardı, kuruluşların kurumsal sera gazı emisyonlarının (karbon ayak izi) ölçme, hesaplama ve raporlama kriterlerini belirleyen uluslararası bir standarttır. İlk olarak 2006 yılında yayınlanmış, 2012 ve 2019 yıllarında yenilenmiştir (TSE, 2025-b).

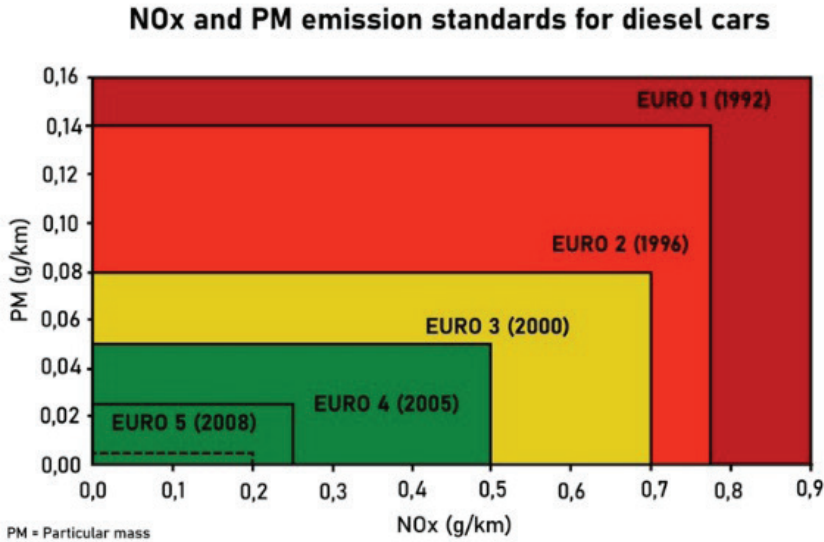
IREC (Interstate Renewable Energy Council (IREC) Sertifikası: IREC Sertifikası, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik karşılığına gelen uluslararası yenilenebilir enerji sertifikasına denir. 1 adet I-Rec sertifikası 1 MW yenilenebilir kaynaklardan üretilmiş olan elektrik enerjisine denk gelmektedir. I-REC, Elektrik enerjisinin yenilenebilir kaynaklardan üretildiğini belgeleyen uluslararası bir standardı temsil eder. Bu belge, elektrik üreten tesisin ismini, üretim tarihini, kaynak türünü ve diğer ilgili bilgileri içermektedir. IREC Sertifikası, enerji üreticilerini yenilenebilir enerjiye yatırım yapmaya teşvik eden ve enerji tüketicilerine kullandıkları enerjinin bir kısmının yenilenebilir kaynaklardan geldiğini kanıtlama fırsatı sunan bir değer yaratır. Aynı zamanda, ulusal ve uluslararası düzeydeki yenilenebilir enerji hedeflerine destek verme, karbon emisyonlarını azaltma ve enerji sektöründe sürdürülebilirlik sağlama amacına hizmet eder.

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED): EED, Türkiye ve Dünyada en fazla tercih edilen yeşil bina derecelendirme sistemidir. (LEED BD+C (Building Design and Construction) konumunun seçiminden tasarımlara, malzeme seçiminden inşaat sürecine kadar tüm süreci kapsamaktadır. Yeni binalar, çekirdek ve kabuk, okullar, konaklama, veri merkezi, sağlık merkezleri gibi birçok bina türü için geçerlidir. LEED Mevcut Binalar ve Mekanlar sertifikası (LEED for Operations and Maintenance (O+M)), en az bir yıl boyunca tamamen faaliyet gösteren ve kullanılan binalar için geçerlidir. Mevcut yapı kapsamındaki projelerde iyileştirme veya çok detaylı olmayan inşaat çalışmaları yapılabilir. Mevcut binalar, okullar, konaklama, veri merkezi, depo ve dağıtım merkezi gibi birçok bina türü için geçerlidir. LEED İç Mekanların Tasarımı ve İnşaatı sertifikası (LEED for Interior Design and Construction (ID+C)), proje konumunun seçiminden tasarımlara, malzeme seçiminden inşaat sürecine kadar tüm süreci kapsamaktadır. Ticari iç mekanlar, mağazalar ve konaklama merkezleri gibi birçok bina türü için geçerlidir.

4.2. Traktörler için egzoz emisyon sınıfları

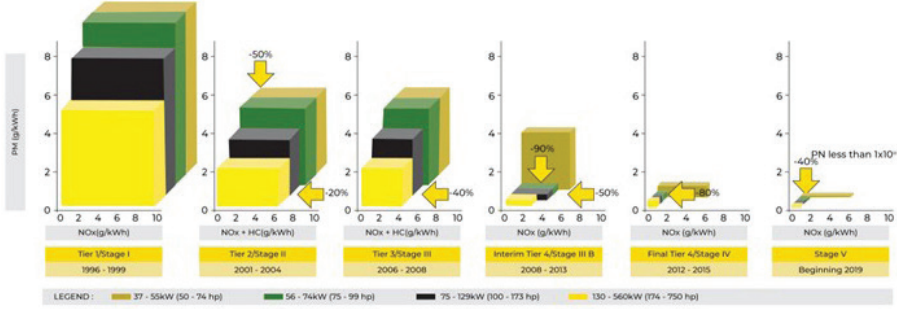
Türkiye’de emisyon değerleri olarak Euro normları geçerlidir. Türkiye’de FAZ, Avrupa’da STAGE ve Amerika Birleşik Devletleri’nde TIER OLARAK adlandırılmaktadır. (Tablo 1). Avrupa ve ABD’de geçerli olan egzoz emisyon sınıfları için geçerli olan NO_x ve partikül miktarları Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir (Wikipedia, 2025; John Deere, 2025).

Tablo 1. Traktörler için egzoz emisyon sınıfları.		
TÜRKİYE	AVRUPA	ABD
FAZ1	STAGE1	TIER1
FAZ2	STAGE2	TIER2
FAZ3A	STAGE3A	TIER3
FAZ3B	STAGE3B	TIER4 INTERIM
FAZ4	STAGE4	TIER4 FINAL
FAZ5	STAGE5	TIER5
FAZ6	STAGE6	TIER6



Şekil 5. Avrupa geçerli olan egzoz emisyon sınıfları için NO_x ve partikül miktarları.

EPA and EU nonroad emissions regulations: 37 - 560 kW (50 - 750 hp)

Şekil 6. ABD’de geçerli olan egzoz emisyon sınıfları için NO_x ve partikül miktarları.

Traktör motorlarının tip onayı için bir motor test donanımında emisyon ölçümlerine yönelik düzenlemeler mevcuttur, ancak traktörün farklı çalışma koşullarında emisyon ölçümleri için bir prosedür mevcut değildir. Yapılan çalışmalar traktörlerin farklı çalışma koşullarında ölçülen egzoz gazlarının, emisyon test yöntemlerindeki sabit durum koşullarında elde edilen değerlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, emisyon ölçümünde kullanılan test prosedürlerinin değiştirilmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Yeni testlerin geliştirilmesi, traktörlerden kaynaklanan egzoz emisyonlarını azaltacaktır (Durgut, 2024).

4.3. Alternatif Yakıtla Çalışan Traktörler

İçten yanmalı bir motorun emisyonunu düşürmenin en önemli unsuru yakıt kullanımını düşürmekten geçiyor. Bununla birlikte bazı önleyici tedbirlerin alınması ve ilave donanımların eklenmesi gerekiyor. Bu doğrultuda Euro emisyon normları motorların hem teknolojik özelliklerini hem de şekillerini değiştirdi. Ayrıca alternatif yakıtla çalışan motorlar üzerinde araştırmalar sonucu alternatif yakıtla çalışan traktörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Petrole alternatif yakıt ile çalışan motorlar üzerinde araştırmalar hâlen de sürmektedir. Biyodizel ve elektrik ile çalışan traktörler Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir (Team Tractor Ranch; 2025; Farmers weekly, 2025; Agrochemistry, 2025; ZY Traktör, 2025; Türk Traktör, 2025).



Şekil 7. Biyodizel ile çalışan traktörler.

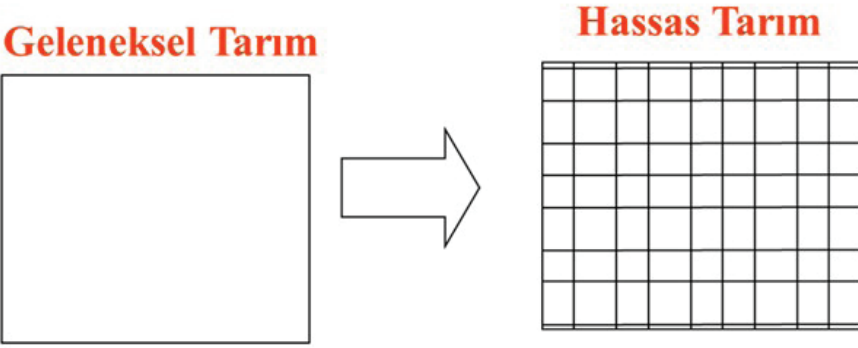


Şekil 8. Elektrik enerjisi ile çalışan traktörler.

5. İKLİM AKILLI TARIM TEKNOLOJİLERİ

5.1. Akıllı Tarım-Hassas Tarım Değişken Oranlı Uygulamalar

Hassas tarım; ileri teknolojilerin kullanılması suretiyle, tarlanın bütününe yapılan alışlagelmiş sabit düzeyli uygulama yöntemleri yerine, çok daha küçük kısımlarına ait toprak ve bitki özelliklerinin belirlenmesi sayesinde değişken düzeyli uygulamayı esas alan ve bütün bunların sonucu olarak daha ekonomik ve çevreye duyarlı üretimi hedefleyen bir işletmecilik ve tarımsal üretim yöntemidir (Şekil 9).



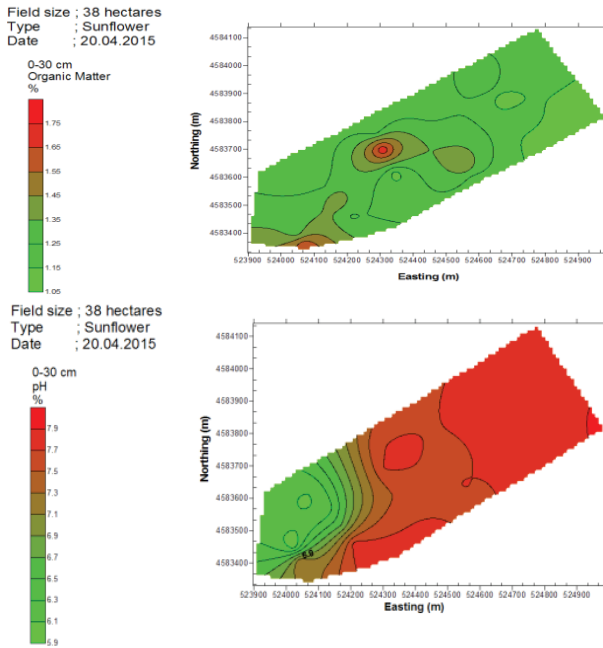
Şekil 9. Geleneksel tarımda ve hassas tarımda üretim girdisinin parsele uygulanma yöntemi.

Hassas tarım; tarımsal üretimde doğru şeyi doğru zamanda, doğru yerde ve doğru yöntemle yapmak olarak da tanımlanır. Hassas tarım, tarımda bilgi teknolojilerinden yararlanır. Uydu konumlandırma sistemi ve elektronik iletişim standartlarıyla, konum ve zaman, tarımla ilgili tüm prosedürlere entegre edilebilir. Hassas tarımın amacı, doğru şeyleri doğru yerlerde doğru yoğunlukta yapmaktır; örneğin gübreleme. Ancak, çiftçinin kararlarını desteklemek için bilgi odaklı bir yaklaşımdır ve yoğunlukla çiftlik yönetim sistemleriyle sonuçlanır. Akıllı tarım yalnızca tarıma bilgi teknolojisi getirmekle ilgili değil, daha çok teknoloji aracılığıyla bilgi yaratmak ve kullanmakla ilgilidir. Tarım makineleri ve cihazları, verileri işlemek ve analiz etmek için bilgi teknolojisiyle etkinleştirilmeli ve son olarak bazı kararlar almalı veya bunları yarı otomatik olarak hazırlamalıdır (Zinke-Wehlmann and Charvat, 2021) Akıllı tarım, daha verimli ve sürdürülebilir üretim yapmak amacıyla veri toplamaya dayalı çeşitli dijital araçları (nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ (AI), artırılmış gerçeklik, modelleme, derin öğrenme, görüntü işleme vb.) içerir. Bu araçlardan bazıları sensörler, robotlar ve gelişmiş makinelerin yanı sıra nesnelerin interneti, veri modelleme ve yapay zekâdır. Akıllı tarım teknolojilerinin amacı nesnelerin interneti (IOT), mobil uygulamalar, yapay zekâ (AI), sensörler vb. teknolojik öğeleri kullanarak yetiştirme ortamındaki koşullara göre bitki besleme, bitki koruma ve yetiştiricilik süreçlerini optimize ederek verimi arttırmaktır. Bazen yetiştirme ortamına müdahale ederek yine bitkilerin gelişeceği optimum koşulları sağlamaktır.

Hassas tarım uygulamalarına örnek olarak değişken oranlı tarımsal girdi uygulamaları (değişken oranlı ilaçlama, değişken oranlı gübreleme, değişken oranlı sulama vb.), verim haritalama, yersel (mekânsal) değişkenliğin saptanması sayılabilir. Daha sonraki süreçlerde otomatik dümenleme de çiftçiler tarafından kullanılmaya başlanmıştır.

5.2. Konumsal Değişkenlik

Tarım açısından konumsal değişkenlik; üretim açısından dikkate alınan herhangi bir özelliğin arazinin konumuna bağlı olarak belirlenen farklılığıdır (Şekil 10). Örneğin ayçiçeği tarlasında organik madde ve pH'daki yersel değişkenlik Şekil 10'de verilmiştir (Bakanoğulları ve ark., 2018).



Şekil 10. Konumsal değişkenlik.

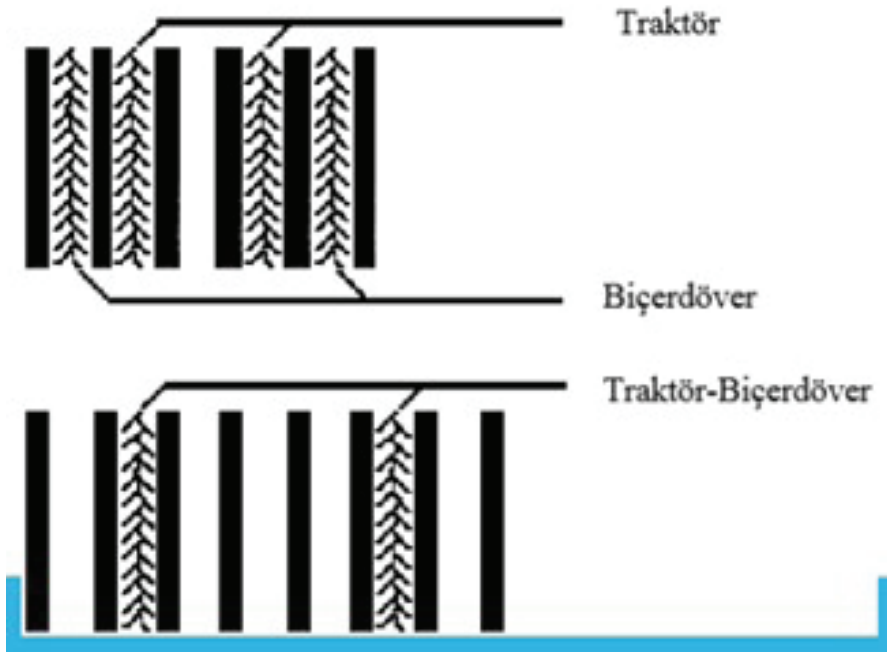
5.3. Kontrollü Tarla Trafığı İzli Ekim

Tarla trafiği; giderek artan mekanizasyon araçları ağırlıklarının tarımsal açıdan en önemli etken olduğu dünya ve ülke tarımında toprağın fiziksel ve kimyasal kompozisyonunu etkileyen en büyük problem olarak gösterilmektedir. Ülkemizde toprak yapısı üzerine etki eden uygulamaları ve olumsuzlukları ortadan kaldıran yöntemler üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Özellikle toprak sıkışmasını önleyici bir yöntem olan kontrollü tarla trafiği uygulaması ise ülkemizde henüz yeterli ilgiyi görmemiştir. Çok sınırlı sayıda kaynakta, kontrollü trafik konusunun araştırılması ve ülkemizde de başlatılması gerektiği bildirilmiştir (Arslan, 2006). Ülkemizde kontrollü tarla trafiği uygulamaları kapsamında değerlendirilebilecek bir proje olan “Toprağı Koruyarak Buğdayda Verim ve Kalite Artırılmasına Yönelik En Uygun Tarımsal Üretim Tekniğinin Geliştirilmesi Projesi” diğer adıyla “İzli Tarım Uygulamaları Projesi” Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi ve Konya Ticaret Borsası öncülüğünde TİGEM Konuklar Tarım işletmeleri arazilerinde yürütülmektedir. Proje metninden aktarılan bilgilere göre; “Coğrafi ve iklim özellikleri itibarıyla çok zengin bir tarımsal ürün çeşitliliğine sahip olan ülkemizde, tarımsal üretimde ağırlıklı ürün grubunu tahıllar oluşturmaktadır. Yaşanan gelişmeler; toplam tarla bitkileri ekim alanı içerisinde %45 ile en çok ekimi yapılan buğdayın bu önemini koruyacağını ve stratejik ürün olma özelliğini devam ettireceğini göstermektedir (Yağlıcı, 2016).

Kontrollü trafik uygulamasına geçiş basit bir değişiklikte olmamakta, genellikle birkaç yılı almaktadır. Yeni makine alımı gündeme geldiğinde, gelecekte kontrollü trafik uygulanması düşünülmese bile, iş ve iz genişliklerinin birbirinin katları şeklinde seçilmesi önerilmektedir (Türker, 2015). Buna göre, yeni makine satın alırken aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir:

- Biçerdöver iz genişliği, sıraya ekilen ürünlerde sıra arası mesafelere uyumlu olmalıdır. Bazı biçerdöverlerin, sıra arası mesafeye uydurulması için tekerlek boyutlarının değiştirilmesi gerekebilir.
- Tahıl ekim makinesi iş genişliği ile diğer ekim makinelerinin iş genişliği aynı olmalıdır.

- Gübre ve ilaçlama makinelerinin iş genişliği, ekim makinesine eşit ya da katları şeklinde olmalıdır.
- Tarım arabasının iz genişliği ile traktörün iz genişliğine eşit olmalıdır.
- Hasatta kullanılan tarım arabasının iz genişliği, biçerdöverinkine eşit olmalıdır (Şekil 11).



Şekil 11. Kontrollü tarla trafiği.

Buna göre, tohum yatağı ve bitki kök yatağı, traktör / biçerdöver tekerleklerinin çığnediği alanlardan (trafik şeritleri) belirgin şekilde birbirinden ayırmakta ve her makineli işlemde araçlar aynı izlerden geçmektedir. Böylece, toprak sıkışmasına neden olan en büyük faktör olarak gösterilen aks yükünün sıkışmaya ve verime olan olumsuz etkileri en aza indirilmektedir (Arslan, 2006).

Tablo 2. Sıra sayısı ve iz sayısına bağlı olarak trafik etkisinde kalan alan oranları (Anonim, 1994).

Sıra sayısı	Traktör iz genişliği (cm)	Biçerdöver iş genişliği (cm)	İz sayısı	Trafik alanı (%)
76 cm sıra arası mesafe				
6	152,5	305	4	44
6	305	305	2	22
8	305	305	2	17
8	152,5 ve 305	305 ve 457,5	6	50
90 cm sıra arası mesafe				
6	182,5	365	4	37
8	182,5	365	444	28

Kontrollü trafik uygulamasına geçiş basit bir değişiklik olmamakta, genellikle birkaç yılı almaktadır. Yeni makine alımı gündeme geldiğinde, gelecekte kontrollü trafik uygulanması düşünülmese bile, iş ve iz genişliklerinin birbirinin katları şeklinde seçilmesi önerilmektedir (Anonim, 1994).

5.4. Hassas Tarım Teknolojileriyle Sürdürülebilir Tarımın Avantajları

Traktör teknolojileri ile sürdürülebilir tarım uygulamalarının avantajları aşağıdaki gibidir (Anonim, 2025).

- **Çevresel Faydalar:** Daha temiz enerji kaynakları kullanarak hava kirliliğini azaltmakta ve ayrıca toprak erozyonunu önlemektedir.
- **Enerji Tasarrufu:** Daha verimli motor ve yakıt kullanımı sayesinde enerji maliyetlerini azaltmaktadır.
- **Verimlilik Artışı:** Hassas tarım uygulamalarıyla daha fazla ürün verimliliği sağlamaktadır.
- **Sera Gazı Emisyonları:** Daha az sera gazı salımı ile iklim değişikliği ile mücadelede katkı sağlamaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim Değişikliği ve Nötr Arazi Bozunumu Açısından Tarım Mekanizasyon ile ilgili TR21 Bölgesi için Öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Tarım alet ve makinelerinin seçimi ve işletilmesi çiftliği üretim deseni, toprak özellikleri ve ikili koşulları dikkate alınarak yapılmalıdır.
- Kontrollü tarla trafiği tarımsal üretimde kesinlikle uygulanmalıdır.
- Azaltılmış toprak işleme toprak ve iklim koşulları uygun olduğunda tercih edilmelidir.
- Anıza direkt ekim ile ilgili Bölgede yürütülen pilot projelerin sonuçları dikkate alınarak, ayçiçeği ve buğday üretiminde kademeli olarak devreye alınmalıdır.
- Fosil yakıtlar yerine alternatif yakıtlı sistemlerin tercih edilmelidir.
- İyi tarım uygulamaları Bölgede yaygınlaştırılmalıdır.
- Akıllı tarım uygulamalarından; konumsal(mekânsal) değişkenliğin saptanması, değişken oranlı tarımsal girdi uygulanması (gübreleme, ekim, ilaçlama, sulama), verim haritalama, otomatik dümenleme ve sensörlerin (NDVI, N, pH, P, K, organik madde, vb.) kullanımı 300-400 dekarın üzerindeki tarımsal işletmelerde kullanılması hem girdilerin azaltılmasını hem de çevrenin korunmasını sağlayacaktır. Küçük tarım işletmeleri ise hizmet alımıyla bu teknolojileri kullanabilirler

KAYNAKLAR

- AgroChemistry (2025). Agriculture uses more diesel for mechanical weeds control, <https://www.agro-chemistry.com/news/agriculture-uses-more-diesel-for-mechanical-weeds-control/> (Erişim tarihi:09/03/2025)
- Ağaçayak, T. & Öztürk, L. (2017). Türkiye’de Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Stratejiler. İstanbul Politikalar Merkezi-Sabancı Üniversitesi- Stiftung Mercator Girişimi.
- Ahmet, B. (2019). Bursa Bölgesinde Faaliyet Gösteren Bazı Hayvancılık İşletmelerinin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi, T.C. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa
- Anonim (1994). Conservation Tillage Systems and Management. Midwest Plan Service, Agricultural and Biosystems Engineering Department, Iowa State University, Ames, IA.

- Anonim (2025). Sürdürülebilir Tarım için Traktör Teknolojileri, <https://www.hars.com.tr/tr/surdurulebilir-tarim-icin-traktor-teknolojiler> (Erişim tarihi: 10/03/2025)
- Arslan S., A. (2006). Toprak Sıkışmasının Azaltılması için Alternatif Bir Yöntem Kontrollü Tarla Trafığı," KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(1):135-141
- Aydın G. Karakurt İ. ve Aydın K. (2011). Antropojenik Metan Emisyonlarının Sektörel Analizi Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, TÜBAV Bilim Dergisi, 4(1):42-51
- Aykas, E., Yalçın, H. ve Çakır, E. (2005). Koruyucu Toprak İşleme Yöntemleri ve Doğrudan Ekim. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 42(3):195-205
- Aykas, E., Yalçın, H. Engin, Ç. (2010). Koruyucu Toprak İşlemede Yöntemler, Örtü Bitkisi ve Ekim Nöbetinin Önemi, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science) 6 (4): 247-252
- Bakanogulları, F., Ay., U., Akdemir, B. (2018). Determination of Spatial Variability in Sunflower Production, International Journal of Crop Science and Technology, 4(1):23-31, DOI: 10.26558/ijcst.373589
- Bekiroğlu O. (2011). Tarımda Karbon Ayak İzi Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi. Web: https://www.emo.org.tr/ekler/49c17cab08ed10e_ek.pdf (Erişim tarihi: 10/09/2024)
- Berkman, A. (1986). Sürdürülebilir Tarımsal Kalkınmada Araştırma ve Geliştirme Faaliyetlerinin Yeri ve Güneydoğu Anadolu Projesi, Tarım ve Çevre İlişkileri Sempozyumu Bildiri Kitabı, S: 19-35. Mersin, Türkiye
- Cangir C., Türkeş M. Boyraz D. Akça E. Kapur B. Kapur S. Ve Haktanır, K. (2016). Uluslararası Sözleşmelerin Türkiye Tarımına Etkileri, https://icerik.zmo.org.tr/uploads/portal/resimler/ekler/81397bc0630d47a_ek.pdf, (Erişim Tarihi: 11.03.2025).
- Demir, P., Cevger, Y. (2007). Küresel Isınma ve Hayvancılık Sektörü. Veteriner Hekimler Derneği Dergisi, 78(1): 13-16.
- Denardin, J.E. (1993). Requisitos para implantação e a manutenção do sistema plantio direto. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 19-27.
- Dick, W.A. & Durkalski, J.T. (1997). No-Tillage Production Agriculture and Carbon Sequestration in a Type Fragiudalf Soil of Northeastern Ohio. [Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. ve Stewart, B.A. (der.)] Management of Carbon Sequestration in Soil. CRC Press: Boca Raton. 59-71.
- Doğan, S., Özçelik, S., Dolu, Ö., Erman, O. (2010). Küresel Isınma ve Biyolojik Çeşitlilik. İklim Değişikliği ve Çevre, 3: 63-88.
- Durgut, R. (2024). Çevre Kirliliği Açısından Traktör Egzoz Emisyon Test Yöntemlerinin Önemi, Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(7): 1197-1203
- Fang, D., Chen, J., Wang, S., & Chen, B. (2024). Can agricultural mechanization enhance the climate resilience of food production? Evidence from China. Applied Energy, 373, 123928. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123928>

- FAO. (2018). Koruyucu Tarım, Doğu Avrupa ve Orta Asya'da Bulunan Yayım Uzmanları ve Çiftçilere Yönelik Eğitim Kılavuzu. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/760ade0c-8438-40e9-9fb7-b5dea42ab1e1/content> (Erişim tarihi:13.03.2025)
- FAO. (2021). What Is Conservation Agriculture? Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü. 17 Şubat 2021 tarihinde <https://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/what-is-conservation-agriculture/en/> (erişim tarihi:13.03.2025)
- Farmers Weekly (2025). Biodiesel power on show, <https://www.fwi.co.uk/arable/biodiesel-power-on-show>, (Erişim tarihi:09/03/2025)
- Febrapdp (2006). FEBRAPDP Brazilian Federation for No-Tillage on Crop Residues. http://www.febrapdp.org.br/historic_english.html, (Erişim tarihi: 11/09/2024)
- Guan, N., Liu, L., Dong, K., Xie, M., & Du, Y. (2023). Agricultural mechanization, large-scale operation and agricultural carbon emissions. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2238430>
- John Deere (2025). Navigating Tractor Emissions Regulations <https://www.deere.asia/en/blog/emissions-regulations-part1/> (Erişim tarihi: 09/03/2025)
- Kansanga, M. M., Mkandawire, P., Kuuire, V., & Luginaah, I. (2020). Agricultural mechanization, environmental degradation, and gendered livelihood implications in northern Ghana. *Land Degradation & Development*, 31(11), 1422-1440. <https://doi.org/10.1002/ldr.3490>
- Karlen, D.L. & Cambardella, C.A. (1996). Conservation Strategies for Improving Soil Quality and Organic Matter Storage. [Carter, M.R. & Stewart, B.A. (der.)] *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. Boca Raton: CRC Press. 395-420.
- Kladivko, E.J. (2001). Tillage Systems and Soil Ecology. *Soil and Tillage Research*, 61(1-2): 61-76.
- Lal, R. (2002). Soil Carbon Dynamics in Cropland and Rangeland. *Environmental Pollution*, 116(3):353-362.
- Özpınar, S., & Çay, A. (2018). The Role of Agricultural Mechanization in Farming System in a Continental Climate. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 58-72
- Paustian, K., Six, J., Elliott, E.T. ve Hunt, H.W. (2000). Management Options for Reducing CO2 Emissions from Agricultural Soils. *Biogeochemistry*, 48(1): 147-163.
- Reicosky DC. (1997). Tillage induced methods CO2 emissions from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 49: 273-285.
- Sezer, B. 2014. Karbon Salınımı ve Toprak Yönetimi. www.tarim.gov.tr/ABOGM/Belgeler. (Erişim: 23.10.2014)
- Sims, B., & Kienzle, J. (2017). Sustainable Agricultural Mechanization for Smallholders: What Is It and How Can We Implement It? *Agriculture*, 7(6), 50. <https://doi.org/10.3390/agriculture7060050>
- Şahin G., Avcioğlu A. O., 2016. Tarımsal Üretimde Sera Gazları ve Karbon Ayak İzi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)* 2016, 12 (3), 157-162.

