

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**HASSAS TARIM TEKNİKLERİNİN BAHÇE BİTKİLERİNDE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ: KİRAZ ÖRNEĞİ**

Muhammed Halil KOPARAN

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2025**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

HASSAS TARIM TEKNİKLERİNİN BAHÇE BİTKİLERİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ: KIRAZ ÖRNEĞİ

Muhammed Halil KOPARAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlhami BAYRAMİN

Bu çalışma, kiraz bitkisi üzerinde fertigasyon yöntemi ile değişken oranlı sulama ve gübreleme uygulamalarının verim, kalite ve girdi kullanım etkinliği üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, 2023 ve 2024 üretim sezonlarında Manisa ili sınırlarında yürütülmüştür. Çalışma alanı, Gediz Havzası içerisinde yer alan ve iklim değişikliği ile birlikte artan su kıtlığı riski nedeniyle tarımsal su yönetimi açısından öncelikli bölgelerden biri olarak kabul edilen bir konumda yer almaktadır. Çalışma kapsamında, arşiv NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) verileri dayalı olarak üç farklı yönetim zonu belirlenmiş; VR1 ve VR2 zonlarına değişken oranlı uygulamalar, UR zonuna ise üreticinin kendi yönetim şekline uygun olarak tekdüze uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 2023 yılında UR'ye kıyasla VR1 zonunda azot (N) kullanımında %24,6, fosforda (P) %24,8 ve potasyumda (K) %33,3 oranında tasarruf sağlanırken; VR2 zonunda ise bu oranlar sırasıyla %11,9, %17,4 ve %18,2 olarak belirlenmiştir. 2024 yılında benzer eğilimler görülmüş; VR1'de azot, fosfor ve potasyum kullanımları sırasıyla %24,2, %22,6 ve %19 oranında, VR2'de ise %15,1, %11,5 ve %10,3 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Sulama suyu kullanımında ise 2023 yılına kıyasla UR'ye göre VR1 zonunda %49,4 ve VR2 zonunda %35,3; 2024 yılında ise sırasıyla %36,1 ve %24,8 oranlarında azalma sağlanmıştır. Yapılan uygulamalar arasında, ürün verimi ve meyve kalite parametrelerinde zonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Sonuç olarak, bu çalışma fertigasyon yöntemi ile değişken oranlı sulama ve gübreleme uygulamalarının, ürün verim ve kalitesini koruyarak girdi kullanımını azaltabileceğini göstermektedir.

Haziran 2025, 177 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hassas tarım, Değişken oranlı sulama, Değişken oranlı gübreleme, Kiraz

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF THE APPLICABILITY OF PRECISION AGRICULTURE TECHNIQUES IN HORTICULTURE: THE CASE OF SWEET CHERRY

Muhammed Halil KOPARAN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. İlhami BAYRAMİN

This study was conducted in Manisa province in the 2023 and 2024 production seasons to determine the effects of variable rate irrigation and fertilization applications on yield, quality and input use efficiency of cherry plants by fertigation method. The study area is located in the Gediz Basin, which is considered as one of the priority regions for agricultural water management due to the increasing risk of water scarcity with climate change. Within the scope of the study, three different management zones were determined based on archival NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data; variable rate applications were applied to VR1 and VR2 zones, and uniform applications were applied to the UR zone in accordance with the producer's own management style. According to the results obtained, in 2023, compared to UR, 24.6% savings in nitrogen (N), 24.8% savings in phosphorus (P) and 33.3% savings in potassium (K) were achieved in the VR1 zone, while in the VR2 zone these rates were 11.9%, 17.4% and 18.2%, respectively. In 2024, similar trends were maintained; nitrogen, phosphorus and potassium use were reduced by 24.2%, 22.6% and 19% in VR1, and by 15.1%, 11.5% and 10.3% in VR2, respectively. Irrigation water use was reduced by 49.4% in VR1 zone and 35.3% in VR2 zone in 2023 and by 36.1% and 24.8% in 2024, respectively, compared to UR. Despite all these savings, there was no statistically significant difference in yield and fruit quality parameters between the zones ($p>0.05$). In conclusion, this study showed that variable rate irrigation and fertilization applications with fertigation method can reduce input use while maintaining crop yield and quality.

June 2025, 177 pages

Key words: Precision agriculture, Variable rate of irrigation, Variable rate of fertilization, Sweet Cherry

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam süresince bilgi birikimi, akademik rehberliği ve yapıcı katkılarıyla araştırmalarımın her aşamasında yolumu aydınlatan, sadece bilimsel anlamda değil, insani yönüyle de örnek teşkil eden çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. İlhami BAYRAMİN'e en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez İzleme Komitesi üyeleri olarak bilgi ve değerlendirmeleriyle çalışmama yön veren Prof. Dr. Aydın GÜNEŞ ve Prof. Dr. Yusuf Ersoy YILDIRIM'a katkıları için teşekkür ederim. Tez savunmamda jüri üyesi olarak yer alarak kıymetli vakitlerini ayıran ve değerlendirmeleriyle çalışmamın gelişimine katkı sağlayan Prof. Dr. Şeref KILIÇ ve Prof. Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ'ye şükranlarımı sunarım.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarında desteklerini esirgemeyen, proje kapsamında birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum Dr. Ceren Görgişen, Eser Bora ve Erol Gürkan Işın'a ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmamın yürütülmesinde katkı sunan ve değerli iş birlikleriyle süreci kolaylaştıran Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve tüm çalışanlarına; Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve özellikle laboratuvar sürecindeki destekleriyle Dr. Fulya KUŞTUTAN ve laboratuvar ekibine teşekkür ederim.

Akademik ve sosyal dayanışmayı birlikte yürüttüğümüz, meclis grubundaki kıymetli arkadaşlarıma verdikleri moral ve destek için teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan, rahmetle andığım merhum babam İsmail KOPARAN'a, duası ve desteğiyle her daim yanımda olan annem Kamile Koparan'a; kardeşlerim Bünyamin KOPARAN, Belinay KOPARAN ve Sümeyye TEKİN'e şükran borçluyum.

Ve...

Bu zorlu süreci benimle birlikte göğüsleyen, her daim sabır ve anlayışla yanımda olan değerli eşim Ayşe Nur KOPARAN'a; hayatıma neşe ve umut katan sevgili çocuklarım İsmail Ukbe ve Zeynep Hifa'ya minnettarım.

Her birine ayrı ayrı gönülden teşekkür ederim.

Bu çalışma Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen TAGEM/TSKAD/A/23/A9/P7/6235Nolu Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Muhammed Halil KOPARAN
Ankara, Haziran 2025

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. TARIM VE ÇEVRESEL FAKTÖRLER	4
2.1 Gıda Güvenliği.....	8
2.2 Küresel İklim Değişikliğinin Tarım Üzerine Etkileri.....	10
2.3 Paris İklim Anlaşması.....	13
2.4 Yeşil Yol veya Yeşil Mutabakat (2030)	15
2.5 Karbon Ayak İzini Azaltma (2050)	17
2.6 Nitrat Direktifi.....	20
2.7 Tarımda Temel Girdiler	21
2.7.1 Tarımsal girdilerin dünya ve ülkemizde durumu ve geleceği	22
2.7.2 Dünyada ve Türkiyede gübre kullanımı	25
2.7.3 Su kullanım eğilimi ve su kaynaklarının durumu.....	29
2.7.4 Tarımsal ilaç kullanım eğilimi ve durumu	33
2.8 Toprak Özelliklerinin Değişkenliği.....	34
3. HASSAS TARIM UYGULAMALARI.....	38
3.1 Hassas Tarım	38
3.2 Hassas Uygulamalı Tarımın Bileşenleri	40
3.3 Hassas Tarımın Tarihçesi.....	44
3.4 Dünyada Ve Ülkemizde Bahçe Tarımında Hassas Tarım Uygulamaları	45
3.5 Hassas Tarımın Önemi ve Yararları	48
3.6 Değişken Oranlı Tarım Uygulamaları.....	51
3.6.1 Bahçe bitkilerinde değişken oranlı sulama	52
3.6.2 Bahçe bitkilerinde değişken oranlı gübreleme	55

3.6.3 Bitki Gelişiminde Stres	58
3.6.4 Hassas tarımda uzaktan algılama ile bitki gelişiminin izlenmesi	61
4. KIRAZ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE MEVCUT DURUM	64
4.1 Türkiye Kiraz Üretimi ve Ticareti.....	66
4.2 Dünya Kiraz Üretimi ve Ticareti	68
4.3 Kiraz Tarımında Sulama ve Gübrelemenin Önemi ve Karşılaşılan Zorluklar ..	70
5. MATERYAL ve YÖNTEM.....	74
5.1 Materyal.....	74
5.1.1 Deneme alanı	74
5.1.2 Deneme alanına ait meteorolojik veriler	75
5.1.3 Araştırma alanı toprak özellikleri	75
5.1.4 Bitki materyali özellikleri.....	77
5.1.5 Araştırmada kullanılan ekipmanlar	77
5.1.5.1 Meteoroloji istasyonu.....	77
5.1.5.2 Sulama sisteminin özellikleri ve kurulumu	78
5.2 Yöntem	80
5.2.1 Toprak analizleri	80
5.2.2 Bitki analizleri	83
5.2.3 Meyve kalite analizleri.....	83
5.2.4 Sulama suyu miktarının belirlenmesi	84
5.2.5 Sulama suyu kullanım etkinliğinin belirlenmesi	85
5.2.6 Gübreleme stratejisi.....	85
5.2.7 Yönetim zonlarının belirlenmesi.....	87
5.2.7 Tarımsal uygulamalar ve gözlemler.....	90
5.2.8 İstatistiksel analizler	93
6. BULGULAR ve TARTIŞMA	94
6.1 Deneme Yıllarına İklim Özellikleri	94
6.2 Yönetim Zonlarının Belirlenmesi ve Toprak Özellikleri	97
6.3 Yönetim Zonu Bazlı Sulama.....	106
6.3.1 Sulama uygulamaları.....	106
6.3.2 Toprak nem içeriği	108
6.3.3 Bitki su tüketimi	112
6.3.4 Sulama suyu üretkenlikleri (WPI).....	114
6.4 Yönetim Zonu Bazlı Gübreleme	118

6.4.1 Üretim sezonu toprak analizleri	118
6.4.2 Üretim sezonu yaprak analizleri.....	123
6.4.3 Üretim sezonu gübre kullanımı.....	127
6.5 NDVI Tabanlı Bitki Gelişimi ve Zonlar Arası Değişim.....	133
6.6 Verim ve Kalite Üzerindeki Etkiler	139
7. SONUÇ.....	147
KAYNAKLAR.....	152
ÖZGEÇMİŞ.....	176

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
B	Bor
C	Kil
Ca	Kalsiyum
Cl	Klor
cm	Santimetre
Cr	Kapılar yükselme
Cu	Bakır
da	Dekar
dS	Desisimens
Dw	Derine sızma
Fe	Demir
g	Gram
h	Saat
ha	Hektar
I	Sulama suyu
K	Potasyum
kg	Kilogram
L	Litre
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
Mg	Magnezyum
mg kg ⁻¹	Kilogram içerisindeki milligram
mm	Milimetre
Mn	Mangan
N	Azot
Na	Sodyum
°C	Derece santigrad
P	Fosfor
P	Yağış
pH	Hidrojen iyonu konsantrasyonunun kologaritması
Rf	Yüzey akış
S	Kükürt
Zn	Çinko
ΔS	Toprak nem değişimi

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
EC	Elektriksel iletkenlik
ETa	Gerçek bitki su tüketimi

DOG	Değişken Oranlı Gübreleme
DOS	Değişken Oranlı Sulama
FAO	Dünya Gıda ve Tarım Örgütü
GHG	Sera Gazları
İHA	İnsansız Hava Aracı
KDK	Katyon değişim kapasitesi
NDVI	Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Fark İndeksi
OTP	Ortak Tarım Politikası
PCA	Temel Bileşenler Analizi
SAVI	Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi
SN	Solma noktası
TA	Titrasyon Asitliği
TK	Tarla kapasitesi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UR	Tekdüze oran
VR1	Değişken Oranlı 1
VR2	Değişken Oranlı 2
WPI	Sulama suyu bazlı su üretkenliği
Y	Verim
YZ	Yönetim Zonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 5.1 Deneme alanına ait uydu görüntüsü.....	74
Şekil 5.2 Alara Dev kiraz çeşidi.....	77
Şekil 5.3 Otomatik iklim istasyonu.....	78
Şekil 5.4 Kontrol ünitesi ve sulama havuzu.....	79
Şekil 5.5 Çalışma alanı genel sulama planı.....	80
Şekil 5.6 En iyi küme sayısının belirlenmesi (Elbow Method)	89
Şekil 5.7 İki ana bileşen üzerinde fuzzy clustering ile elde edilen yönetim zonları	90
Şekil 6.1 Yönetim zonlarına ait genel toprak profilleri.....	99
Şekil 6.2 2020 Kümülatif NDVI (Nisan-Ağustos).....	101
Şekil 6.3 2021 Kümülatif NDVI (Nisan-Ağustos).....	102
Şekil 6.4 2022 Kümülatif NDVI (Nisan-Ağustos).....	103
Şekil 6.5 2023 yılına ait topraktaki nem değişimi (VR1)	109
Şekil 6.6 2023 yılına ait topraktaki nem değişimi (VR2)	110
Şekil 6.7 2024 yılına ait topraktaki nem değişimi (VR1)	111
Şekil 6.8 2024 yılına ait topraktaki nem değişimi (VR2)	112
Şekil 6.9 2023 yılına ait gübre kullanımı	128
Şekil 6.10 2024 yılına ait gübre kullanımı	129
Şekil 6.11 2023 yılı NDVI zamansal değişimi.....	134
Şekil 6.12 2023 kümülâtif NDVI haritası	135
Şekil 6.13 2024 yılı NDVI zamansal değişimi.....	136
Şekil 6.14 2024 kümülâtif NDVI haritası	137

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1 Manisa İline ait bazı iklim verilerinin uzun yıllar içinde gerçekleşen Ortalama Değerler,1930 - 2020.....	75
Çizelge 5.2 Araştırma alanına ait toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri	76
Çizelge 5.3 Toprak analiz sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan referans değerler, azot (N) için g/kg, kireç ve organik madde (O.M.) için yüzde (%), E.C için dS/m, diğer besin elementleri için ise mg/kg birimlerinde ifade edilmiştir (Lindsay ve Norwell 1978, Güneş vd.1996)	86
Çizelge 5.4 Verime göre uygulanması gereken gübre miktarı (Sallato, 2023)	86
Çizelge 5.5 Besin maddesi yeterlilik aralıkları (Ankerman ve Large, 2001).....	87
Çizelge 5.6 PlanetScope Uydusunun Genel Özellikleri (Team, 2017)	88
Çizelge 5.7 2023 yılı tarımsal uygulamalar ve gözlemler	91
Çizelge 5.8 2024 yılı tarımsal uygulamalar ve gözlemler	92
Çizelge 6.1 2023-2024 yılları çalışma alanına ait deneme alanı iklim verileri.....	96
Çizelge 6.2 Yönetim zonları belirlenmeden önce araştırma alanına ait toprak özellikleri.....	98
Çizelge 6.3 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait alansal NDVI ortalamaları (Nisan-Ağustos kümülatif).....	100
Çizelge 6.4 Yönetim zonlarına ait sulama suyu miktarı (mm)	107
Çizelge 6.5 2023 yılına ait bitki su tüketimi değerleri (mm)	113
Çizelge 6.6 2024 yılına ait bitki su tüketimi değerleri (mm)	113
Çizelge 6.7 2023 yılına ait WPI değerleri	114
Çizelge 6.8 2024 yılına ait WPI değerleri	115
Çizelge 6.9 2023 Yılı üretim sezonu öncesi toprak analiz sonuçları	119
Çizelge 6.10 2024 Yılı üretim sezonu öncesi toprak analiz sonuçları	119
Çizelge 6.11 Referans değerler (Haifa Group,2025).....	123
Çizelge 6.12 2023 Yılı yaprak analiz sonuçları	124
Çizelge 6.13 2024 Yılı yaprak analiz sonuçları	125
Çizelge 6.14 2023 ve 2024 yıllarına ait verimler	139
Çizelge 6.15 2023 yılına ait meyve kalite parametreleri analizi sonuçları	141
Çizelge 6.16 2024 yılına ait meyve kalite parametreleri analiz sonucu.....	142
Çizelge 6.17 2023 Meyve kalite parametreleri ANOVA tablosu	143
Çizelge 6.18 2024 Meyve kalite parametreleri ANOVA tablosu	144