- Süzer, S. (2014). Trakya Koşullarında Farklı Toprak İşleme Sistemlerinin Kışlık Buğdayda Verim Yönünden Karşılaştırılması, Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi Journal of Bahri Dagdas Crop Research (1-2):36-43.
- Team Tractor Ranch (2025). Biodiesel tractor fuel, <https://www.teamtractor.com/blog/tell-me-the-facts-about-biodiesel-tractor-fuel--30357> (Erişim tarihi:09/03/2025)
- TSE (2025-a). TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi <https://www.tse.org.tr/ts-en-iso-50001-enerji-yonetim-sistemi/> (Erişim tarihi: 15/01/2025)
- TSE (2025-b). Sera Gazları-Bölüm 1: Sera gazı salımlarının ve uzaklaştırmalarının kuruluş seviyesinde hesaplanmasına ve raporlanmasına dair kılavuz ve özellikler, [www: https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073086065117111103110090071072101100](http://www.intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073086065117111103110090071072101100) (Erişim tarihi: 15/01/2025)
- Türk Traktör, (2025). Türk Traktör Elektrikli Traktörünü İlk Kez Konya’da Sergiliyor, <https://www.turktraktor.com.tr/hakkimizda/bizden-haberler/2024/turktraktor-elektrikli-traktorunu-ilk-kez-konya-da-sergiliyor> (Erişim tarihi: 09/03/2025)
- Türker, U. (2015). Tarımda ve Tarım Makinalarında Hassas Tarım, [www: https:// www.collegesidekick.com/study-docs/22061898](http://www.collegesidekick.com/study-docs/22061898) (Erişim tarihi: 16/01/2025)
- Vurarak, Y., Bilgili, E. (2015). Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 30 (2015) 307-316, doi: 10.7161/anajas.2015.30.3.307-316
- Wikipedia (2025). NOx and PM Emission Standards for diesel cars, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EURO_Standards_Diesel.png (Erişim tarihi: 09/03/2025)
- WWF-Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı) (2021). Türkiye’de Tarım Topraklarının Dünyü, Bugünü Ve Geleceği, <https://www.etietieti.com/images/documents/eti-burcak-wwf-turkiyede-tarim-topraklarinin-dunu-bugunu-gelecegi.pdf> (Erişim tarihi: 15/01/2025)
- Yağlıcı S. (2016). İzli Tarım Uygulamalarının Toprak Sıkışmasına Etkisinin İncelenmesi ve Haritalanması, T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya
- Yalçın, H., Aykas, E., Evrenesoğlu, M., Koruyucu Tarım ve Koruyucu Toprak İşleme, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2003, 40(2):153-160
- Yang, H., Ma, W., Liu, T., & Li, W. (2023). Assessing farmland suitability for agricultural machinery in land consolidation schemes in hilly terrain in China: A machine learning approach. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1084886>
- Yang, T., Huang, X., Wang, Y., Li, H., & Guo, L. (2022). Dynamic Linkages among Climate Change, Mechanization and Agricultural Carbon Emissions in Rural China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph192114508>
- Yıldız, N. A. (2024). Tarımsal Faaliyetlerin Çevre Kirliliği Üzerine Etkileri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü. Bitki Besleme Ana Bilim Dalı Başkanı, Erzurum

- Yokuş, S., Bilgili, E.M. ve Aydın, C. (2009). Kurak Bölgelerde Sürdürülebilir Toprak Yönetimi. 1. Ulusal Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu. 16-18 Haziran-Konya. 861-867.
- Zaimoğlu, Z. (2019). İklim Değişikliği ve Türkiye Etkileşimi, İklim Değişiklik Alanında Ortak Projelerin Desteklenmesi Projesi (İklimİN), web link: https://www.iklimin.org/wp-content/uploads/egitimler/seri_07.pdf (Erişim tarihi: 24.07.2024)
- Zeren, Y., (1991). Türkiye’de Traktör, Biçerdöver ve Tarım İş Makinaları İmalat Sanayinin Durumu ve Yönelimi (Çoğaltma). Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Tarımsal Mekanizasyon Bölümü. 30 sayfa.
- Zinke-Wehlmann C., Charvát, K. (2021). Introduction of Smart Agriculture,”Big Data in Bio-economy (2021): 187-190, https://doi.org/10.1007/978-3-030-71069-9_14.
- ZY Traktör (2025). Elektrikli traktör, <https://www.zyelektrikli.com/> (Erişim tarihi: 09/03/2025)

SOSYO-EKONOMİK GELİŞMELERİN ARAZİ BOZULUMUNA ETKİSİ VE TARIMSAL FİNANSMAN

Harun Hurma¹

*¹Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi
Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-1845-3940 hhurma@nku.edu.tr*

1. GİRİŞ

Arazi bozulumu, küresel ölçekte giderek artan bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğal kaynakların aşırı kullanımı, yanlış arazi yönetimi uygulamaları, iklim değişikliği ve sosyo-ekonomik baskılar, arazi ekosistemlerinin sağlığını tehdit ederek biyoçeşitliliği azaltmakta, toprak verimliliğini düşürmekte ve su kaynaklarını olumsuz etkilemektedir. Bu durum, özellikle tarıma dayalı geçim kaynaklarına sahip kırsal topluluklar için ciddi ekonomik ve sosyal sonuçlar doğururken, gıda güvenliğini de tehlikeye atmaktadır.

Bu bağlamda, sosyo-ekonomik gelişmelerin arazi bozulumu üzerindeki etkileri, disiplinler arası bir yaklaşımla ele alınması gereken karmaşık bir konudur. Nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme, tarımsal üretim gibi faktörler, arazi kullanımını ve yönetimini doğrudan etkileyerek arazi bozulumunu tetiklemektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak ve gelecek nesiller için yaşanabilir bir çevre bırakmak amacıyla, sosyo-ekonomik süreçlerin arazi bozulumuyla olan ilişkisinin derinlemesine anlaşılması büyük önem taşımaktadır.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile arazi bozulumu arasındaki ilişki, ekolojik denge, doğal kaynakların korunması ve iklim değişikliğiyle mücadele gibi temel unsurlar üzerinden şekillenmektedir. Arazi bozulumunun önüne geçilmesi, başta SKA 15 (Karasal Yaşam) olmak üzere birçok sürdürülebilir kalkınma hedefiyle doğrudan bağlantılıdır. SKA 15, karasal ekosistemlerin korunmasını, bozulmuş arazilerin restore edilmesini ve çölleşmeyle mücadeleyi teşvik ederek, dünya genelinde arazi bozulumunun dengelenmesini hedeflemektedir.

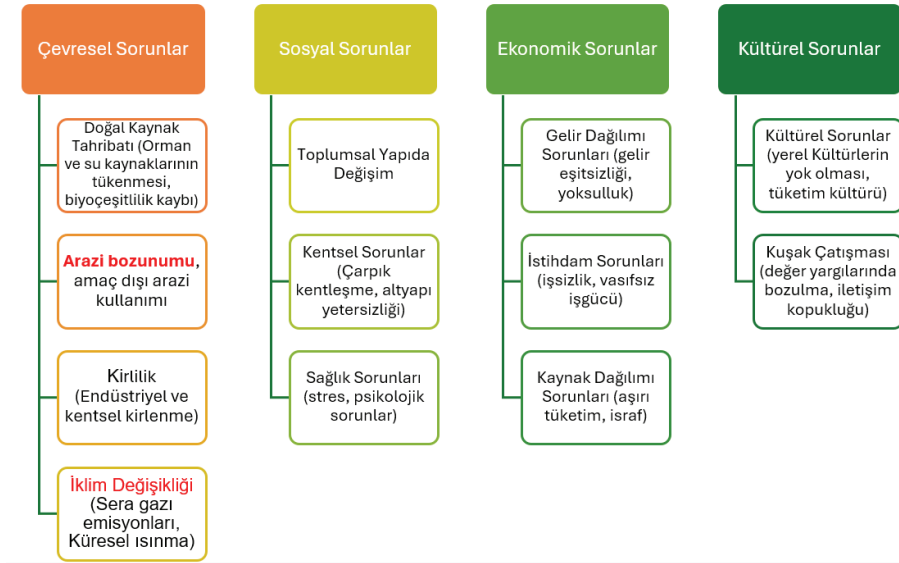
Arazi bozulumunun önlenmesi, gıda güvenliği, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve iklim değişikliğiyle mücadele gibi farklı kalkınma hedefleriyle de yakından ilişkilidir. Örneğin, SKA 2 (Açlığa Son) kapsamında, tarımsal üretimin sürekliliği için verimli toprakların korunması büyük önem taşımaktadır. Toprak kaybı ve çoraklaşma, gıda üretimini olumsuz etkileyerek tarımsal verimliliği düşürmekte ve kırsal kesimlerde yoksulluğu artırmaktadır. Benzer şekilde, SKA 6 (Temiz Su ve Sanitasyon) ile bağlantılı olarak, sağlıklı toprak yapısının korunması, su döngüsünün düzenlenmesine yardımcı olmakta ve erozyonun önüne geçerek su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. İklim değişikliğiyle mücadele açısından bakıldığında, arazi bozulumunun önlenmesi SKA 13 (İklim Eylemi) kapsamında da büyük bir önem arz etmektedir. Toprak karbon depolama kapasitesine sahip olduğu için, sağlıklı ekosistemlerin korunması, atmosferdeki karbon seviyelerinin dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Ormansızlaşma, toprak erozyonu ve çölleşme gibi süreçler, sera gazı salınımını artırarak küresel ısınmayı hızlandırmaktadır. Arazi bozulumunun önlenmesi, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açısından da önemli bir faktördür. SKA 1 (Yoksulluğa Son) ile bağlantılı olarak, özellikle kırsal bölgelerde yaşayan toplulukların büyük bir kısmı geçimlerini tarım ve doğal kaynaklardan sağlamaktadır. Arazi tahribatı, bu toplulukların ekonomik istikrarını tehdit etmekte, göç hareketlerini tetiklemekte ve sosyal eşitsizlikleri derinleştirmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesi, ormansızlaşmanın önüne geçilmesi ve ekosistem temelli çözümler geliştirilmesi, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik refahı da artırmaktadır.

Bu çalışma, sosyo-ekonomik gelişmelerin arazi bozulumu üzerindeki etkilerini çok yönlü bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve tarımsal üretim gibi faktörlerin arazi üzerindeki etkileri, çevresel, sosyal, ekonomik ve kültürel boyutlarıyla incelenerek arazi bozulumuna olan katkıları değerlendirilmektedir. Ayrıca, arazi bozulumunu önlemeye veya azaltmaya yönelik çözüm önerileri ve stratejiler sunulmaktadır. Ayrıca, arazi bozulumunu sürdürülebilir arazi yönetimi için bir çerçeve oluşturulması hedeflenmektedir.

2. SOSYO-EKONOMİK GELİŞMELER VE ARAZİ BOZULUMU

Sosyo-Ekonomik gelişmeler çok boyutlu sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunlar, çevresel, sosyal, ekonomik ve kültürel olmak üzere dört temel kategori altında incelenmektedir (Şekil 1). Çevresel sorunlar, doğal kaynakların tahribi, arazi bozulması, endüstriyel ve kentsel kirlilik, sera gazı emisyonları ve küresel ısınma gibi unsurları içerirken; sosyal sorunlar, toplumsal yapıdaki değişimler, plansız kentleşme ve yetersiz altyapı ile psikolojik sorunlar gibi başlıkları kapsamaktadır. Ekonomik alanda gelir dağılımındaki adaletsizlik, işsizlik ve vasıfsız işgücü, aşırı tüketim ve kaynak israfı gibi problemler ön plana çıkmaktadır. Son olarak kültürel sorunlar, yerel kültürlerin kaybolması, tüketim kültürünün yaygınlaşması ve kuşaklar arası değer yargılarındaki farklılıklar ile iletişim kopukluklarını içermektedir. Bu sorunların birbiriyle etkileşim içinde olduğu ve sosyo-ekonomik gelişmelerin sürdürülebilirliği açısından dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır.

Arazi tahribatına neden olan sosyo-ekonomik etkiler, insan faaliyetlerinden kaynaklanan faktörlerdir ve bu etkiler doğal kaynakların aşırı kullanımı ve kötü yönetimiyle ilişkilidir. Buradan hareketle, süreçte yer alan faktörleri ve mekanizmaları anlamak önemlidir. Bu bilgiler, bu toprak kaynaklarının korunması için çözüm bulunmasına yardımcı olabilmektedir (Qasim, Shrestha, Shivakoti, & Tripathi, 2011). Arazi bozuluma ve iklim değişikliğine neden olan başlıca sosyo-ekonomik etkiler şunlardır:



Şekil 1. Sosyo-ekonomik gelişmelerin ortaya çıkardığı sorunlar.

2.1. Nüfus artışı

Nüfus artışı ve arazi bozulması arasındaki ilişki hem araştırmacıların hem de politika yapımcıların büyük ilgisini çeken karmaşık ve çok yönlü bir konudur. Küresel nüfus artmaya devam ettikçe, arazi ve kaynaklara olan talep yoğunlaşmakta ve bu da çeşitli çevresel bozulma biçimlerine yol açmaktadır. Bu bozulma ormansızlaşma, arazi kullanım değişiklikleri, toprak erozyonu, biyolojik çeşitlilik kaybı ve doğal kaynakların tükenmesi şeklinde kendini göstermekte ve tüm bunlar kentleşme ve ekonomik kalkınmanın artan baskılarıyla daha da şiddetlenmektedir. Bu faktörler arasındaki etkileşim, nüfus artışının sonuçlarının hem kırsal hem de kentsel ortamlarda şiddetli bir şekilde hissedildiği dinamik bir ortam yaratmaktadır.

Nüfus artışının emek arzını artırarak ekonomik çıktıyı yükseltme potansiyeli olduğu, ancak aynı zamanda kaynakların aşırı tüketimi ve çevresel bozulma gibi olumsuz sonuçlara da yol açabileceği belirtilmektedir (Coşkun, 2023). Artan nüfus, gıda talebini yükseltmekte ve bu da tarım arazilerinin daha fazla kullanılmasına neden olmaktadır. Bu durum özellikle hızlı nüfus artışının

genellikle arazi kalitesini daha da bozan sürdürülemez tarım uygulamalarına yol açtığı gelişmekte olan ülkelerde daha belirgindir. Afrika ve Asya'da nüfus artışının yüksek olduğu bölgelerde, orman arazilerinin tarıma dönüştürülmesinin, habitat kaybı ve toprak erozyonunun artması gibi önemli ekolojik zararlara yol açtığını göstermiştir (Ahmad vd., 2022; Kangalawe ve Lyimo, 2010). Daha fazla gıda üretme baskısı, toprak verimliliğini azaltan ve yerel ekosistemleri bozan arazi kaynaklarının aşırı kullanımına yol açmaktadır.

Arazi bozulumu, nüfus artışının doğrudan bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Budak ve arkadaşları, arazi bozulumunun, toprak özelliklerinin değişimi ve bitki örtüsündeki azalma ile ilişkili olduğunu ifade etmektedir (Budak vd., 2020). Bu durum, tarımsal verimliliği olumsuz etkileyerek, gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Nüfus artışının yarattığı baskılar, şehir plancıları ve ekolojistler için yeni stratejilerin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmektedir. Arazi bozulumu bağlamında nüfus artışının ekonomik etkileri göz ardı edilemez. Artan nüfus yoğunluğu genellikle artan ekonomik faaliyetlerle ilişkilidir ve bu da daha fazla çevresel strese yol açabilmektedir. Örneğin, kentsel büyümeye eşlik eden sanayileşme sıklıkla artan enerji tüketimi ve kirliliğe yol açarak arazi ve su kaynaklarını daha da bozmaktadır (Fouzia, 2024). Çevresel etkinin (I) nüfus (P), refah (A) ve teknolojinin (T) bir fonksiyonu olduğunu öne süren $I = P \times A \times T$ denklemi, bu ilişkinin karmaşıklığının altını çizmektedir. Nüfus arttıkça ve ekonomiler genişledikçe, ortaya çıkan çevresel bozulma, özellikle yönetimin ve çevresel düzenlemelerin zayıf olduğu bölgelerde daha büyük sorun olabilmektedir (Mohammed vd., 2023; Jiboye vd., 2019). Ayrıca, nüfus dinamikleri ve çevresel bozulma arasındaki etkileşim, her iki olgunun da etkilerini artırabilen geri besleme döngülerini de içermektedir. Örneğin, arazi bozuldukça tarımsal üretimi destekleme kapasitesi azalmakta, bu da gıda güvensizliğine ve insanlar ekilebilir arazi arayışıyla göç ettikçe daha fazla nüfus baskısına yol açabilmektedir (Kartiasih ve Pribadi, 2020). Bu döngüsel ilişki, nüfus artışı ve çevresel sürdürülebilirliği etkili bir şekilde yönetmek için entegre yaklaşımlara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

2.2. Kentleşme

Kentleşme, modern toplumların en belirgin özelliklerinden biri olarak, dünya genelinde hızla artan bir olgudur. Şehirler artan nüfusu ve ekonomik

faaliyetleri barındırmak için genişledikçe, kırsal bölgelerdeki arazilere artan talep arazi kullanımı ve çevre kalitesinde önemli değişikliklere yol açmaktadır. Bu süreç, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, tarım arazilerinin ve doğal alanların hızla yapılaşmaya maruz kalmasına neden olmaktadır. Özyavuz (2011), 2000 ve 2010 yıllarına ait Landsat TM uydu görüntülerini ve yardımcı verileri kullanarak Tekirdağ kent merkezindeki zamansal değişimleri incelemiş, Tekirdağ'ın yıllık %6,3'lük bir oranla geliştiğini ve 2000-2010 yılları arasında 580,57 ha alanın kentsel alana dönüştüğünü göstermiştir. 2022 yılında yapılan benzer bir çalışmaya göre Tekirdağ ilinde 1990 yılında çalışma alanının yaklaşık %90'ı tarım alanlarından oluştuğu belirtilmiştir. Ancak 2020 yılına gelindiğinde tarım alanlarının önemli ölçüde azaldığı, tarım alanlarının parçalanarak yerleşme alanlarının arasına girdiği ve kırsal nüfusun şehir nüfusuna dâhil edildiği açıklanmıştır (Aydoğdu ve Bakırcı, 2022)

Kentleşmenin arazi bozunumuna etkisi, yalnızca fiziksel çevreyi değil, aynı zamanda ekosistemlerin işleyişini ve insan sağlığını da derinden etkilemektedir. Kentleşme, doğal kaynakların aşırı kullanımı, toprak erozyonu ve biyolojik çeşitliliğin kaybı gibi çeşitli çevresel sorunları beraberinde getirmektedir (Salvati vd., 2014; Bayraktar, 2024).

Bu tür kentsel yayılmanın etkileri, yalnızca tarımsal verimliliği azaltmakla kalmayıp aynı zamanda artan kirlilik ve kaynak tüketimi yoluyla çevresel bozulmayı da şiddetlendirdiği için geniş kapsamlıdır (Schneider ve Woodcock, 2008). Örneğin, İstanbul gibi büyük metropollerde, kentsel genişleme tarım alanlarının kaybına yol açmakta ve bu durum, gıda güvenliği açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Bayraktar, 2024). Tarım arazilerinin yapılaşması, sadece gıda üretimini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine ve toprak kalitesinin düşmesine de neden olmaktadır (Bolca vd., 2006). Bu bağlamda, kentleşmenin tarım arazileri üzerindeki etkileri, yalnızca yerel düzeyde değil, aynı zamanda ulusal ve küresel ölçekte de önemli sonuçlar doğurmaktadır.

Kentleşme dinamikleri genellikle ekolojik dengenin ve biyoçeşitliliğin korunması için önemli role sahip yeşil alanların parçalanmasına yol açmaktadır. Araştırmalar, kentsel alanların plansız bir şekilde genişlemesinin, özellikle düzenleyici çerçevelerin zayıf olabildiği veya hiç bulunmadığı gelişmekte olan ülkelerde, doğal yaşam alanlarının kaybına ve ekosistemlerin bozulmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir (Surya vd., 2022; Mahmoud vd., 2016).

Kentleşmenin arazi bozunumuna etkisi, yalnızca fiziksel çevre ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sosyo-ekonomik dinamikleri de etkilemektedir. Hızla büyüyen şehirlerde, sosyal eşitsizlikler artmakta ve bu durum, kentsel yoksulluk ile sonuçlanmaktadır (Enoguanbhor vd., 2019). Bu durum altyapı ve hizmetlerin yetersiz kalmasına, trafik sıkışıklığına ve hava kirliliğine de yol açmaktadır (Surya, 2023). Bu olumsuz etkiler, özellikle düşük gelirli kesimlerin yaşam kalitesini düşürmekte ve sağlık sorunlarını artırmaktadır. Dolayısıyla, kentleşmenin yarattığı zorluklar sadece çevresel değildir; arazi yönetimi ve kentsel planlamaya entegre yaklaşımlar gerektiren sosyal ve ekonomik faktörlerle iç içe geçmiştir.

Arazi ve ekosistemlerin bozulması bölgesel ve küresel ölçeklerde basamaklı etkilere sahip olabileceğinden, kentleşmenin etkileri yerel bağlamların ötesine uzanmaktadır. Kentsel genişleme nedeniyle ekilebilir alanların kaybı gıda güvenliğini tehdit ederken, doğal yaşam alanlarının bozulması depolanan karbonun salınması yoluyla iklim değişikliğine katkıda bulunabilmektedir (Suhraab, 2024). Şehirler büyümeye devam ettikçe, sürdürülebilir kentsel kalkınma uygulamalarına duyulan ihtiyaç giderek daha acil hâle gelmekte ve ekonomik kalkınmanın yanı sıra çevrenin korunmasına öncelik veren politikalara doğru bir geçişi gerekli kılmaktadır.

2.3. Sanayileşme

Sanayileşme, tarihsel olarak ekonomik büyümenin ve toplumsal dönüşümün temel dinamiklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu süreç çevresel bozulma ve arazi kullanımı değişiklikleri gibi olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Sanayileşmenin çevre üzerindeki etkileri, özellikle doğal kaynakların aşırı kullanımı ve ekosistemlerin tahribatı açısından önemli bir tartışma konusudur.

Sanayileşmenin çevresel etkileri, özellikle uzun vadede belirgin hâle gelmektedir. Örneğin, Ozpolat ve Özsoy, sanayileşmenin kısa dönemde çevre kirliliği üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını, ancak uzun dönemde çevre kalitesi üzerinde negatif bir etki yarattığını ortaya koymaktadır (Ozpolat ve Özsoy, 2021). Bu durum, sanayileşmenin sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde yönetilmesi gerektiğini göstermektedir.

Sanayileşmenin arazi bozulumu üzerindeki etkisi hem araştırmacıların hem de politika yapıcıların büyük ilgisini çeken çok yönlü bir konudur. Tarımsal üretimden, sanayi ekonomilerine geçişle karakterize edilen sanayileşme, genellikle arazi kullanımında önemli değişiklikler gerektirmekte ve çeşitli çevresel bozulma biçimlerine yol açmaktadır. Bu dönüşüm, hızlı endüstriyel büyümenin sıklıkla tarım arazilerinin endüstriyel ve kentsel alanlara dönüştürülmesiyle sonuçlandığı gelişmekte olan ülkelerde özellikle belirgindir. Tarım arazilerinin küçülmesinin küresel ölçekte yaygın olduğunu ve sanayileşmenin, geleneksel tarım yerine tarım dışı kullanımlara öncelik veren arazi edinme uygulamaları yoluyla bu eğilimin başlıca itici gücü olduğunu vurgulamaktadır (Tuan, 2021). Bu değişim sadece gıda güvenliğini tehdit etmekle kalmamakta, aynı zamanda tarıma bağımlı toplulukların azalan kaynaklar ve fırsatlarla karşı karşıya kaldıkça yerel geçim kaynaklarını da azaltmaktadır.

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiklikleri, sanayileşmenin doğrudan etkilediği alanlardır. Arazi kullanımı faaliyetleri, tarım, yerleşim ve sanayi gibi insan kaynaklı etkenlerle şekillenmektedir. Bu nedenle, sanayileşmenin getirdiği baskılar altında doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı büyük bir önem taşımaktadır. Arazi örtüsü değişiklikleri, ekosistem hizmetlerinin kaybına ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açabilmektedir (Atak ve Apa, 2022). Sanayileşmenin çevresel sonuçları sadece arazi kullanımı değişikliklerinin ötesine geçerek ciddi kirlilik sorunlarını da içermektedir. Toprakta ağır metal kirliliğine yol açabilmekte, tarımsal verimlilik ve insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturabilmektedir (Liu vd., 2014). Benzer şekilde, inşaat ve endüstriyel amaçlarla üst toprağın kaldırılması, toprak bozulmasını şiddetlendirerek gelişmekte olan bölgelerde gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Kathuria ve Balasubramanian, 2013). Bu uygulamaların kümülatif etkisi, ekonomik kalkınmanın yanı sıra çevre sağlığına öncelik veren sürdürülebilir sanayi politikalarına duyulan ihtiyacın altını çizmektedir.

2.4. Tarımsal Üretim

Tarımsal üretim, insanlık tarihinin en eski ve en temel faaliyetlerinden biri olarak, besin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu süreç, tarım arazilerinin kullanımı ve yönetimi ile doğrudan ilişkilidir. Tarımsal üretim, arazi kullanımını etkileyen birçok faktörü barındırmakta ve bu etkileşimler, arazi bozulumu üzerinde önemli sonuçlar doğurmaktadır.

Tarımsal faaliyetlerin yoğunlaşması, toprak erozyonu, su kaynaklarının aşırı kullanımı ve biyoçeşitliliğin azalması gibi sorunlara yol açmaktadır (Alevkayalı ve Tağıl, 2020; Matcı, 2021). Tarımsal üretim alanlarının genişlemesi, doğal habitatların yok olmasına ve ekosistem dengesinin bozulmasına neden olmaktadır.

Tarımsal üretim sürecinde kullanılan teknolojiler de arazi kullanımını etkileyen önemli bir faktördür. Modern tarım teknikleri, verimliliği artırmak için tasarlanmış olsa da, bu teknolojilerin aşırı kullanımı, toprak kalitesinin düşmesine ve doğal kaynakların tükenmesine neden olabilir (Arici, 2018). Tarımsal mekanizasyonun artması, iş gücü ihtiyacını azaltırken, aynı zamanda toprak sıkışması gibi sorunlara yol açarak, arazi bozulumu riskini artırmaktadır (Şeker vd., 2023).

Tarımsal üretimde yoğun girdi kullanımı, çevresel etkiler ve arazi bozulumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yoğun girdi kullanımı, tarımsal verimliliği artırma amacıyla kimyasal gübreler, pestisitler ve diğer tarımsal girdilerin aşırı kullanımını içermektedir. Bu durum hem toprak kalitesinin bozulmasına hem de ekosistem dengesinin zarar görmesine yol açmaktadır.

Yoğun tarım uygulamalarının arazi bozulmasına yol açmasının başlıca yollarından biri toprak erozyonunun artmasıdır. Bu durum, topraktaki biyolojik aktiviteyi azaltarak toprak oluşum süreçlerini daha da engelleyen herbisit ve biyosit gibi kimyasal girdilerin kullanımıyla daha da artmaktadır (Sujatha ve Sridhar, 2018). Benzer şekilde aşırı toprak işleme ve aşırı gübre kullanımı gibi uygunsuz tarımsal uygulamaların insan kaynaklı toprak bozulmasına katkıda bulunarak önemli çevresel sonuçlara yol açmaktadır (Bhattacharyya vd., 2015).

2.5. Turizm

Turizm ve arazi bozulumu arasındaki ilişki, son yıllarda önemli ölçüde dikkat çeken çok yönlü bir konudur. Turizm küresel olarak genişlemeye devam ettikçe, arazi kullanım şekilleri ve çevre üzerindeki etkisi giderek daha belirgin hâle gelmektedir. Bu durum, özellikle turizm gelişiminin hızlı olduğu bölgelerde belirgindir ve genellikle yerel ekosistemler ve peyzajlar üzerinde zararlı etkilere yol açmaktadır. Turizm faaliyetleri ile arazi bozulumu arasındaki etkileşim karmaşıktır, çünkü turizm hem ekonomik büyümeye katkıda bulunabil-

mekte hem de aynı zamanda arazi kaynakları üzerinde önemli baskılar yaratabilmektedir.

Turizm faaliyetlerinin, doğal alanların kullanımı ve bu alanların ekosistem dengesi üzerindeki etkileri bakımından dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Turizm gelişimi sıklıkla konaklama, altyapı ve rekreasyon tesisleri de dâhil olmak üzere çeşitli amaçlar için arazinin dönüştürülmesini. Bu dönüşüm, arazi kullanımında önemli değişikliklere yol açmakta ve genellikle habitat kaybı, toprak erozyonu ve biyolojik çeşitlilikte azalma ile sonuçlanmaktadır. Kitle turizminin gelişmesi, özellikle biyolojik çeşitliliğin korunmasını desteklemek için toplum temelli ekoturizm girişimlerinin teşvik edildiği kırsal alanlarda arazi bozulmasına, toprak kaybına ve ekosistemlerin yoksullaşmasına yol açabilmektedir (Khaokhrueamuang, 2014; Qiao vd., 2021). Örucü ve Arslan, Beyşehir Gölü ve Kızıldağ Millî Parkı'ndaki arazi örtüsü değişikliklerini analiz ederken, turizm ve rekreasyon faaliyetlerinin doğal yaşam alanlarına zarar verdiğini vurgulamaktadır (Örucü ve Arslan, 2020). Bu tür değişiklikler, bitki ve hayvan türlerinin kompozisyonunu etkileyerek biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir. Dolayısıyla, turizm faaliyetlerinin çevresel etkileri, yalnızca ekonomik faydalarla değil, aynı zamanda ekosistem sağlığı ile de değerlendirilmelidir.

Turizm faaliyetlerinin arazi üzerindeki etkileri, yalnızca fiziksel değişimlerle sınırlı kalmamakta, toprak özelliklerini de etkilemektedir. Arazi örtüsündeki değişiklikler, organik madde, pH ve toplam azot gibi toprak özelliklerinde önemli değişikliklere neden olabilmektedir. Bu durum, tarımsal üretkenliği ve ekosistem sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir (Karaoğlu ve Erdel, 2022).

Turizmin çevresel sonuçları doğrudan arazi kullanımı değişiklikleriyle sınırlı değildir; aynı zamanda daha geniş ekolojik etkileri de kapsar. Turizm altyapısının inşası genellikle peyzajın parçalanmasına yol açarak yerel ekosistemleri bozabilir ve dirençlerini azaltabilir (Pan vd., 2022). Ayrıca turizm faaliyetleri, özellikle kıyı bölgeleri ve koruma altındaki peyzajlar gibi hassas alanlarda kirlilik ve kaynakların tükenmesi gibi mevcut çevresel sorunları daha da kötüleştirebilir (Chu vd., 2020). Kıyı alanlarının turizm için kullanılması, bu alanların doğal işlevlerini kaybetmesine ve çevresel sorunların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, kıyı alanlarının yönetimi ve korunması, turizm faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından önemlidir (Wang ve Liu, 2013).

Turizm, istihdam yaratma ve gelir artışı gibi ekonomik faydalar sağlayabilirken, özellikle arazinin zaten kıt olduğu bölgelerde arazi ve kaynaklar için rekabetin artmasına da yol açabilmektedir (Aggarwal ve Tiwari, 2014). Turist akını arazi fiyatlarını yükseltmekte ve tarım arazileri üzerindeki baskıyı artırarak sürdürülebilir arazi kullanımı uygulamaları yerine turizm gelişimini destekleyen değişimlere neden olabilmektedir (Sun, 2024). Bu dinamik özellikle turizmin geleneksel tarım uygulamalarına göre önceliklendirildiği bölgelerde daha belirgindir ve gıda güvenliği ile yerel geçim kaynaklarının azalmasına yol açmaktadır (Parmawati, 2023).

3. TARIMSAL FİNANSMAN VE KREDİ

İklim değişikliği ve arazi bozulumu, tarımsal üretkenliği tehdit eden önemli sorunlardır. Bu sorunların üstesinden gelmek için tarımsal krediler ve finansman mekanizmalarının etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda, tarımsal kredilerin çeşitlendirilmesi ve daha fazla destek sağlanması, tarım sektörünün ekonomik öneminin anlaşılması açısından büyük bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır (Merdan, 2024).

Tarımsal krediler, üreticilerin iklim değişikliğine uyum sağlaması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını benimsemesi için önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında, finansman kaynaklarının artırılması ve bu kaynakların doğru bir şekilde yönlendirilmesi önem kazanmaktadır (Uzan, 2023).

Tarımsal kredilerin sağlanması, üreticilerin iklim dostu teknolojilere erişimini kolaylaştırabilmektedir. Örneğin, sulama sistemlerinin modernizasyonu, toprak iyileştirme uygulamaları ve dayanıklı bitki türlerinin kullanımı gibi yatırımlar, iklim değişikliğinin etkilerini azaltabilmektedir (Ekinci ve Ökde, 2021). Bunun yanı sıra, tarımsal finansmanın, çiftçilerin iklim değişikliği ile başa çıkabilme kapasitelerini artırarak kırsal alanlardaki göçü azaltma potansiyeli bulunmaktadır (Erdik ve Temurlenk, 2023). Çiftçilerin, iklim değişikliği ile ilgili farkındalıklarının artırılması ve bu konuda eğitim almaları da, tarımsal kredilerin etkin kullanımını destekleyecektir (Ceylan, 2024).

İklim finansmanı, kamu ve özel sermayenin ek kaynaklarını mobil hâle getirmek, kamu finansman kaynaklarını küçük ölçekli üreticilere ve KOBİ'lere bağlamak, tüm finansal ekosistemde yer alan herkesin kapasitesini artırmak

yoluyla iklim değişikliği ve arazi yönetimi sorunlarına çözüm olabilmektedir. Bu hedeflere ulaşmak için, kamu ve özel sektör ortaklıkları, yenilikçi yatırım araçları, mali enstrüman paketleri ve üç giriş noktasını (olanakları iyileştirme, risk yönetimi mekanizmalarını destekleme ve işlem maliyetlerini azaltma) kullanmak yeterli olacaktır. Ayrıca, finans kurumlarının ve üreticilerin kapasitesini artırmak için teknik desteğin sağlanması oldukça önemlidir. Teknik desteğin, finans kurumlarının tarıma yönelik finansal ürün ve hizmetler tasarlamasına ve sunmasına, üreticilerin de iklim akıllı uygulamaları benimsemesine ve riskleri yönetmesine yardımcı olmak amacıyla yapılması gerekmektedir (Sadler vd., 2016).

4. ÇÖZÜM ÖNERİLERİ VE STRATEJİLER

Sosyo-ekonomik gelişmelerin arazi bozuluma olan etkilerinin azaltılması veya önlenmesi, çok sektörlü ve bütünselik bir yaklaşımı gerektiren karmaşık bir sorundur. Buna ilişkin çözümleri ve stratejileri şekil 2'deki gibi gruplandırmak mümkündür.

Nüfus artışının arazi bozulumu üzerindeki etkilerini azaltmak için çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Öncelikle, arazi kullanım planlaması ve yönetimi, nüfus artışının olumsuz etkilerini azaltmak için önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır. İmar planlarının ekolojik yapıyı dikkate alarak hazırlanması, kentsel büyümenin çevresel etkilerini azaltacaktır (Olgun ve Yilmaz, 2019). Ayrıca, kentsel alanların sürdürülebilir bir şekilde tasarlanması, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olacaktır (Gümüş, 2024).

Nüfus Artışı ve Kentleşme	Sanayileşme	Tarımsal Üretim	Turizm ve Rekreasyon	Arazi Yönetimi ve Politikalar
• Kentsel ve Kırsal Kalkınma Politikaları • Etkili atık yönetimi • Sürdürülebilir Şehir Planlaması • Altyapı ve Ulaşım Planlaması • Eğitim ve Farkındalık • Akıllı Şehir Teknolojileri	• Sanayi Alanlarının Planlanması • Döngüsel Ekonomi Modeli • Atık Yönetimi ve Kirlilik Kontrolü • Karbon Ayak İzini Azaltmak • Hammadde ve Enerji Geri Dönüşüm Tesisleri • Bozulmuş Alanların Rehabilitasyonu	• Erozyon Önleyici Teknikler • Sürdürülebilir Su Yönetimi • Hassas Tarım Teknikleri • Toprak Sağlığını İyileştirici Uygulamalar • Planlı Üretim • Erken Uyarı Sistemleri • Tarım Danışmanlığı ve Teknoloji Desteği	• Ekoturizm • Turizm Alanlarının Planlanması • Yeşil Bina ve Tesis Tasarımı • Yerel Toplulukların Katılımı ve Bilinçlendirme • Sertifikalandırma Sistemleri	• Stratejik Çevresel Değerlendirme ve ÇED süreçlerinin etkin yönetimi • Entegre Arazi Kullanım Planlaması • Çevre Dostu Yasal Düzenlemeler • Toprak Koruma Projelerine Fon ve Destek Sağlamak • İklim Dayanıklılığı Planları • Kapsayıcı Tanımsal Finansman • Ekosistem hizmetlerinin parasal değeri

Şekil 2. Çözüm önerileri ve stratejiler.

Politika müdahaleleri de arazi kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesi sağlamaktadır. Hükümetler, nüfus dinamiklerini ve çevresel sürdürülebilirliği dikkate alan arazi kullanım planlamasına öncelik vermelidir. Bu, arazi bozulmasının önemli bir itici gücü olan ormanlardan tarım arazilerine arazi dönüşümünü önleyen düzenlemelerin uygulanmasını da içerir (Barbier ve Hochard, 2016). Ayrıca, eğitim ve farkındalık programlarına yatırım yapmak, toplulukları sürdürülebilir uygulamaları benimsemeleri ve arazi kaynaklarını korumanın uzun vadeli faydalarını anlamaları için güçlendirebilir (Istiqomah, 2023).

Kentsel ve kırsal alanlardaki kalkınma politikalarının, arazi üzerindeki baskıyı azaltacak şekilde tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Özellikle, sürdürülebilir şehir planlaması ve altyapı düzenlemeleri, kentleşmenin neden olduğu arazi tahribatını minimize edebilmektedir. Etkin atık yönetimi sistemleri ise hem arazi kullanımını optimize ederek hem de çevresel kirliliği azaltarak arazi tahribatının önüne geçilmesine katkı sağlamaktadır.

Ayrıca, kent çevresi alanlarda arazinin bozulmaya karşı duyarlılığının hedeflenen değerlendirmeleri çok önemlidir. Bu değerlendirmeler, kırsal alanlara kıyasla genellikle farklı arazi bozunumu biçimlerine maruz kalan kentsel-vahşi arazi arayüzlerinin benzersiz özelliklerini dikkate almalıdır (Seifollahi-Aghmiuni vd., 2022).

Yeşil alanların korunmasının yanı sıra, kentsel planlama, arazi bozulmasını şiddetlendirdiği bilinen yol yapımı ve madencilik gibi insan faaliyetlerinin etkilerini de ele almalıdır. Çalışmalar, kentleşme ve nüfus artışının arazi örtüsünde önemli değişikliklere yol açtığını, bunun da arazi verimliliğinin azalmasına ve bozulmanın artmasına neden olduğunu göstermiştir (Wang vd., 2020). Bu nedenle, sürdürülebilir kentsel kalkınma, altyapı projelerinin ekolojik ayak izini en aza indirecek stratejileri içermeli ve arazi direncini artıran uygulamaları teşvik etmelidir.

Sanayileşmenin arazi bozulumu üzerindeki etkilerini azaltmak için çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Bu önlemler, toprak koruma, sürdürülebilir arazi kullanımı ve çevresel yönetim stratejileri gibi alanlarda yoğunlaşmaktadır. Sanayileşme bağlamında, döngüsel ekonomi modelinin benimsenmesi, kaynak kullanımını optimize ederek ve atık üretimini azaltarak arazi üzerindeki baskıyı hafifletmektedir.

Döngüsel ekonomi, kaynakların daha verimli kullanılmasını ve atıkların minimuma indirilmesini amaçlayan bir ekonomik modeldir. Tarım sektörü, döngüsel ekonominin potansiyelini tam anlamıyla değerlendirmek için önemli bir platform sunmaktadır. Döngüsel ekonomi prensiplerinin tarımsal üretim süreçlerine entegre edilmesi, doğal kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını ve atık üretiminin azaltılmasını sağlayabilir. Bu yaklaşım hem çevresel sürdürülebilirliği hem de ekonomik refahı artırabilir (Gedik, 2020).

İlk olarak, toprakların korunması ve sürdürülebilir kullanımı için detaylı toprak etütleri ve arazi değerlendirmeleri yapılması oldukça önemlidir. Demirel ve Şenol'un çalışmasında belirtildiği gibi toprak ve arazi özelliklerinin iyi belirlenmesi, haritalanması ve veri tabanı oluşturulması, sürdürülebilir arazi yönetimlerinin temelini oluşturmaktadır (Demirel ve Şenol, 2019).

Atık yönetimi ve kirlilik kontrolü, sanayi tesislerinin neden olduğu toprak ve su kirliliğini önleyerek arazinin verimliliğini korumaktadır. Karbon ayak izinin azaltılması ve geri dönüşüm tesislerinin yaygınlaştırılması ise iklim değişikliğinin arazi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik önemli adımlardır.

Ayrıca, arazi kullanım çatışmalarının belirlenmesi de önemli bir stratejidir. Keloğlu ve Bayar, arazi kullanım çatışmalarının, farklı arazi kullanım kategorilerinin uygunluğunun karşılaştırılması ile ortaya çıktığını ifade etmektedir (Keloğlu ve Bayar, 2022). Bu çatışmaların belirlenmesi, çevresel etkilerin yönetilmesi ve sanayileşmenin yarattığı baskıların azaltılması açısından kritik bir adımdır. Mekânsal yapılar, kentsel yayılma ve tarımsal üretim alanları arasındaki değişimlerin izlenmesi, potansiyel çatışma alanlarının tanımlanmasına yardımcı olur ve bu da daha etkili arazi yönetimi stratejileri geliştirilmesine olanak tanır.

Tarımsal üretimde, erozyon önleyici tekniklerin kullanımı ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları, toprak kaybını önleyerek arazinin verimliliğini sürdürmeyi amaçlamaktadır. Hassas tarım teknikleri ve toprak sağlığını iyileştirici uygulamalar ise kimyasal gübre ve pestisit kullanımını azaltarak toprak kirliliğini önlemekte ve biyoçeşitliliği desteklemektedir.

Sürdürülebilir tarım uygulamaları, tarımsal üretimin arazi bozulumu üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Sürdürülebilir tarım, doğal kaynakların korunmasını ve ekosistem

dengelesinin sağlanmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda, agroekolojik yaklaşımlar, tarımsal üretim süreçlerinin çevresel etkilerini minimize etmek için kullanılmaktadır. Tarımsal üretimde entegre kaynak verimliliği sağlamak hem üretkenliği artırmakta hem de arazi bozulumu riskini azaltmaktadır (Mutlu, 2020). Sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları tarımsal üretimin olumsuz etkilerini azaltabilmektedir. Minimum toprak işleme ve kalıcı organik örtüyü teşvik eden korumacı tarım, toprak sağlığını iyileştirmek ve bozulmayı azaltmak için uygun bir çözüm olarak sunulmaktadır (Daujanov vd., 2016).

Turizmin arazi bozulumu üzerindeki etkilerini azaltmak için çeşitli önlemler almak gerekmektedir. Bu önlemler, sürdürülebilir turizm uygulamalarını benimsemek, yerel halkın katılımını sağlamak ve çevresel etki değerlendirmeleri yapmak gibi stratejileri içermektedir. Turizm sektöründe, ekoturizm yaklaşımının benimsenmesi ve turizm alanlarının planlı yönetimi, doğal alanların korunması ve arazi tahribatının önlenmesi için elzemdir. Yeşil bina ve tesis tasarımları ile yerel toplulukların katılımı, turizmin çevresel etkilerini azaltarak sürdürülebilir bir turizm anlayışını teşvik etmektedir.

Sürdürülebilir turizm, doğal kaynakların korunmasını ve yerel ekosistemlerin sürdürülebilirliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, turizm destinasyonlarının çevresel etkilerini minimize etmek için çevre dostu işletmelerin teşvik edilmesi ve bu işletmelere yönelik tüketici tutumlarının değiştirilmesi gerekmektedir (Gedik, 2024). Çevresel etki değerlendirmeleri, turizm projelerinin potansiyel etkilerini önceden belirlemek için gereklidir. Ayrıca, uzaktan algılama teknolojileri, arazi örtüsü değişimlerinin izlenmesi ve bu değişimlerin turizm üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için etkili bir yöntem sunmaktadır (Matcı, 2021).

Arazi yönetimi ve politikaları olarak sunulan stratejik çevresel değerlendirme, entegre arazi kullanım planlaması ve çevre dostu yasal düzenlemeler, arazi kullanımının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için bütüncül bir çerçeve sunulabilmektedir. Toprak koruma projelerine destek ve iklim dayanıklılığı planları ise arazinin iklim değişikliğinin etkilerine karşı direncini artırmayı ve uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamayı hedeflemektedir.

İklim değişikliği ve arazi bozulmasının tarım üzerindeki etkileri, bölgesel farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, tarımsal kredilerin ve finansmanın yerel ihtiyaçlara göre şekillendirilmesi gerekmektedir (Erdik ve Temurlenk,

2023). Tarımsal kredilerin, yerel iklim koşullarına uygun olarak tasarlanması, çiftçilerin iklim değişikliği ile mücadele etme yeteneklerini artıracaktır (Erdoğan, 2024). Tarımsal kredilerin yanı sıra, devlet destekli finansman programlarının oluşturulması da önemlidir. Sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik eden hibeler ve teşvikler, üreticilerin bu uygulamaları benimsemesini hızlandırmaktadır (Kanat ve Keskin, 2018).

Tarım sektörü çevre sorunlarından etkilenebildiği gibi çevre sorunlarına da sebep olmaktadır. Tarımsal uygulamaların çevresel etkilerini anlamak ve yönetmek, iklim değişikliğine uyum ve sürdürülebilir kalkınma için hayati önem taşımaktadır. Dışsallıkların ekonomik değerinin belirlenmesi, karar alıcılara etkili politika geliştirme ve kaynakları verimli kullanma imkânı sunmaktadır. Dışsallık, bir eylemin başkalarını etkilemesine rağmen, eylemi yapanın kararlarına yansımaması olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, tarımsal dışsallıkların, özellikle de negatif dışsallıkların politika geliştirmede dikkate alınması, tarımın çevre ve iklim üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilmektedir (Hurma, 2024).

5. SONUÇ

Bu çalışma, sosyo-ekonomik gelişmelerin arazi bozulumu üzerindeki derin ve karmaşık etkilerini ortaya koyarak, bu konunun küresel sürdürülebilirlik açısından ne denli kritik bir öneme sahip olduğunu bir kez daha gözler önüne sermektedir. Nüfus artışı, plansız kentleşme, kontrolsüz sanayileşme ve sürdürülebilirlikten uzak tarımsal üretim yöntemleri gibi faktörlerin arazi ekosistemleri üzerindeki baskısı, sadece toprak kaybı ve verimlilik azalması ile sınırlı kalmayıp, biyoçeşitliliğin azalması, su kaynaklarının kirlenmesi, iklim değişikliğinin etkilerinin artması ve kırsal toplulukların sosyo-ekonomik açıdan zor duruma düşmesi gibi geniş kapsamlı sorunlara yol açmaktadır. Bu zincirleme etkiler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, doğal kaynaklara bağımlı geçim kaynaklarına sahip toplulukların yaşam koşullarını olumsuz etkilemekte, gıda güvenliğini tehdit etmekte ve göç gibi sosyal sorunlara zemin hazırlamaktadır.

Arazi bozulumu ile mücadele, sadece çevresel bir sorun olarak ele alınmamalı, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve kültürel boyutları da dikkate alan bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için,

arazi yönetimi politikalarının ve stratejilerinin etkin bir şekilde uygulanması büyük önem taşımaktadır. Çalışmada sunulan çözüm önerileri, bu amaca hizmet edecek çeşitli araçlar sunmaktadır. Sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları, toprak erozyonunu önleme, su kaynaklarını koruma, biyoçeşitliliği destekleme ve toprak verimliliğini artırma gibi çok yönlü faydalar sağlamaktadır. Ekoturizm yaklaşımları, yerel toplulukların kalkınmasına katkıda bulunurken doğal kaynakların korunmasını teşvik etmekte ve arazi bozuluma karşı farkındalık yaratmaktadır. Çevresel etki değerlendirmeleri, arazi kullanım planlaması süreçlerinde çevresel faktörlerin dikkate alınmasını sağlayarak sürdürülebilir kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır. Politika müdahaleleri ise arazi kullanımını düzenleme, teşvikler sağlama ve cezai yaptırımlar uygulama yoluyla arazi bozulumunu önlemeye yönelik etkili bir araç olarak kullanılabilir.

Tarımsal finansman ve kredi mekanizmaları, arazi bozulumu ile mücadelede önemli bir rol oynamaktadır. Bu mekanizmalar, çiftçilerin sürdürülebilir tarım uygulamalarını benimsemesini, iklim değişikliğine uyum sağlamasını ve toprak verimliliğini artırmasını teşvik ederek arazi bozulumunun önüne geçilmesine katkıda bulunmaktadır. Ancak, bu mekanizmaların etkin bir şekilde kullanılması için, çiftçilerin ihtiyaçlarına uygun, erişilebilir ve adil bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca, çiftçilerin sürdürülebilir tarım uygulamaları konusunda bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi de büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, arazi bozulumu sorunu, küresel ölçekte iş birliği ve koordinasyon gerektiren karmaşık bir sorundur. Bu sorunun üstesinden gelmek için, hükümetler, sivil toplum kuruluşları, özel sektör ve yerel topluluklar arasında güçlü bir iş birliği kurulmalı ve arazi bozulumunu önlemeye yönelik ortak bir vizyon oluşturulmalıdır. Bilimsel araştırmaların sonuçlarından yararlanılması, yerel koşulların dikkate alınması ve katılımcı yaklaşımların benimsenmesi, arazi bozulumu ile mücadelede başarıya ulaşmak için oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, M., Azhar, U., Wasti, S., & Inam, Z. (2022). Interaction between population and environmental degradation. *The Pakistan Development Review*, 1135-1150. <https://doi.org/10.30541/v44i4iipp.1135-1150>
- Aggarwal, A., & Tiwari, G. (2014). Impact of Tourism on Livelihoods. *Atna Journal of Tourism Studies*, 9(1), 29-38. <https://doi.org/10.12727/ajts.11.3>

- Alevkayalı, Ç. And Tağıl, Ş. (2020). Edremit körfezi'nde tarımsal arazi kullanımı uygunluk düzeylerinin değerlendirilmesi. *Journal of Geography*. <https://doi.org/10.26650/jgeog2019-0028>
- Arcı, F. (2018). Pamukova'nın tarımsal sorunları ve çözüm önerileri: üretimde uzmanlaşma. *Türk Coğrafya Dergisi*, (70), 71-80. <https://doi.org/10.17211/tcd.365943>
- Atak, B. and APA>, Z. (2022). İzmir bornova ilçesi örneğinde arazi örtüsü/ alan kullanımının mekansal ve zamansal değişiminin analizi. *Artgrid - Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 4(2), 264-277. <https://doi.org/10.57165/artgrid.1204289>
- Aydoğdu, M. & Bakırcı, M. (2022). Tekirdağ şehri ve yakın çevresinde arazi kullanımının zamansal ve mekânsal değişiminin karşılaştırmalı analizi (1990-2020). *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 45, 298-319. <http://dx.doi.org/10.32003/igge.961076>
- Barbier, E. and Hochard, J. (2016). Does land degradation increase poverty in developing countries?. *Plos One*, 11(5), e0152973. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152973>
- Bayraktar, S. (2024). Directions of land degradation in the greater istanbul metropolitan area: a view from four decades. *Land Degradation and Development*, 35(5), 1656-1672. <https://doi.org/10.1002/ldr.5012>
- Bhattacharyya, R., Ghosh, B., Mishra, P., Mandal, B., Rao, C., Sarkar, D., ... & Franzluebbbers, A. (2015). Soil degradation in india: challenges and potential solutions. *Sustainability*, 7(4), 3528-3570. <https://doi.org/10.3390/su7043528>
- Bolca, M., Türkyılmaz, B., Kurucu, Y., Altınbaş, Ü., Esetlili, M., & Gülgün, B. (2006). Determination of impact of urbanization on agricultural land and wetland land use in balçovas'delta by remote sensing and gis technique. *Environmental Monitoring and Assessment*, 131(1-3), 409-419. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9486-0>
- Budak, M., Günal, H., Kiliç, O., & Acir, N. (2020). Tuzlu ve sodik arazilerde islah ve tarımsal faaliyetler sonrası arazi tahribatının dengelenmesinin izlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(2), 172-182. <https://doi.org/10.19159/tutad.720139>
- Ceylan, H. (2024). Sosyal hizmet öğrencilerinin iklim değişikliği farkındalıklarının ve kaygı düzeylerinin belirlenmesi. *Üniversite Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 131-143. <https://doi.org/10.32329/uad.1442686>
- Chu, L., Oloo, F., Chen, B., Xie, M., & Blaschke, T. (2020). Assessing the influence of tourism-driven activities on environmental variables on hainan island, china. *Remote Sensing*, 12(17), 2813. <https://doi.org/10.3390/rs12172813>
- Coşkun, S. (2023). The relationship between population growth and economic development in türkiye. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(2), 313-329. <https://doi.org/10.17541/optimum.1296107>
- Daujanov, A., Groeneveld, R., Pulatov, A., & Heijman, W. (2016). Cost-benefit analysis of conservation agriculture implementation in syrdarya province of uzbekistan. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 5(2), 48-52. <https://doi.org/10.1515/vjbsd-2016-0009>