1. GİRİŞ

Küresel ölçekte hızla artan nüfus, sanayileşme, kentleşme ve buna paralel olarak gıda talebindeki artış, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı her geçen gün daha da artırmaktadır. Özellikle tarım sektörü, hem doğal kaynak kullanım yoğunluğu hem de çevresel etkileri bakımından bu baskının en çok hissedildiği alanlardan biridir. Tarımsal faaliyetlerin iklim değişikliğiyle çift yönlü bir ilişkisi bulunmaktadır: Tarım sektörü, sera gazı emisyonları, arazi kullanımındaki değişiklikler ve yoğun girdi kullanımı gibi etkenler nedeniyle iklim değişikliğine katkıda bulunmakta; aynı zamanda bu değişikliklerden doğrudan etkilenen sektörlerin başında gelmektedir. Bu nedenle, özellikle su ve toprak gibi sınırlı ve giderek azalan doğal kaynakların daha etkin, verimli ve sürdürülebilir biçimde kullanılması, günümüzde yalnızca bir tercih değil, zorunluluk haline gelmiştir. Bu zorunluluğun bir sonucu olarak, uluslararası düzeyde sürdürülebilir tarıma yönelik politika belgeleri ve stratejik yönelimler giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Avrupa Birliği'nin 2019 yılında ilan ettiği Yeşil Mutabakat (European Green Deal), 2050 yılına kadar karbon-nötr bir kıta hedeflerken, tarım sektöründe de kaynak kullanım etkinliğinin artırılması, pestisit, kimyasal gübre ve antibiyotik kullanımının azaltılması, biyoçeşitliliğin korunması ve tarımsal üretimin çevreye duyarlı biçimde sürdürülmesi gibi öncelikleri gündeme taşımaktadır (European Commission, 2019). Benzer şekilde, Paris İklim Anlaşması (2015) ile 1,5°C'lik küresel sıcaklık artışı sınırını aşmamak adına, özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde tarım sektörüne düşen sorumluluklar açık biçimde vurgulanmıştır (UNFCCC, 2015).

Bu uluslararası çerçeveler, tarımsal üretimde verimliliğin artırılması kadar, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasını da zorunlu kılmaktadır. Bu noktada, hassas tarım teknolojileri ve özeldir değişken oranlı uygulamalar hem çevresel ayak izini azaltmakta hem de girdi kullanımını optimize ederek sürdürülebilir tarım hedeflerine katkı sunmaktadır. Dolayısıyla, çağdaş tarım anlayışının yeniden şekillendiği günümüzde, iklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilirlik hedefleri bağlamında, bu teknolojilerin benimsenmesi ve yaygınlaştırılması kritik önemdedir.

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini hem ekonomik hem de çevresel boyutlarıyla güvence altına almayı hedefleyen modern yaklaşımlar arasında hassas tarım uygulamaları, günümüzde en fazla üzerinde durulan stratejilerden biridir. Hassas tarım, tarla içi varyasyonları dikkate alarak homojen kabul edilen alanlar yerine, biyofiziksel farklılıkların tanımlandığı ve bu farklılıklara uygun yönetim kararlarının alındığı bir üretim sistemini teşvik eder. Bu yaklaşımla birlikte, üretim süreçleri yalnızca genel bir plan dahilinde değil, aynı zamanda mikro düzeyde toplanan verilerle şekillendirilerek daha hedefe yönelik, optimize edilmiş uygulamalar gerçekleştirilir. Özellikle su ve gübre gibi tarımsal girdilerin zamanlama, miktar ve yer bakımından değişken şekilde uygulanması, değişken oranlı sulama (DOS) ve değişken oranlı gübreleme (DOG) gibi teknolojilerin kullanımını beraberinde getirmiştir.

Mulla (2013) ile Gebbers ve Adamchuk (2010) tarafından yapılan çalışmalar, tarım alanlarında mekansal farklılıkların doğru bir şekilde analiz edilmesiyle girdi kullanımında %20 ila %50 arasında tasarruf sağlanabileceğini ve buna rağmen verim veya kalite açısından anlamlı bir kayıp yaşanmadığını ortaya koymuştur. Değişken oranlı uygulamalar yalnızca ekonomik avantajlar değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da güçlü kazanımlar sunmaktadır. Özellikle gübrelerin yalnızca ihtiyaç duyulan miktarda ve belirli zonlara uygulanması, toprakta besin maddesi birikiminin ve yeraltı sularına olası sızıntının önüne geçilmesini sağlayarak çevre üzerindeki baskıyı azaltmaktadır. Aynı şekilde, sulama suyunun bölgeye göre farklı miktarlarda verilmesi, hem suyun daha etkin kullanılmasına olanak tanımakta hem de aşırı sulamadan kaynaklanan toprak bozulmaları ve bitki streslerinin önüne geçmektedir.

Türkiye tarımı açısından bakıldığında, kiraz üretimi, hem ülke ekonomisi hem de dış ticaret açısından stratejik bir öneme sahiptir. Türkiye, dünya kiraz üretiminde lider ülkeler arasında yer almakta olup, 1997 yılında 215 bin ton olan üretimini 2020 yılında 732 bin tona yükselterek dikkat çekici bir artış sağlamıştır. Üretilen kirazın önemli bir kısmı, Rusya ve Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere ihraç edilmekte, bu da kirazı hem ekonomik katma değeri yüksek hem de küresel rekabet açısından stratejik bir meyve konumuna getirmektedir (Çelik ve Sarıaltın, 2019). Kiraz üretiminde elde edilen bu başarı, sadece tarımsal üretimle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda istihdam yaratma, ihracat

gelirlerini artırma ve kırsal kalkınmaya katkı sağlama açısından da önemli bir rol üstlenmektedir (Zidouemba, 2018).

Bu çalışmanın yürütülmesinin temel sebebi, iklimsel kırılganlık, su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve tarımsal üretim potansiyeli gibi çok katmanlı stratejik etkenler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Manisa ili, Ege Bölgesi'nin merkezinde konumlanmış olup, Gediz Havzası'nın önemli bir parçasıdır. Gediz Havzası, mevcut iklim senaryoları doğrultusunda Türkiye'nin iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek havzaları arasında yer almakta; artan sıcaklıklar, düzensizleşen yağış rejimi ve su kaynaklarındaki nicel ve nitel bozulmalar bu bölgeyi kritik önemde bir tarımsal üretim alanı haline getirmektedir (Demircan vd. 2020; Öztürk vd. 2014). Nitekim, Ülke ve Aksoy (2022) tarafından yapılan çalışmalar, havza genelinde yeraltı su seviyelerinde sürekli bir düşüş ve su kalitesinde önemli ölçüde bozulma yaşandığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, su yönetimi açısından risk taşıyan bu alanda, özellikle hassas sulama ve gübreleme gibi modern tarım tekniklerinin denenmesi, hem bölgesel hem de ulusal düzeyde sürdürülebilirlik hedefleri açısından stratejik bir önem taşımaktadır.

Öte yandan, Manisa ili aynı zamanda Türkiye'nin en erkenci kiraz üretim bölgelerinden biri olup, kuzey yarımkürede sezonun ilk kiraz hasadının gerçekleştirildiği nadir coğrafyalardan biridir. Bu erkencilik özelliği, yalnızca üretim takviminin öne çekilmesi anlamına gelmemekte, aynı zamanda uluslararası pazarlarda yüksek fiyatla satış imkânı ve dış ticarete rekabet avantajı sağlamaktadır (Gülcan, 2013). Türkiye'nin toplam kiraz ihracatı içerisinde Manisa'nın payının giderek artması, bu bölgedeki üretim verimliliği ve kalitesinin doğrudan ekonomik etkilere sahip olduğunu da göstermektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada hassas tarım tekniklerinin erkenci ve ihracata dayalı kiraz üretim sistemlerinde uygulanabilirliğinin araştırılması, yalnızca akademik bir katkı sunmakla kalmayıp, aynı zamanda bölgesel kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik ve tarımsal inovasyon politikaları açısından da stratejik bir model önerisi sunmaktadır.

Bu bağlamda yürütülen bu doktora çalışması, hem değişken oranlı sulama hem de değişken oranlı gübreleme uygulamalarının kiraz üretiminde verim, kalite, su ve gübre kullanım etkinliği üzerindeki etkilerini araştırmakta ve hassas tarımın Türkiye'deki potansiyelini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. TARIM VE ÇEVRESEL FAKTÖRLER

Koruyucu politikaların uygulanmasıyla tarımın sürdürülebilir büyüme ve gelişiminin desteklenmesi, birçok ülkede çevre sorunlarını azaltmıştır. Azotlu gübrelerin ve pestisitlerin kontrolsüz kullanımı, çiftlik hayvan atıklarının yönetilmemesi, peyzajın bozulması, doğal yaşamın yok olması ve toprak erozyonu, tarımın çevresel etkileşiminde ana konulardır. Koruma politikaları oluşturulurken, her sektör için (tarım, inşaat, endüstri, enerji, ulaştırma, konut) uzun vadeli planlar yapılırken, gelecekte alınacak kararlarda kesinlikle çevresel etkilerin değerlendirilmesi önemlidir. Tarımdan kaynaklanan çevre kirliliği, aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Karaer ve Gürlük, 2003).

Pestisit Kirliliği: Tarımda pestisitlerin kullanımı, ürün verimliliğinde önemli bir artışa yol açmaktadır. 1930'ların sonlarında kullanılmaya başlanan güçlü pestisitlerden biri olan DDT, başlangıçta pamuk ve tütün gibi tüketilmeyen ürünlerde kullanılmıştır. Bu uygulama, insektisitler, herbisitler ve fungusitlerin yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. II. Dünya Savaşı sonrasında, Batılı ülkeler, tarımsal kimyasallar geliştirerek gıda üretimini artırmayı hedeflemişlerdir. Bu araştırmalar, günümüzde kullanılan böcek öldürücüler, yabani otlarla mücadele eden ilaçlar ve mantarları yok eden kimyasalların keşfedilmesini sağlamıştır. Pestisidlerin modern tarımda yaygın kullanımı çevreye zarar vermektedir. Flora ve fauna olumsuz etkilenmekte, yer altı suları kirlenmekte, yüzey suları ve denizler de kirletilmektedir. Modern tarımda pestisidlerin yaygın kullanımı birçok soruna yol açmaktadır. Bazı pestisidler çok güçlü olduğundan hedef böcekleri öldürürken insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkileyebilir. Pestisidlerin en büyük sorunu, gıda zincirinde ne zaman ve hangi yoğunlukta bulunacakları konusunda yetersiz bilgiye sahip olunmasıdır. Çiftlik hayvanları, pestisitlerle kirlenmiş bitkileri yiyerek sindirirler. Bu pestisit kalıntıları, hayvan vücudunda "gut" bakterilerine dönüşerek birikmektedir. İnsanlar da bu hayvanları besin olarak tükettiğinden, kimyasalların insan vücudunda (özellikle çocuklarda) birikme riski bulunmaktadır (Aktar ve Baki, 2017).

İnorganik Nitrat Kirliliği: Azot, bitki büyümesi ve gelişimi için temel bir besin elementi olup, doğal topraklardaki sınırlı bulunurluğu nedeniyle bitki ve mikroorganizma gelişimini kısıtlamaktadır. Bu eksiklik, tarımsal üretimde verim artışı sağlamak amacıyla

azotlu gübre kullanımını yaygınlaştırmıştır. Özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında, üreticiler daha yüksek verimli tohum çeşitleri geliştirmek için azotlu gübreleri tercih etmişlerdir. Bunun sonucunda, organik gübre talebinin artmasıyla birlikte kimya endüstrisinde azot bazlı gübre üretimine yönelik yatırımlar hızla artmıştır (Bijay ve Craswell, 2021).

Doğal ekosistemlerde azotun uzaklaştırılması uzun süren biyokimyasal süreçler gerektirdiğinden, yoğun gübre kullanımı ile toprakta azot birikimi kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu birikim, yağış ve sulama sistemleri aracılığıyla nitratin yüzey suları ve yer altı su kaynaklarına taşınmasına neden olmaktadır. Özellikle sulak alanlar, göller ve denizlerde çözünmüş azot seviyelerindeki artış, ekolojik dengeleri bozarak ötrofikasyona yol açmakta ve su kalitesini olumsuz etkilemektedir (World Resource Institute, 2000). Bu bağlamda, azotlu gübre kullanımının sürdürülebilir yönetimi, hem tarımsal üretkenliği korumak hem de su kaynaklarını koruyarak ekosistemlerin sağlığını güvence altına almak için kritik bir öneme sahiptir.

Hayvansal Atıklar: Kümes hayvancılığı ve süt endüstrisinin büyümesi, hayvansal üretimde önemli ekonomik katkılar sağlarken, hayvan atıklarının çevresel etkileri ve yönetimi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Hayvan atıkları, yalnızca bir çevresel yük olarak değil, aynı zamanda toprak verimliliğini artıran değerli bir organik madde kaynağı olarak da değerlendirilmektedir. İçerdikleri azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) gibi temel besin elementleri, bitki beslenmesini destekleyerek tarımsal üretkenliği artırmaktadır. Geleneksel uygulamalarda doğrudan toprağa uygulanan hayvan atıkları, günümüzde biyogaz üretimi, kompostlama ve kontrollü gübreleme gibi sürdürülebilir yöntemlerle daha verimli ve çevre dostu hale getirilmektedir. Biyogaz üretim sistemleri, hayvan atıklarını enerjiye dönüştürerek sera gazı emisyonlarını azaltmakta ve tarımda biyogübre olarak kullanılabilecek yan ürünler sağlamaktadır (Melse ve Timmerman, 2009). Özellikle Hollanda gibi yoğun hayvancılığın yapıldığı ülkelerde, çevre dostu hayvan atığı yönetim stratejileri geliştirilmiştir. Amonyak emisyonlarını azaltmak için atıkların fermente edilerek sıvı ve katı bileşenlerinin ayrıştırılması, organik gübre üretiminde daha etkin bir kullanım sağlamaktadır. Bu sayede, tarımsal üretim desteklenirken su ve toprak kirliliği de önlenmektedir. Günümüzde gelişen teknolojiler,

hayvan atıklarının tarımsal sürdürülebilirliği destekleyen bir kaynak olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Organik gübrelerin kullanımı, toprak mikrobiyal aktivitesini artırarak uzun vadeli verimliliğe katkı sağlamakta ve tarımsal ekosistemleri desteklemektedir. Gelecekte, biyoteknoloji ve hassas tarım uygulamalarına entegre edilen akıllı atık yönetim sistemleri, çevresel sürdürülebilirliği ve tarımsal verimliliği daha da artırma potansiyeline sahip olacaktır.

Toprak Erozyonu: Toprağın yapısında çeşitli nedenlerle sorunlar oluştuğunda, toprağı eski verimli haline getirmek oldukça zaman alabilir ve bu işlem için büyük yatırımlar gerekebilir. Toprağın yanlış kullanımı, suyun tutma kapasitesini azaltarak yapısını bozabilir. Afrika'da gerçekleştirilen bir araştırmaya göre, erozyon nedeniyle 320 milyon hektar tarım arazisi ürün veremez hale gelmiştir (World Resource Institute 2000 Report).

Tuzluluk: Kurak bölgelerde tarımsal verimliliği artırmak için geleneksel bir yöntem olan sulama, yüksek su gereksinimi ve artan buharlaşma hızı nedeniyle çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Ayrıca, bu bölgelerdeki topraklar genellikle besin maddeleri ve humus açısından fakirdir, bu da bitki yetiştiriciliği için yüksek miktarda kimyasal gübre kullanımını zorunlu kılmaktadır. Sulama yapıldığında, sudaki doğal tuz miktarı toprağın üst katmanlarında birikme eğilimi gösterir. Örneğin, Kaliforniya'daki Imperial Vadisi'nde aşırı sulama uygulamaları, toprak tuzluluğunun artmasına ve tarımsal üretimde sorunlara yol açmaktadır. Benzer şekilde, Hindistan'da yaklaşık 25 milyon hektarlık sulanan arazi artan tuzluluktan etkilenmektedir. Aynı şekilde ülkemizde Konya ovasında yapılan vahşi sulamalar toprakların çoraklaşmasına neden olmuş ve ciddi verim kayıplarıyla sonuçlanmıştır.

Tarım Topraklarının Amaç Dışı Kullanımı: Ülkemizin toprak kaynakları, insanlarımızın ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli potansiyele sahip olmasına rağmen, arazi kullanımındaki hatalar, hızlı nüfus artışı sonucu ortaya çıkan plansız kentleşme ve endüstrileşme ile birlikte, orman yangınları, erozyon, düzensiz turizm yatırımları gibi faktörler toprak ve tarım alanlarının korunmasını ve verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple çevreye doğrudan etkisi olan tarım alanlarının korunması ve potansiyellerinin devamlılığı için planlı ve dengeli bir şekilde kullanılması ve geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Arazi Kullanım Etkinliklerinde Değişme: Türkiye'de tarımsal arazi kullanım faaliyetlerindeki değişiklikler kentleşme, ekonomik kalkınma ve çevresel faktörlerin karmaşık etkileşiminden etkilenmektedir. Devam eden kentsel yayılma, özellikle büyükşehirlerde ve kent çevresi bölgelerde tarım arazilerini önemli ölçüde etkilemiştir. Sanayi ve ticari faaliyetlerin kent çevresi alanlara taşınmasının, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde belirgin bir gelişme eşitsizliği ile birlikte önemli arazi kullanım değişikliklerine yol açtığını vurgulamaktadır (Ustaoglu ve Aydınoglu, 2019). Ekonomik olarak aktif nüfusun yaklaşık %70'inin tarımla uğraştığını, ancak birçoğunun eski üretim yöntemlerini kullanmaya devam ettiğini vurgulayan Akpınar vd. (2005) belirttiği gibi, bu eğilim sektöre hala hakim olan geleneksel tarım uygulamalarıyla daha da kötüleşmektedir.

Doygun'un (2008), kentleşmenin 1990'larda tarım arazilerinin %3'ünün kaybına yol açtığı Akdeniz bölgesinde gözlemlenen eğilimlere benzer şekilde, kentsel genişlemenin Türkiye'de birinci sınıf tarım arazilerinin kaybına yol açtığını ortaya koyan çalışmasının da gösterdiği gibi, kentleşme tarım arazileri için doğrudan bir tehdit oluşturmaktadır. Bu olgu münferit değildir; tarım arazilerinin kentsel kullanımlara dönüştürülmesinin, özellikle Türkiye'nin iklim değişikliği ve çölleşmeye karşı kırılganlığı bağlamında yerel, bölgesel ve ulusal düzeylerde acil bir endişe kaynağı haline geldiğine de dikkat çekilmektedir (Çullu vd. 2022). Kentleşmenin verimli tarım arazileri üzerindeki etkilerini azaltmak için dengeli bir stratejik yönetimin gerekliliği tartışılırken, bu arazi kullanım değişikliklerinin sosyo-ekonomik sonuçları da oldukça derindir (Genç vd. 2021).

Ayrıca, süregelen tarımsal arazi kullanım değişikliklerinin ortasında arazi kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını tartışan Tanrıvermiş'in de vurguladığı gibi, Türkiye'nin Akdeniz bölgesi arazi kullanımı konusunda benzersiz zorluklarla karşı karşıyadır (Tanrıvermiş, 2003). Plansız arazi kullanımı ve mülkiyet sistemlerinin tarımsal ihtiyaçları daha iyi yansıtacak şekilde reforme edilmesi gerektiğini savunan Özgül ve Çomaklı'nın da belirttiği gibi, kentleşmeden kaynaklanan baskılar, arazi kullanımını sürdürülebilir bir şekilde yönetecek etkili politikaların eksikliği ile daha da artmaktadır (Özgül ve Çomaklı, 2023). Bu stratejik planlama eksikliği, gıda güvenliği ve kırsal geçim kaynakları için kritik öneme sahip olan tarım arazilerinin daha fazla bozulmasına yol açabilir.

Sonuç olarak, Türkiye'de tarımsal arazi kullanımının dönüşümü, kentleşme, ekonomik baskılar ve yetersiz arazi yönetimi politikalarından kaynaklanan çok yönlü bir konudur. Bu zorlukların ele alınması, kentsel büyümeye uyum sağlarken tarım arazilerinin korunmasını sağlamak için sürdürülebilir tarım uygulamalarını kentsel planlama ile bütünleştiren kapsamlı bir yaklaşım gerektirmektedir.

2.1 Gıda Güvenliği

Gıda güvenliği, bireylerin yeterli, güvenli ve besleyici gıdalara erişimini ifade eden kritik bir kavram olup, sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla doğrudan ilişkilidir. Beslenme, yalnızca bireyin büyüme ve gelişimini desteklemekle kalmayıp, sağlıklı ve uzun bir yaşam sürdürebilmesi için gerekli besin öğelerinin doğru şekilde alınmasını ve kullanılmasını da gerektirmektedir (Dölekolu ve Yurdakul, 2004). Bu bağlamda, gıda güvenliğinin sağlanması, bireysel ve toplumsal refah açısından büyük bir öneme sahiptir. Dünya Bankası'nın 1986 yılında yayımladığı rapor ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın (UNDP) İnsani Gelişim Raporu, insan güvenliğinin temel bileşenlerinden biri olarak gıda güvenliğini tanımlamış ve bireylerin açlık, hastalık ve ekonomik eşitsizlikler gibi risklere karşı korunmasının gerekliliğini vurgulamıştır (Altay, 2023).

Gıda güvenliği, üç temel bileşen üzerinden değerlendirilmekte olup bunlar; gıda bulunabilirliği, gıda erişimi ve gıda tüketimi olarak sıralanmaktadır (Capone vd. 2014). Gıda bulunabilirliği, yeterli gıda üretiminin sağlanmasını ve tedarik zincirinin sürekliliğini ifade ederken, gıda erişimi, bireylerin gerekli ekonomik kaynaklara sahip olarak güvenli ve sağlıklı gıdalara ulaşabilmesini içermektedir. Gıda tüketimi ise bireylerin beslenme alışkanlıklarını, gıda seçimlerini ve tüketim biçimlerini kapsayarak, beslenme değeri, toplumsal değerler ve gıda güvenliği standartları çerçevesinde değerlendirilmelidir. Bu üç bileşenin etkin yönetimi, gıda güvenliği politikalarının başarıyla uygulanabilmesi açısından temel teşkil etmektedir.

Gıda güvenliğinin sağlanmasında tarımsal uygulamaların etkisi büyüktür. Tarım sektöründeki üretim süreçleri, fiziksel, kimyasal ve biyolojik riskleri beraberinde getirebilmektedir. Özellikle pestisit kullanımı, tarımsal üretimde verimliliği artırmak

amacıyla yaygın şekilde tercih edilmekte, ancak halk sağlığı ve ekosistemler üzerinde önemli riskler oluşturmaktadır (Simoglou vd. 2023). Gıda kaynaklı patojenlerin neden olduğu salgınlar, yalnızca insan sağlığı açısından değil, aynı zamanda tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından da önemli tehditler yaratmaktadır (Gennet vd. 2013).

Türkiye Gıda Dernekleri Federasyonu (TGDF), gıda güvenliğinin sağlanabilmesi için üretim, işleme, muhafaza ve dağıtım süreçlerinde ulusal ve uluslararası mevzuatlara uyumun zorunluluğunu vurgulamaktadır (TGDF, 2011). Gıda güvenliğinin sağlanamaması durumunda halk sağlığı tehdit altına girebilmekte, aynı zamanda ekonomik kayıplar da ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, üretim sürecinin başlangıcından tüketiciye ulaşana kadar her aşamada güvenli tarım uygulamalarının benimsenmesi gerekmektedir (Vargı, 2020).

Gıda güvenliğinin korunması amacıyla izlenebilirlik sistemleri, tarımsal ürünlerin üretimden tüketime kadar olan süreçte takip edilmesini sağlamaktadır. Bu sistemler, ürünlerin kaynağını belirlemeye yardımcı olurken, gıda güvenliği tehditlerine karşı hızlı müdahale edilmesine olanak tanımaktadır. Avrupa Birliği düzenlemeleri ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlüğe giren Gıda Güvenliği Modernizasyon Yasası, izlenebilirlik gerekliliklerini belirleyerek, gıda güvenliği politikalarının uygulanmasını desteklemektedir (Zhuang vd. 2018).

Bu sistemlerin etkinliği, ileri teknolojilerin kullanımıyla artırılabilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve veri tabanı yönetim sistemleri gibi teknolojiler, gıda tedarik zincirinde bütünleşik takip mekanizmalarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Liang ve Fu, 2014). Böylelikle, tarımsal ürünlerin üretim süreçleri, işleme aşamaları ve dağıtımını eksiksiz bir şekilde kayıt altına alınarak, güvenli gıda tedariki sağlanmaktadır.

Gıda güvenliği açısından pestisit kalıntılarının belirlenmesi ve kontrol edilmesi büyük önem taşımaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre, 2020 yılında dünya genelinde pestisit kullanımı 2,7 milyon ton aktif maddeye ulaşmış olup, bu durum gıda güvenliği açısından sürekli izleme ve kontrol mekanizmalarının gerekliliğini ortaya koymaktadır (Muggli ve Schürch, 2023). Yenilikçi analitik yöntemler, örneğin

püskürtme iyonizasyon kütle spektrometrisi, pestisit maruziyetine bağlı riskleri azaltarak daha güvenli gıda dağıtım süreçlerinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Gıda güvenliği, yalnızca bireysel sağlığı değil, aynı zamanda küresel gıda sistemlerinin sürdürülebilirliğini de ilgilendiren çok boyutlu bir konudur. Bu çerçevede, güvenli gıda üretimi ve tedariki için sürdürülebilir tarım politikalarının benimsenmesi, tüketici farkındalığının artırılması ve gıda izlenebilirlik sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Modern tarımsal uygulamaların ortaya çıkardığı zorluklara rağmen, teknolojik ilerlemeler ve düzenleyici çerçevelerin güçlendirilmesi, gıda güvenliğinin sağlanmasına yönelik önemli adımlar atılmasını mümkün kılmaktadır. Uluslararası iş birliklerinin artırılması ve gıda güvenliği alanında bütüncül politikaların geliştirilmesi, mevcut ve gelecekte karşılaşılabilecek risklerin minimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Tarım sektöründe çevre dostu üretim yöntemlerinin yaygınlaştırılması ve pestisit kullanımına yönelik sıkı denetimlerin uygulanması, gıda güvenliğini sağlamak adına temel gereklilikler arasında yer almaktadır.

Bu bağlamda, gıda güvenliğinin sağlanması, yalnızca üreticiler ve devlet kurumlarının sorumluluğunda olmayıp, tüketicilerin bilinçli seçimler yapmasını gerektiren kolektif bir sorumluluk olarak ele alınmalıdır. Tarımsal üretimde sürdürülebilir politikaların uygulanması, tüketici güveninin artırılması ve ileri izleme sistemlerinin benimsenmesi, küresel gıda güvenliği krizine karşı etkili çözümler sunacaktır.

2.2 Küresel İklim Değişikliğinin Tarım Üzerine Etkileri

Bilim camiası, günümüzde iklim değişikliğinin gerçekleşmekte olduğu ve ilerleyen zamanlarda etkilerinin artarak devam edeceği konusunda geniş bir fikir birliğine sahiptir. Bu süregelen iklim değişikliklerinin olumsuz etkileri, zaten dezavantajlı konumda bulunan toplulukları, özellikle tarımla meşgul olan ve kırsal bölgelerde yaşayan yoksul halkı daha fazla etkileyebilmektedir. Özellikle temiz su erişimini zorlaştırarak, yoksul halkın sağlığını tehdit etmesi beklenen iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini çok daha fazla hissetmektedirler. Afrika, Asya ve Latin Amerika gibi az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, iklim değişikliğinin yıkıcı etkileri nedeniyle tarımsal üretim ve gıda güvenliği

konusunda büyük risk altındadır. Daha fazla insanın temel besin ihtiyaçlarına istikrarlı bir şekilde erişememesi sonucunda yetersiz beslenme sorunu ile karşı karşıya olan dünya genelindeki milyarlarca insan düşünüldüğünde, ilerleyen yıllarda iklim değişikliğinin tarım üzerindeki olumsuz etkilerinin artması kaçınılmaz görünmektedir. Tarımsal aktiviteler, dünya genelindeki sera gazlarının yaklaşık %20'sinden sorumlu olup, bu da iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır (Pathak ve Wassmann, 2007; FAO, 2009).

Tarımsal faaliyetler, enerji tüketimi, üretim, hayvan yetiştirme, gübreleme, ilaç kullanımı gibi etkenlerle CO₂, CH₄ ve N₂O gibi sera gazlarının salınımına neden olur. Bu durum, tarımsal üretimi iklim değişikliğinin bir nedeni haline getirir. Ancak, tarımın sera gazı emisyonlarına zararlı etkileri olmasına rağmen, dünya nüfusunun sağlıklı bir şekilde devam edebilmesi için hayati öneme sahip olduğu da göz ardı edilmemelidir. Tarımsal üretim, genellikle belirli iklim koşullarından etkilenir. İklim değişikliği nedeniyle meydana gelen sıcaklık artışları ve yükselen karbondioksit seviyeleri bazı bölgelerde tarım ürünlerine kısa vadede olumlu etkiler yaratabilir gibi görünse de, uzun vadede bu faktörler ürün kalitesini ve miktarını azaltabilir. Tarımın verimliliğini artırmak için sadece sıcaklıkların ve karbondioksit seviyelerinin yükselmesi yeterli değildir. Tarım üretkenliği üzerinde olumlu bir etki yaratabilmesi için artan sıcaklık ve karbondioksitin, uygun tarım yapısına ve kaliteli toprağa sahip olması gerekmektedir. Ayrıca, toprak neminin optimum seviyede olması ve tarım alanının sulamaya kolayca erişebilir olması da önemlidir. Tüm bu faktörler bir araya gelse bile, uzun vadede iklim değişikliğinin genel etkisinin olumsuz olması muhtemeldir (IFPRI, 2009).