- Demirel, B. and Şenol, S. (2019). Hızlı büyüme potansiyeline sahip yerleşim alanlarının detaylı toprak etütleri ve arazi değerlendirmeleri: Mustafalar köyü örneği, Adana. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(4), 711-721. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.622099>
- Ekinci, E. and Ökde, F. (2021). İklim değişikliğinin kırsal alanlara etkisinin muhtarlar üzerinden değerlendirilmesi: yozgat köyleri örneğinde. *Afet Ve Risk Dergisi*, 4(2), 300-318. <https://doi.org/10.35341/afet.993555>
- Enoguanbhor, E., Gollnow, F., Nielsen, J., Lakes, T., & Walker, B. (2019). Land cover change in the abuja city-region, nigeria: integrating gis and remotely sensed data to support land use planning. *Sustainability*, 11(5), 1313. <https://doi.org/10.3390/su11051313>
- Erdik, S. And Temurlenk, M. (2023). The effect of climate change on agricultural value added in context of development and regional differences: a panel data analysis on mediterrenian countries. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(2), 227-240. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.1231640>
- Erdoğan, C. (2024). Türkiye’de ve dünya’da bitki koruma ürünlerinin kullanımının değerlendirilmesi ve öneriler. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım Ve Doğa Dergisi*, 27(2), 382-392. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1402605>
- Fouzia, M. (2024). Energy consumption, economic growth and the environmental degradation in asian countries. *Journal of Education and Social Studies*, 5(1), 140-145. <https://doi.org/10.52223/jess.2024.5113>
- Gedik, Y. (2020). Döngüsel Ekonomiye Anlamak: Teorik Bir Çerçeve. *Turkish Business Journal*, 13-90.
- Gedik, Y. (2024). Turizmin yeşil yüzü: sürdürülebilir turizm faydaları, zorlukları ve stratejileri üzerine kavramsal bir çerçeve. *Ufuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(25), 44-65. <https://doi.org/10.58635/ufuksbedergi.1489323>
- Gümüş, M. (2024). Buffer ve network analiz teknikleri kullanılarak kentsel aktif yeşil alanlar için mekânsal yeterlilik ve erişilebilirlik analizi. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik*, 26(77), 281-290. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2024267712>
- Hurma, H. (2024). İklim Değişikliğine Uyumda Tarımsal Dışsallıkların Ekonomik Değeri ve Politika Entegrasyonu, İklim Değişimine Sosyal Ve Ekonomik Adaptasyon, Necmettin Erbakan Üniversitesi Yayınları, ISBN: 978-625-6208-92-6, Konya
- Istiqomah, N. (2023). Assessment of potential soil degradation on various land uses in keduang watershed. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1241(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1241/1/012014>
- Jiboye, J., Ikporukpo, C., & Olatubara, C. (2019). Causes of environmental degradation in the coastal areas of south west, nigeria. *European Journal of Sustainable Development Research*, 3(2). <https://doi.org/10.20897/ejosdr/3969>
- Kanat, Z. and Keskin, A. (2018). İklim değişikliği üzerine yapılan çalışmaların değerlendirilmesi. *Atatürk University Journal of Agricultural Faculty*, 49(1), 67-77. <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.343085>

- Kangalawe, R. and Lyimo, J. (2010). Population dynamics, rural livelihoods and environmental degradation: some experiences from tanzania. *Environment Development and Sustainability*, 12(6), 985-997. <https://doi.org/10.1007/s10668-010-9235-y>
- Karaoğlu, M. and ERDEL, E. (2022). İğdır ili arazi kullanımı/örtü değişiminin corine izlemesi ile değerlendirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(4), 2543-2557. <https://doi.org/10.21597/jist.1120071>
- Kartiasih, F. and Pribadi, W. (2020). Environmental quality and poverty assessment in indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(1), 89-97. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.1.89-97>
- Kathuria, V. and Balasubramanian, R. (2013). Environmental cost of using top-soil for brick-making. *Review of Market Integration*, 5(2), 171-201. <https://doi.org/10.1177/0974929214521892>
- Keloğlu, E. And Bayar, R. (2022). Identification of potential land use conflict areas in efeiler district of aydın province by lucis model. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 20(1), 161-190. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1060047>
- Khaokhrueamuang, A. (2014). Sustainability of rural land use based on an integrated tourism model in mae kampong village, Chiang Mai province, Thailand. *Geographical Review of Japan Series B*, 86(2), 157-173. <https://doi.org/10.4157/geogrevjapanb.86.157>
- Liu, Y., Su, C., Zhang, H., Li, X., & Pei, J. (2014). Interaction of soil heavy metal pollution with industrialisation and the landscape pattern in taiyuan city, china. *Plos One*, 9(9), e105798. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105798>
- Mahmoud, M., Duker, A., Conrad, C., Thiel, M., & Ahmad, H. (2016). Analysis of settlement expansion and urban growth modelling using geoinformation for assessing potential impacts of urbanization on climate in Abuja city, Nigeria. *Remote Sensing*, 8(3), 220. <https://doi.org/10.3390/rs8030220>
- Matcı, D. (2021). İç Anadolu bölgesi'ndeki tarım alanı değişimlerinin MODIS uydu verisi ile izlenmesi. *Turkish Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1002691>
- Merdan, K. (2024). Mevduat bankalarının kullandıkları tarımsal kredilerin tarımsal üretime etkisi: Karadeniz bölgesi'ne yönelik bir panel veri analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(3), 587-602. <https://doi.org/10.25287/ohuiibf.1430058>
- Mohammed, O., Cao, E., Aloqab, A., Akram, A., & Elayah, W. (2023). Impact of tourism development, energy consumption, urbanization on sustainable development: empirical evidence from the Qatar. *Carc Research in Social Sciences*, 2(1), 08-11. <https://doi.org/10.58329/criss.v2i1.18>
- Mutlu, N. (2020). Tarımsal üretim için entegre kaynak verimliliği. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.782364>
- Olgun, R. and Yilmaz, T. (2019). İmar planlarının peyzaj ekolojisi yaklaşımı ile değerlendirilmesi: niğde kenti örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(3), 770-779. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.528710>

- Ozpolat, A. and Özsoy, F. (2021). Do renewable energy sources reduce environmental degradation? the case of turkey. *Akademik Araştırmalar Ve Çalışmalar Dergisi (Akad)*, 13(24), 49-60. <https://doi.org/10.20990/kilisiibfakademik.794600>
- Örücü, Ö. and Arslan, E. (2020). Beyşehir gölü ve kızıladağ milli parki sınır değişikliğinin arazi örtüsü ve arazi kullanımı açısından analizi. *International Journal of Geography and Geography Education*, (41), 292-318. <https://doi.org/10.32003/igge.653647>
- Özyavuz, M. (2011). Tekirdağ Kent Merkezinin Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama ile İncelenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), 65-74
- Pan, X., Yang, Z., & Han, F. (2022). Exploring the historical evolution of tourism-environment interaction in protected area: a case study of mt. bogda. *Journal of Geographical Sciences*, 32(1), 177-193. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1941-5>
- Parmawati, R. (2023). Sustainable agriculture model development to control agricultural land conversion in kemiren tourism village, banyuwangi regency. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 9(SpecialIssue), 494-499. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9ispecialissue.6700>
- Qiao, C., Mao, Y., & Morrison, A. (2021). The influence of land use evolution on the visitor economy in wuhan from the perspective of ecological service value. *Land*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.3390/land11010001>
- Qasim, S., Shrestha, R. P., Shivakoti, G. P., & Tripathi, N. K. (2011). Socio-economic determinants of land degradation in Pishin sub-basin, Pakistan. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 18(1), 48-54. <https://doi.org/10.1080/13504509.2011.543844>
- Sadler, M., Millán, A., Swann, S. A., Vasileiou, I., Baedeker, T., Parizat, R., Germer, L. A., & Mikulcak, F. (2017). Making climate finance work in agriculture: Discussion paper. World Bank Group, <http://documents.worldbank.org/curated/en/986961467721999165>
- Salvati, L., Karamesouti, M., & Kosmas, K. (2014). Soil degradation in environmentally sensitive areas driven by urbanization: an example from southeast europe. *Soil Use and Management*, 30(3), 382-393. <https://doi.org/10.1111/sum.12133>
- Schneider, A. and Woodcock, C. (2008). Compact, dispersed, fragmented, extensive? a comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information. *Urban Studies*, 45(3), 659-692. <https://doi.org/10.1177/0042098007087340>
- Seifollahi-Aghmiuni, S., Kalantari, Z., Egidi, G., Gaburova, L., & Salvati, L. (2022). Urbanisation-driven land degradation and socioeconomic challenges in peri-urban areas: insights from southern europe. *Ambio*, 51(6), 1446-1458. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01701-7>
- Suhrab, M. (2024). Green road to sustainability: impact of urbanization on environmental degradation with infrastructure investment as moderator in belt and road initiative economies. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4004024/v1>

- Sujatha, E. and Sridhar, V. (2018). Spatial prediction of erosion risk of a small mountainous watershed using rusle: a case-study of the palar sub-watershed in kodaikanal, south india. *Water*, 10(11), 1608. <https://doi.org/10.3390/w10111608>
- Surya, B. (2023). Environmental quality deterioration in the mamminasata metropolitan new city area, south sulawesi, indonesia. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 13(4), 1258-1268. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.4.16974>
- Surya, B., Salim, A., Sariman, S., Hernita, H., Saleh, H., Suriani, S., ... & Rasyidi, E. (2022). Decline in environmental quality and spatial dynamics of new city area development metropolitan mamminasata, south sulawesi, indonesia. <https://doi.org/10.1101/2022.01.28.478145>
- Şeker, M., Kahrıman, F., Sungur, A., & Polat, B. (2023). Çanakkale'nin stratejik sektörü tarım 2.. <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub324>
- Tuan, N. (2021). Shrinking agricultural land and changing livelihoods after land acquisition in vietnam. *Bulletin of Geography Socio-Economic Series*, 53(53), 17-32. <https://doi.org/10.2478/bog-2021-0020>
- Uzan, H. (2023). The impact of climate change on rural development within the framework of sustainable development. *Fiscaoeconomia*, 7(3), 2250-2272. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1244829>
- Wang, J. and Liu, Y. (2013). Tourism-led land-use changes and their environmental effects in the southern coastal region of hainan island, china. *Journal of Coastal Research*, 290, 1118-1125. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-12-00039.1>
- Wang, T., Giuliani, G., Lehmann, A., Jiang, Y., Shao, X., Li, L., & Zhao, H. (2020). Supporting sdg 15, life on land: identifying the main drivers of land degradation in honghe prefecture, china, between 2005 and 2015. *Isprs International Journal of Geo-Information*, 9(12), 710. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120710>

İKLİME DUYARLI TARIM, TARIMSAL EKOLOJİ VE BİYOÇEŞİTLİLİK

İlker Nizam¹

¹Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tekirdağ Orcid: 0000-0001-9295-2719 inizam@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

Atmosferin üst katmanlarında bulunan doğal sera gazları dünyanın sıcaklık dengesini ayarlayarak, canlı yaşamın devamlılığını sağlamaktadır. İnsan faaliyetleri karbon dioksit, metan, kloroflorokarbon gibi sera gazlarını atmosferde artırmaktadır. Sera gazları emisyonlarında meydana gelen bu aşırı artış ise dünyanın normalden daha fazla ısınmasına neden olur. Ortaya çıkan iklim değişimi kuraklık, sel, yangın gibi doğayı ve kaynakları tahrip eden olayların artışıyla sonuçlanır. Bu durum dünya üzerindeki yaşamı olumsuz yönde etkilemektedir. Dünya üzerinde birçok ekosistemde, flora ve fauna içinde birçok tür küresel ısınma ve ekolojik çevre değişikliğinden etkilenmektedir. Türlerin sayısı azalmakta, yaşam alanları daralmakta ve şartları zorlaşmaktadır (Dursun vd., 2015). Biyoçeşitlilik insanların ve tüm canlı türlerinin güvencesi olan ekosistem hizmetlerinin ve işlevlerinin yerine getirilmesinde önemli etkiye sahiptir. İklim değişikliği ve arazi kullanımı, biyoçeşitliliğin karşı karşıya olduğu en büyük tehditler arasında yer almaktadır (Aksoy ve Atasagun, 2023). Biyoçeşitliliğin korunması ve iyileştirilmesi, insanların dünyada yaşamaya devam etmelerinin ve kaliteli bir yaşam sürmelerinin tek yoludur. Bu bakımdan iklim değişikliğine rağmen, biyoçeşitliliğin korunması büyük bir öneme sahiptir.

Trakya Bölgesi (TR21) coğrafik yapısı ve iklimsel özelliklerinden dolayı biyoçeşitlilik bakımından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Bu coğrafik konum ve iklimsel özellikler bölgenin tarımsal potansiyelini de olumlu yönde etkilemektedir. Nitekim, bölgede oldukça yüksek oranda olan kuru tarım alanlarında buğday ve ayçiçeği gibi ekonomik değeri yüksek ürünler sulama yapılmadan ülke ortalamasının oldukça üstünde verim değerlerine ulaşmaktadır. Fakat, iklim değişikliğinin yol açtığı yüksek sıcaklıklar ve kuraklık sorunu Trakya Bölgesinin tarımsal üretimini ve biyoçeşitliliğini olumsuz yönde etkilemeye başlamıştır. Örneğin, ayçiçeği yetiştiriciliğinde kuraklığın etkisi net olarak görülmektedir. Bölgenin sanayi bölgesi olması ve artan şehirleşme oranı da tarım arazilerini ve farklı canlı türlerini içinde barındıran doğal yaşam alanlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu alanların kullanım amaçları değişerek, canlı türlerinin yaşam alanlarının parçalanması ve bozulmasına, dolayısıyla doğal florada tür kayıplarına ve tarımsal alanların azalmasına neden olmaktadır. Bu makalede, Trakya Bölgesi açısından küresel iklim değişikliğinin tarım ve biyoçeşitliliğe etkileri belirtilerek, bu alanlarının yapılarının değiştirilmeden korunması olanakları değerlendirilecektir.

2. BİYOÇEŞİTLİLİK

2.1. Biyoçeşitlilik Nedir?

Biyoçeşitlilik; kara, deniz ve diğer su ekosistemleri ile bu ekosistemlerin bir parçası olduğu ekolojik konseptlerde dâhil olmak üzere tüm kaynaklardan canlı organizmalar arasındaki farklılaşma anlamındadır. Daha geniş bir tanımla; biyolojik çeşitlilik canlı organizmalar ile onların bulunduğu ekolojik ortamlar arasındaki çeşitliliği ve değişkenliği ifade eden dinamik bir sistem, ekosistem çeşitliliği ise bitki, hayvan ve mikroorganizma toplulukları gibi canlılar ile onların ilişkisi içinde yaşadıkları toprak, su, hava, mineraller gibi cansızların işlevsel olarak karşılıklı etkileşim içinde oluşturdukları dinamik bir bütün olarak ifade edilebilir (Çepel ve Ergun, 2002; Demir, 2009).

Yüksek tür çeşitliliği doğal sürdürülebilirlik için çok önemli olup, yaşamın çeşitliliğinin korunması insanoğlunun hayatta kalabilmesi için gereklidir. Biyoçeşitlilik birbiriyle yakından ilişkili 3 temel unsurdan oluşmaktadır. Bu unsurları tür çeşitliliği, genetik çeşitlilik ve ekosistem çeşitliliği olarak sıralayabiliriz.

Bu temel unsurlar veya bileşenler, birbirleriyle yakın ilişki içindedirler (Aksoy ve Atasagun, 2023).

- 1. Tür Çeşitliliği:** Belirli bir bölgede yaşayan farklı türleri ifade eder.
- 2. Genetik Çeşitlilik:** Canlılar arasındaki biyolojik ve fiziksel farklılıkları belirleyen gen farklılıklarının oluşturduğu çeşitlilik türüdür.
- 3. Ekosistem Çeşitliliği:** Bir ekosistemi oluşturan canlıların ve yer aldıkları ortamların farklılaşması ekosistem çeşitliliği ifade eder. Çöl ekosistemi (Şekil 1), yağmur ormanları ekosistemi (Şekil 2) örnek olarak verilebilir.



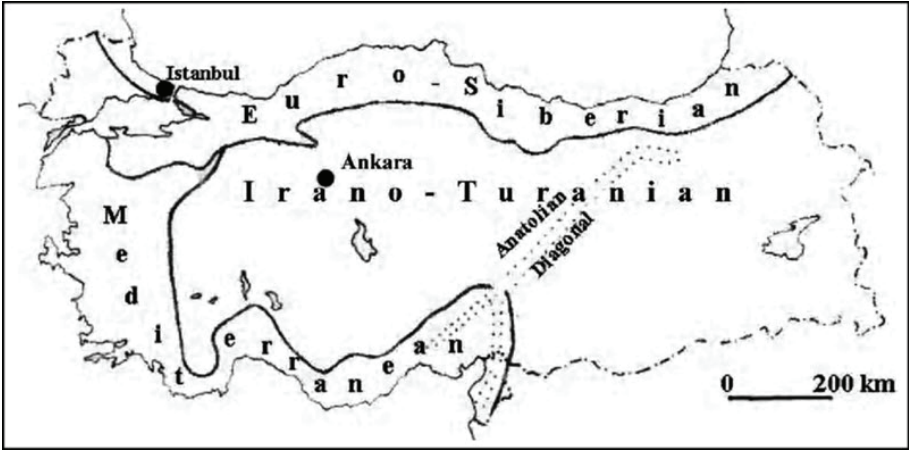
Şekil 1. Çöl ekosistemi
(Anonim, 2024 a).



Şekil 2. Yağmur ormanları ekosistemi
(Anonim 2024 b).

2.2. Türkiye'nin Biyoçeşitlilik Bakımından Durumu

Türkiye coğrafi ve iklim koşulları nedeniyle zengin bir biyoçeşitliliğe sahiptir. Mevcut olan bu zenginlik Türkiye'nin Avrupa ve Asya kıtalarının kesişim noktasında olan konumu ve değişen iklimsel özellikleri nedeniyle oluşmuştur. Türkiye'de üç floristik bölge kesişmektedir. Bu floristik bölgeler Avrupa-Sibirya, Akdeniz ve İran-Turan bölgeleridir (Şekil 3). Vavilov'un belirlediği orijin gen merkezlerinden ikisi olan Yakın Doğu gen merkezi ve Akdeniz gen merkezi Türkiye'dedir (Şehirli ve Özgen, 2012).



Şekil 3. Floristik bölgeler (Anonim, 2024 c).

Türkiye’de omurgasız hayvan türü sayısı yaklaşık 19.000’dir ve bunlardan yaklaşık 4000 tür/alttür endemiktir. Omurgalı hayvan türü sayısı 1500’e yakındır. Omurgalılarından, 70’i balık türü olmak üzere 100’ün üzerinde tür endemiktir. Anadolu 400’ü aşkın kuş türü, 130 kadar sürüngen ve 400’e yakın balık türü olmak üzere birçok canlıya ev sahipliği yapmaktadır (Anonim, 2024 d). Ülkemizin dünyanın iki büyük kuş göç yolu üzerinde olması kuşların beslenme ve üreme alanı olarak önemini artırmaktadır.

Türkiye coğrafyasında 8897 çiçekli bitki ve eğrelti türü doğal olarak yetişmektedir. Bu sayılar alt varyete ve hibritler ile birlikte 10765’e ulaşmaktadır. Ülkemizde kapalı tohumlu (çiçekli) bitkilerin (Angiospermae) 145 familyası mevcuttur. En zengin olan familya toplu çiçekliler (Asteraceae), ikinci sırada baklagiller (Fabaceae) ve üçüncü sırada buğdaygiller (Poaceae) familyası yer almaktadır (Özhatay vd. 2005).

Dünya üzerinde sadece belirli bir bölgede bulunan ve başka ekolojik şartlar altında yaşayamayan canlı türleri “endemik” olarak sınıflandırılmaktadır. Türkiye florasında 3403 endemik bitki türü bulunmakta olup, floranın yaklaşık 3’te 1 oranına ulaşmaktadır. Türkiye florasının yaklaşık olarak 3’te 1 oranına sahiptirler. Türkiye florasında endemik tür bakımından en zengin familya Asteraceae, en fazla endemik türde Astragalus cinsi altında yer almaktadır.

ılıman iklim kuşağında başka hiçbir ülkede görülmeyen bu endemizm oranına ancak tropik iklim ve izole adalarda rastlanabilir (Özhatay vd. 2005).

Türkiye ılıman iklim kuşağında kültürü yapılan hububat, baklagiller, yem bitkileri, ağaclar ve taş çekirdekli meyveler gibi ekonomik ürünlerin gen merkezi olması bakımından oldukça önemlidir. Ülkemiz hâlihazırda zengin olan biyolojik çeşitliliğini korumak, gelecek nesillerin de doğal kaynaklardan sürdürülebilir bir şekilde yararlanmasını sağlamak çok kritik bir öneme sahiptir.

2.3. Trakya Bölgesinin (TR21) Biyoçeşitlilik Bakımından Durumu

Türkiye'nin Marmara Bölgesi sınırları içinde bulunan Trakya kesimi (TR21) Avrupa kıtası topraklarında yer almaktadır. Bölge Avrupa-Sibirya ve Akdeniz floristik bölgelerin içindedir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan Trakya Bölgesi iklim yapısı itibarı ile biyoçeşitlilik bakımından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Trakya Bölgesi'nin florasında yaklaşık 2370 çiçekli bitki ve eğrelti içerir. Bunların 56'sı endemiktir. Özhatay vd. (2005) Marmara Bölgesi'nin biyoçeşitliliğini değerlendirdikleri eserlerinde Trakya için önemli 9 alan vurgulamışlardır. Bu alanlar;

1. Meriç Deltası (Edirne)
2. Kuzey Saroz Kıyıları (Edirne)
3. Ergene Havzası (Edirne-Kırklareli)
4. Istranca Dağları (Kırklareli)
5. İğneada Longozu (Kırklareli)
6. Terkoz-Kasatura Kıyıları (İstanbul - Kırklareli)
7. Ağaçlı Kumulları (İstanbul)
8. Kilyos Kumulları (İstanbul)

Batı İstanbul Meraları (İstanbul)'ndan oluşmaktadır.

Trakya Bölgesi biyoçeşitliliğine önemli katkısı bulunan bu alanları Özhatay vd. (2005)'den kısaca özetlememiz bölgenin zenginliğini anlamamız açısından faydalı olacaktır.

Meriç Deltası: Meriç nehri vadisinde yer alan su basan ovada bataklık bitki toplulukları, kıyı lagünleri ve tatlısu göllerinin bir karışımı Meriç deltasını oluşturmaktadır. Meriç nehri sulakalan sistemi eskiden 24 000 ha alan kaplarken, günümüzde 3500 ha'a kadar azalmıştır. Gala gölü ve kıyı lagünleri biyoçeşitlilik bakımından zengin bir bitki topluluğunu içerir. Florasında *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton pectinatus* ve *Nymphoides peltata*, *Ceratophyllum demersum*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Lemna gibba*, *Lemna minör* vb. türler mevcuttur. Sulak alan sisteminin kenarı *Plantago maritima* (Şekil 5), *Polygonum monspeliensis* baskın olduğu hafif tuzlu meralardan oluşmaktadır.

Meriç deltası su kuşlarına ev sahipliği yapar. Bölgede bulunan su kuşu türlerine küçük balaban (Şekil 4), gece balıkçılı, alaca balıkçıl, erguvani balıkçıl, çeltikçi, kaşıkçı, bataklık kırlangıcı, küçük sumru örnek olarak verilebilir (Özhatay vd., 2005).



Şekil 4. Küçük Balaban
(Anonim, 2024 e).



Şekil 5. *Plantago maritima* (Anonim, 2024 f).

Endüstriyel ve tarımsal atıklar, yerleşim alanlarından arıtılmadan sulak alan sistemlerine akıtılan kanalizasyon, tarım alanlarının sulanması sonucu kurak aylarda su seviyesinin düşmesi karşı karşıya kaldığı tehditler arasında

yer alır. Özellikle, Meriç havzasında çeltik yetiştiriciliği oldukça yoğundur. (Özhatay vd., 2005). Çeltik yetiştiriciliğindeki artışlar doğal bitki örtülerinin daha fazla tahrip edilmesine yol açmaktadır. Bu da biyoçeşitlilik üzerindeki olumsuz baskıyı arttırmaktadır. Meriç nehrinin suyu yaz ayları boyunca çeltik sulama suyu olarak kullanılmaktadır. İklim değişikliği ile birlikte yaz aylarındaki su miktarının da azalması ve çeltik alanlarının genişlemesi birleşince sulak alanlar üzerindeki olumsuz etki daha da artmaktadır

Kuzey Saros Kıyıları: Saros körfezi kıyı şeridi boyunca uzanan kumullar, hafif tuzlu lagün ve hafif tuzlu mera, sarp kayalık, kızılçam ormanı ve maki bitki topluluklarından oluşan zengin bir habitat çeşitliliği içerir. Kuzey Saros kıyılarında nadir taksonlar yer almaktadır. *Dianthus capitatus*, *Dianthus ingoldbyi*, *Ephedra distachya* ssp. *monostachya*, *Silene fabaroides*, *Silene frivaldskyana*, *Silene skorpilii*, *Trachelium jacquinii*, *Trifolium ornithopodioides* bölgedeki önemli türlerdir.

Bölge maki bitki örtüsüne sahiptir. Bitki örtüsünde meşe, *Cistus* spp., *Colutea cilicica*, *Olea europaea* var. *sylvestri*, *Paliurus spina-christi*, *Phillyrea latifolia*, *Quercus coccifera*, *Rhus coraria*, *Rubus fruticosus* agg. mevcuttur. Kıyı boyunca kumullarda *Aurinia uechtritzi*, *Centaurea polyclada*, *Chondrilla juncea* gibi önemli bitki türleri bulunmaktadır (Özhatay vd., 2005).



Şekil 6. Meşe Ağacı (Anonim 2024 g).

Kuzey Saros kıyıları doğal sit alanı olarak kısmen koruma altındadır. Bununla birlikte, özellikle kontrolsüz ve hızlı yazlık ev yapılaşması deneniyle büyük bir tehdit altındadır. İnşaat malzemesi olarak kum çıkarımı da kumul bitki örtüsü ve nadir kumul bitkilerini tehdit etmektedir.

Ergene Havzası: Trakya Bölgesi'nin ortasında yer alan Ergene nehri boyunca kuru *Bromus/Festuca* relikt mera parçaları ve Trakya Bölgesi'ne özgü karaçalı (*Paliurus spina-christi*) topluluklarını içerir. Alanda bulunan nadir taksonlar *Fritillaria sribnyi*, *Mibora minim*, *Onosma proponticum*, *Paeonia tenuifolia*, *Salvia nutans*, *Silene frivaldskyana*'dır (Özhatay vd., 2005).

Ergene Havzası çalı ve mera toplulukları tarım arazilerinin genişlemesinden dolayı tehdit altındadır. Hayvansal üretimin sürdürülebilirliği bakımından bu alanların tahrip edilmeden korunması gerekmektedir.

Istranca Dağları: Istranca Dağları 1031 m yüksekliğiyle Trakya Bölgesi'nin en yüksek dağ silsilesidir. Küçük çalı ve mera topluluklarıyla birlikte büyük ölçüde orman bitki örtüsüyle kaplıdır. Toplam 600 takson içeren florasında, başta *Symphytum pseudobulbosum*, *Cylamen coum*, *Vaccinium arcstostophylos*, *Veronica turrilliana* olmak üzere ülke çapında nadir 39 takson bulunmaktadır (Özhatay vd., 2005).

Istranca Dağlarında su ihtiyacını karşılamak için yapılan barajlar ve yapılar nedeniyle zarar görmekte ve su rejimi değişmektedir. Su rejimindeki bu değişim biyoçeşitliliğe doğal olarak zarar verecektir. Ayrıca orman içi mera alanlarında aşırı otlatmadan kaçınılmalıdır. Bazı ormancılık faaliyetleri biyoçeşitliliğe zarar vermeden kontrollü olarak yürütülmelidir.

İğneada Longozu: Subasar orman, kalkerli turbalık, bataklık ve kumul bitki topluluklarının bir karışımını içeren zengin bir bitki örtüsüne sahiptir. İğneada Longozu Türkiye'de yalnızca burada kayıtlı *Centaurea arenaria* gibi ülke çapında nadir en az 11 tür içerir. Avrupa'nın güneydoğusuna uzanan dişbudak, meşe ve kızılğaç karışık orman tipinin Türkiye'deki en önemli örneklerinden biridir. Alan korunan bitki türlerinin bulunduğu zengin kumul ve sulakalan florası nedeniyle oldukça önemlidir (Özhatay vd., 2005).

İğneada Longozu (Şekil 7) su kaynaklarının, su temini amacıyla kullanılması nedeniyle subasar orman ve diğer sucul habitatlar tehdit altındadır. Yazlık yapımı, kum çıkarımı ve turizm faaliyetleri tehdit oluşturmaktadır.



Şekil 7. İğneada Longozu (Anonim, 2024h).

Terkos-Kasatura Kıyıları: Terkos gölü ve civarındaki zengin sucul, bataklık, kumul, fundalık ve orman habitatlarını içerir. Özellikle tatlısu ve kumul ekosistemleriyle Türkiye'deki en zengin flora'ya sahip alanlardan biridir ve yaklaşık 575 takson kayıt edilmiştir. Florasında 8 küresel ölçekte tehlike altında olan tür ve ülke çapında 73'ten fazla nadir takson vardır. Önemli sulak alan bitkileri arasında *Stratiotes aloides*, *Vallisneria spiralis*, *Trapa natans* ve önemli kumul bitkileri arasında *Aurinia uerchtritziana*, *Festuca beckeri*, *Isatis arenaria*, *Linum tauricum* ssp. *bosphori*, *Silene sangaria*, *Verbascum degenii* örnek olarak verilebilir (Özhatay vd., 2005). Terkos-Kasatura kıyıları İstanbul ilinin içme suyu koruma havzası olarak koruma altındadır. Buna rağmen, su rejimini değiştiren çalışmalar ve konut yapımı gibi ciddi tehditlerle karşı karşıyadır.

Ağaçlı Kumulları: Ağaçlı kumulları İstanbul'un Karadeniz kıyılarında Terkos Kilyos arasında yer alır. Küçük parçalar hâlinde olmasına karşın nadir kumul türlerine sahiptir. Florasında ülke çapında nadir 14 kumul bitki türüne sahiptir (Özhatay vd., 2005).

Ağaçlı kumulları uzun yıllar boyunca işletilen geniş çaplı açık linyit işletmeleri nedeniyle büyük kayıplara uğramıştır. Ayrıca, kum çıkarımı nedeniyle tehdit altındadır. Ayrıca bilinçsiz ağaçlandırılma çalışmaları da başka bir sorundur.

Kilyos kumulları: İstanbul'un Karadeniz kıyılarında fundalık, mera ve asit karakterli bataklık ormanlarla sınırlandırılmış geniş kumullar içerir. Ülke çapında nadir 15 bitki taksonu barındırır. Bitki türleri arasında *Alyssum stribrnyi*, *Convolvulus persicus*, *Festuca beckeri*, *Silene sangaria*, *Verbascum degeenii* bulunmaktadır (Özhatay vd., 2005).

Kilyos Kumulları için en önemli tehditler yerleşim yeri olarak kullanımının artması ve linyit kömürü çıkaran maden işletmelerinin bulunmasıdır.

Batı İstanbul Meraları: İstanbul şehrinin hemen batısındaki tepeler üzerinde bozulmadan kalmış kalkerli meralardır. Çok zengin bitki örtüsüne ve kireçli topraklar üzerinde yetişen nadir pek çok bitkiye ev sahipliği yapmaktadır. Bu nadir bitkilere *Amsonia orientalis*, *Cyclamen coum*, *Onosma proponticum*, *Thymus aznavourii*, *Veronica turrilliana* örnek olarak verilebilir (Özhatay vd., 2005).

Batı İstanbul meraları tarım alanına dönüştürülmektedir. Yoğun bir şehirleşme mevcuttur. Ayrıca, kum ve linyit kömürü çıkarma gibi madencilik faaliyetleri, su kaynaklarının bilinçsiz kullanımı, sulakalanların kurutulması, çöp/hafriyat dökümü ve doğal bitkilerin ticaret amacıyla toplanması gibi tehditlerle karşı karşıyadır.

3. EKOLOJİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Ekoloji; organizmaların yaşadıkları biyotik ve abiyotik çevre ile olan karşılıklı ilişkilerini, çevrenin strüktür ve fonksiyonunu, biyolojik, fizyolojik ve biyokimyasal esaslara dayanarak inceleyen bilimdir (Çepel ve Ergun, 2002).

Ekolojik acidan çevreyi oluşturan faktörler 3 başlıkta toplanabilir.

1-İklim Faktörleri, 2- Toprak Faktörleri, 3- Biyolojik Faktörler

İklim faktörleri; Işık, sıcaklık, yağış, hava ve rüzgâr gibi unsurları içerir.

Toprak faktörleri; toprak sıcaklığı, toprak suyu, toprak havası, toprak fiziki ve toprak kimyası gibi toprak ile ilgili konuları kapsar.

Biyolojik faktörler ise; toprak üstünde ve toprak altında yaşayan tüm canlı faktörleri içine almaktadır.

Çevreyi oluşturan bu faktörlerden iklim faktörlerinin etkisi, tüm canlılar üzerinde özellikle de bitkilerde diğer faktörlere göre daha belirgindir. Toprak faktörleri bitkiler için uygun yetiştirme ortamı yaratacak şekilde değiştirilebilir. İklim ise değiştirilmesi pek mümkün olmayan bir faktördür (Gençtan, 2012).

Ekstrem sıcaklıklar, normalin altında çok düşük ve normalin üzerinde çok yüksek olduklarında bitkilerde büyüme ve gelişmenin yavaşlamasına, durmasına hatta ani ölümlere sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde kalmış bitkilerde solunum, fotosentez ve transpirasyon gibi fizyolojik olaylarda denge bozulur ve hücre içinde biyokimyasal olaylarda aksamalar görülmektedir. Bu da bitkilerde önemli zararlara yol açmaktadır (Gençtan, 2012).

İklim değişikliğinin etkileri özellikle en yıkıcı olanları, ekstrem olayların sıklığı ya da şiddetindeki artışlar ile bağlantılı olanlardır. Kutup buzullarının erimesi, sıcak hava dalgaları, tropikal kasırgalar en önemlileridir. Dünyanın ısınma eğilimi eşit coğrafi bir dağılış göstermemektedir. Uzun süreli ısınma eğilimi Türkiye'nin içinde bulunduğu 40 °K ve 70 °K enlemleri arasında oldukça yüksek görülmektedir. Biyolojik çeşitlilik hızlı iklim değişiminden en fazla etkilenen ve etkilenecek sistemdir.

3.1. İklim Değişikliğinin Ekosistemlere Etkisi

Geçen yüzyılda biyolojik çeşitlilik ve ekosistemler belirgin bir şekilde çevresel gelişmeler sonucunda hiç görmediği kadar zarara uğramıştır. Tahribatın başlıca nedenleri arasında yanlış arazi kullanımı, kirlenme, ormanların yok olmasına bağlı olarak gerçekleşen küresel iklim değişikliği önemli yer tutmaktadır. Bu faaliyetler ekosistemlerin hem yapısını hem de fonksiyonlarını tahrip ederek, doğal biyolojik dengenin bozulması ile sonuçlanmaktadır (Aksoy ve Atasagun, 2023).

Ekosistemlerin ve biyolojik çeşitliliğin olumsuz etkilenmesi bazı türlerin yok olmasına, bazı türlerin habitat değiştirmesine, göç etmesine, bazı türlerde de popülasyon artışına yol açmaktadır. İklim değişikliği doğal biyolojik çeşitliliğin değişime uğraması, organizmaların birbirleriyle ve çevreleriyle olan etkileşimlerinin değişmesi, ekolojik besin halkasında olası kopmalar gibi sonuçlar doğuracaktır (Demir, 2009). İklim değişikliğinin farklı ekosistemlerdeki etkileri aşağıda değerlendirilmiştir.

3.1.1. İklim değişikliğinin su ekosistemlerine etkisi

İklim değişikliğinin olumsuz etkisi su ekosistemlerinde daha hızlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu etkiler habitatlara özgü türlerin değişmesine, canlı türlerin üretkenliğini yitirmesine ya da göç etmesine neden olmaktadır. Örneğin; buzulların erimesi başta kutup ayıları ve kral penguenleri ve onların habitatlarını tehdit etmektedir. Sonuç olarak, kutup ayıları ve penguenlerin besin bulmalarını zorlaştırmaktadır. Giderek azalan deniz buzlarını yaşam alanı olarak kullanamayan hayvanlar, karada zaman geçirmekte ve yeterince beslenememektedir. Aynı şekilde su ekosistemlerinin aşırı ısınması planktonların zarar görmesine balıkların üretkenliğinin azalmasına, göç etmesine ve su ekosistemlerinde besin zincirinin kopmasına neden olmaktadır. Örneğin; somon balıkları üretkenliğinde %20 azalma saptanmıştır. Göç, besin bakımından bu türlere bağımlı olan diğer canlıların geleceğini tehdit etmektedir (Demir, 2009).

Gelecekte, iklim değişikliğine bağlı olarak deniz akıntılarında, deniz ekosistemlerinde ve balıkçılık alanlarında, önemli ekolojik ve sosyoekonomik sorunlar meydana getirilebilir. Trakya Bölgesi'ne kıyı şeridi bulunan Karadeniz üzerinde iklim değişikliğinin sonucu ortaya çıkan olumsuzlukların yer aldığı gazete haberleri sık sık basında yer almaktadır (Şekil 8 a, b, c).



İklim değişikliği Karadeniz'i vurdu: Hamsi yok

Su Ürünleri Kooperatifleri Merkez Birliği Yönetim Kurulu Başkanı Ramazan Özkaya, iklim değişikliğinin Karadeniz'de balık avcılığını olumsuz etkilediğini belirterek, "Karadeniz'de su sıcaklığının yüksek olmasından dolayı balıklarımızın avcılık yapmakta zorlanıyor, özellikle hamsi yakalayamıyor" dedi



Su Ürünleri Kooperatifleri Merkez Birliği Yönetim Kurulu Başkanı **Ramazan Özkaya**, 1 Eylül itibarıyla denizlerde av sezonunun başladığını anımsatarak, balıkların yoğun bir mesai içinde olduğunu söyledi. Son yıllarda tüm dünyada hissedilen iklim değişikliğinden balıkçılık sektörünün de etkilendiğine dikkati çeken Özkaya, "Karadeniz'de deniz suyu sıcaklığı 19

Sıcaklık artışıyla Karadeniz'e yayılan türler deniz ekosistemini tehdit ediyor



Görsel Kervan | 31.07.2024
İklim Değişikliği
İstanbul

Uzmanlar, deniz suyu sıcaklıklarındaki artış dolayısıyla Akdeniz'den Karadeniz'e yayılan deniz canlılarının ekosistem dengelerini olumsuz etkileyerek Karadeniz'i "Akdenizleştirilebileceğini" belirtiyor.

AA'nın iklim krizinin balıkçılık sektörü üzerindeki etkilerine yönelik hazırladığı

Şekil 8. a, b, c. Trakya Bölgesi'ne kıyı şeridi iklim değişikliğinin sonucu ortaya çıkan durumla ilgili basın haberleri (a (Anonim, 2024 i); b (Anonim, 2024 j); c (Anonim, 2024 k).

Sıcaklık artışları ve yağış azalmaları, deltadaki ya da iç bölgelerdeki sulak alanların ve sığ göllerin kurumasına, bunun sonucunda da biyolojik çeşitliliğin zayıflamasına ya da yok olmasına neden olabilecektir (Türkeş, 2008). Bunun örnekleri Trakya Bölgesi'nde sıklıkla görülmeye başlanmıştır. Örneğin, Edirne İli sınırlarındaki bir gölün ağustos ayında çekilmiş bir görüntüsünde yağış azalması ve sıcaklık artışı sonucunda buharlaşma nedeniyle kuruduğu görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Edirne İli sınırlarındaki bir gölün ağustos ayında çekilmiş bir görüntüsü.

Su kaynaklarının zarar görmesi sonucu oluşabilecek aşırı kuraklık, toprağın doğal yapısını yitirmesine, tuzlanma, çoraklaşma gibi birtakım olaylarla canlıların gerek yaşama alanı gerekse tür bakımından çeşitliliğini tehlikeye sokacaktır.

Yeraltı suları ve tabansuyu: Yeraltı suyu, özellikle kuraklık sırasında bitkiler için kritik bir su kaynağıdır. Sürekli yeraltı suyu mevcudiyeti, büyük ölçüde ekolojik habitatların varlığı ve olumsuz koşullar dönemlerinde biyolojik çeşitliliğin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu konuda araştırmalar yapan Zeng vd. (2021), Land ve Peters (2023) ve Glanville vd. (2023) yeraltı suyu zenginliği ve tabansuyu seviyesinin biyoçeşitlilikte değişime neden olduğunu belirtmektedirler. Trakya bölgesinde kuraklık sebebiyle düşme eğiliminde olan tabansuyu seviyesi de bölgedeki biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkileyecektir.

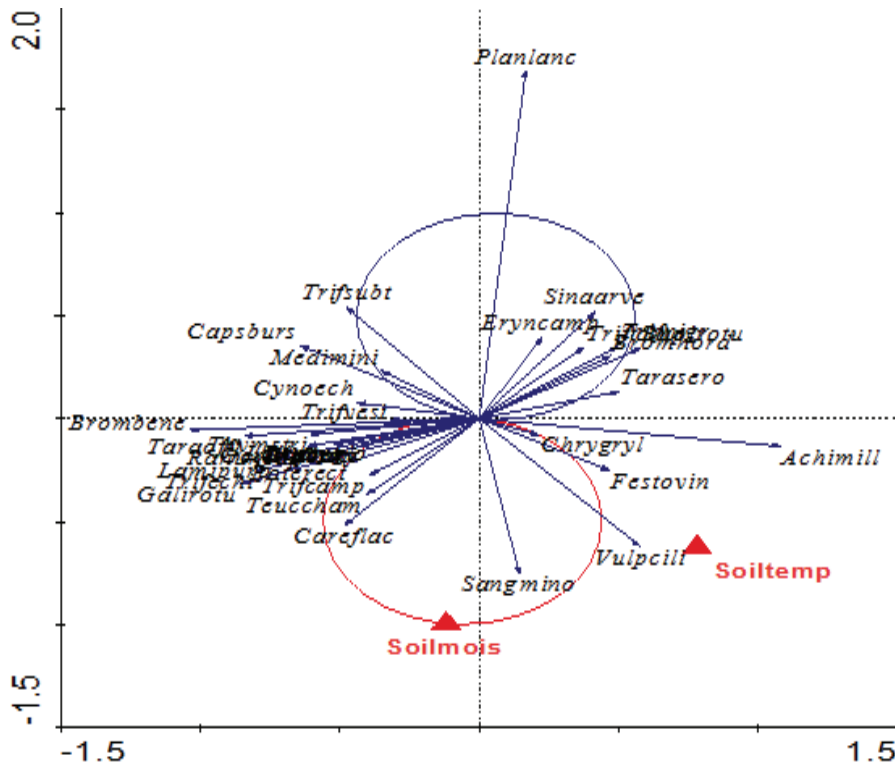
3.1.2. İklim değişikliğinin kara ekosistemlerine etkisi

Karasal ekosistemlerdeki biyolojik çeşitlilik de ciddi risk altındadır. Bu koşullar altında bütün türlerin %15-37'sinin 2050 yılı itibarı ile küresel olarak neslinin tükeneyeceği öngörülmektedir (Demir, 2009). Özellikle tropikal ve orta kuşak ormanları, bitki ve hayvan türleri önemli ölçüde zarar görecektir, adaptasyon sürecini olumsuz etkileyecek, bu arada da yeni koşullara uygun yeni türlerin ortaya çıkması da söz konusu olabilecektir. Özel ve belli sınırlı koşullarda yaşamını sürdüren bitki türleri başta olmak üzere, türlerin yok olmasını hızlanacağı düşünülmektedir (Clarke, 2007).

Bitki türlerinin yok olması, toprak yapısındaki değişime bağlı olarak mikroorganizmaların yok olması, dağ buzullarının erimesi ile bitki ve hayvan türlerinin kaybolması, kuşların göç yollarının uzaması, adaptasyon süreçlerinin olumsuz etkilenmesi gibi birçok ekolojik değişiklik meydana gelecektir. Yağışlarda meydana gelmesi beklenen azalmalar, orman yangınlarının daha sık ortaya çıkması, toprak erozyonunun artması ve bazı türlerin yok olması sebebiyle tür zenginliği azalabilecektir (Demir, 2009).

İklim değişikliğinin ağaç ve bitki türlerinin adaptasyon koşulları ve büyüme mevsimini de büyük ölçüde etkileyeceği tahmin edilmektedir. İklimde görülen değişimlere türlerin tepkileri farklı şekillerde gerçekleşebilmektedir. Bazı türler sıcaklık artışıyla daha iyi gelişme koşullarına sahip olurken, bazı türler bu koşullardan olumsuz şekilde etkileneceklerdir. Mevcut türlerin yerini daha yüksek sıcaklıklara veya artan kuraklık stresine daha iyi adapte olabilen türler de alabilecektir (Demir, 2009).

Trakya Bölgesi'nde yapılan bir çalışmada Şen ve Öztürk (2017), Kırklareli ili Lüleburgaz İlçesi doğal merasında toprak sıcaklığı ve nemine bağlı olarak bitki türlerinin vejetasyondaki değişimlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada toprak nemi azalışı ve toprak sıcaklığının artmasına bağlı olarak vejetasyonda çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.) türünün azaldığı belirtmektedirler (Şekil 10). Çok yıllık çim Trakya Bölgesi doğal meralarında yaygın olarak bulunan bir türdür. İklim değişikliğine bağlı olarak mera vejetasyonlarında nemin azalması, taban suyunun daha derinlere inmesi ve sıcaklık artışları, bölge mera alanlarında bu türün varlığının azalacağını göstermektedir. Hayvan besleme açısından oldukça önemli olan bu türün bölge meralarında azalması hayvansal üretimimiz için olumsuz etki oluşturacaktır.



Şekil 10. Mera toprak nemi ve sıcaklığı-Bitki türü ilişkisi (Şen ve Öztürk, 2017).

Ülkemizde potansiyel risk altında olan bir diğer bitki grubu ise geofit olarak adlandırılan soğanlı bitkilerdir. 600 soğanlı bitki türünün 300'e yakını endemik özellik göstermektedir. Kış ve erken ilkbaharda çiçeklenen bu bitkiler kış yağışlarının azalması özellikle kış sıcaklığının artmasından olumsuz etkilenmektedirler.

İklim değişikliği özellikle endemik türler için büyük sorun yaratmaktadır. Yalnızca bölgesel özellik taşıyan, endemik ve dar yayılış alanına sahip olan türler, artan sıcaklık ve azalan yağışa bağlı olarak, daha fazla risk altına girebilir veya tamamen ortadan kalkabilir. Özellikle dağlık ve yüksek alanlardaki bitkilerin uygun göç alanı bulamaması iklim değişikliği baskısını artırabilecektir. Yaklaşık 12 bin bitki çeşidinin yetiştiği ülkemizde 3000'den fazla endemik tür bulunmakta ve bunun bir kısmı dar yayılış alanına sahiptir. Göller bölgesi 900 endemik tür içermekte, bunun 48'i yok olma tehdidi altındadır (Demir, 2009).

Sıcaklık artışına bağlı yangınlarda artış görülmektedir. Özellikle Akdeniz bölgesinde yangınlar sonucu yüz binlerce ağaç türü, bitki, böcek, mikroorganizma türü ile birlikte milyonlarca dekarlık orman arazisi yok olmuş ve yok olmaya da devam etmektedir. Yangınların ormanda yaptığı etkiler iki grupta toplanabilir.

1. Yangının doğrudan etkisi; ormanları, tohumları, ölü örtüyü, toprak vejetasyonunu ve orman yaban hayatını zarara uğratması ve
2. Yangının dolaylı etkisi; biyotik, iklimatik ve edafik etkenlerin değişmesi olarak belirtilebilir.

İklim değişikliğine bağlı olarak toprak yapısında meydana gelecek değişim toprağın mikroorganizma çeşitliliğini de doğal olarak etkileyecektir. Yangın ve kuraklıktan etkilenen birçok mikroorganizmanın yok olması veya yeni koşullara adaptasyon göstermesi, yeni türlerin ortaya çıkması diğer canlıları da etkileyecektir. Toprağa bağlı türlerin ve mikroorganizma çeşitliliğinin değişmesi besin zincirinde değişmelere neden olabilecektir (Demir, 2009).

İklim değişiminden etkilenecek diğer bir grup ise kuşlardır. Kuşlar yedikleri bitki tohumlarını göç ettikleri başka alanlara taşıyarak türlerin yayılmasına yardımcı olmaktadır. Kuş popülasyonlarındaki değişiklikler, biyolojik çeşitliliği ve ekosistem fonksiyonlarını doğrudan etkileyecektir. Kış sıcaklıklarında görülen artışlar nedeniyle çoğu kuş türünün hayatta kalma oranının artacağı öngörülmektedir. Kış aylarını Avrupa'da geçiren bazı Avrupalı kuş türlerinin hayatta kalma oranı, kış sıcaklığındaki 1 °C'lik artış karşısında, türlere göre değişmekle beraber, %2 ile %6 arasında artış göstermektedir. Yapılan gözlemler dünyadaki kuş türlerinin 1/8'ini oluşturan 1211 kuş türü, iklim değişikliği nedeni ile toptan yok olma tehdidiyle karşı karşıya olduğunu göstermektedir (Demir, 2009). Ülkemizin dünyanın iki büyük kuş göç yolu üzerinde olması kuşların beslenme ve üreme alanı olarak önemini artırmaktadır.

4. SONUÇ

Trakya Bölgesi (TR21) gerek coğrafik yapısı gerekse iklimsel özelliklerinden dolayı biyoçeşitlilik bakımından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Bölgenin zengin biyoçeşitliliği ise tüm dünyada olduğu gibi küresel iklim değişikliği tarafından tehdit altında bulunmaktadır.

Son yıllardaki ekstrem sıcaklık artışları orman yangınlarının artmasına, mera ve otlak alanlarında bitki çeşitliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bitkiler, artan sıcaklığın atmosferdeki olumsuz etkisini azaltmaktadır. Bitki biyoçeşitliliğinin azalması sonucu bitkilerin oluşturduğu olumlu etki azalacak ve küresel sıcaklıktaki artışların hızlanma olasılığı yükselecektir.

Kuraklık etkisi orman alanlarının azalmasıyla daha da belirgin hâle gelmektedir. Ormanlar yağış alma ve su tutma yönünden oldukça yüksek bir etkiye sahiptirler. Azalan orman alanları kuraklık artışıyla birlikte erozyona açık alanları da oluşturmaktadır. Yağış rejiminin değışmesi sonucu mera ve otlak alanlarındaki bitki çeşitliliğinin azalması kuraklık etkisini arttırmakta ve erozyona açık alan meydana getirmektedir. Toprak biyoçeşitliliğinin azalması topraktaki organik maddenin azalmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda tarımsal kuraklık daha fazla etki göstermektedir.

Orman, mera ve çayır alanlarının tahribatı, bitki ile kaplı alanların azalması sonucu azalan bitki örtüsünün aşırı yağışlara karşı koruyucu etkisi ortadan kalkmaktadır. Akarsu kıyılarındaki çayır ve benzeri bitki örtülerinin tahribatı ani su baskınlarının artmasına neden olmaktadır.

Arazi kullanım değışiklikleri yaşam alanlarının parçalanması ve bozulmasına, dolayısıyla tür kayıplarına neden olmaktadır. Bu bakımdan, Trakya Bölgesi biyoçeşitliliğinin kaynak noktaları olan orman, mera ve çayır vb. alanların korunması ve geliştirilmesi küresel iklim değışikliği ile mücadelede en önemli konulardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu amaç doğrultusunda arazi tahribatının önlenmesi ve biyoçeşitliliğin korunması için orman alanlarında alınacak tedbirlerden bazıları şu şekilde sıralayabiliriz.

- a. Aşırı göç sonucu hızlı ve dağınık şehirleşmenin getirdiği baskıların azaltılması,
 - Şehirlerde yeşil alan ve parkların artırılarak ormanlar üzerindeki baskıyı azaltmak,
 - Orman alanlarının kullanımının kontrollü bir şekilde yapılması,
 - Orman alanların vasfının değıştirilmeden korunması,
- b. Orman yangınlarının önlenmesi,
 - Yangınların yoğun olduğu yaz aylarında piknik ve benzeri kullanımların yasaklanması,

- Oluşabilecek olası yangınlara müdahale amaçlı teknik donanım ve ekipmanların yeterli seviyeye getirilmesi,
 - Yangın hızını kesici yol ve yangın koridorlarının oluşturulması,
 - Orman yangınlarının hızının azaltılması için ağaç türlerinin çeşitlendirilmesi,
- c. Eğimli arazilerde erozyon kontrolü için toprağı tutan çalı ve maki formasyonlarının korunması,
- Bitki örtüsünün korunması tedbirlerinin alınması,
- d. Orman alanlarındaki maden faaliyetlerinin yarattığı arazi tahribatın önlenmesi/en aza indirilmesi,
- Maden alanlarının kullanımdan sonra arazinin eski hâline dönmesi için gerekli önlemlerinin alınması,
 - Maden alanları açılırken fayda- zarar skalası göz önünde bulundurulması,
- e. Altyapı yatırımlarında bölgede yaşayan vahşi hayvanlar için geçiş koridorlarına yer verilmesi,
- Vahşi yaşam için oluşturulan geçiş koridorlarının korunması ve sayılarının artırılması.

Su kaynakların korunması oluşabilecek aşırı kurak dönemlerdeki tarımsal açıdan çok önemlidir. Bölgenin sanayi yönünden gelişmiş olması su ihtiyacını daha da arttırmaktadır. İstanbul gibi büyük bir şehirde varlığı günlük hayatta kullanılan su miktarının da çok yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Trakya Bölgesi üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen su kaynakları bakımından maalesef yeterli seviyede değildir. Bölgede Meriç ve Ergene olmak üzere iki nehir bulunmakta ve bu nehirlerde tarımsal sulama baskısı ve kirlilik problemleri yaşamaktadır. Su kaynaklarının azalması biyoçeşitlilik bakımından son derece olumsuz etki oluşturmaktadır. Sulak alanlar ve su kaynakları üzerindeki sosyoekonomik baskıyı azaltmak için alınabilecek bazı önlemleri şu şekilde sıralayabiliriz.