İklim değişikliğinin etkileri giderek artan bir şekilde hissediliyor. Kuraklık ve seller gibi aşırı hava olayları tarımsal üretimi olumsuz yönde etkiliyor. Bu durum, tarımsal üretimi ciddi şekilde tehdit ediyor. Ancak, iklim değişikliğinin zararlı etkilerine rağmen, tarımsal üretimi korumak ve artırmak için yeni tarım teknolojileri ve ileri tarım uygulamaları geliştirilmelidir. Bu şekilde, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ve verimliliği artırılabilir (Akalin, 2014).

Türkiye, ılıman ve subtropikal kuşakların ortasında yer alır ve üç tarafı denizlerle çevrilidir. Bu coğrafi konum, dağlar ve yeryüzü şekilleri arasındaki çeşitlilik nedeniyle

farklı iklim tiplerinin oluşmasına yol açar. Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait 1960-2010 yılları arasında 109 istasyondan elde edilen verilere göre, kuzey Türkiye'de yıllık toplam yağış miktarı artma eğilimindedir. Ancak Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise yağış miktarında azalma eğilimi gözlenmektedir (UNFCCC Türkiye 7. Ulusal Bildirimi, 2018; Şensoy vd. 2008).

Tarım sektörü, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkilerinden yoğun şekilde etkilenen bir alandır. Özellikle kuraklık, sulama suyu sorunu, azalan yağış miktarı ve zararlı hava koşulları ile artan sıcaklık extremeleri gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Türkiye'nin batı illerinde son 50 yıl içinde kış aylarında belirgin bir yağış azalması yaşanırken, Orta Anadolu'nun kuzey bölgelerinde ise sonbahar aylarında yağış miktarında artış yaşandığı ilk Ulusal Bildirimde UNFCCC'e 2007'de vurgulanmıştır (Çakmak ve Gökalp, 2011).

Günümüzde tarımsal ürünler, genetik faktörler (örneğin, hibrit tohumlar) ve çevresel etkenler (özellikle küresel iklim değişikliği) nedeniyle daha kırılgan bir yapıya bürünmüştür. Bu faktörlerin etkisi, tarımsal üretimdeki hassasiyetin artmasına yol açarak, üretim süreçlerini daha karmaşık ve öngörülemez hale getirmiştir. Dünya iklimi değişiyor ve birçok tarımsal ürün bu değişime uyum sağlamakta zorlanıyor. Farklı iklim modelleri, önümüzdeki yıllarda Doğu Akdeniz Havzası'nı ve Türkiye'yi de içeren subtropikal kuşağın özellikle kış aylarında azalacak yağışlar öngörüyor. 2016'da Türkiye'de tarıma bağlı sera gazı emisyonu, 1990'lara göre %33.2 oranında arttı. Sera gazı emisyonlarındaki en büyük payın %47.7'si, enterik kaynaklı emisyonlardan gelmektedir. Türkiye'deki tarım sektörü, toplam metan emisyonunun %55.5'ini ve toplam diazot monoksit emisyonunun ise %77.6'sını oluşturmaktadır (UNFCCC Türkiye 7. Ulusal Bildirimi, 2018; Biçer ve Vaizoğlu, 2015).

Türkiye'de tarımda kimyasal gübre kullanımı son 90 yılda istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Bu durum, Türkiye'de kimyasal gübrelerin en az 90 yıldır kullanıldığını göstermektedir. 1934 yılında 613-ton olan gübre kullanımı, 2013-2018 döneminde yaklaşık 10.000 kat artarak 5.880.430 tona ulaşmıştır (Ergene, 2010; Anonim, 2018).

2.3 Paris İklim Anlaşması

Paris Anlaşması, tarihi bir dönüm noktası olan ve dünya genelinde 195 ülkenin onayladığı bir küresel anlaşma olup yerel, ulusal, bölgesel ve küresel ölçekte ekonomileri, toplumları ve çevreyi derinden etkileyen önemli bir belgedir. Paris Anlaşması'nın kabulüyle ortaya çıkan başlıca sonuçlar şunlardır; (UNFCCC, 2015)

- Tüm taraflar, emisyon azaltımı konusunda yükümlülük üstlenmeye karar vermiştir. Gelişmiş ülkelerin daha fazla azaltım taahhüdü vermesi ve mutlak azaltım yapması beklenirken, gelişmekte olan ülkeler mevcut kapasitelerine uygun bir azaltım taahhüdüne tabi tutulmaktadır, "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluk" ilkesi gereği. 2050'den sonra, öncelikle gelişmiş ülkelerin karbonsuz bir konuma ulaşması hedeflenmektedir.

- Yerküre, sanayi devriminden bu yana 1 dereceye kadar ısındı. Ancak şimdi, ısınmanın 2 derecenin altında kalmasına ve mümkün olan en düşük seviye olan 1.5 derecede tutulmasına karar verildi.

- Gelişmiş ülkelerin, gelişmekte olan ülkelerin "düşük karbonlu ve iklim değişikliğine dayanıklı" bir geleceğe doğru dönüşümü gerçekleştirebilmeleri için iklim finansmanı, teknoloji transferi ve kapasite geliştirmeye yönelik destek sağlamaları gereklidir. 2020 yılı itibariyle gelişmekte olan ülkelere 100 milyar dolarlık iklim finansmanı sağlama taahhüdünde bulunan gelişmiş ülkeler, bu miktarın 2025'ten itibaren taban oluşturarak daha fazla destek sunmaları beklentisiyle karşı karşıyadırlar.

- Ülkelerin emisyon azaltım taahhütleri net ve açık bir şekilde belirlenmeli ve düzenli olarak gözden geçirilmelidir. Bilimsel verilere dayanarak, ülkelerin her beş yılda bir daha kapsamlı azaltım hedefleri belirlemesi teşvik edilmektedir. Bu süreçte benimsenen politikalar ve ilerleme durumu şeffaf bir şekilde takip edilmelidir.

- Paris Anlaşması, iklim değişikliğinin negatif etkilerine uyum sağlanması konusunu önemli ölçüde vurgular ve özellikle en kırılgan az gelişmiş ülkelerin bu durumdan en çok etkileneceği gerçeğine odaklanarak destek sözü verir.

Aralık 2015'te imzalanan Paris İklim Anlaşması, küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C altında ve 2°C'nin oldukça altında tutmayı hedefleyen iddialı bir çerçeve sunmaktadır. Bu anlaşma, özellikle tarım sektöründe, sulama ve gübreleme gibi uygulamaların etkisiyle çeşitli alanlarda önemli sonuçlar doğurmuştur (Sanderson vd. 2017). Tarım sektörü, küresel sera gazı emisyonlarının ve çevresel etkilerin büyük bir kısmını oluşturduğu için, Paris Anlaşması'nın hedeflerine ulaşmak adına kritik bir öneme sahiptir (Platis vd. 2019). Bu bağlamda, tarımsal ormancılık gibi çevre dostu tarım uygulamalarının entegrasyonu, hem iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlama hem de sera gazı emisyonlarını azaltma konusunda stratejik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Platis vd. 2019).

Tarımsal sulama bağlamında Paris Anlaşması, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerinin dikkate alınmasının önemini altını çizmektedir. Çalışmalar, kurak ve yarı kurak tarım bölgelerinde sürdürülebilir su yönetimini sağlamak için hem iklim değişikliği etkilerini hem de sulama tekniklerini hesaba katan entegre değerlendirmelere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Pool vd. 2021).

Ayrıca, Paris Anlaşması ile ilgili araştırmalarda tartışılan döngüsel ekonomi kavramı, tarımda sürdürülebilir besin yönetiminin önemini vurgulamaktadır. Bu, ürün besin maddesi taleplerinin değerlendirilmesini, gübre üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını ve anlaşmanın hedefleri doğrultusunda su kullanım verimliliğini artırmak için sulama uygulamalarının optimize edilmesini içerir (McKenna vd. 2022). İklim değişikliğinin sulu tarım sistemlerinde yeraltı suyunun yeniden şarjı üzerindeki etkisini anlamak, tarımsal faaliyetler için su mevcudiyetini sağlamak amacıyla sürdürülebilir yönetim stratejileri geliştirmek için çok önemlidir (Lauffenburger vd. 2018).

Paris Anlaşması'nın Güney Hindistan gibi bölgelerdeki tarımsal gelir ve yeraltı suyu sistemleri üzerindeki etkileri, değişen iklim koşullarına yanıt olarak uyarlanabilir stratejilere duyulan ihtiyacın altını çizmektedir. Sıcaklıklar arttıkça, yeraltı sularının tükenmesine ilişkin endişeler ve bunun tarımsal üretkenlik üzerindeki etkileri, alternatif sulama kaynaklarının belirlenmesi ve su kaynaklarına adil erişimin teşvik edilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır (Balasubramanian ve Saravanakumar, 2021). Ayrıca, anlaşmanın uluslararası denizcilik ve havacılık gibi sektörlerde karbonsuzlaştırma çağrısı, net sıfır emisyon hedeflerine ulaşmak için gerekli olan ve tarımsal uygulamalar ve tedarik zincirleri üzerinde basamaklı etkileri olacak daha geniş çaplı dönüşümü vurgulamaktadır (Fragkos, 2022).

Paris Anlaşması, anlaşmanın küresel sıcaklık artışını sınırlama hedefleriyle uyumlu olarak temiz enerji teknolojilerinin benimsenmesini hızlandırmak için çok önemli bir çerçeve görevi görmektedir. Temiz enerji kaynaklarına geçiş, tarımsal faaliyetlerle ilişkili sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sektörde sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi için elzemdir (Ariani vd. 2022). Paris Anlaşması ile ilgili çalışmalarda ana hatlarıyla belirtildiği üzere, yenilenebilir enerji dağıtımını destekleyen yasal çerçeveler, anlaşmanın hedeflerine ulaşmak için gerekli olan düşük karbonlu enerji sistemlerine geçişi kolaylaştırmada kritik bir rol oynamaktadır (Ghazali vd. 2021).

Sonuç olarak, Paris İklim Anlaşması, tarımsal uygulamalar üzerinde, özellikle sulama ve gübreleme alanlarında geniş kapsamlı etkiler yaratmaktadır. Bu anlaşma, sürdürülebilir tarım tekniklerini teşvik ederek, sera gazı emisyonlarını azaltarak ve su yönetimi stratejilerini geliştirerek tarım sistemlerinin küresel iklim hedefleriyle uyumlu hale getirilmesine yönelik bir çerçeve sunmaktadır. İklim değişikliğinin getirdiği zorluklara uyum sağlamak ve tarımda yenilikçi çözümler uygulamak, Paris Anlaşması'nda belirtilen hedeflere ulaşma yolunda atılması gereken temel adımlardır.

2.4 Yeşil Yol veya Yeşil Mutabakat (2030)

Avrupa Yeşil Mutabakatı, *“2050 yılında net sera gazı emisyonlarının olmadığı ve ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrıştırıldığı, modern, kaynak verimli ve*

rekabetçi bir ekonomiye sahip, AB'yi adil ve müreffeh bir topluma dönüştürmeyi amaçlayan yeni bir büyüme stratejisidir” (European Commission, 2019a). Mutabakatın asıl amacı, Paris İklim Anlaşması hedeflerine erişmek ve geniş kapsamlı bir ekonomik ve sosyal dönüşümü hayata geçirmektir (İktisadi Kalkınma Vakfı, 2021).

Avrupa Birliği (AB) kapsamında iklim-nötr taahhüdü ve net emisyon azaltma hedefi yasal olarak bağlayıcı bir hal almıştır. Avrupa Komisyonu, sera gazı emisyonlarını 2030 yılında %50-55 oranında azaltarak 1990 seviyelerine göre hedef belirlemiştir. AB, iklim değişikliği ile mücadele ederken ekonominin canlanması, insan sağlığı ve yaşam kalitesinin artırılması ve doğanın korunması gibi hedeflere odaklanmaktadır. Bu amaçla AB, yedi ana strateji altında hareket etmektedir: biyoçeşitlilik, temiz enerji, sürdürülebilir sanayi, inşaat ve yenileme, sürdürülebilir ulaşım, kirliliğin azaltılması ve tarladan sofraya stratejileri (Hanedar, Tanık ve Girgin, 2023).

Ülkelerin bu stratejilere uyum sağlama ve hayata geçirme sürecinde karşılaştığı zorluklar ve hedeflerin başarı düzeyleri, Maris ve Flouros'un (2021) ile Smol'un (2022) detaylı bir şekilde ele aldığı araştırmalarda incelenmiştir. 2019-2022 yılları arasındaki Covid-19 salgınının etkileri de göz önünde bulundurularak, ancak 2023 yılından itibaren YM'nin sürdürülebilirlik ilkelerine önem verilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Avrupa Birliği'nin Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal) kapsamında geliştirdiği Tarladan Sofraya ve Biyoçeşitlilik Stratejileri, sürdürülebilir ve dirençli bir gıda sisteminin oluşturulmasını hedeflemektedir. Bu stratejiler, yalnızca gıda güvenliğini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirgeyerek çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmektedir. Bu bağlamda, kimyasal girdilerin azaltılması, biyolojik çeşitliliğin korunması ve organik tarımın teşvik edilmesi gibi konular öncelikli politika başlıkları arasında yer almaktadır. Özellikle pestisitlerin, antimikrobiyallerin ve aşırı gübre kullanımının azaltılması, tarımsal üretimde çevre dostu uygulamaların benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Buna ek olarak, hayvan refahının artırılması ve biyolojik çeşitlilik kaybının önlenmesi, AB'nin sürdürülebilir tarım politikalarının temel unsurları arasında bulunmaktadır (Yeşil Mutabakat Eylem Planı, 2021).

Bu doğrultuda, Avrupa Yeşil Mutabakatı, tarımsal üretim süreçlerinde çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik ilkelerini merkeze alan yeni bir dönüşüm modeli sunmakta olup, gıda üretiminin iklim değişikliğiyle mücadele ve ekolojik dengeyi koruma hedefleriyle uyumlu hale getirilmesini amaçlamaktadır.

AB'nin tarım politikası üzerindeki etkilerini ve üreticilere sağlayacağı faydaları açıklayan "OTP Reformu ve Yeşil Mutabakat Arasındaki Bağlantılar" isimli çalışmada Komisyon, karmaşık ve birbirinden ayrı şekilde ortaya konulan hedeflerin aslında yapbozun parçaları olduğunu vurguluyor. İkinci Dünya Savaşı'ndaki gıda güvenliği sorunlarından günümüze kadar evrilen AB tarım sektörü ve gıda zinciri, günümüzde Avrupa ekonomisine yılda 750 milyar avroluk gelir sağlıyor. Avrupa ekonomisinin ikinci büyük sektörü olan tarım ve gıda, günümüzde insan kaynaklı ekosistem tahribatının giderilmesi ve iklim kriziyle mücadele edilmesi hususunda öncül olması gereken bir sektör olarak konumlanıyor. Yeşil Mutabakat çerçevesinde önerilen ve yakın zamandaki gelişmelerle desteklenen yeni Ortak Tarım Politikası (OTP), tarım politikalarında bir dönemi başlatacak gibi görünüyor. Bu politika, 9 temel amaç etrafında şekillenmiş olup, 2 yıllık bir geçiş sürecinden sonra yürürlüğe girecek. Yeni OTP'nin amacı, basit ve uygulanabilir bir yapıya kavuşarak ortak politika reformunu desteklemektedir. Bununla birlikte, çevrenin korunması ve israfın azaltılması odaklı üretim modellerine uyum sağlamak, üreticiler için önemli bir sorumluluktur. Komisyon, reformların sürdürülebilir iş modelleri, etiketleme yöntemleri ve pazarlama standartları oluşturarak üreticilere yeni iş fırsatları sunacağını vurgulamaktadır. Ayrıca, bu dönüşümlerin yaratacağı katma değere dikkat çekilmekte ve üreticilerin tedarik zincirlerindeki daha etkin roller üstlenerek belirleyici hale gelmeleri hedeflenmektedir (European Commission, 2021)

2.5 Karbon Ayak İzini Azaltma (2050)

Karbon ayak izi, sürdürülebilirlik ve çevresel endişelerin ön planda olduğu bir konudur. Sürdürülebilirlik, ekonomik ilerleme ile dünya ekolojik dengesi arasında bir denge bulmayı amaçlar. Bu denge arayışı, insan kültürü ile canlı Dünya arasındaki karmaşık ilişkinin dengede olmasıyla ilgilidir. Bu ilişkinin istikrar kazanması için çalışmalar devam etmektedir (Hawken vd. 2010).

Franchetti ve Apul'un (2013) vurguladığı gibi, "ölçemezsen, yönetemezsin" ilkesi yalnızca endüstriyel üretim süreçleri için değil, ekosistem yönetimi açısından da geçerlidir. Sürdürülebilir çevre politikalarının etkinliği, ekosisteme zarar veren unsurların doğru şekilde ölçülmesine ve bu ölçümler doğrultusunda stratejik kararlar alınmasına bağlıdır. Özellikle sera gazı emisyonlarının kontrol altına alınması, ekolojik krizlerin önlenmesi ve iklim değişikliği ile mücadelede temel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

İnsan kültürü ve ekosistem arasındaki dinamik etkileşimin merkezinde karbonun bulunduğu kabul edilmektedir. Sanayi ve doğal ekosistemler arasındaki dengenin kurulması sürecinde karbon ölçümünün kritik bir rol oynadığı bilinmektedir. Bu bağlamda, karbon ayak izi, bir ürünün, sürecin veya faaliyetlerin neden olduğu toplam sera gazı emisyonlarının karbondioksit (CO₂) eşdeğerine dönüştürülerek belirlenmesini sağlayan bir ölçüt olarak tanımlanmaktadır (Wiedmann ve Minx, 2008).

Karbon ayak izi kavramı, çoğu zaman sera gazı envanteri ile eş anlamlı olarak kullanılmakta olup, sürdürülebilirlik politikalarının temelini oluşturan çevresel hesaplama yöntemlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Franchetti ve Apul, 2013). Karbon emisyonlarının doğru ve sistematik bir şekilde ölçülmesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada bilimsel bir çerçeve sunarken, aynı zamanda çevresel yönetim süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır. Bu kapsamda, karbon ayak izinin hesaplanması, ekolojik ayak izi azaltılması sürecinde niceliksel verilerle desteklenen çevresel stratejilerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Özellikle sanayi, tarım ve enerji sektörlerinde karbon emisyonlarının izlenmesi ve yönetilmesi, iklim değişikliği ile mücadelede temel bir araç olarak kabul edilmekte ve sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Sera gazları (GHG), atmosferdeki ısıyı emen ve geri yansıtarak gezegenimizi ısınmaya sebep olan gazlardır. Ana sera gazları arasında su buharı, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O), hidroflorür karbon (HFC'ler) ve perflorokarbonlar (PFC'ler) yer alır. 2013'e kadar altı ortak sera gazı bulunmaktayken, Kyoto Protokolü kapsamında NF₃ de sera gazları listesine dahil edilmiştir. Her sera gazının atmosferde

kalma süresi ve küresel ısınmaya olan etkisi farklılık göstermektedir (Brander ve Davis 2012).

Etki güçlerinin anlaşılması için CO₂ birimi cinsinden dönüşüm yapılarak diğer sera gazlarının CO₂ eşdeğeri etkileri hakkında konuşulabilir. Sera gazları, küresel ısınmayı tetikleyen faktörler arasında yer alır. Karbon emisyonu dışında, diğer sera gazları da etkili olabilir. Bununla birlikte, karbon atomu, yüksek bağ kurma kapasitesi olan kimyasal özelliklere sahiptir. Bu özelliği sayesinde, sera gazı bileşiklerinin esas yapı taşı olarak karşımıza çıkar. Bu sebeple, genellikle karbondioksit (CO₂) emisyonu vurgulanarak konuşmalar yapılır. Karbon dioksit (CO₂), besin maddelerinin metabolizması sırasında oluşan bir yan üründür. Atmosferde genellikle %0.03 gibi düşük bir oranda CO₂ bulunur ve homeostatik bir denge içindedir (Odum ve Barrett 2016).

İklim değişikliğinde büyük rol oynayan bir gaz olan, antropojenik etkilerle en sık salınan sera gazı CO₂'dir. Mars'ın atmosferi yaklaşık olarak %96 oranında CO₂ içerirken, Dünya'da bu oran sadece %0.03'tür. CO₂, atmosferde ekosistemin karbon döngüsünün bir parçası olarak bulunur. Ancak, artan nüfusun enerji ve üretim ihtiyaçlarını karşılamak için fosil yakıtların yakılması sonucunda atmosfere salınan CO₂ emisyonları önemli ölçüde artmıştır. Sera gazlarının ana kaynakları arasında %80'i oluşturan CO₂, enerji üretimi, ulaşım, elektrik üretimi ve orman yangınları gibi temel alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan CO₂, sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmını oluşturur. Bu gazın atmosferdeki miktarı çok az olmasına rağmen etkisi oldukça büyüktür. "Karbon" terimi, sera gazı envanteri konsepti yerine sıklıkla kullanılmaktadır, çünkü insan etkinliklerinden kaynaklanan en baskın sera gazı olma özelliğini taşır. Karbonun en temel kaynağı yanma sürecidir. Enerji üretimi için kullanılan yanma işlemi, CO₂ emisyonlarına yol açar. Endüstriyel ve enerji taleplerinin sürekli artmasıyla birlikte, karbonsuz enerji üretimi sağlanmadığı sürece endüstriyel kirlilik ve sera gazları konusundaki sorunlar daha da derinleşecektir. Artan nüfus ve enerji gereksinimlerine karşılık gelirken, karbonsuz üretim sistemlerine geçiş yapılması küresel iklim krizinin etkilerini azaltmada önemli bir rol oynayacaktır. endüstri 4.0 dönemine geçişle birlikte karasal ekosistemler yaklaşık 1.2 °C, okyanuslar ise 0.8 °C daha sıcak bir iklimle yüzleşiyor. Endüstri ve enerji sektörleri, atmosferdeki sera gazlarının %80'inden

sorumlu olarak, dönüşmedikçe küresel ısınma olumsuz etkileri artırmaya devam edecekler. Sektörlerin dönüşüm süreci için kritik bir adım, karbon ayak izinin belirlenmesi ve iyileştirme çalışmalarının uygulanmasıdır. AB tarafından ülkelere sağlanacak fon desteği için öncelikli koşul, karbon ayak izinin belgelenmesine dayanıyor. Bu raporun amacı, karbon ayak izinin hesaplanmasıyla ilgili karmaşayı gidermek ve sektörlerin bu konuda faydalanabileceği stratejileri sunmaktadır (Mirici ve Berberoğlu, 2022).

2.6 Nitrat Direktifi

Avrupa Toplulukları Konseyi, 91/676/EEC sayılı Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Direktifi'ni 12 Aralık 1991'de onayladı. Nitrat Direktifi'nin esas gayesi; tarımsal kökenli nitratin neden olduğu veya hızlandırdığı su kirliliğini azaltmak ve ileride ortaya çıkabilecek kirlilik artışını engellemektir. AB üye ülkeleri, 50 mg/l'den yüksek nitrat içeren veya gerekli önlemler alınmazsa nitrat seviyeleri artabilecek her türlü yüzey ve yeraltı suyunu kirlilik olarak görmek zorundadır. Üye ülkelerin kirli suyu, ötrofik olabilen veya gerekli tedbirler alınmazsa ötrofik hale dönüşebilecek her türlü doğal tatlı su nehirleri, göller, geçiş suları, haliçler, kıyı suları ve deniz suları şeklinde tanımlanmıştır. Nitrata duyarlı bölgeler (NHB), bu sularda direnç gösteren ve kirliliğin artmasına neden olan alanları belirtmektedir (Adalı, 2014).

Talimatın Önemli Koşulları:

✓ Nitrat kirliliğinden etkilenmiş veya etkilenebilecek su kaynaklarının tespit edilmesi

✓ Nitrat kirliliğinden etkilenmiş veya etkilenebilecek su kaynaklarının tespiti

✓ Nitrata Hassas Bölgelerde "Eylem Planlarının" hazırlanması ve Ulusal İzleme Ağı ile Raporlama sisteminin kurulması önemlidir (Adalı, 2014).

2.7 Tarımda Temel Girdiler

Tarımda verimliliği artıran en önemli girdilerden biri gübre kullanımıdır. Gübreler, bitkilerin gelişimi için gerekli besin maddelerini sağlayarak tarımsal üretimi desteklemekte ve sürdürülebilir gıda arzına katkıda bulunmaktadır. Bilimsel çalışmalar, gübre kullanımının bitki büyümesi ve tarımsal verim üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye’de gübre kullanımındaki en büyük artış, 1960-1980 yılları arasında gerçekleşmiş olmasına rağmen, sonraki yıllarda bu artış hızı sürdürülememiştir. Türkiye’de hektar başına ortalama 85 kg gübre kullanılırken, gelişmiş tarım ekonomilerine sahip ülkelerde bu miktarın çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin, Hollanda’da 236 kg, Almanya’da 169 kg ve Fransa’da 161 kg gübre kullanılmaktadır. Türkiye’de gübre kullanımının gelişmiş ülkelerin gerisinde kalmasının başlıca nedeni, çiftçilerin satın alma gücünün yetersizliği olarak değerlendirilmektedir (Toros Tarım, 2024).

Tarımda sürdürülebilir üretimi destekleyen bir diğer kritik unsur ise su kaynaklarının etkin kullanımıdır. Türkiye'nin büyük bir bölgesi kurak ve yarı kurak iklim koşullarına sahip olduğundan, tarımsal verimi artırmak ve ürün kalitesini yükseltmek için modern sulama yöntemlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Su, yalnızca bitki büyümesini desteklemekle kalmayıp, diğer tarımsal girdilerin etkinliğini artırarak verim üzerindeki sinerjik etkisini ortaya koymaktadır. Ancak, Türkiye’de sulanabilir toplam tarım arazisinin yalnızca %54’ü sulanabilmekte olup, bu oran 8,7 milyon hektarlık alanın yalnızca 4,7 milyon hektarında sulama yapılabildiğini göstermektedir. Toplam tarım alanlarının ise sadece %24’ü sulanmakta olup, kullanılan sulama yöntemleri incelendiğinde %92’sinin salma sulama, %8’inin yağmurlama ve yalnızca %1’inin damla sulama olduğu belirlenmiştir (Toros Tarım, 2024).

Bu veriler, Türkiye’de sulama altyapısının modernizasyonu ve gübre kullanımının optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Daha etkin sulama sistemlerinin uygulanması ve çiftçilerin gübreye erişiminin artırılması, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak ve küresel rekabet gücünü artırmak açısından kritik öneme sahiptir.

Tarımda, bitki hastalıkları, zararlı böcekler ve yabancı otlarla mücadele için başvuru alan ilaçlar büyük önem taşır. Ancak bu tür kimyasalların doğru ve dikkatli bir biçimde kullanılması gereklidir. Yanlış uygulamalar çevreye ve insan sağlığına ciddi zararlar verebilir. Dolayısıyla tarım ilaçları, mevzuatlara ve uzman tavsiyelerine tam olarak uyularak kullanılmalıdır. Doğal düzeneklerin korunmasına katkı sağlayarak kimyasal ilaç kullanımını en aza indiren bir yöntem olarak entegre mücadele önemlidir. Biyolojik mücadele, kültürel mücadele gibi alternatif yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılması da gereklidir. Tarım uzmanları ile işbirliği yapılarak tarım ilaçlarının seçimi, uygulanması ve depolanması konularında titizlikle hareket edilmeli ve ürünlerin etiket ve talimatlarına dikkatle uyunmalıdır. (Tiryaki vd. 2010).

2.7.1 Tarımsal girdilerin dünya ve ülkemizde durumu ve geleceği

Türkiye'de ve dünyada tarımsal girdilerin durumu ve geleceği, özellikle tarımsal verimliliğin artırılması, sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği bağlamında kritik konulardır. Tarım sektörü, işgücü, sermaye, teknoloji ve çevresel koşullar da dahil olmak üzere çeşitli girdilerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu analiz, özellikle Türkiye'ye odaklanarak, tarımsal girdilerin mevcut durumu ve gelecekteki beklentileri hakkında kapsamlı bir genel bakış sağlamak için son araştırma bulgularını sentezlemektedir.

Tarımsal verimlilik, girdi kullanımının etkinliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Koç vd. (2023), tarımda istihdam edilen işgücündeki artışın Toplam Faktör Verimliliğinde düşüşe yol açabileceğini vurgulamaktadır. Bu bulgu, işgücü kullanımında verimsizliklerin tespit edildiği Türkiye'deki süt hayvancılığı bağlamında özellikle önemlidir. Çalışma, diğer girdileri artırmadan işgücüne olan bağımlılığı azaltmanın verimliliği artırabileceğini öne sürmekte ve çiftçiler için daha iyi yönetim uygulamaları ve eğitim ihtiyacına işaret etmektedir. Bu husus, daha yüksek verimlilik seviyelerine ulaşmak için girdi kullanımının optimize edilmesinin önemini vurgulayan daha geniş literatürle uyumludur (Koc vd. 2019).

Türkiye'de kadınlar tarımsal üretimde çok önemli bir rol oynamaktadır, ancak kredi, arazi ve tarımsal girdiler gibi temel kaynaklara erişimde önemli engellerle karşılaşmaktadırlar

(Brumfield, 2023). Kadın çiftçilerin hedefe yönelik eğitim ve finansal kaynaklara erişim yoluyla güçlendirilmesi, tarımsal verimliliğin ve sürdürülebilirliğin artırılması için elzemdir. Araştırmalar, kadınlar doğru beceri ve kaynaklarla donatıldığında verimliliklerinin önemli ölçüde arttığını ve bunun da kırsal alanlarda gıda güvenliği ve ekonomik istikrar üzerinde olumlu bir dalgalanma etkisi yaratabileceğini göstermektedir (Brumfield, 2023). Bu durum, tarımsal girdilere erişimde toplumsal cinsiyet eşitsizliklerini ele alan kapsayıcı tarım politikalarına duyulan ihtiyacın altını çizmektedir.

Tarımsal uygulamaların çevresel etkileri de, özellikle kimyasal girdi kullanımı açısından önemli bir endişe kaynağıdır. Temizyürek-Arslan ve Karaçetin (2022) organik ve konvansiyonel sebze üretiminin yaşam döngüsü değerlendirmesini yapmış ve organik uygulamaların daha düşük çevresel etkilere sahip olma eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, geleneksel ve organik tarım yöntemlerinin biyoçeşitliliği artırabildiğini ve zararlı pestisitlere bağımlılığı azaltabildiğini gösteren araştırmalarla desteklenmektedir (Pekin, 2013). Çevresel sürdürülebilirlik konusunda küresel farkındalık arttıkça, daha az kimyasal girdi kullanan ve böylece ekolojik dengeyi teşvik eden hassas tarım uygulamalarının benimsenmesine yönelik artan bir baskı söz konusudur.