- a. Yüzey ve yeraltı su kaynaklarının yenilenebilir kapasitesi üzerinde kullanımının ve kirlenmesinin önlenmesi,

- Tarımsal faaliyetler kullanılan gübre ve ilaçların kullanımlarının doğru miktarda olmasını sağlamak,
 - Organik ve iyi tarım uygulamalarının artırılması,
- b. Nehir ve dere kenarlarındaki yeşil koridorların rehabilitasyonu ile erozyon ve su kirliliğinin önlenmesi,
- Nehir ve dere kenarlarındaki bitki ile kaplı alanların korunması kullanım amaçlarının değiştirilmemesi (çeltik tarımı gibi),
- c. Kıyı turizmi sonucunda denizlerin kirletilmesi,
- Turistlik amaçlı yapılaşmanın kontrollü yapılması,
 - Atık yönetiminin uygun bir şekilde yönetilmesi.

Tarımsal üretimde birim alandaki verimi arttırmak için yapılan uygulamalar, özellikle de monokültür tarım doğal biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Toprak faunasındaki biyoçeşitlilik tarımsal uygulamalardan çok fazla etkilenmektedir. Tarım alanlarından kaynaklı ekosistem hizmetleri ve biyoçeşitlilik kaybının önlenmesi için aşağıdaki tedbirleri almamızda fayda olacaktır.

- a. Yoğun tarımsal faaliyetlerden (bitkisel ve hayvansal) kaynaklı kirlenmenin önlenmesi
- Biyoçeşitliliği korumak amacı ile gübreleme ve ilaçlama faaliyetlerinin uygulama talimatlarına uygun yapılarak biyoçeşitliliğe zararı en aza indirmek, mevcut bitki ve hayvan türlerinin zarar görmemesini sağlamak,
 - Hayvansal atıkların geri dönüşümü için biogaz tesislerinden yararlanılması ve gübre atık sisteminin kurulması,
 - Organik ve iyi tarım faaliyetlerinin artırılması,
- b. Havza bazlı mono kültürel yetiştiricilik modeline alternatif modeller oluşturulması,
- Ekim nöbeti sistemlerinin geliştirilmesi (baklagil, buğdaygil ve diğer familyadan bitkilerin ekim nöbetinin yer almasının sağlanması),
 - Ekim nöbetine uyan üreticilerin desteklenmesi,

Trakya Bölgesi Karadeniz, Marmara ve Ege denizlerine kıyısı bulunan bir bölgemizdir. Bu kıyı şeritleri biyoçeşitlilik bakımından zengin bir yapıya sa-

hiptir. Karadeniz kıyısı boyunca yer alan Istranca dağlarında bulunan orman alanları, İğneada Longozu ve kumul alanlarda pek çok endemik tür mevcuttur. Benzer olarak Meriç Deltası ve Saroz kıyıları biyoçeşitlilik yönünden çok kıymetli alanlardır. Kıyı alanlarındaki ekosistem hizmetleri ve biyoçeşitlilik kaybının önlenmesi amacıyla aşağıdaki önemleri almakta fayda olacaktır.

- Turistik amaçlı yapılaşmanın kontrollü yapılması,
- Biyoçeşitliliği yoğun olduğu alanlarda yapılaşmanın izin verilmemesi,
- İnsan faaliyetlerinin aza indirgenmesi,
- Ekosistem, biyoçeşitlilik ve iklim değişikliği konusunda toplumsal farkındalığın oluşturulması,
- Endemik türlerin koruma altına alınması ve biyokaçakçılığın önüne geçilmesi,
- Kumul alanlardaki endemik bitkileri koruma amacı ile bu tür kumsalların kontrollü kullanımının sağlanması.

Ayrıca, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Üniversiteler ve sivil toplum kuruluşları arasında biyoçeşitliliğin korunması iş birliği olanaklarının artırılması sağlanmalıdır. Tarım ekosistemi, biyoçeşitlilik ve iklim değişikliği konusunda toplumsal farkındalık oluşturulmalıdır.

Sonuç olarak; biyoçeşitliliğin korunması ve iyileştirilmesi, insanların dünyada yaşamaya devam etmelerinin ve kaliteli bir yaşam sürmelerinin tek yoludur. Bu bakımdan, iklim değişikliğine rağmen, biyoçeşitliliği korumak son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, A., & Atasagun, B. (2023). Arazi kullanımı ve iklim değişikliğinin biyoçeşitlilik kaybı üzerine etkisi. DOI:10.53478/TUBA.978-625-8352-58-0.ch01. https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/TUBA-978-625-8352-58-0_ch01.pdf
- Anonim, 2024a. https://www.bigadogusgazetesi.com.tr/galeri/50/dunyanin-kum-guzellikleri/1# google_vignette
- Anonim 2024b. <https://bilimvegelecek.com.tr/index.php/2018/03/03/307-milyon-yil-once-yagmur-ormanlarinin-cokusu-evrimi-etkiledi>

- Anonim, 2024c. Flora of Turkey. <https://www.floraof-turkey.com/biodiversity-of-turkey/>
- Anonim, 2024d. Ulusal Biyoçeşitlilik Veri Tabanı. <https://nuhungemisi.tarimormman.gov.tr/public/istatistik>
- Anonim 2024e. Küçük Balaban. https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%BC%C3%A7%C3%BCK_balaban
- Anonim, 2024f. *Plantago maritima*. <https://wildyourgarden.com/product/peat-free-sea-plantain-plantago-maritima-super-plugs/>
- Anonim, 2024g. Meşe ağacı. <https://www.agac.gen.tr/mese-agaci.html>
- Anonim, 2024h. İğneada Longozu. <https://www.igneada.bel.tr/galeri/longoz-ormanlari-milli-parki/2>
- Anonim, 2024i. <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/karadenizdeki-av-sezonu-suresi-iklim-degisikligine-bagli-olarak-kisiliyor/3145893>
- Anonim, 2024j. <https://gazeteoksijen.com/turkiye/iklim-degisikligi-karadenizi-vurdu-hamsi-yok-194904>
- Anonim, 2024k. <https://www.aa.com.tr/tr/dosya-haber/sicaklik-artisiyla-karadenize-yayilan-turler-deniz-ekosistemini-tehdit-ediyor/3290651>
- Clarke, H., (2007). Conserving biodiversity in the face of climate change. *Agenda*, 14(2): 157-170.
- Çepel, N., & Ergün C. (2002). Küresel ısınma ve küresel iklim değişikliği. TEMA Yayın No. 38, İstanbul.
- Demir, A. (2009). Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2): 37-54. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000013
- Dursun, S., Kunt F., Ozturk Z.C., & Vrenoz B. (2015). The effects of global change on ecology. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 4(2): 50-54.
- Gençtan, T. (2012). *Tarımsal Ekoloji*. T.C. Namık Kemal Üniversitesi, Genel Yayın No: 6, Ders Kitabı Yayın No: 3, Tekirdağ.
- Glanville, K., Sheldon F., Butler D., & Capona S. (2023). Effects and significance of groundwater for vegetation: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 875:162577.
- Land, P., & Peters C.N. (2023). Groundwater impacts on stream biodiversity and communities: a review, *Journal of Freshwater Ecology*, 38:1, 2260801, DOI:10.1080/02705060.2023.2260801
- Özhatay, N., Byfield A., & Atay, S. (2005). *Marmara Bölgesi, 37-59. Türkiye'nin 122 Önemli Bitki Alanı*. WWF Türkiye, İstanbul.
- Şehirli, S., & Özgen, A.M. (2012). Bitkisel Gen Kaynakları. Ankara Üniversitesi Yayınları:357, Yayın No:557, Ankara, ISBN: 978-605-136-066-9
- Şen, C., & Öztürk, O. (2017). The relationship between soil moisture and temperature vegetation on Kırklareli City Luleburgaz district a natural pasture vegetation. *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)*, 3:3; 21-29.

- Türkeş, M., (2008). İklim değişikliği ve küresel ısınma olgusu: Bilimsel Değerlendirme, s:21-57. Yay. Haz; E. Karakaya, Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi, Bağlam Yayınları, 308, İstanbul.
- Zeng, J., Chen H., Bai Y., Dong F., Peng C., Yan F., Cao Q., Yang Z., Yang S., & Yang G. (2021). Water table drawdown increases plant biodiversity and soil polyphenol in the Zoige Plateau. *Ecological Indicators*, 121:107118.

İKLİME DUYARLI BİTKİSEL HASTALIK VE ZARARLI YÖNETİMİ

Mustafa Mirik¹

¹Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü,
Tekirdağ Orcid: 0000-0002-5651-6597 mmirik@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

İklim değişikliği; karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan değişiklikler olarak tanımlanmaktadır (Bastaş, 2021). Bu önemli çevresel sorun, dünya genelinde hava koşullarını, sıcaklıkları ve ekosistemleri dönüştürmekte, karasal ve denizel habitatları etkilemektedir. Bu etkilere örnek vermek gerekirse, IPCC 1,5°C raporuna göre insanlar, dünyanın sanayi öncesi döneme göre yaklaşık 1,0°C ısınmasına sebep olmuştur. Sera gazı emisyonları mevcut şekilde devam ederse, küresel ısınmanın 2030-2052 yılları arasında 1,5°C sınırını geçeceği öngörülmektedir (Anonymous 2025.)

İklim değişikliği kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanılması ile artmaktadır. Kullanılan yakıtlar havaya karbondioksit (CO₂) ve metan, azot dioksit, hidroflorik karbon ve ozon diğer sera gazlarını salarak, dünyanın etrafında bir katman oluşturması nedeniyle ısı hapsedilir ve yeryüzünde ısınmaya neden olur. Ayrıca sera gazları, su buharı, atmosferde radyasyona neden olarak yeryüzü yüzeyinin ısınmasına yol açmaktadır. Sıcaklık, birçok patojenin

hastalık döngüsündeki canlı kalma, yayılma, penetrasyon, gelişme ve üreme gibi birçok yaşam zincirini etkiler (Eastburn ve ark., 2011).

Bazı sera gazları doğal yollarla oluşabilecekleri gibi insan faaliyetleri sonucunda oluşum hızları ve atmosferdeki konsantrasyonları daha da artmaktadır. Bu tür sera gazları; su buharı, karbondioksit, ozon, metan ve nitroz oksitlerdir. Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu sanayi devrimi öncesinde 275 ppm'den, günümüzde 400 ppm den daha yüksek değerlere ulaşmıştır ve bu da %43 seviyesinde bir artışı göstermektedir. Bilimsel modeller, karbondioksit konsantrasyonunun 550 ppm e ulaşmasıyla sıcaklıkların 1,4 ile 4.5 arasında artacağını öngörmektedir (IPCC, 2006). Baştaş (2021) bildirdiğine göre 2021 Hükûmetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin raporuna göre; küresel ısınmada 1,5°C artışın daha çok sayıda sıcak dalgası, daha uzun süren ılıman mevsimler ve daha kısa süren soğuk mevsimler anlamına geldiği belirtilmektedir. Küresel ısınmada 2°C artışta ise aşırı sıcaklık olayları daha büyük sıklıkla tarım ve sağlık bakımından kritik tolerans eşiklerine geleceği ifade edilmektedir. İklim değişikliği nedeni ile su döngüsü yoğunlaşmakta ve bunun sonucunda daha şiddetli yağmur ve yağmurun neden olduğu sel/taşkınlara sebep olurken başka birçok bölgede ise daha şiddetli kuraklığı oluşturduğu bildirilmektedir. Dünya çapında bitkisel üretim milyonlarca dolarlık kayıplara neden olan biyotik ve abiyotik stres faktörlerinden etkilenmektedir (Suzuki ve ark., 2014). Günümüzde artan dünya nüfusunun beslenmesi için yetiştirilecek alanlarının ve tüm enerji kaynaklarının artırılması çok önemlidir. Bu nedenle tarım, sürdürülebilir, üretimi arttırıcı ve tüm canlı sistemler için daha güvenilir olan yöntemlerin kullanımı gerekmektedir. Bitkilerde hastalıklarla savaşım, bitkisel ürünlerin miktarını arttırabilmek için en önemli ve vazgeçilemez yöntemlerden biri olma önceliğini korumaktadır. Biyolojik savaşım bu amaca hizmet eden ve doğadaki sürdürülebilirliği sağlayan bir savaşım yöntemi olmak seçeneğini sunmaktadır. Biyolojik savaş, bitkilerde verim artışını, hastalık yapan patojen inokulumunu ortadan kaldırarak veya baskılayarak yapmaktadır, aynı zamanda bitkileri enfeksiyonlara karşı korumakta ve bitkide dayanıklılık sistemini uyarmaktadır. Dengesi bozulmamış bir ekosistemde, bitki popülasyonları oluşan değişikliklere karşı başarılı bir dayanıklılık gösterirler. Biyolojik topluluktaki karmaşıklık dengeyi de beraberinde getirmektedir. Böyle bir ortam ekolojik bir nişin maksimum düzeyde kullanılmasını sağlamak ve birbirine kenetlenmiş bir ekosistem yaratmaktadır (Baştaş 2021).

Küresel değişimin bir sonucu olan iklim değişikliği, tarımsal alanların kullanımı, tarımsal uygulamalar ve çevre kirliliği gibi faktörler bitki-patojen etkileşimi ile bitki sağlığını direk olarak, konukçu dağılımı, genetik çeşitlilik, fenoloji, hastalık, böcek ve vektörlerin yayılımı ve toprak yapısını indirekt olarak etkilemektedir. Küresel iklim değişikliği, bitki hastalıklarının oluşumundaki 3 önemli parametre olan konukçu, patojen ve çevreyi etkilemektedir. İklim değişikliğinin bitki patojenleri üzerindeki etkileri birçok faktöre bağlı olarak değişebilir. Bunlar: sıcaklık ve nem değişiklikleri, patojen dağılımı ve yayılımı, bitki duyarlılığı ve stres ile hastalık kontrol stratejileri şeklinde özetlenebilir. Aynı zamanda iklim değişimi: Ekstrem hava durumları (kuraklık, don, sel baskınları, aşırı sıcaklık vb.), Toprak yapısı ve faunası, CO₂ konsantrasyonunda değişiklik, Tarımsal ürün çeşitliliği gibi birçok faktörü değiştirmektedir. Sıcaklık ve yağış rejiminde meydana gelen değişiklikler bitki fizyolojisini olumsuz yönde etkiler. Bitkilerin hastalık etmenleri ve zararlılara karşı savunmasız ve zayıf kalmasına neden olur (Nazir ve ark., 2018).

İklim meydana gelen değişiklikler, bitkisel üretimde hastalık zararlı ve yabancı otların yeni bölgelerde ortaya çıkması, yeni iklim koşullarına uygun yeni zararlı ve patojenlerin meydana gelmesi, görülme sıklıklarının artması sonucu yeni epidemilere neden olarak önemli miktarda verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Sıcaklık ve atmosferik karbondioksit seviyelerindeki artış gibi olumsuz koşullar bitkilerde hastalığa meyilli olma durumunu tetiklemektedir. Aynı zamanda küresel ısınma ile iklim değişikliği, patojenlerin gelişmelerini etkilemesinin yanında konukçu patojen ilişkilerini etkileyerek dayanıklı konumda olan bir bitki duyarlı hâle getirmesi ya da şiddetli patojen izolatlarının ortaya çıkışına neden olacaktır.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN FAYDALI MİKROORGANİZMA ÜZERİNE ETKİSİ

Doğayı dengede tutan birçok yararlı mikroorganizmalar bulunmaktadır. Baştaş (2021)'ın bildirdiğine göre; bitkiler son zamanlarda ayrı bir mikrobiyota ve mikroorganizmalarla yakın simbiyotik ilişkilere sahip bir metaorganizma olarak kabul edilmektedir (Mendes ve ark., 2013). Bitki ekolojisi, bitkinin mikroorganizmalarla olan karmaşık ilişkilerinden etkilenmektedir. Rizosfer mikroorganizmaları, topraktaki farklı nitrojen veya fosfor formları-

nın varlığını değiştirirken kaynak paylaşımı aracılığıyla bitki-bitki etkileşimlerini etkileyebilmektedir. Toprak mikroorganizmaları, bitki kök salgılarına, uçucu organik karbona ve rizodepozisyona kemotaktik olarak çekilir ve daha sonra bu karbonca zengin ortamda çoğalır. Bitki kök salgıları bitki türleri arasında farklılık gösterir, bu nedenle farklı bitki türlerinin rizosfer mikrobiyomlarında farklılıklar ortaya çıkar. İklim değişikliği nedeniyle değişen çevre koşullarının bitki fizyolojisinde ve kök salgılarındaki değişikliklere neden olmaktadır. Özellikle yüksek CO₂, birçok durumda, kök bölgesine artan karbon kullanımına ve potansiyel olarak, kök salgılarının bileşiminin değişmesine de yol açacaktır (Haase ve ark., 2007). Yüksek sıcaklık ve kuraklık, benzer değişikliklere neden olabilir ve bunların birlikte bitkiyle ilişkili mikrobiyal toplulukların bileşiminde, miktarında veya aktivitesinde değişiklikler gösterecektir. İklim değişikliği bu nedenle bitkilerle ilişkili bu tür mikrobiyal toplulukların çeşitliliğini ve faaliyetlerini önemli ölçüde etkileyebilir (Drigo ve ark., 2008). Bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin yanı sıra mikorizal funguslar ve endofitler, tarımda biyokontrol ajanları, biyogübreler ve/veya fitostimülatörler olarak veya fitoremediasyon uygulamalarında parçalayıcı mikroorganizmalar olarak kullanılmaktadırlar (Denton, 2007; Lugtenberg ve Kamilova, 2009). Küresel değişimin etkileri performanslarını etkileyebileceğinden, değişen koşullar altında en iyi performans gösteren uygun ırkların seçilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak, bitki gelişimi veya sağlığı üzerindeki yararlı etkileri ile bilinen mikroorganizmalar da, arzu edilen özelliklerini ve belirli koşullar altında kolonizasyon kapasitelerini sergileme açısından bozulabilir. Bununla birlikte, bitki ile ilişkili mikrobiyal toplulukların, değişen çevre koşullarından doğrudan veya değişen bitki fizyolojisinden dolayı olarak nasıl etkilendiği ve bunun bitki performansını ve son olarak ekosistem işleyişini nasıl etkilediğine dair ayrıntılı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİTKİ HASTALIKLARI ÜZERİNE ETKİSİ

Dünyada üretimi yapılan kültür bitkileri ve doğal bitki alanlarında Şin ve Okçu (2022)'nin bildirdiğine göre 50.000 yakın bitki patojeni ve 8000 yabancı ot türü olduğunu bildirmektedir (Lange, 2010). Söz konusu olan patojen ve yabancı otların üretim alanlarında dolaylı ya da doğrudan etkileri bulunmak-

ta ve önemli verim kayıplarına neden olmaktadır. İklim değışikliğinde meydana gelen değışimlere patojen ve yabancı otlar uyum sağlayarak hastalık döngülerinin hızlanması veya yavaşlamasına neden olmaktadır

Yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarında Ateş Yanıklığı hastalığına neden olan *Erwinia amylovora* dünyada karantinaya tabi olmasının yanında EPPO (European Plant Protection Organization) Liste A2 içerisinde yer almaktadır. Ülkemizde armut (*Pirus communis*) başta olmak üzere ayva (*Cydonia oblonga*) ve elmada (*Malus domestica*) önemli kayıplara neden olmaktadır. Hastalık nedeni ile ürün kayıplarının yanında ağaç kurumalarına neden olmaktadır. Etmen, ağaç üzerindeki kanserlerden kış geçirmekte ve bahar aylarında yağmur damlalarının sıçratması diğer ağaçlara yayılabilmektedir. Hastalık etmeni %99,9 nemde hastalık %100 oranında olurken nem %97 düzeyine düşmesi durumunda hastalık %75 oranlarına gerilemektedir. Ayrıca havanın kuru olduğu şartlarda nektarın yoğunluğu yüksektir ve bakteri çoğalamaz. Yağmurun etkisiyle, yoğunluğu yüksek olan nektar seyrelecek, bakteri çoğalacak ve enfeksiyonu teşvik edecektir. Etmenin bakteri hücrelerinde rüzgâr ile uzak mesafelere yayılabilmekte ve hatta rüzgâr yardımıyla bulutlara erişerek daha da uzak mesafelere ulaşabilmekte, yağmurun da etkisiyle konukçusunu enfekte etme yeteneğindedir.

Sıcaklık ve yağış rejiminde meydana gelen değışiklikler hastalık etmenlerinin yayılmasına ve uzun süre yaşamalarına olanak sağlar. Örneğin *Puccinia striiformis* yüksek sıcaklığa uyum sağlayıp kolayca yayılabilir.

Bezer şekilde sıcaklıkta meydana gelen artış, fitopatojen bakterilerin konukçusu üzerindeki etkisinde değıştirmektedir. Fitopatojen bakteriler, özellikle *Xanthomonas*'lar ve *Pseudomonas*'lar, konukçu bitki dokusu içerisine girmek için bol miktarda hücre dışı polisakkarit (EPS) üretir. Bu üretim genellikle biyotik ve abiyotik sinyallerle tetiklenir. Doğal koşullar altında, bakteriler kendilerini olumsuz çevre koşullarından, antimikrobiyal bileşiklerden kendilerini korumak ve biyofilm oluşturmak için EPS'yi kullanırlar. (Vardharajula ve Ali, 2015). Yüksek sıcaklıklara maruz kalmanın, yüksek EPS seviyelerine sahip mutant ırkların evrimini tetiklediği belirlenmiştir (Nandal ve ark. 2005). Yüksek EPS üreten *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* izolatların pirinçte oldukça agresif olduğu gösterilmiştir (Hunjan ve ark. 2014). Yüksek sıcaklıkta (34.5 °C) bakteriyel yumuşak çürüklük hastalığına sebep olan *Pectobacterium caroto-*

vorum subsp. *carotovorum* (syn: *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*)'un virulensliğinin zayıfladığı görülmüştür. Fakat bu durum *P. c.* subsp. *carotovorum* EC153'te izolatında tam tersi olarak gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık altında, patojen bakteri ırkının rRNA, N-asil homoserin lakton ve ekstraselüler proteinler üreterek kereviz sapları ve Çin lahanasının yoğun çürümesine neden olduğu belirlenmiştir (Hasegawa ve ark. 2005). Sıcaklık bakteriyel hastalıkların meydana gelmesindeki en önemli faktörlerin başında gelmektedir. *Ralstonia solanacearum*, *Acidovorax avenae* ve *Burkholderia glumea* sıcaklık artışı ile konukçu bitkilerde hastalık meydana getiren bakteriyel hastalıkların başında gelmektedirler.

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkisiyle birlikte Afrika bölgesindeki hastalık etmenleri Akdeniz bölgesine; Akdeniz bölgesindeki hastalık etmenleri Avrupa'ya yayılmaya başlamıştır. Bu durum yerli konukçular ve diğer bölgeden gelen hastalık etmenleri arasında etkileşime sebep olmuştur.

Dünya Doğayı Koruma Birliği'nin (IUCN) veri tabanına göre

- *Cryphonectria parasitica*; kestane yanıklığı
- *Ophiostoma novo-ulmi*; Dutch Elm hastalığı
- *Phytophthora cinnamomi*; geriye doğru ölüm, kök ve kök boğazı çürüklüğü

Hastalık etmenleri dünyada istilacı 100 patojen içerisindeki en önemli üç istilacı patojen olarak rapor edilmiştir.

Benzer şekilde aynı liste içerisinde Bemisia tabaci, Cotton Leaf Curl Virus, Tomato Yellow Leaf Curl Virus and Cucumber Vein Yellowing Virus gibi 100 den fazla viral hastalığı taşıyan vektör olarak yer almaktadır.

İstilacı hastalık türleri içerisinde yer alan Xylella fastidiosa, içerisinde birçok Akdeniz ülkesinin yer aldığı aynı zamanda Amerika'da da önemli kayıplara sebep olan; birçok odunsu bitki ve özellikle zeytin üretimini engelleyecek şekilde şiddetli epidemilere neden olan ve hızla yayılan bakteriyel bir hastalık etmenddir.

İklim değişikliğinin sonuçlarından biri olan kuraklığın özellikle odunsu bitkilerde hastalık meydana getiren patojenlerin ekonomik kayıplara sebep olduğu belirtilmiştir. Kuraklığa bağlı olarak, egzotik istilacı bir tür olan Hete-

robasidion irregulare'nin İtalya da kök çürüklüğüne sebep olduğu ve aynı zamanda bölgede daha önce bulunan Heterobasidion annosum'a göre Akdeniz iklimine daha hızlı adapte olduğu tespit edilmiştir.

Ormanlık alanlarda minimum sıcaklığın artması ile Fusarium circinatum özellikle Avrupa'da da ormanlık alanlar haricinde daha geniş alanlara yayılım göstermeye başlamıştır. Çünkü; F. circinatum, konukçu bitkide don zararı sonucunu açılan yaralanmalar ile bitki dokusu içerisine girmektedir.

İklim değişikliği vektörlerin hızlı bir şekilde değişik lokasyonlara ulaşabilmesine ve bu şekilde vektör ile taşınan hasatlıkların başka alanlara kolayca yayılmasına sebep olur. Örneğin tomato yellow leaf curl disease, African cassava mosaic disease, Ipomovirus disease iklim değişiminin etkisi ile yayılım gösteren viral hastalıklar arasındadır.

Çevre şartlarında meydana gelen ani değişimler bitkilerin hastalık etmenlerine karşı dayanıklı bitki türlerinin dayanıklılıklarını yitirmelerine sebep olabilir. Örneğin kanola Leptosphaeria maculans'a (phoma gövde kanseri) karşı 15°C'de dayanıklılık gösterirken; sıcaklığın 25°C'ye ulaşması ile bitki hastalık etmenine karşı dayanıklılığını kaybetmiştir.

Şin ve Okçu (2022)'nin bildirdiğine göre; yabancı otların kültür bitkilerine oranla olumsuz çevresel koşullarına karşı adaptasyonunun daha kolay olduğu bilinmektedir. Kültür bitkisi yetiştiriciliğinde yabancı otların verim üzerine %40'lık bir olumsuz etkisinin olduğu saptanmıştır. C4 yabancı ot türlerinden olan kırmızı köklü horoz ibiği (Amaranthus retroflexus) ile C3 yabancı ot türlerinden sirken (Chenopodium album) karbondioksitin yüksek olduğu seviyelerde glifosat herbisitine karşı tolerans gözlemlenmiştir. Köygöçüren (Cirsium arvense) ile yapılan bir diğer çalışmada ise artan karbondioksit seviyesinin yabancı ot biyomasında artışa neden olduğu görülmüştür. İklim değişikliğinin yağışlar üzerindeki etkisiyle su stresine maruz kalan kaz çimi (Eleusine indica), darıcan (Echinochloa crus-galli) ve kirpikli çatalotu (Digitaria ciliaris) gibi C4 yabancı otların yaprak alanları ve biyomesinde artış olduğu görülmektedir. Güneş çiçeği (Centaurea solstitialis) ve püsküllü çayır (Bromus tectorum) gibi kuraklığa toleransı yüksek olan türler, topraktaki nem seviyesi yükseldiğinde tohum üretimini de arttırmaktadır. Yabancı otlar yaşanan iklim değişikliğini 3 farklı şekilde tolere edebilecekler. Bunlar; gelişimlerini devam ettirebilmek adına farklı alanlara göç, fenotipik çeşitliliklerinden yararlanarak değişen ik-

lime ve çevreye alışma veya değişen koşullara kalıtsal olarak uyum sağlama şeklindedir (Pautasso, vd. 2010). Bunların neticesinde yabancı otların iklim değişikliğine uyumu daha fazla olacağından dolayı kültür bitkileri üzerinde oluşturacağı zarar artacaktır.