Tarımda devlet desteğinin rolü göz ardı edilemez. Koç vd. (2019), hükümet programlarının tarımsal girdilerin bulunabilirliğini ve kullanımını nasıl önemli ölçüde etkileyebileceğini tartışmaktadır. Türkiye'de tarımsal üretimi artırmak için gübre ve tohum sübvansiyonları da dahil olmak üzere çeşitli destek mekanizmaları uygulanmaktadır. Ancak, bu programların etkinliği genellikle tasarım ve uygulamalarının yanı sıra farklı tarım sektörlerinin özel ihtiyaçlarına da bağlıdır. Literatür, bölgesel ve sektörel farklılıkları göz önünde bulundurarak tarımsal desteğe daha özel bir yaklaşımın bu programların etkinliğini artırabileceğini öne sürmektedir (Yu vd. 2013).

İklim değişikliği, özellikle tarımın sıcaklık ve yağış düzenindeki değişikliklere karşı son derece hassas olduğu Türkiye gibi bölgelerde tarımsal verimlilik için önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Dumrul ve Kılıçaslan, 2017). Ampirik kanıtlar, iklim değişikliğinin tarımsal üretimdeki mevcut zorlukları daha da kötüleştireceğini ve uyarlanabilir

uygulama ve teknolojilerin benimsenmesini gerektireceğini göstermektedir. Çiftçiler, mahsul çeşitlerinin çeşitlendirilmesi ve su yönetimi stratejilerinin iyileştirilmesini içerebilecek iklime dirençli tarım uygulamalarını hayata geçirmek için bilgi ve kaynaklarla donatılmalıdır.

Tarımsal girdi maliyetleri, gıda fiyatları ve çiftçilerin kârlılığı üzerinde doğrudan belirleyici bir etkiye sahiptir. Girdi fiyatlarındaki değişimler, üretim maliyetlerini artırarak hem çiftçilerin ekonomik sürdürülebilirliğini hem de tüketicilerin gıdaya erişimini doğrudan etkilemektedir. Işık ve Özbuğday (2021) tarafından yürütülen çalışma, Türkiye’de tarımsal girdi maliyetleri ile gıda fiyatları arasındaki ilişkiyi inceleyerek, girdi fiyatlarında yaşanan dalgalanmaların gıda maliyetlerinde önemli değişikliklere neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu dinamik, gıda güvenliğini sağlamanın yanı sıra, tüketicilerin değişken piyasa koşullarından korunmasını da gerektirmektedir. Tarımsal üretimde istikrarlı bir maliyet yapısının oluşturulması, piyasa dalgalanmalarının minimize edilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Girdi fiyatlarının istikrara kavuşturulması, çiftçilerin gelir sürdürülebilirliğini sağlarken, tüketiciye yansıyan fiyat dalgalanmalarının önlenmesine de katkıda bulunacaktır. Bu bağlamda, politika yapıcıların, artan girdi maliyetlerinin gıda fiyatları üzerindeki etkisini azaltmak için stratejik müdahaleleri değerlendirmesi gerekmektedir. Sübvansiyon mekanizmalarının güçlendirilmesi, fiyat kontrolleri veya tarımsal destekleme politikalarının revize edilmesi, hem üreticilerin rekabet gücünü artırabilir hem de tüketicilerin gıda fiyatlarındaki ani artışlardan korunmasına katkı sağlayabilir. Tarım sektöründe daha öngörülebilir ve sürdürülebilir bir ekonomik yapı oluşturulması, uzun vadeli gıda arz güvenliği açısından hayati bir gerekliliktir.

Tarımsal üretimde verimlilik ve sürdürülebilirliği artırmak için teknolojik gelişmelerin entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. Baran ve diğerleri (2019) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de tarımsal mekanizasyon ve teknoloji kullanımında artış öngörüldüğü, bunun da verimliliği artırarak işgücü maliyetlerini düşüreceği belirtilmektedir. Hassas tarım teknolojileri ve otomatik sistemlerin kullanımı, girdilerin daha etkin yönetilmesine olanak tanıyarak, üretimdeki çevresel etkileri en aza indirirken tarımsal çıktıyı maksimize etme potansiyeline sahiptir. Bu çerçevede, modern tarım

teknolojilerinin benimsenmesi için çiftçilere yeterli eğitim ve teknik destek sağlanması gerekmektedir. Dijital tarım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte tarımsal veri analizine dayalı karar mekanizmaları, su ve gübre gibi girdilerin optimize edilmesine katkı sağlayarak hem maliyetleri azaltmakta hem de doğal kaynakların daha sürdürülebilir kullanımını teşvik etmektedir. Türkiye’de tarımsal girdilerin geleceği, yalnızca teknoloji odaklı yaklaşımlarla değil, tarımsal kooperatifler ve kolektif çiftçilik uygulamalarının gelişimiyle de şekillenecektir. Sevinç (2021), çiftçilerin tarımsal kooperatiflere yönelik algılarını analiz etmiş ve kooperatiflerin girdilere ve pazarlara erişimi artırmadaki rolünü vurgulamıştır. Kooperatifler, çiftçiler arasındaki iş birliğini teşvik ederek pazarlık gücünü artırabilir, böylece girdi maliyetlerini düşürerek tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilir. Küçük ölçekli üreticilerin ekonomik dayanıklılığını artırmak adına, kooperatif modellerinin yaygınlaştırılması stratejik bir çözüm sunmaktadır.

2.7.2 Dünyada ve Türkiyede gübre kullanımı

Türkiye'deki tarım arazileri, verimlilik özelliklerine göre sekiz farklı sınıfa ayrılmakta olup, bu sınıflardan ilk dört tanesi tarımsal üretim açısından en uygun kategorileri oluşturmaktadır. Bu yüksek verimli sınıflara giren araziler, Türkiye'nin toplam arazi varlığının %34,6'sını kapsamakta olup, tarımsal üretim için elverişli toprakların ülke genelindeki dağılımının sınırlı olduğunu göstermektedir. I. sınıf tarım arazileri, en verimli kategori olmasına rağmen, toplam tarım alanları içindeki payı oldukça düşüktür ve yaklaşık 5.012.537 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Bu durum, verimli tarım arazilerinin toplam içindeki oranının düşük olması nedeniyle işletme maliyetlerini artıran önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Şahin, 2016). Türkiye’deki tarım topraklarının en önemli sorunlarından biri, düşük organik madde içeriğine sahip olmasıdır. Organik gübre kullanımı oldukça sınırlıdır, bu da tarım arazilerinin bitki besin maddeleri açısından fakir olmasına ve gübre kullanımına olan bağımlılığı artırmasına neden olmaktadır. Tarım alanlarının verimli kullanılabilmesi ve sürdürülebilir üretimin sağlanabilmesi için toprak organik madde içeriğinin artırılması ve dengeli gübreleme uygulamalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Son yıllarda, Türkiye’deki yaklaşık 26 milyon hektarlık tarım arazisi belirgin karakteristik özellikler kazanmış olmakla birlikte, alan bazında

değerlendirildiğinde istikrarsızlık gözlemlenmekte ve bazı bölgelerde belirgin değişiklikler meydana gelmektedir (Şahin, 2016). Bu nedenle, tarım arazilerinin korunması, etkin yönetimi ve verimlilik düzeyinin artırılması için bilimsel yöntemlere dayalı sürdürülebilir toprak yönetimi stratejileri geliştirilmelidir.

Türkiye’de tarım arazilerinin büyüklüğü zaman içerisinde dalgalanmalar göstermiştir. 1950 yılında yaklaşık 15 milyon hektar olan tarım alanı, 1980’li yıllarda 26 milyon hektara kadar genişlemiş, ancak izleyen yıllarda çeşitli nedenlerle gerileme eğilimine girmiştir. 1990’lı yılların sonunda tarım arazileri yaklaşık 27 milyon hektar seviyesinde bulunurken, 2010’lu yıllarda bu alanlarda düşüş gözlenmiş ve 2023 itibarıyla tarım alanları yaklaşık 23,1 milyon hektara kadar gerilemiştir (Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2022). Bu süreçte tarım arazilerinde dönemsel artış ve azalışlar yaşanmış, oransal olarak belirli bir istikrar sağlanmaya çalışılsa da uzun vadede azalma eğilimi öne çıkmıştır. Tarım alanlarındaki bu değişimler, doğrudan gübre tüketimi, üretim deseni ve verimlilik üzerinde etkili olmuş; özellikle gübre kullanım miktarları ve şekilleri tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından belirleyici bir faktör haline gelmiştir.

Türkiye’de gübre tüketimi, yıllar içinde dalgalanmalar göstermiş olmakla birlikte, genel eğilim artış yönünde olmuştur. Özellikle kimyasal gübre kullanımının yaygınlaşmaya başladığı dönem, 1950’lerin sonu ve 1960’lı yılların başlarıdır. Bu süreç, tarımsal verimliliği artırma hedefiyle modern tarım tekniklerinin benimsenmeye başladığı ve yoğun kimyasal gübre kullanımına geçişin hızlandığı bir dönem olarak öne çıkmaktadır (Şengül vd. 2010). Bu bağlamda, tarım arazilerinin büyüklüğündeki değişimler ve gübre kullanımındaki eğilimler, tarımsal üretim politikalarının ve çiftçilerin girdi kullanma pratiklerinin uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Özellikle, tarımsal üretimde verimliliği artırırken çevresel etkileri minimize edecek stratejilerin geliştirilmesi, Türkiye tarım sektörünün geleceği açısından kritik öneme sahiptir.

1963 yılında kimyasal gübreler, tarımsal girdilerin sadece %3.1’lik bir kısmını oluşturuyordu. 1970’lere gelindiğinde, gübre tüketiminde belirgin bir artış gözlenmedi. Zabunoğlu’nun 1970 yılındaki çalışmasında belirtildiği gibi, Türkiye’de 1972’de toplam

kimyasal gübre tüketiminin 6.050.000-ton olması hedeflendi ve 1982'de ise 10.250.000 ton olması planlandı. Ancak 2013'te, toplam gübre tüketimi hala 6 milyon tonun üzerine çıkmadı. Ayrıca belirtilen planlama değerleri, sadece kimyasal gübreler için geçerli olup toplam gübre ihtiyacının çok altında planlama yapıldığı açıktır. Toplam gübre tüketimi 1985 yılından itibaren 3 milyon tonu aşmış, 2005 yılından sonra ise 5 milyon tonun altına düşmemiştir, zaman zaman dalgalanmalar olmuştur. Görselden de anlaşılabileceği gibi, azotlu gübrelerin tek başına büyük bir payı bulunmaktadır. Diğer bitki besin maddesi kategorilerinde ise son iki yıl hariç tüketimin tamamı fosforlu gübrelerden oluşmaktadır (Şahin, 2016).

Dünya genelinde 2015 yılında toplam 199 milyon ton azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) içeren gübre üretilmiş olup, bu miktar 2005 yılına kıyasla %19'luk bir artışı temsil etmektedir. Küresel gübre üretimi, hammadde kaynaklarının coğrafi dağılımı ve tüketim bölgelerinin ihtiyaçları doğrultusunda şekillenmektedir. Tarımsal üretimin yoğun olduğu Çin, Hindistan, Rusya, ABD ve Kanada gibi ülkeler, dünya gübre üretiminde önemli paya sahiptir. Fosfat üretimi açısından, Kuzey Amerika, Orta ve Kuzey Afrika gibi bölgeler geniş fosfat rezervleriyle öne çıkmakta ve üretim fazlası vermektedir. Küresel NPK üretiminde en büyük pay %57 ile azotlu gübrelerle aittir. 2015 yılında, dünya çapında 113,6 milyon ton azot üretilmiş olup, bu üretimin %52'si Çin, Hindistan ve ABD tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye, dünya azot üretiminde 22. sırada yer almakta olup, 2015 yılında azot üretiminde %51 ile en büyük artışı kaydeden ülke konumundadır. Aynı dönemde, ABD'de %37, Çin'de %21 artış yaşanırken, Kanada'da %20 oranında bir azalma görülmüştür (TAGEM, 2018-2022). Bu veriler, Türkiye'nin gübre üretim kapasitesindeki artış eğilimini ortaya koyarken, ülkenin küresel azot üretimindeki payını artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin gübre üretiminde rekabet gücünü artırmak ve dışa bağımlılığı azaltmak için hammadde kaynaklarının etkin yönetimi, üretim kapasitesinin artırılması ve gübre sektöründe Ar-Ge yatırımlarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Küresel eğilimler dikkate alındığında, gübre sektöründeki büyüme politikalarının sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla uyumlu hale getirilmesi, hem çevresel etkileri minimize etmek hem de tarımsal verimliliği artırmak açısından kritik bir strateji olacaktır.

Gelişmekte olan ve büyük tüketici ülkeler, gübredeki mevsimsel özellikler ve fiyat dalgalanmaları gibi etkenler sebebiyle yerli endüstrilerini kurarken, hammadde zengini ülkeler ise genellikle ihracata yönelik üretim kapasitesi oluşturmuşlardır (Anonim, 2008). 2015 yılında, toplam 41 milyon ton azot ihracatının yaklaşık %38'i Çin ve Rusya tarafından gerçekleştirildi. Azot üretiminde olduğu gibi ihracatta da lider olan Çin, %24'lük bir pazar payına sahiptir ve 2005-2015 arasında ihracatını sekiz katına çıkarmıştır. 2005 yılına göre dünya fosfor ihracatı, %41'lik bir artışla 2015 yılında 17,5 milyon tona yükseldi. Bu ihracatın %47'si Çin ve Rusya tarafından gerçekleştirildi. Türkiye, 61 bin ton ile 26. sırada yer aldı. Suudi Arabistan, 2000'li yıllarda fosfor ihracatında etkili olmasa da 2015 yılında yaklaşık 1,2 milyon tonla ihracatın %7'sini gerçekleştirerek 5. sıraya yükseldi (Anonim, 2018).

2015 yılında potasyum ihracatı toplamda 32,3 milyon ton oldu ve bu ihracatın yarısı Kanada ve Rusya tarafından yapıldı. Kanada, potasyum ihracatında %32'lik payla önde gelen ülke konumunda. Belarus ise potasyum ihracatında %18'lik payla yer alarak 5,7 milyon ton potasyum ihracatı gerçekleştirerek 2005 yılından bu yana en büyük artışı sağladı. Azot ithalatı ise 2005 ile 2015 yılları arasında %46 artarak 38,5 milyon tona ulaştı. 2015 yılında ise ithalatın %36'sı ABD, Hindistan ve Brezilya tarafından gerçekleştirildi ve ABD 5,9 milyon tonla en fazla azot ithal eden ülke oldu. Türkiye, gübre ithalatını 2005 yılına göre %22 azaltarak 850 bin tonla Dünya'da 9. sırada yer almıştır. Dünya fosforlu gübre ithalatı 2015 yılında 18,5 milyon tona yükselmiştir. Tüm ithalatın önemli bir kısmını Hindistan ve Brezilya gibi ülkeler yapmaktadır. ABD, 2005-2015 döneminde ithalat miktarını beş kat artırarak üçüncü sırada yer almıştır. Türkiye ise aynı dönemde ithalatını %40 azaltarak 20. sıraya gerilemiştir (Anonim, 2018).