4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HASTALIK KONTROLU ÜZERİNE ETKİSİ

R Geni (dayanıklılık geni), çeşitli ürün yetiştirme programlarında dayanıklılığın başlıca kaynağı olarak kabul edilir. Değişen çevre koşullarına bağlı olarak patojen popülasyonunda bir değişme olması R geninin dayanıklılığını etkileyebilir. R genleri sıcaklığa duyarlı olabilir ve yalnızca yüksek veya düşük sıcaklıklarda etkinlik gösterebilir (Webb ve ark. 2010; Dossa ve ark. 2015). Buğday çizgili pasına karşı dayanıklı olan Yr36 geni, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* ırklarının birçoğuna karşı dayanıklılık göstermektedir. Bu genin yüksek sıcaklıklarda (25-35 °C) etkili olduğu, ancak 15 °C'nin altındaki sıcaklıklarda *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* saldırısına karşı koyamadığı bildirilmiştir (Uauy ve ark. 2005).

5. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN HASTALIK YÖNETİMİ UYGULAMALARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Ekim Tarihinin Değiştirilmesi: İklim değişikliği birçok ürünün ekim veya dikim tarihini etkileyebilir. Kültürel uygulamalar ve değişen iklim koşulları (sıcaklık, yağış rejimi vb.), *Zymoseptoria tritici*'nin neden olduğu *Septoria tritici* leke hastalığını etkilemektedir. Hastalığın şiddetinin, bitki gelişiminin erken evrelerinde sıcaklığın -2 °C'ye düştüğünde azaldığı gözlemlenmiştir. Mısır pire böceği (*Chaetocnema pulicaria*) tarafından taşınan Stewart solgunluğu (*Erwinia stewartii*), böceğin kış boyunca hayatta kalmasına büyük ölçüde bağlıdır. Kış sıcaklıklarına dayalı bir tahmin modeli, vektörün hayatta kalmasının daha sıcak kışlarda daha yüksek olduğunu öngörmüştür (Petzoldt ve Seaman 2006).

İlaçlama Takviminin Değiştirilmesi: Birleşik Krallıkta buğday da görülen en önemli hastalığın *Septoria tritici* leke hastalığı olduğu bildirilmiştir. Hastalıkla mücadelede erken uyarı sistemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Hastalıkla mücadelede fungusit uygulamasının yapılabileceği uygun zamanın belirlenmesi için iklim değişkenlerine bağlı olarak birçok erken uyarı sistemi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Benzer şekilde, Amerika Birleşik Devletleri'nin kuzeydoğusunda, sıcaklıktaki her 1 °C artış için patates geç yanıklığının 4-7 gün daha erken gerçekleşeceği ve duyarlılık süresinin 10-20 gün artacağı öngörülmüştür. İklim değişikliğine bağlı olarak öngörülen erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ile fungusit uygulaması için en doğru zaman tespit edebilmektedir (Elad ve Perlot, 2014).

6. SONUÇ

İklim değişikliği bitkisel üretimde olumlu ve olumsuz etkileşimi olacaktır. Olumlu olarak bakıldığında değişen çevre koşullarına göre kültür bitki çeşitliliği ortaya çıkacaktır. Son zamanlarda ülkemizde de görüldüğü üzere avokado, kivi vb. ürünlerin üretiminde artışlar gözlenmektedir. Aynı zamanda hâlihazırda üretilen kültür bitkilerinde ise ürünün kalite ve miktarlarında kayıplar ortaya çıkacaktır. Şin ve Okçu (2022)'nin de belirttiği üzere iklim değişikliği sonucu meydana gelen sıcaklık artışı, düzensiz yağış rejimi, kuraklık, hortum, sel, fırtına gibi doğal afetlerin miktarı artacaktır. Bu ekstra değişimler bitkileri strese girmesine neden olmasından dolayı zayıf düşmüş bitkiler hastalıklar ve yabancı otlara karşı oldukça hassas duruma gelecektir. İklim değişikliğinin bitki hastalıkları üzerine olan etkisini belirlemek adına tür bazında çalışmalar yapılmalıdır. hâlihazırda ülkemizde bulunmayan hastalıklar bu değişen ekstrem koşullar ile ülkemize giriş yapabilir ve büyük epidemilere neden olabilir. Önümüzdeki dönemlerde ürün kayıplarının önüne geçebilmek için yeni bitki patojenlere karşı yeni mücadele yolları geliştirilmeli, hastalık ve olumsuz çevre şartlarına toleranslı kültür bitkileri ıslah edilmelidir. Gelecek yüzyılda ülkemizi ve dünyayı tehdit eden iklim değişikliğinden en az zarar görmek için bölgesel modeller oluşturulmalı ve uygulanmalıdır. İklim değişikliğine karşı geri dönüşün yakın zamanda mümkün olmamasından dolayı bu değişime uyum sağlayacak uygulamalar artırılmalı ve yol haritaları çizilmelidir. Ayrıca kullanılacak pestisitlerin bu değişimle beraber etkinliklerinde sorunlar yaşanacaktır. Sorunların önüne geçmek adına bu alanda gerekli alt yapı oluşturulmalı ve araştırmalar desteklenmelidir. Gelişen ve değişen teknolojiyle birlikte tarımın farklı alanlarında doğaya en az zarar veren uygulamaların desteklenmesi sağlanmalıdır.

Sonuç olarak; iklim değişikliğinin tarımsal üretimdeki etkilerini pozitif yönde değiştirebilmek için; Hâlihazırda kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik kontrol yöntemleri gözden geçirilmeli, Yeni kontrol yöntemleri üzerine araştırmalar yapılmalı, Islah çalışmalarına önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Anonymous 2025. https://akdenizkoruma.org.tr/tr/calismalarimiz/iklim-degisikligi?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAiaC-BhBEEiwAjY99qHeysem2epgKL-HI3cWgNV5x_FlagoJ8j-yUK9D6Q84sJx9FzIRvu0UxoCQuUQA_vD_BwE
- Bastaş, 2021 İklim Değişikliğinin Bitki-Faydalı Mikroorganizma Etkileşimleri Üzerindeki Etkileri. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 9(sp): 2594-2603, DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9isp.2594-2603.4946>
- Denton BD. 2007 Advances in phytoremediation of heavy metals using plant growth promoting bacteria and fungi. Microbiol Mol Genet 3: 1-5.
- Dossa GS, Oliva R, Maiss E, Wydra K (2015) High temperature enhances the resistance of cultivated African rice, *Oryza glaberrima*, to bacterial blight. Plant Dis 100:380-387.
- Drigo B, Kowalchuk GA, van Veen JA. 2008. Climate change goes underground: effects of elevated atmospheric CO₂ on microbial community structure and activities in the rhizosphere. Biol Fert Soils 44: 667-679.
- Eastburn DM, McElrone AJ, Bilgin DD (2011) Influence of atmospheric and climatic change on plant-pathogen interactions. Plant Pathol 60:54-69.
- Elad Y, Pertot I (2014). Climate Change Impacts on Plant Pathogens and Plant Diseases. *Journal of Crop Improvement*, 28(1), 99-139. <https://doi.org/10.1080/15427528.2014.865412>.
- Haase S, Neumann G, Kania A, Kuzyakov Y, Romheld V, Kandeler E. 2007. Elevation of atmospheric CO₂ and N- nutritional status modify nodulation, nodule-carbon supply, and root exudation of *Phaseolus vulgaris* L. Soil Biol Biochem. 39: 2208-2221.
- Hasegawa H, Chatterjee A, Cui Y, Chatterjee AK (2005) Elevated temperature enhances virulence of *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* strain EC153 to plants and stimulates production of the quorum sensing signal, N-acyl homoserine lactone, and extracellular proteins. Appl Environ Microbiol 71:4655-4663.
- Hunjan MS, Singh PP, Lore JS (2014) Extracellular polysaccharides production underlining aggressiveness of rice bacterial blight pathogen *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. Indian Phytopathol 68:120-122.
- IPCC/UNEP/OECD/IEA, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II, Energy, Mobile Combustion, 8-73.
- Lange, S. (2010). Plant health and global change-some implications for landscape management. Biological Reviews,

- Lugtenberg B, Kamilova F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 63: 541-556.
- Mendes R, Garbeva P, Raaijmakers JM. 2013. The rhizosphere microbiome: Significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews* 37(5): 634-663.
- Nandal K, Sehrawat AR, Yadav AS, Vashishat RK, Boora KS (2005) High temperature-induced changes in exopolysaccharides, lipopolysaccharides and protein profile of heat-resistant mutants of *Rhizobium* sp. (*Cajanus*). *Microbiol Res* 160:367-373.
- Nazir N, Bilal S, Bhat KA, Shah TA, Badri ZA, Bhat FA, Wani TA, Mugal MN, Parveen S, Dorjey S (2018) Effect of climate change on plant diseases. *Int J Curr Microbiol App Sci* 7:250-256.
- Pautasso, M., Dehnen-Schmutz, K., Holdenrieder, O., Pietravalle, S., Salama, N., Jeger, M. J., Lange, E., & Hehl-
- Petzoldt C, Seaman A (2006) Climate change effects on insects and pathogens. In: Climate change and agriculture: promoting practical and profitable responses. New York State IPM Program, 630 W. North St., New York State Agricultural Extension Station, Geneva, pp 6-16.
- Suzuki N, Rivero RM, Shulaev V, Blumwald E, Mittler R. 2014. Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist* 203(1): 32-43.
- Şin B., ve Okçu Ö.Ü., 2022 İklim Değişikliğinin Fitopatoloji Açısından İncelenmesi. *Journal of Agricultural Biotechnology (JOINABT)* 3(1), 31-39, 2022
- Uauy C, Brevis JC, Chen X, Khan I, Jackson L, Chicaiza O, Distelfeld A, Fahima T, Dubcovsky J (2005) High temperature adult plant (HTAP) stripe rust resistance gene Yr36 from *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* is closely linked to the grain protein content locus Gpc-B1. *Theor Appl Genet* 112:97-105.
- Vardharajula S, Ali SZ (2015) The production of exopolysaccharide by *Pseudomonas putida* GAP-P45 under various abiotic stress conditions and its role in soil aggregation. *Microbiology* 84:512-519.
- Webb KM, Ona I, Bai J, Garrett KA, Mew T, Vera Cruz CM, Leach JE (2010) A benefit of high temperature: increased effectiveness of a rice bacterial blight disease resistance gene. *New Phytol* 185:568-576.

TARIM FAALİYETLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE İKLİME DUYARLI TARIM

Asude HANEDAR¹

¹Prof.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ Orcid: 0000-0003-4827-0003 ahanedar@nku.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya kara alanlarının yaklaşık %38'i, mahsul ekimi ve hayvancılık amacıyla kullanılmaktadır (WHO, 2025). 2050 yılına kadar küresel nüfusun 9,7 milyara ulaşması beklenirken, küresel gıda talebinin de artacağı öngörülmektedir. FAO'ya göre, artan protein tüketimi ve değişen beslenme alışkanlıkları nedeniyle, 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusunu beslemek için mevcut gıda üretiminin %60 oranında artırılması gerekecektir (FAO, 2013).

Tarım ve ilgili faaliyetler hem kirlletici oluşumu hem de sera gazı emisyonları açısından önemli bir çevre kirliliği kaynağıdır. Tarımsal faaliyetler nedeniyle toprak, su ve atmosfere yayılan kirlleticiler, toplam çevresel kirliliğin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu kirlilik, yayılı kirlletici baskısı olarak tanımlanmakta olup, endüstriyel tesislerden veya evsel/kentsel faaliyetlerden kaynaklanan noktasal atık, atık su ve baca gazı emisyonlarına kıyasla envanterinin çıkarılması ve kontrol altına alınması daha zor bir kaynaktır. Bu nedenle, kaynaktan azaltma yöntemleri ve kontrollü tarım teknikleri, tarımsal kirliliğin önlenmesinde en etkili mücadele stratejileri arasında yer almaktadır.

Diğer taraftan tarım ve gıda üretimi günümüzde küresel sera gazı emisyonlarının üçte birinden sorumludur. Gıda sistemleri, metan emisyonlarının ve biyolojik çeşitlilik kaybının önde gelen kaynağı olup, aynı zamanda tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'ini kullanmaktadır (WHO, 2025). Günümüze kadar gıda üretimindeki bu artış, tarımsal genişleme ve doğal kaynakların aşırı ve plansız kullanımı ile sağlanmıştır. Ancak, bu geleneksel yöntemlerin gelecekte de devam etmesi “sürdürülemez” bir durum yaratacaktır.

Gelinen noktada, toprağı nasıl yönettiğimiz geçmiştekinden çok daha önemlidir. Küresel tarım/gıda sistemi artık birden fazla cephede hizmet vermek zorundadır: Artan popülasyonun gıda arz güvenliğini sağlamalı, iklim değişikliğine uyum sağlamalı ve sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmalıdır (UNFCC, 2025).

Artan popülasyon ve bireylerin kaynak ihtiyacı karşısında günümüzde zorunlu olarak tarımsal faaliyetlere farklı bir bakış açısı getirmek ihtiyacı doğmuştur. İklim Duyarlı Tarım (İDT), bu zorunluluklarla ortaya çıkmış bir kavramdır. İDT, Sürdürülebilir Kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel olmak üzere 3 ana boyutunu içinde barındırır. Bu kapsamda İDT, tarımsal üretkenliği ve gelirleri sürdürülebilir şekilde arttırırken, iklim değişikliğine uyum sağlamak ve dayanıklılık oluşturmak ve tarım kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmak ve/veya ortadan kaldırmak ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için bütünsel bir yaklaşım öne sürer (UNFCC, 2025).

Bu kapsamda, bu bölümde öncelikle tarımsal faaliyetlerin genel olarak çevreye olan etkilerinden bahsedilecek ardından çevresel etkiler bağlamında İDT'nin olumlu katkıları ve uygun şekilde uygulanmadığında ortaya çıkabilecek olumsuz etkiler değerlendirilecektir.

2. TARIM FAALİYETLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Tarım gerek kapladığı alan gerekse sürekliliği açısından geniş kapsamlı bir sektör olup esas olarak çevre üzerinde endüstriyel kirliliğe kıyasla daha büyük bir baskı oluşturur. Bu kapsamda tarımsal faaliyetlerin çevresel etkileri geniş çapta araştırmalara konu olmuştur. Bu bölümde, bu etkiler çevreye verilen emisyonlar baz alınarak 5 ana başlık altında kısaca ele alınmıştır.

- Kimyasal Gübre Üretimi ve Kullanımı
- Pestisit Kullanımı

- Sulama Faaliyetleri
- Hayvancılık Faaliyetleri
- Sera Gazı Emisyonları

2.1. Kimyasal Gübre Üretimi ve Kullanımı

Azot, gıda üretimi için son derece önemli bir elementtir. 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyara ulaşması beklenen küresel nüfusun beslenme ihtiyacını karşılamak için gıda üretiminin artırılması şarttır ve kimyasal gübreler bu süreçte vazgeçilmezdir (Nozaki, 2022). Kimyasal gübreler, mineraller ve doğal maddelerden üretilen endüstriyel gübrelerdir ve düşük maliyetli, stabil kalitede olmalarıyla öne çıkar (Singh vd., 2024). Ancak, kimyasal gübrelerin çevreye büyük yük getirdiği de bilinmektedir.

Gübrelerin çevresel etkileri, daha tarlalara uygulanmadan önce başlar (Singh vd., 2024). Bu nedenle kimyasal gübrelerin çevresel etkileri; üretim sürecinde ve kullanım sırasında etkiler olmak üzere iki ana kategori altında değerlendirilmektedir.

Kimyasal gübre üretiminden kaynaklanan etkiler:

- Azotlu gübre üretimi, yüksek enerji ihtiyacı olan bir prosesdir. Kimyasal gübrelerin ana ham maddesi olan amonyak, genellikle Haber-Bosch süreci kullanılarak üretilir. Bu süreçte, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan hidrojen elde edilir ve havadaki azot ile birleştirilerek amonyak oluşturulur aynı zamanda büyük miktarda sera gazı emisyonuna yol açar. Ayrıca, üretim sahalarındaki toprak ve su kirliliği, amonyak ve arsenik gibi kirleticilerin seviyelerini artırmaktadır (Nozaki, 2022; Singh vd., 2024).
- Fosforlu gübrelerin ham maddesini sağlayan fosfat kayalarının madenciligi ve işlenmesi, radyoaktif elementlerin, ağır metallerin ve diğer kirleticilerin salınımına neden olarak çevreye zarar verir (Singh vd., 2024).
- Potasyumlu gübrelerin (potas) üretimi, madencilik faaliyetleri ve atık ürünlerin salınımı nedeniyle bölgesel ekosistemleri bozabilir, hava, toprak ve suyu kirlitebilir.

Kimyasal gübre kullanımı kaynaklı etkiler:

- Uygulanan azotlu gübrelerin yalnızca %20-50'si bitkiler tarafından kullanılmaktadır; benzer ya da daha düşük oranlar fosfor ve potasyum için de geçerlidir (Singh vd., 2024).
- Geriye kalan gübreler, toprak ve suya sızma, buharlaşma, bağlanma, yüzey akışı veya toprak mikroorganizmaları tarafından tüketilme gibi yollarla kaybolur. Bu durum toprak verimliliğinin azalmasına ve ekonomik kayıplara neden olur.
- Aşırı potasyum kullanımı, toprak besin dengesi üzerinde olumsuz etkiler yaratarak hem çevresel hem de ekonomik kayıplara neden olabilir.
- Toprakta kullanılan azotlu gübrelerin yalnızca yarısı bitkiler tarafından emilirken, geri kalan kısmı yağışlarla nehir ve göllere taşınarak ötrofikasyona neden olur. Özellikle sudaki yüksek fosfor konsantrasyonu, alg patlamalarına neden olarak ötrofikasyona ve su kalitesinin bozulmasına yol açabilir (Nozaki, 2022).
- Aşırı azot yükü, ekosistem üzerinde baskı oluşturur ve sera gazı (N_2O) emisyonlarına katkıda bulunarak küresel ısınmayı hızlandırır.
- Fazla miktarda toprak ve suda biriken nitratlar hem hayvanlar hem de insanlar için sağlık riskleri oluşturabilir. Çalışmalar, yüksek nitrat seviyelerinin mavi bebek sendromu ve methemoglobinemi gibi hastalıklara yol açabileceğini göstermektedir (Alletto vd., 2010).
- Fazla kimyasal gübre içeren topraklarda üretilen gıdalar, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir (Singh vd., 2024).
- Azot döngüsünün sağlıklı bir şekilde devam edememesi çevresel kirliliğe yol açar.

Bu zorluklar göz önüne alındığında, besin maddelerinin toprakta iyi yönetilmesi, kayıpların en aza indirilmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Mevcut yönetim uygulamalarına rağmen gübrelerin etkin kullanımında hâlâ ciddi eksiklikler bulunmaktadır. Gelecekte kimyasal gübreler, artan gıda üretimini desteklemeye devam edecek olsa da çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışmaların artırılması gerekmektedir. Daha verimli gübre kullanımı, akıllı tarım teknolojileri ve yeni üretim yöntemleri bu alandaki öncelikli

konular arasındadır. Gıda üretimi için hayati önem taşıyan Haber-Bosch süreci, teorik optimizasyon sınırına ulaşmış olup, daha çevre dostu alternatif yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda Avrupa Birliği (AB), Farm to Fork (Çiftlikten Çatala) stratejisi kapsamında 2030 yılına kadar kimyasal gübre kullanımını %20 oranında azaltmayı hedeflemiştir. Ancak, gübre kullanımının azaltılmasının doğrudan verim düşüşüne neden olabileceği endişesi de devam etmektedir (Singh, 2024; Nozaki, 2022).

2.2. Pestisit Kullanımı

Pestisitler, zararlıları yok etmek, engellemek, uzaklaştırmak veya azaltmak için kullanılan bitki düzenleyici ve azot dengeleyici özelliklere sahip aktif ve inert bileşenlerden oluşan kimyasal maddelerdir (USEPA, 2025). Tarımsal girdiler arasında önemli bir yer tutan pestisitlerin temel amacı, ürün miktarını ve kalitesini artırmaktır. Tarımsal mücadelede yüksek etkinlik gösteren pestisitler, hızlı sonuç verir ve bilinçli, kontrollü kullanıldığında ekonomik bir çözüm sunar. Modern tarımın vazgeçilmez bir unsuru olan pestisitler olmadan entansif tarım üretimi sürdürülemez ve üretim kayıpları kaçınılmaz hâle gelir (Kaymak vd., 2015).

Pestisitler, aktif maddelerinin belirli yardımcı bileşenlerle karıştırılmasıyla formüle edilir. FAO ve WHO tarafından belirlenen standartlara göre, bir maddenin pestisit özelliği taşıyabilmesi için biyolojik olarak etkili, ekonomik, güvenilir, kullanıcılar ve çevre için kabul edilebilir olması gerekmektedir (Denkçi, 2019). Pestisitler, herbisitler, insektisitler, fungusitler, akarisitler, rodentisitler gibi spesifik kategorilere ayrılır.

Pestisitlerin bileşenleri toksik maddeler içermektedir ve bazı parçalanma ürünleri, ana pestisitten daha kalıcı ve toksik olabilir. Bu durum, faydalı organizmaların ölmesine ve yeni zararlı salgınlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Pestisitlerin kanser, kısırlık, DNA mutasyonu ve oksidatif stres gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir (De Souza vd., 2020). Pestisitlere doğrudan maruz kalma veya pestisit kalıntılarının gıda ve su yoluyla alınması, akut ve kronik toksik etkilere neden olabilir. Pestisit uygulayıcıları olan çiftçiler üzerinde de ciddi olumsuz etkileri olduğu raporlanmıştır (Kashyap vd., 2024).

Pestisitler, yalnızca hedef organizmalara zarar vermekle kalmaz; hava, toprak ve yüzeysel ve yeraltı suları gibi çevresel bileşenlere de sızma, akış, süzülme ve parçalanma yoluyla yayılır ve ekosistemin tamamını kirletir. Çoğu pestisit biyolojik olarak parçalanamaz ve uzun süre doğada kalır (Abdel Aal vd., 2001). Bu durum, pestisitlerin tarımsal sulama ve yağışlarla su sistemlerine taşınmasına ve besin zincirine dâhil olarak balıklar, kuşlar, memeliler ve insanlar üzerinde birikmesine yol açar.

Bir bitkinin yapısına ve yoğunluğuna bağlı olarak, püskürtme sonrası kullanılan pestisitlerin %35-50'sinin doğrudan toprağa yerleştiği tahmin edilmektedir. Bu pestisitler ya doğrudan toprağa uygulanarak ya da yağmur sırasında bitki yüzeyinden akarak su kaynaklarına karışabilir (Kashyap vd., 2024). Pestisitlerin çevre üzerindeki etkileri, uygulama sonrası atmosfer, toprak, yer altı ve yüzey sularına taşınma süreçleriyle belirlenir. Önemli bir kısmı hedef dışı alanlara taşınır ve ekosistem dengesini bozar (De Souza vd., 2020). Pestisitlerin ekosistem üzerindeki etkisi, kirletici madde konsantrasyonu, miktarı ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişir (Rice vd., 2007). Pestisitlerin toprak ve su ekosistemlerindeki dağılımı, arazi kullanımı, uygulama modelleri, yağış miktarı ve sulama yöntemleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu hareketlilik; adsorpsiyon, absorpsiyon, çözünürlük, n-oktanol-su bölme katsayısı ve diğer fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerle belirlenmektedir (Silva vd., 2019).

Dünya genelinde her yıl üç milyondan fazla insan pestisit zehirlenmesine maruz kalmakta ve bunun sonucunda yaklaşık 200 000 ölüm meydana gelmektedir. Ölümler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yoğunlaşmaktadır (Kashyap vd., 2024). Pestisitlerin çevresel ve sağlık üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, bilinçli kullanımın sağlanması ve alternatif tarım yöntemlerinin teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır.

2.3. Hayvancılık Faaliyetleri

Günümüzde artan insan nüfusu, tarımsal ve hayvansal ürünlerin tüketimini de artırmaktadır. Hayvancılık faaliyetleri tüm dünyada su kirliliğinin başlıca nedenlerinden biri olarak tanımlanmıştır. Hayvancılıktan kaynaklanan kirlilik çoğu zaman endüstriyel kaynaklardan gelen kirlilikten daha yüksek seviyelerdedir (Pan vd., 2023).

Ancak, yoğun hayvancılık faaliyetleri, hastalıkların yayılmasına neden olan patojen mikropların artmasına ve bulaşıcı hastalık salgınlarının ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu tür enfeksiyonlarla mücadelede stratejik yönetim gereklidir ve antibiyotik tedavisi, bu kapsamda en yaygın kullanılan çözümlerden biridir (Khamaissa vd., 2024).

Hayvancılıkta antibiyotikler hayvan hastalıklarının tedavisinde ve yaygın hastalıkları önlenmesinde hayvan büyümesini desteklemeye katkı sağlamak için kullanılmaktadır. Antibiyotik tüketimi hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde önemli ölçüde artış göstermiştir. 2010-2019 yılları arasında küresel antibiyotik tüketiminin 100 000 ila 200 000 ton arasında olduğu tahmin edilmektedir (Omufere vd., 2022). ABD’de satılan antibiyotiklerin %80’inin hayvancılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanıldığı belirtilmektedir. 2010 yılında gıda üretimi için yetiştirilen hayvanlarda kullanılan antimikrobiyal ilaç miktarının 63151 ton olduğu tahmin edilirken, bu miktarın 2030 yılına kadar 105596 tona ulaşması beklenmektedir (Van vd., 2020).

Hayvancılık sektöründe yaygın olarak kullanılan antibiyotikler, çiftlik gübresinin bileşimini doğru-dan etkiler ve gübreler antibiyotik kalıntıları içerirler. 2013 yılında hayvancılıkta kullanılan 92700 ton antibiyotiğin yaklaşık 53800 tonunun çevreye salındığı tahmin edilmektedir (Zhang vd., 2015).

Hayvansal gübreler genellikle doğal organik gübre olarak kabul edilmektedir. Hayvansal atıkların gübre olarak kullanımının avantajları şu şekilde sayılabilir (Khamaissa vd., 2024):

- Kimyasal gübrelere kıyasla potasyum ve fosfor içeriği sayesinde toprağın kalitesini artırır.
- Bitkilerin gelişimi, büyümesi ve yayılması için gerekli faydalı hormon içerir.
- Topraktaki humus miktarını artırarak su tutma kapasitesini iyileştirir.
- Yararlı mikroorganizmaların çoğalmasına katkıda bulunur.
- Toprağa sentetik kimyasal gübrelerin verilmesini engelleyerek toprağı korur.

Ancak, hayvan gübresindeki antibiyotik başta olmak üzere tüm kimyasal kalıntıları, tarım topraklarını ve su kaynaklarını kirletir. Bu birikim uzun süren

kullanımlar sonucu artarak devam eder ve antibiyotik dirençli bakterilerin çoğalmasına neden olur. Özellikle son yıllarda antibiyotik dirençli bakterilerin yayılması ve antibiyotiklerin patojen bakteriler üzerindeki etkinliğinin azalması, çevresel mikrobiyal toplulukların yeni direnç genlerini içeren büyük bir rezervuar hâline gelmesine neden olmuştur (Khamaissa vd., 2024).