Dünya potasyum ithalatında en büyük paya sahip üç ülke Çin, Brezilya ve ABD olup, 2015 yılında gerçekleşen toplam 31,5 milyon tonluk ithalatın %49'unu bu ülkeler gerçekleştirmiştir. Potasyum ithalatı, özellikle toprak verimliliğini artırmak ve bitki besin maddesi dengesini sağlamak amacıyla yoğun şekilde kullanılan tarımsal girdilerden biri olarak küresel tarım politikalarında önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye, 2005-2015 yılları arasında potasyum ithalatını %25 artırmış ve dünya sıralamasında 29. sırada yer almıştır (Wetter, 2015).

Dünya gübre piyasasının yapısı incelendiğinde, 2013 yılında küresel gübre satışları toplam 192 milyar dolar olarak gerçekleşmiş ve bu satışların %35'inden fazlası dünyanın en büyük 10 gübre şirketi tarafından gerçekleştirilmiştir. Özellikle Çin dışındaki gübre üreticisi ülkelerde, ilk dört büyük şirketin pazarın yarısından fazlasını kontrol ettiği, bazı ülkelerde ise üretici şirketlerin tekel konumunda olduğu belirtilmektedir. Bu durum, küresel gübre sektöründe rekabetin sınırlı olması ve piyasa dinamiklerinin büyük ölçekli üreticiler tarafından yönlendirilmesi gibi yapısal özellikleri ortaya koymaktadır (Wetter, 2015). Dünya genelinde 2005 yılında 150 milyon ton olan NPK gübre tüketimi, 2015 yılına kadar %20 artarak yaklaşık 184 milyon tona ulaşmıştır. Çin, 51 milyon ton tüketim ile en fazla NPK gübresi kullanan ülke olurken, Endonezya %59'luk tüketim artışıyla bu dönemde en hızlı büyüyen pazar konumuna gelmiştir. Türkiye ise 2005 yılında 2 milyon ton olan NPK gübre tüketimini %7 artırarak 2,2 milyon tona çıkarmıştır. Bu artış, fiziksel olarak 5,5 milyon ton gübre kullanımına karşılık gelmektedir (Anonim, 2018).

Türkiye'nin küresel gübre tüketimi ve ithalatındaki yeri, hem iç pazardaki tarımsal üretim ihtiyacını hem de dışa bağımlılığı azaltmaya yönelik politika gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle potasyum ve fosfat gibi temel besin elementlerinde dışa bağımlılığın azaltılması, yerli üretimin desteklenmesi ve gübre kullanımının etkin bir şekilde yönetilmesi, Türkiye'nin tarımsal sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Küresel eğilimler doğrultusunda, verimli gübre kullanımını teşvik eden politikalar ve hassas tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir tarım sistemi oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

2.7.3 Su kullanım eğilimi ve su kaynaklarının durumu

Su insan hayatı için hayati öneme sahip olan bir kaynaktır. Tarih boyunca insanlar, yerleşim yerlerini suyun yanında inşa etmiş ve suya erişimin kolay olduğu bölgelerde цивилизasyonlarını kurmuşlardır. Ancak su, sınırsız bir kaynak değildir. Nüfus artışı, kentleşme, tarımın yaygınlaşması, sanayileşme ve ekonomik gelişmeler gibi faktörler su kaynaklarının miktarını ve kalitesini tehdit etmektedir. Yenilenebilir olmasına rağmen, su kaynaklarının yönetilmesi ve korunması önemlidir. Bu sebeple, su kaynaklarının korunması, artırılması ve adil bir şekilde dağıtılması büyük önem taşır. Su kaynakları,

sınırlı bir doğal varlık olup toplumun ortak malıdır ve bireylerin isteğine bırakılamaz. Bu nedenle devletin en önemli sorumluluklarından biri, su kaynaklarını etkili bir biçimde korumak, geliştirmek, denetlemek ve herkesin eşit şekilde yararlanmasını sağlamaktır. Dünyada ve ülkemizde en yüksek su tüketim grubunu tarımsal sulamalar oluşturur. Bunun izlediği şey içme ve kullanma suyu, bu da sanayi su kullanımındır (Anonim, 2005).

Tarım sektörü, suyun en fazla kullanıldığı sektör olduğu için suyun yönetimi ve işletilmesi büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda sulama sistemleri, verimlilikleri, fiyatlandırılması, su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi konuları da büyük bir hassasiyetle ele alınmalıdır. 1996 yılında Türkiye'de su tüketimi sektörler arasında; sulama %74, içme ve kullanma %16, sanayi %10 olarak dağılırken, 2030 yılına gelindiğinde bu oranların değişerek %65 sulama, %23 içme ve kullanma, %12 sanayi olması beklenmektedir. Diğer sektörlerdeki su tüketiminde artış olsa da, küresel düzeyde tarımsal sulamalar hala en büyük su tüketicisi konumundadır. Bu nedenle, tarımsal sulamada suyun daha etkili bir şekilde kullanılmasına yönelik artan bir talep ve baskı var. Aynı zamanda sulama, gıda üretimi ve kırsal gelir açısından kritik bir unsurdur. Bu sebeplerle, su yönetimi alanında hem su verimliliğini artırmak hem de daha yüksek kırsal gelir elde etmek için çaba gösterilmelidir. Su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetilmesi konusunda, kırsal bölgelerdeki kullanıcılara tasarım, uygulama ve kullanım konularında destek sağlanması önemlidir. Ülkeler, su kaynaklarını daha verimli yönetmek için reformlar yapmak veya yeni ihtiyaçlara yönelik çözümler bulmak durumundadırlar. Bu bağlamda, eğitim ve kurumsal kapasite oluşturma büyük önem taşımaktadır (FAO, 2006).

Su kaynaklarına olan talep dünya genelinde sürekli artıyor. Ancak, su kaynakları sınırlı ve bu talepleri karşılayabilecek kapasite sınırlı. Bu nedenle, tarımsal sulama sistemlerinde kapasite artırma, optimum kullanım ve yönetim üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Su yönetimi ve kullanımı, her ülkenin, coğrafi bölgenin ve üretim deseninin özelliklerine, ekonomik, siyasi ve sosyal yapılarına bağlı olarak değişmektedir. Bazı bölgelerde, sınırlı su kaynakları nedeniyle atık suyun sulama amacıyla geri dönüştürüldüğü bilinmektedir. Su kaynakları ve sulama faaliyetlerinde, su talebinin artmasına bağlı olarak ek su kaynaklarının sağlanmasına odaklanmak yerine, işletme, yönetim, adalet ve verimlilik

gibi unsurların su politikaları ve yönetim reformlarıyla daha etkili bir şekilde ele alındığı gösterilmiştir (WCA, 2006).

Tarım sektöründe, su kullanımı en yoğun olduğundan, su kaynakları yönetimi ve işletiminde en büyük zorluklarla karşılaşılır. Su kaynaklarına, sulama sistemlerine ve drenaja dayalı planlamalar ve yapılan inşaatlar genellikle uzun vadeli, yüksek maliyetli ve çoğunlukla kamu kaynaklarıyla finanse edilmektedir. Bu nedenle, suyla ilgili yasal, idari, sosyal, teknik ve ekonomik faaliyetlerin bütünleşik bir yaklaşımla ele alınması gereklidir. Havza ölçeğinden başlayarak çiftlik düzeyine kadar, su kaynakları yönetimi için kapsamlı bir strateji benimsenmelidir. Dünya Bankası'nın araştırmasına göre, dünya nüfusunun %40'ını oluşturan 80 ülkede, sağlık için temel ve yeterli su kaynağına ulaşmada zorluklar yaşanmaktadır. Bu sorunun temel sebepleri arasında su kaynaklarının yetersizliği, verimsiz sulama sistemleri, teknolojik eksiklikler, iletim ve dağıtım sorunları ile yetersiz sulama altyapısı ve eksik işletme bakım koşulları yer almaktadır (Southernland Association, 2006).

Su kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi için iyi tanımlanmış yönetim ve işletme politikalarının uygulanması önemlidir. Temel hedef, mevcut su kaynaklarının dengeli bir şekilde dağıtılması ve kullanılması için belirlenen stratejilerin hayata geçirilmesini sağlamaktır. Bu yapı, talep ve arzın uyumlu bir şekilde karşılanmasını sağlayacak bir model oluşturmalıdır, böylece mevcut su miktarı ile ihtiyaç arasında bir denge sağlanabilir. Bu görev genellikle DSI ve sulama birliklerince yönetim ve işletme faaliyetleri kapsamında yerine getirilir. Tarımsal sulamanın başarısı, Sulama Birliğinin etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesine bağlıdır. Bu bağlamda, en uygun işletme, bakım ve yönetim modelinin belirlenmesi konusunda tüm paydaşlarca önemsenmektedir. Optimal bir modelin oluşturulabilmesi için kurumsal ve yasal düzenlemelerin yanı sıra sosyal, kültürel ve çevresel faktörler ile mali ve ekonomik gereksinimler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, modelin teknik açıdan uygunluğu ve sürdürülebilirliği de dikkate alınarak ele alınmalıdır (Aydoğdu vd. 2015).

Bu model, su ihtiyaçlarını ve sulama sistemlerinde en etkili şekilde gelişimi destekleyen kurumsal ve örgütsel bir yapıya sahip olmalıdır. En yüksek fayda sağlanarak

sürdürülebilirlik, uygulanabilirlik ve esneklik ön planda tutulmalıdır. Model, değişen koşullara uyum sağlayabilme kabiliyetine sahip olmalı ve daha verimli hale getirilebilmelidir. Sulama sistemleri için işletme unsurlarını ayırarak, potansiyel yönetim modellerini belirlemek ve bu modeller için gerekli yönetim birimlerini tanımlamak önemli bir adımdır. Yıllık bir işletme planı, su ihtiyaçlarına dayalı bir sulama programının oluşturulmasını ve mevcut su kaynaklarının tahsis edilmesi ve dağıtımının planlanmasını içermektedir. Bu yaklaşım, tüm paydaşların, su kaynaklarının verimli bir şekilde sağlanmasını, dağıtılmasını ve kullanımını en üst düzeye çıkarmak için işbirliği yapmasını sağlar. Birleşmiş Milletler'in (BM) verilerine göre, 2025 yılına kadar Afrika'nın nüfusunun %25'ine gıda sağlanabilecektir (Anonim, 2014).

Türkiye'de olduğu gibi pek çok ülkede, su kaynaklarının arz ve yönetimi tarımsal üretim ve güvenliği için kritik bir öneme sahiptir. Tarımsal yatırımların büyük bir bölümü sulama projelerine harcanmakta olup bu oran zamanla %75'lere ulaşabilmektedir. Sulama projelerinin tamamlanması genellikle uzun zaman almaktadır ve tarım sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. Talep yönetimi; suyun kullanımını kontrol altında tutarak, ilgili sektörlerle iş birliği yaparak su kayıplarını azaltmayı hedefleyen bir stratejidir. Aynı zamanda suyun dağıtımını modernize ederek çiftlik düzeyinde ölçümleri yapmayı ve suyun fiyatlandırılmasını sağlayarak pazar piyasasındaki ekonomik etkileri de göz önünde bulundurur. Bu süreçte kamuya yönelik eğitim faaliyetleriyle davranışsal değişiklikleri teşvik etmeyi amaçlar. Sulama ve drenaj yönetim planı; suyu daha verimli ve etkili bir şekilde kullanmak amacıyla sulama sistemlerini değerlendirmek, tanımlamak ve yönetmek için yöneticilere rehberlik eder. GAP projesi kapsamında, Harran Ovası'nda sulama yönetimi ve drenaj konularında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır (Yenigün ve Aydoğdu, 2010).

Suyun az olduğu bölgelerde, su kaynaklarının etkin bir biçimde yönetilmesi hayati önem taşımaktadır. Su hizmetlerinin yönetim anlayışı son yıllarda kamunun yerini pazar ekonomisine bırakmıştır. Su temini faaliyetleri birçok ülkede hala devlet kurumları tarafından yürütülmektedir. Az gelişmiş ülkelerde bütçe kısıtlamaları, artan iç ve dış borçlar ile mali kaynakların doğru sektörlerle yönlendirilememesi gibi finansman sorunları su hizmetlerinde ciddi aksaklıklara yol açmaktadır. Bu durum, yeni yöntem

arayışlarını tetiklemekte ve kamu hizmeti sunulan birçok alanda özel sektörün yatırım yapma ve işletme süreçlerinde yer almasını teşvik edecek modellerin oluşturulmasına yol açmaktadır. Başka bir deyişle, kamu hizmeti sunulan alanların kapsamı daraltılmaktadır. Su yönetimindeki karmaşık yapının neden olduğu sorunlar, geliştirilmeyi bekleyen su kaynakları potansiyeline karşın su kaynakları yönetiminin kurumsal yapısının kapsamlı bir şekilde yenilenmesini zorunlu kılmaktadır. Elbette, bu yeni kurumsal yapı, benimsenecek teknik, ekonomik ve sosyal politikaların temelini oluşturacaktır. Bu politikaların belirlenmesinde ülkemize özgü koşullar göz önünde bulundurulmalıdır (Aydoğdu vd. 2015).

2.7.4 Tarımsal ilaç kullanım eğilimi ve durumu

Tarım, diğer sektörlerden farklı bir dinamiğe sahip olup çevreyle karşılıklı etkileşim içerisinde bulunan bir sektördür. Temelde tarımın çevreye olumlu katkı sağladığını söylemek mümkündür. Ancak küresel düzeyde diğer sektörlerde yaşanan ilerlemelerin tarım sektöründe de etkilerinin görülmesi, zamanla tarımın çevre, insan ve hayvan sağlığı için ciddi sorunlara yol açmasına neden olmuştur. Tarımda, bitkileri zararlılardan korumak için kullanılan tarım ilaçları, zararların ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır. Hastalıklar, zararlılar ve yabancı otlarla mücadelede çeşitli tarımsal yöntemler bulunmaktadır, ancak tarım ilaçlarının kullanımının bu mücadelede yaklaşık %95'lik bir paya sahip olduğu ve ilaç kullanılmadığında ürün kaybının %60'a kadar çıkabildiği kaydedilmektedir (Tiryaki vd. 2010).

Bu sebeple, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de tarım ilaçlarının kullanımı halen gereklilik arz etmektedir. Ancak, tarım ilaçlarının kullanımı çevresel etkileri göz önünde bulundurulduğunda titizlikle ele alınması gereken bir konudur. Bilinçsiz ve hatalı kullanım, birçok soruna yol açabilmektedir. Özellikle yanlış uygulamalar sonucunda ortaya çıkan kalıntı sorunu, Türkiye'de olduğu gibi dünya genelinde de ciddi bir endişe kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Türkiye'de, bilinçsiz kullanımdan kaynaklanan sorunları azaltmaya yönelik adımlar atılmaktadır. Tarımda zararlılarla mücadelede tarım ilaçlarının kullanımı özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında büyük bir ivme kazanmıştır. Yeşil devrimin etkisiyle, hibrit tohumların yaygın kullanımı, sulama sistemlerinde

gelişmeler, tarım sektöründe yeni tekniklerin ve teknolojilerin benimsenmesiyle tarımsal üretimde önemli bir artış yaşanmıştır. Tarım ilaçları, sentetik organik bileşikler olarak tanımlanan kimyasallar olup, istenmeyen organizmalarla mücadelede kullanılmaktadır. Bu ilaçlar, bitkileri korumak amacıyla kullanılan çeşitli kimyasalları ve bu kimyasalların üretiminde kullanılan maddeleri kapsar. Türkiye'de tarım ilaçları endüstrisi 1951 yılında kurulmaya başlamış olup, 2017 yılı itibarıyla Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü verilerine göre aktif olarak faaliyet gösteren 170-180 arası firma bulunmaktadır (Arslan ve Çiçekgil, 2018).