2.4. Sera Gazı Emisyonları

İklim değişikliği, ani aşırı hava olaylarının artışı ve uzun vadeli iklimsel değişiklikler ile karakterize edilen ciddi bir küresel zorluktur. İklim değişikliğinin temel itici gücü, atmosferde birikerek küresel ısınmayı tetikleyen azot oksit, metan ve karbondioksit gibi ısıyı hapseden gazların salınımıdır. Bu üç gaz, gezegenin ısınmasını etkileyen faktörlerin %80'inden fazlasına katkıda bulunmaktadır (Bhatnagar vd., 2024). Değişen iklimin, sıcaklık dalgalanmaları, bölgesel yağış düzenlerindeki değişiklikler, daha sık ve şiddetli sel ve kuraklık olayları ile su kaynaklarının zamansal ve mekânsal dağılımlarında değişimler gibi geniş kapsamlı sonuçlar doğurması beklenmektedir.

Tarım tamamen doğal çevreye bağımlı olduğundan, iklim değişikliği tarım üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu ilişkileri şu şekilde özetlemek mümkündür (Luo ve Dou, 2024; Bhatnagar vd., 2024):

- Anormal iklim değişikliği koşulları, mahsul verimliliğini etkiler veya tarımsal üretim şeklini tamamen değiştirebilir.
- Yüksek sıcaklık, don, dolu, fırtına, heyelan ve çamur akıntısı gibi anormal iklim değişikliğinin neden olduğu aşırı hava olayları, mahsullere zarar vererek verim kaybına yol açar.
- Anormal iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri; sel, kuraklık ve çölleşmeye neden olabilir ve su kaynaklarının mevsimsel ve bölgesel yapısal dengesizliğine yol açarak tarım üzerinde kapsamlı bir etki yaratabilir.

Öte yandan, tarım, sera gazı (GHG) emisyonlarının kaynaklarından biri olup iklim üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Dünya Kaynakları Enstitüsü'nün (WRI) 2019 yılında yayımladığı verilere göre, 2016 yılında Tarım, Enerji, Endüstriyel Süreçler ve Ürün Kullanımı ile Atık olmak üzere dört sektördeki toplam sera gazı emisyonlarının %38'inden tarım sorumludur. Tarım sektö-

ründen kaynaklanan sera gazı emisyonları, 1850'den 2016'ya kadar on kattan fazla artmıştır. Özellikle, modern inorganik tarımın gelişimi büyük miktarda fosil yakıt ve enerji tüketimini gerektirir ve bu durum iklim değişikliği üzerindeki etkisini giderek daha belirgin hâle getirir (Luo ve Dou, 2024). Örneğin azotlu gübrelerin üretim ve kullanım süreçleri toplam küresel sera gazı (GHG) emisyonlarının %2,1'ini oluşturmaktadır (Nozaki, 2022). Tarım atmosfere bitki artıklarının yakılması veya ayrışması ve toprak organik maddelerinin mikrobiyal faaliyetler yoluyla bozunması gibi süreçlerle karbondioksit (CO₂) salınımına neden olur (Bhatnagar vd., 2024).

Tarım ile iklim değişikliği arasındaki ilişki, küresel nüfus ve gıda üretiminde gözlemlenen artan eşitsizlikler ışığında daha da büyük önem taşımaktadır (Bhatnagar vd., 2024). Tarım, sera gazı emisyonlarının başlıca kaynaklarından biri olmasına rağmen, aynı zamanda iklim değişikliğinin etkilerini hafifletme ve bu değişime uyum sağlama konusunda büyük bir potansiyele sahiptir (Hayo vd., 2024).

3. İKLİME DUYARLI TARIM VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

İklim duyarlı tarım, gıda güvenliği ve iklim değişikliğinin birbiri ile ilişkili zorluklarını ele alan, tarım arazileri, hayvancılık, ormanlar ve balıkçılık sektörlerini kapsayan sistemleri yönetmeye yönelik bütünsel bir yaklaşımdır. Tarım sistemlerini küresel ısınmanın etkilerine karşı daha dirençli hâle getirmeyi amaçlar (WHO, 2025). Tarımsal üretkenlik üzerindeki iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırırken, tarım arazilerini, mahsulleri, hayvanları ve ormanları yönetmeye yönelik kapsamlı bir strateji olan İDT, bu stratejiler ve ilgili teknolojilerin tarıma entegrasyonu ile sürdürülebilirlik, üretkenlik ve iklim dayanıklılığı elde etmek için yeni yollar açmıştır (Gemtou vd., 2024).

İDT uygulamaları, ürün çıktısını, toprak sağlığını, hava kirliliğini ve diğer çiftçilik sonuçlarını etkileyen unsurları ele alan çok yönlü uygulamalar içerir. Bu yöntemlerden bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Toprak Yönetimi Teknikleri: Sıfır toprak işleme, Malçlama, Ara ekim, Ekim nöbeti vb.
- Su Yönetimi Teknikleri: Damla Sulama ve Yağmurlama, Yağmur Suyu Hasadı vb.

- Sera Gazı Emisyonlarını Azaltan Teknikler: Dengeli Azotlu Gübre Kullanımı vb.
- Agro-Ormancılık (Agro-forestry) Teknikleri: Ağaç-Tarım Entegrasyonu, Rüzgâr Perdeleri vb.
- Akıllı ve Hassas Tarım Teknikleri: Dijital Tarım ve İklim Tahmin Sistemleri vb.
- Sürdürülebilir Hayvancılık Yönetimi: Rotasyonel Otlatma, Özel Yem Formülleri ve Gübre Yönetimi vb.
- Mahsul Çeşitlendirme ve Alternatif Ürün Yetiştirme: Ürün Rotasyonu vb.

İklim duyarlı tarım teknikleri genel olarak çevre için faydalıdır, ancak yanlış uygulamalar bazı olumsuz etkiler yaratabilir. Uygulamaların doğru planlanması, en uygun ve malzemelerle oluşturulması ve doğru uygulanması çok önemlidir. Bu uygulamaların bölgesel iklim koşullarına ve çiftçilerin olanaklarına uygun hâle getirilmesi, olası olumsuz etkileri en aza indirmek açısından kritik öneme sahiptir.

İDT girişimlerinin güvenilirlik kazanabilmesi için, tarımsal üretimin ekosistem hizmetlerini nasıl sağlayıp koruyabileceğine dair daha açık ve net tanımlamalara ihtiyaç vardır. Bu nedenle bu uygulamaların iklim değişikliği yönünün yanında, bu hizmetleri sağlayan besin ve hidrolojik döngüleri bozan çevresel etkilerin de çok kriterli değerlendirme yöntemleriyle analiz edilmesi gerekmektedir (Acosta-Alba vd., 2019). Örneğin “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)”, çevresel etkilerin bütünsel olarak değerlendirilmesine yönelik referans bir yöntemdir ve ürünlerin ham maddeden nihai bertarafına kadar olan tüm süreçlerini («beşikten mezara») kapsar (Guinée vd., 2002). Bu yöntem, tarım ve gıda sistemlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek ve çevresel sorunlar ile gıda güvenliği arasındaki bağlantıları analiz etmek amacıyla giderek daha fazla kullanılmaktadır (Acosta-Alba vd., 2019).

Bu kapsamda İDT de dâhil olmak üzere tüm tarımsal uygulamalarda çevresel maliyetlerin hesaplanması ve iklim değişikliği yanında diğer çevre parametrelerinin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu kapsamda çeşitli çalışmalarda baz alınan parametreler şunlardır: (De Souza vd., 2025; Acosta-Alba vd., 2019):

- **Tarım Kaynaklı Yüzeysel Akış:** Tarımsal amaçla kullanılan sulama suyu ya da yağışlar, toprakta sızma, adsorbsiyon ve bitki kullanımı prosesle-

rinden geçtikten sonra arta kalan su havza topografyası gereğince tatlı/tuzlu su sistemlerine taşınmaktadır. Bu taşıma sırasında toprak ve bitkide bulunan azot, fosfor, organik madde ve pestisitler de dâhil olmak üzere çeşitli kimyasallar su sistemlerine taşınmaktadır. Bu kimyasallardan bazı türleri su arıtım yoluyla arıtılamazlar. Bu hususların uygulamaların tarımsal etkileri değerlendirilirken dikkate alınması gerekmektedir.

- **Kaynak Tükenmesi:** Çevrede ve ekonomide bulunan doğal kaynakların miktar ve işlevlerinin azalması hesaba katılmalıdır. Bu kaynaklar, mineraller, maden, fosil yakıtlar ve hatta yenilenebilir kaynaklar olabilir.
- **Tatlı Su Ekotoksitesi:** Tatlı sularda tarımsal faaliyetin yol açtığı, erozyon, besin maddesi yüklemesi ve pestisit taşınımının ilgili sucul ekosistemde yol açtığı zararları belirlemeye yönelik göstergeler hesaba katılmalıdır.
- **Atmosferik Kirleticiler:** Tarım kaynaklı gübre ve kimyasal pestisit içeren tozuma ile atmosfere partikül madde yüklemesi, tarımsal faaliyetlerin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken çevresel etkilerdendir. Bu kapsamda boyut dağılımına göre partiküllerin solunum yoluyla insan vücuduna alımı ya da uzak bölgelere atmosferik taşınım yoluyla taşınarak çökmesi etkiler arasında sayılmalıdır.
- **Asitleşme:** Kara alanlarına ve büyük göl/nehir sistemlerine tarım kaynaklı, atmosferik taşınım ve çökme yoluyla oluşan asidifikasyon sık rastlanan bir çevresel etkidir ve hidrolojik döngüde bu olası pH değişimleri dikkate alınmalıdır.
- **Tatlı Su Ötrofikasyonu:** Tarım kaynaklı besin maddelerinin tatlı suya ulaşarak suda azot ve fosforu arttırması sonucu ekosistemlerde aşırı besin yüklemesi ve ötrofikasyon oluşur ve burum alg patlaması vb. sonuçlar doğurur. Uygulamalarda bu etki dikkate alınmalıdır.
- **Su Kıtılığı:** Tarımsal kullanım neticesinde sulama amaçlı çekilen su miktarı ile kullanılabilir su miktarı arasındaki oran vb. göstergeler kullanılarak tarım sisteminin yarattığı su stresi etkisi değerlendirilmelidir.
- **Habitat Kalitesi:** Biyolojik çeşitliliğin bir göstergesidir ve ekosistemlerin bireylerin ve popülasyonların (örneğin, hayvanlar veya bitkiler) hayatta kalmasını sağlamak için uygun koşullar sunma yeteneğini ifade eder.

Habitat kalitesini etkileyecek uygulamaların olumlu ve olumsuz etkisi değerlendirilmelidir.

- **Toprak ve Suya Kimyasal/Plastik Uygulama:** Çeşitli İDT uygulamalarında kullanılan boru, hortum, sprej gibi malzemelerin plastik ve boyalı parçaları zamanla bozularak mikroplastikler ve toksik kimyasalların toprağa ve suya sızmasına neden olabilir. Bu tür uygulamalarda biyolojik olarak parçalanabilir malzemelerin kullanılması gereklidir. Bu etkilerin uygulamaların etkinliği değerlendirilirken dikkate alınması gereklidir.

Tablo 1’de bazı İDT sistemleri ve çevresel açıdan olumlu ve olası olumsuz etkileri verilmiştir.

Norveç’te yapılan bir çalışmada iklim akıllı tarım uygulamalarının (örtü bitkileri ve tampon bölgeler) çevresel faydaları ekosistem hizmetleri yaşam döngüsü değerlendirmesine entegre edilmiş ve çevresel sonuçlar geleneksel tarımla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, tampon bölgelerin uygulanması, toprak besin maddelerinin ve suyun korunmasını sağlamak, sel koruması sunmak ve toprak üstü ve altı karbon sekestrasyonunu artırmak için bir önlemdir. Bulgulara göre bu uygulama, geleneksel tarıma kıyasla daha iyi çevresel performans göstermekte ancak ürün üretim verimini düşürmektedir. Çevresel parametreler açısından özellikle ötrofikasyon ve toprak erozyonu açısından %64’e varan iyileşmeler sağlanmıştır. Bu, besin maddelerinin taşınımının ve toprak parçacıklarının akışının önemli ölçüde azalmasına bağlıdır (De Souza vd., 2025).

Kolombiya’nın güneyinde yapılmış bir başka çalışmada, kahve, şeker kamışı ve küçükbaş hayvancılığı içeren çiftlik sistemleri için LCA yöntemi test edilmiştir. Ürün sistemi düzeyinde yapılan değerlendirme, çiftlikte ve çiftlik dışı operasyonları dikkate alarak kompost kullanımının azaltım potansiyeli (%22 ile %41 arasında) ölçülebilmektedir. Ancak, etki kategorileri arasında kirlilik transferlerinin mevcut olduğu gösterilmiştir; özellikle iklim değişikliği, asitleşme ve karasal ötrofikasyon göstergeleri arasında belirgin bir etkileşim gözlemlenmiştir. Çiftlik sistemi düzeyinde yapılan değerlendirmede ise hayvancılık birimleri olan çiftliklerin, büyük miktarlarda ithal edilen tahıllara bağımlılığı azaltarak hayvan besleme stratejilerini değiştirmeleri durumunda emisyonlarını daha da sınırlayabilecekleri gösterilmiştir (Acosta-Alba vd., 2019).

Tablo 1. Bazı İDT sistemlerinin avantajları ve çevresel etkileri (Bhatnagar vd., 2024).		
Yöntem	Avantaj	Çevresel Etki
Örtü Bitkileri Kullanımı	Toprağı erozyondan korur Besin dengesini iyileştirir. Karbon depolanmasını artırır.	Fazladan su tüketimi gerektirebilir. Örtü bitkileri bazı zararlı böcekleri çekebilir ve bu durum ek bitki koruma ürünü kullanımını gerektirebilir. Sulara besi maddesi taşınımı ve ötrofikasyon tehlikesini arttırabilir.
Organik Madde ve Kompost Kullanımı	Kimyasal gübre kullanımını azaltır. Toprak sağlığını iyileştirir ve biyolojik çeşitliliği artırır.	Yanlış yönetilirse, sera gazı emisyonlarına neden olabilir. Fazla organik madde kullanımında toprakta dengesizlikler oluşabilir Sulara besi maddesi taşınımı ve ötrofikasyon tehlikesini arttırabilir.
Malçlama	Sera gazı emisyonlarını azaltır İstikrarlı bitkisel üretimin sağlar Su tasarrufu sağlar Buharlaşmayı önler ve toprak sıcaklığını korur. Su kullanım verimliliğini optimize eder. Mahsul verimini artırır	Sentetik plastik malçlar zamanla bozularak mikroplastikler ve toksik kimyasalların toprağa ve suya sızmasına neden olabilir. Yanlış işlenmiş odun malçları, kimyasal kalıntılar (örneğin, boya, koruyucu maddeler veya pestisitler) içerebilir ve toprak ve yer altı su kaynaklarını kirlitebilir. Yanlış uygulama drenaj, toprak su dengesini bozabilir Sulara besi maddesi taşınımı ve ötrofikasyon tehlikesini arttırabilir.
Damla Sulama ve Yağmurlama Sistemleri	Su tüketimini azaltır ve verimliliği artırır. Yeraltı su seviyelerinin korunmasına katkı sağlar	Kullanılacak sentetik plastik malzemeler (boru, sprej sistemler vb.) atıkları iyi yönetilmezse toprak ve su kütlelerinde mikroplastik ve toksik kimyasalların birikimine neden olur.
Yağmur Suyu Hasadı	Tarım için sürdürülebilir su kaynağı oluşturur. Yeraltı su kaynaklarının tükenmesini önler Sürdürülebilir tarımsal verimliliğin sağlanması. Gelecekte su kıtlığının etkilerini azaltmak.	Yanlış planlama yapılırsa su birikimi sivrisinek ve hastalık riskini arttırabilir.
Kuraklığa Dayanıklı Bitkiler Yetiştirme	Su tüketimini azaltır. Kuraklık stresi altındaki bölgelerde tarımı sürdürülebilir kılar	Genetik çeşitliliğin azalmasına neden olabilir. Yerel türlerin yerine GDO'lu veya hibrit türlerin yayılmasına yol açabilir
Rüzgâr Perdeleri	Toprak erozyonunu azaltır. Bitki büyümesini iyileştirir	Yanlış türler dikilirse yerel ekosistemi olumsuz etkileyebilir. Doğru tasarlanmadığında ve uygun türler seçilmediğinde mikroiklim değişikliklerine neden olabilir. Yanlış yerleştirilen rüzgâr perdeleri kar ve buz birikmesine yol açabilir

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarım, çevreyi en fazla kirleten ve kontrolü en zor çevresel baskı unsurlarından biridir. Genel kanının aksine, toplam çevresel etkileri endüstriyel üretim süreçlerine kıyasla daha yüksektir. Bu durum, gübre ve pestisit kullanımı, hayvancılık faaliyetleri gibi doğrudan kirletici girdilere bağlı olduğu gibi iklim değişikliği ve sera gazı yönetimi gibi yeni zorluklarla da pekişmektedir. Tarım, doğal faktörleri girdi olarak kullanır ve çevrede meydana gelen değişikliklerden (kirlenme, ısınma, aşırı hava olayları vb.) doğrudan etkilenir. Bu nedenle, hem çevreyi kirleten ve sera gazı salımına neden olan hem de kirlilik ve iklim değişikliği koşullarından en fazla etkilenen sektördür.

İklim, doğrudan bitkilerin büyümesini belirler. İklim değişikliği bitkilerin büyümesi için uygun ortam koşullarının (ışık, hava, ısı gibi) değişimine, yağışın bölgesel dağılımını etkileyerek ve sel, toprak erozyonu ve çölleşme gibi ciddi sonuçlara yol açarak bitkilerin büyümesi için gerekli yeterli su ve toprak kaynaklarının eksikliğine yol açarak tarımsal üretimin genel yapısını değiştirir ve ürün kalite ve miktarında düşüşe neden olur.

İDT teknikleri tarımın iklim değişikliğine karşı dirençli hâle gelmesini sağlarken çevresel sürdürülebilirliği de teşvik eder. Tarımsal uygulamalarda İDT'ye geçiş, sosyo-ekonomik, teknolojik, kurumsal ve politik faktörlerden etkilenen karmaşık ve çok yönlü bir süreçtir. Pek çok çalışma, bu tür bir dönüşümün birden fazla paydaş arasında işbirlikçi stratejiler gerektirdiğini öne sürmektedir.

İDT vb. tekniklerin uygulanması desteklenirken değerlendirilmesi gereken kriterlerden en önemlisi sera gazı emisyonu azaltma yanında çevresel etkilerinin belirlenmesidir. Uygulanan tekniklerin özellikle doğal kaynak tüketimini arttırmayacak; toprak ve su sistemlerine aşırı besin maddesi yüklemesi ve ötrofikasyon vb. sorunlara neden olmayacak; sentetik plastik parçaların kullanımı ile toprak, atmosfer ve suda mikroplastikler ve toksik kimyasalların bulunmasına yol açmayacak, mikro-iklim koşullarını olumsuz etkilemeyecek gerek kara gerekse su sistemlerinde asidifikasyona neden olmayacak yöntemlerden seçilmesi gerekmektedir. Tekniklerin doğru planlanması ve uygulanması ile bu tür olumsuz çevresel etkilerin önüne geçilebilir. Bu önlemler, tarımsal dönüşümü iklim değişikliğine uyumlu hâle getirirken çevresel etkileri minimize etmeye ve tarımsal sürdürülebilirliği arttırmaya yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdel Aal, S.E., Dessouki, A.M., Sokker, H.H., (2001). Degradation of some pesticides in aqueous solutions by Electron beam and gamma-radiation. *J. Radioanal. Nucl.Chem.* 250, 329-334.
- Acosta-Alba, I., Chia, E., & Andrieu, N. (2019). The LCA4CSA framework: Using life cycle assessment to strengthen environmental sustainability analysis of climate smart agriculture options at farm and crop system levels. *Agricultural Systems*, 171, 155-170.
- Alletto, L., Coquet, Y., Benoit, P., Heddadj, D., & Barriuso, E. (2010). *Tillage management effects on pesticide fate in soils: A review. Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 367-400.
- Bhatnagar, S., Chaudhary, R., Sharma, S., Janjhua, Y., Thakur, P., Sharma, P., & Keprate, A. (2024). Exploring the dynamics of climate-smart agricultural practices for sustainable resilience in a changing climate. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24, 100535.
- De Souza, N. R., Solberg, M. K. M., Hu, X., & Cherubini, F. (2025). Environmental benefits and changes in ecosystem services of climate-smart agriculture relative to conventional agriculture in Norway. *Journal of Environmental Management*, 377, 124633.
- De Souza, R. M., Seibert, D., Quesada, H. B., Bassetti, F., Fagundes-Klen, M. R., Bergamasco, R., 2020. Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surfacewater: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 135, 22-37.
- Denkçi, H. (2019). Edirne ili merkez ilçeye bağlı köylerden ayçiçeği ekim alanının en geniş olduğu ilk 3 köyde, kayıtlı çiftçilerin tarım ilacı kullanımı konusundaki bilgi ve tutumları (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- FAO, 2013. Climate-Smart Agriculture Sourcebook|CCAFS: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security. <https://ccafs.cgiar.org/publications/climate-smart-agriculture-sourcebook#.WaQfGT5JbIU>.
- Gemtou, M., Kakkavou, K., Anastasiou, E., Fountas, S., Pedersen, S.M., Isakhanyan, G., Erekalı, K.T., Pazos-Vidal, S., 2024. Farmers' Transition to Climate-Smart Agriculture: A Systematic Review of the Decision-Making Factors Affecting Adoption. *Sustainability* 16.
- Guinée, J., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M., 2002. Handbook on LCA, Operational Guide to the ISO Standards.
- Hayo, L., Hasegawa, H. (2024). Enhancing emission reductions in South African agriculture: The crucial role of carbon credits in incentivizing climate-smart farming practices. *Sustainable Futures*, 8, 100260.
- Kashyap, U., Garg, S., & Arora, P. (2024). *Pesticide pollution in India: Environmental and health risks, and policy challenges. Toxicology Reports*, 13, 101801.
- Kaymak, S., Özdem, A., Karahan, A., Özeran, B., Aksu, P., Aydar, A., Kodan, M., Yılmaz, A., Başaran, S., Asav, Ü., Erdoğan, P., Güler, Y., 2015. Ülkemizde Ziraî Mücadele Girdilerinin

- Değerlendirilmesi, Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
- Khamaissa, M., Zouari-Mechichi, H., Sciara, G., Record, E., & Mechichi, T. (2024). *Pollution from livestock farming antibiotics: An emerging environmental and human health concern-A review. Journal of Hazardous Materials Advances*, 13, 100410.
- Luo, B., Dou, X. (2024). Climate change, agricultural transformation and climate smart agriculture development in China. *Heliyon*, 10, e40008.
- Nozaki, S., 2022. Reducing the environmental impact of chemical fertilizers is increasingly important for sustainable agriculture-It is also spurring on the creation of new business. Mitsui & Co. Global Strategic Studies Institute Monthly Report.
- Omuferen, L. O., Maseko, B., & Olowoyo, J. O. (2022). *Occurrence of antibiotics in wastewater from hospital and conventional wastewater treatment plants and their impact on the effluent receiving rivers: Current knowledge between 2010 and 2019. Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 306.
- Pan, D., Chen, H., Zhang, N., & Kong, F. (2023). *Do livestock environmental regulations reduce water pollution in China? Ecological Economics*, 204, 107637.
- Rice, P. J., Rice, P. J., Arthur, E. L., & Barefoot, A. c. (2007). Advances in Pesticide Environmental Fate and Exposure Assessments. *Agricultural and Food Chemistry*, 55, 5367-5376.
- Silva, V., Mol, H.G.J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C.J., Geissen V., (2019). Pesticide residues in European agricultural soils-a hidden reality unfolded. *Sci. Total Environ.* 653, 1532-1545.
- Singh, S., Singh, R., Singh, K., Katoch, K., Zaeen, A. A., Birhan, D. A., Singh, A., Sandhu, H. S., Singh, H., & Sharma, L. K. (2024). *Smart fertilizer technologies: An environmental impact assessment for sustainable agriculture. Smart Agricultural Technology*, 8, 100504.
- UNFCCC, 2025. Climate-smart agriculture. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from <https://unfccc.int/news/climate-smart-agriculture> (Son erişim tarihi: 12 Mart 2025).
- USEPA, 2025. U.S. Environmental Protection Agency. *Basic information about pesticide ingredients*. Retrieved from <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/basic-information-about-pesticide-ingredients>. (Son erişim tarihi: 12 Mart 2025)
- Van, T. T. H., Yidana, Z., Smooker, P. M., & Coloe, P. J. (2020). *Antibiotic use in food animals worldwide, with a focus on Africa: Pluses and minuses. Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 20, 170-177.
- WHO, 2025. World Bank. (2025). Climate-smart agriculture. World Health Organization. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>. (Son erişim tarihi: 12 Mart 2025).
- Zhang, Q., Ying, G., Pan, C., Liu, Y., & Zhao, J. (2015). *Comprehensive evaluation of antibiotics emission and fate in the River Basins of China: Source analysis, multimedia modeling, and linkage to bacterial resistance. Environmental Science & Technology*, 49, 6772-6782.



İKLİME DUYARLI BİTKİSEL ÜRETİM

Fatih Konukcu - Selçuk Albut - İsrail Kocaman- Tolga Erdem

İklim değişikliği son yıllarda yaşanan en ciddi küresel çevre problemidir. Küresel ısınma, kuraklık ve diğer aşırı iklim olayları tüm sektörleri etkilemektedir. Ancak gıda güvencesi nedeniyle iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerine, tarım sektörünün de iklim değişikliği üzerine etkisinin hassasiyetle dikkate alınması gerekmektedir.

FAO Dünyada Gıda Güvenliği ve Beslenmenin Durumu (SOFI) 2024 raporuna göre dünyada yılda dokuz milyondan fazla insan açlık nedeniyle yaşamını yitirmektedir. Dünya nüfusunun yaklaşık üçte biri gıda güvencesi olmayan bölgelerde yaşamaktadır. FAO, yıllık dünya gıda üretiminin önümüzdeki otuz yılda %60 artması gerektiğini bildirmektedir. Ancak, iklim değişikliği tarımsal üretim sistemlerini ve gıda sistemlerini baltalamaktadır. Diğer taraftan tarım sektörü sera gazı emisyonları ile iklim değişimine neden olmaktadır. Bu nedenle, iklim değişimi sürecinde tarım sektörü iç içe geçmiş üç zorluğun aşmak zorundadır: i) küresel gıda talebini karşılamak için tarımsal verimliliği sürdürülebilir bir şekilde artırmak; ii) iklim değişiminin etkilerine karşı uyum sağlamak; iii) atmosferdeki sera gazı birikiminin azaltılmasına katkıda bulunmaktır.

Bu amaçları gerçekleştirmek için FAO (2010), İklim Duyarlı Tarım (İDT) kavramını geliştirmiş ve desteklemiştir. İDT, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek ve iklim değişikliği altında gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretim sistemlerini ve gıda değer zincirlerini dönüştürmeye ve yeniden yönlendirmeye yarayan bir yaklaşımdır.

Bu kitapta, iklim duyarlı bitkisel üretim prensipleri araştırmacılar ve çiftçilerimizin yararına sunulmuştur.



Bu yayın, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti'nin mali desteğiyle hazırlanmıştır. İçeriğinden yalnızca Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi sorumludur. Türkiye Cumhuriyeti ve Avrupa Birliği'nin görüşlerini yansıtmıyor olarak yorumlanamaz.



NOBEL
BİLİMSEL ESERLER

www.nobelbilimseserler.com



nobelyayin.com

e-kitap



nobelkitap.com

ISBN 978-625-76-485-2
9 786253 764852