2.8 Toprak Özelliklerinin Değişkenliği

Türkiye’de toprak özellikleri; iklim, ana materyal, topoğrafya ve biyolojik faktörlerin etkisiyle büyük bir çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitlilik, özellikle farklı iklim tiplerinin, jeolojik oluşumların ve topografik yapıların bir arada bulunduğu bölgelerde daha belirgin hale gelmektedir. Bu bağlamda, ülkenin önemli tarım havzalarından biri olan Çukurova, Türkiye’deki toprak değişkenliğinin en somut örneklerinden birini teşkil etmektedir. Bölgede yer alan alüvyal düzlükler, taşlı-kireçli yükseltiler, kumlu-tınlı kıyı ovaları ve tuzlu-sodyumlu topraklar gibi farklı toprak tipleri, kısa mesafelerde yan yana bulunabilmektedir. Bu çeşitlilik, tarımsal üretimde hem fırsatlar hem de yönetim zorlukları yaratmaktadır (Ünver ve Karaman, 2008). Toprak zenginliği, doğal süreçlerin ve insan kaynaklı yönetim uygulamalarının uzun vadede şekillendirdiği dinamik bir yapıya sahiptir. Toprak oluşumu; ana materyal, iklim koşulları, organizmalar, topoğrafya ve zaman gibi faktörlerin etkileşimiyle meydana gelen karmaşık bir süreçtir. Bu süreç, farklı coğrafi bölgelerde ve zaman dilimlerinde çeşitlilik göstererek toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini belirlemektedir.

Toprak çeşitliliğinin temelinde jeolojik süreçler ve toprak oluşum mekanizmaları yer almakta olup, bu süreçler tektonik hareketler, deniz seviyesindeki değişimler, akarsu rejimlerinin dönüşümü ve antropojenik etkilerden doğrudan etkilenmektedir. Ana materyal, iklim, biyolojik faktörler, topografi ve zaman, toprak oluşumunu belirleyen temel unsurlar arasında yer almakta olup, bu faktörlerin etkileri, bulundukları bölgeye ve zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle iklim, toprak tipleri ve

özellikleri üzerinde diğer faktörlere kıyasla daha belirleyici bir role sahiptir. İklim koşulları, topraktaki kimyasal ayrışma süreçlerini, organik madde birikimini ve su hareketlerini doğrudan etkileyerek toprakların verimliliği ve sürdürülebilirliği üzerinde kritik bir rol oynamaktadır (Çelenk, 2016). Bu bağlamda, iklim değişikliği ve insan kaynaklı toprak yönetim uygulamalarının toprak kalitesi ve tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin incelenmesi, sürdürülebilir toprak kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır.

Toprak özelliklerindeki çeşitlilik, büyük ölçüde doğal oluşum süreçlerine bağlı olarak şekillense de, tarımsal yönetim ve kullanım uygulamaları da toprak dinamiklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Gübreleme, ürün rotasyonu ve erozyon kontrolü gibi faktörler, toprak değişkenliğini artırarak uzun vadede toprak kalitesini belirleyen unsurlar arasında yer almaktadır. Toprak, sürekli devam eden kimyasal süreçlere sahip dinamik bir sistemdir. Bu süreçler, mineral ayrışması, besin elementlerinin taşınması, organik madde dönüşümü ve pH değişiklikleri gibi kimyasal reaksiyonları içermektedir. Gübre uygulamaları, organik madde katkıları veya belirli elementlerin topraktan uzaklaşması, topraktaki kimyasal dengeyi değiştirerek bitki besin elementlerinin mevcudiyeti ve toprak verimliliği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Atalay, 2011). Bu bağlamda, toprak yönetimi stratejilerinin bilimsel verilere dayalı olarak optimize edilmesi, hem toprak sağlığının korunması hem de tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanması açısından kritik bir gerekliliktir. Yanlış yönetim uygulamaları, toprak besin dengesini bozarak uzun vadede verim kayıplarına neden olabileceğinden, toprak analizine dayalı gübreleme ve doğru ekim sistemlerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri coğrafi olarak büyük farklılıklar gösterdiğinden, klasik istatistik yöntemleri toprak varyasyonunu açıklamada her zaman yeterli olmamaktadır. Ortalama, standart sapma ve varyans gibi geleneksel istatistiksel teknikler, toprak özelliklerindeki genel değişim desenlerini ortaya koyarken, varyasyonun nedenlerini tam olarak açıklayamayabilir. Bu durum, toprak özelliklerindeki değişkenliği incelemek için daha ileri istatistiksel yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmaktadır (Başbozkurt vd. 2013). Toprak biliminde kullanılan en önemli çok değişkenli istatistik yöntemlerinden biri faktör analizidir. Faktör analizi, karmaşık veri yapılarının

sadeleştirilmesini sağlayarak, toprak değişkenliği üzerinde etkili olan temel faktörleri belirlemeye yardımcı olmaktadır (Sağlam, 2013). Bu yöntem, değişkenler arasındaki ilişkileri en iyi şekilde açıklayan daha az sayıda ortak faktörü belirleyerek, toprak biliminde büyük veri kümelerinin analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır. Faktör analizi, toprak değişkenliğinin mekânsal dağılımını anlamada önemli bir araç olup, toprak süreçlerini etkileyen temel unsurların belirlenmesine olanak tanımaktadır. Behera ve Shukla (2015), toprakların büyük ölçüde mekânsal değişkenlik gösteren karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ve bu değişkenliğin etkin bir toprak yönetimi için dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Toprak değişkenliğini göz ardı etmek, yanlış toprak yönetimi uygulamalarına yol açarak tarımsal üretim ve doğal kaynak yönetimi açısından istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Bundan dolayı, çok değişkenli istatistik tekniklerinin kullanımı, toprak yönetimi, verimlilik optimizasyonu ve sürdürülebilir tarım uygulamalarında karar alma süreçlerini iyileştirmek adına büyük bir öneme sahiptir.

Toprak değişkenliğinin belirlenmesi ve haritalanması sürecinde Kriging, Co-Kriging ve makine öğrenimi gibi çeşitli yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, toprak özelliklerinin mekânsal değişkenliğini anlamaya ve daha doğru tahminlerde bulunmaya yardımcı olmaktadır. Kriging, toprak değişkenlik haritalaması için yaygın olarak kullanılan bir istatistiksel enterpolasyon yöntemidir. Bu yöntem, mevcut ölçümlerden elde edilen verilere dayanarak bilinmeyen noktalara ilişkin tahminlerde bulunur ve toprak özelliklerinin dağılımını belirlemekte etkili bir araç sunar. Kriging ayrıca, değişkenliğin belirlenmesindeki güven seviyesini dikkate alarak sonuçların doğruluğunu artırır (Tunçay vd. 2017). Co-Kriging, kriging yönteminin geliştirilmiş bir versiyonu olup, birden fazla değişkenin aynı anda modellenmesine olanak tanımaktadır.

Özellikle toprak verilerinde farklı değişkenler arasında güçlü ilişkilerin bulunduğu durumlarda, bu yöntem daha yüksek doğruluk sağlayarak tahmin performansını artırmaktadır. Co-Kriging, bir değişkenin verilerini kullanarak başka bir değişkenin daha hassas tahmin edilmesine imkân tanımaktadır, böylece mekânsal modelleme süreçlerinde daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir. Makine öğrenimi yöntemleri, toprak özelliklerinin belirlenmesi ve modellenmesi alanında giderek daha popüler hale gelen bir yaklaşımdır. Büyük veri setleri üzerinde çalışan makine öğrenimi algoritmaları, toprak

özellikleri arasındaki karmaşık ilişkileri keşfetmek ve yüksek doğrulukta tahminler üretmek için güçlü bir araç sunmaktadır.

Destek vektör makineleri, karar ağaçları, yapay sinir ağları ve rastgele orman gibi algoritmalar, toprak haritalama çalışmalarında yüksek detay ve hassasiyet sağlamaktadır. Bu yöntemler, toprak değişkenliğinin belirlenmesinde kullanılan yaygın istatistiksel yaklaşımlardan yalnızca birkaçını temsil etmektedir. Hangi yöntemin seçileceği, kullanılan veri setinin özelliklerine, çalışmanın amaçlarına ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kriging ve Co-Kriging gibi jeoistatistiksel yöntemler, coğrafi ve mekânsal analizler için daha uygun olabilirken, makine öğrenimi teknikleri büyük veri setleri ve karmaşık toprak süreçlerini modellemek için daha güçlü bir alternatif sunmaktadır (Yaprak ve Arslan, 2011).

3. HASSAS TARIM UYGULAMALARI

3.1 Hassas Tarım

Toprak ve bitki özelliklerinin alansal ve zamansal değişkenlik göstermesi, tarımda homojen uygulamaların verimliliğini sınırlamakta, bu nedenle girdilerin etkin yönetimini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda hassas tarım, yalnızca farklılıkları tespit etmeyi değil, aynı zamanda bu farklılıkları yönetmeyi amaçlayan bir tarımsal üretim yaklaşımıdır. Nitekim Bayramın (2024), hassas tarımı “tarımsal arazilerin konumsal ve zamansal değişkenliğinin Bilgi ve İletişim Teknolojileri kullanılarak yönetimi” olarak tanımlamakta ve bu yönüyle “değişkenliğin yönetimi” kavramını ön plana çıkarmaktadır. Uzaktan algılama sistemleri, IoT (Nesnelerin İnterneti) tabanlı tarım araçları, dronlar ve sensör tabanlı veri toplama teknikleri, bu yaklaşımın en yaygın bileşenleri arasında yer almaktadır (Monteleone vd. 2020; Symeonaki vd. 2020).

Bu bağlamda hassas tarımın temel bileşenleri şunlardır:

- Değişken Oranlı Uygulama (VRA): Arazi her bölgesine özel olarak farklı miktarlarda su, gübre ve pestisit uygulanmasını sağlayan bir sistemdir. Bitki besin elementlerinin seviyesini, toprak nemini ve yapısını analiz ederek en uygun girdiyi belirler (Güçdemir, 2015).
- Uzaktan Algılama (Remote Sensing) ve Sensör Teknolojileri: Arazi üzerindeki toprak ve bitki sağlığını gerçek zamanlı olarak izleyerek, doğru müdahalelerin yapılmasını sağlar (Shrestha ve Khanal, 2020).
- Otonom Tarım Makineleri: Hassas tarım uygulamalarını destekleyen robotik tarım ekipmanları, insansız hava araçları (drone’lar) ve GPS kontrollü traktörler, daha hassas ekim, ilaçlama ve hasat işlemlerine olanak tanır (Gawande vd. 2023).
- Veri Analitiği ve Yapay Zekâ Uygulamaları: Büyük veri analizleri ve yapay zekâ algoritmaları sayesinde tarımsal karar alma süreçlerini optimize ederek, girdilerin en verimli şekilde kullanılmasını sağlar (Shannon vd. 2018).

Bu teknolojilerin etkin kullanımı sayesinde, toprak sağlığı korunurken, üretim maliyetleri azaltılmakta ve ekosistem üzerindeki baskı en aza indirilmektedir (Yüzüğüllü vd. 2020).

Hassas tarım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, tarımsal verimlilik artışı ve çevresel sürdürülebilirlik konularında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Geleneksel tarımsal uygulamalar sabit oranlı girdilere dayanırken, hassas tarım teknolojileri tarımsal girdi kullanımını bölgesel değişkenliklere göre optimize ederek ekonomik kazanç sağlamaktadır (Türkmen, 2015).

Hassas tarımın sağladığı başlıca ekonomik ve çevresel avantajlar şunlardır:

- Girdi Maliyetlerinin Azaltılması: Gübre, su ve pestisit gibi girdilerin sadece ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılması, üretim maliyetlerinde tasarruf sağlar (Türker vd. 2015).
- Verimliliğin Artırılması: Hassas tarım teknolojileri sayesinde bitkilerin büyüme süreçleri daha yakından takip edilerek, yüksek kaliteli ve bol verimli ürün elde edilir (Shrestha ve Khanal, 2020).
- Çevresel Etkilerin Azaltılması: Fazla gübreleme ve ilaçlamanın önüne geçilmesi, su kaynaklarının korunmasını ve ekosistemin dengesinin sağlanmasını mümkün kılar (Güçdemir, 2015).
- İklim Değişikliği ile Mücadele: Karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sunarak, sürdürülebilir tarımsal üretim modellerinin benimsenmesini teşvik eder (Karunathilake vd. 2023).

Bununla birlikte, hassas tarım teknolojilerinin benimsenme oranı ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Teknolojiye erişim, ekonomik koşullar ve çiftçilerin eğitimi, bu yenilikçi uygulamaların yaygınlaşmasını doğrudan etkileyen faktörlerdir (Bolfe vd. 2020). Özellikle düşük gelirli ve küçük ölçekli çiftçiler, bu teknolojilere erişimde maliyet ve altyapı eksiklikleri nedeniyle zorluk yaşayabilmektedir. Bu noktada, çiftçilerin hassas tarım teknolojilerini daha etkin kullanabilmeleri için eğitim programlarının geliştirilmesi ve devlet desteklerinin artırılması gerekmektedir (Michailidis vd. 2024).

Hassas tarım, tarımsal üretimi daha sürdürülebilir, verimli ve çevre dostu hale getiren bir yaklaşımdır. Uzaktan algılama, veri analitiği, değişken oranlı uygulamalar ve yapay zekâ destekli karar alma sistemleri gibi teknolojik yenilikler, tarımsal üretim süreçlerinde daha bilimsel ve kaynak verimliliği odaklı bir yönetim anlayışının benimsenmesini sağlamaktadır.

Ancak, hassas tarım uygulamalarının daha geniş kitleler tarafından benimsenmesi için altyapı, finansman ve eğitim konularında çeşitli politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Devlet destekleri, Ar-Ge yatırımları ve çiftçi eğitim programlarının artırılması, hassas tarım teknolojilerinin yaygınlaşmasını hızlandırabilir. Gelecekte, makine öğrenimi ve yapay zekâ tabanlı sistemlerin hassas tarım uygulamalarına daha fazla entegre edilmesi beklenmektedir. Bu teknolojiler, veri analiz süreçlerini geliştirerek daha hassas ve akıllı tarım sistemlerinin oluşturulmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla, hassas tarımın etkin şekilde uygulanması, hem küresel gıda güvenliğini sağlamaya hem de tarımsal ekosistemleri korumaya yönelik kritik bir araç olarak değerlendirilmektedir.

3.2 Hassas Uygulamalı Tarımın Bileşenleri

Son yıllarda, toplumun artan çevresel duyarlılığı ve tarımsal üretimde maliyetleri azaltma gereksinimi, girdi kullanımının daha etkin yönetilmesini teşvik etmektedir. Tarımsal üretimde sürdürülebilirliği artırmaya yönelik politikalar, kimyasal gübre ve pestisit kullanımının azaltılmasını, suyun daha verimli kullanılmasını ve tarımsal faaliyetlerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, hassas tarım teknolojileri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle uydu teknolojilerinin tarımsal üretimde kullanımının yaygınlaşması, araç pozisyonunun belirlenmesi, coğrafi bilgi sistemleri ile tarlaların detaylı analiz edilmesi ve tarımsal makinelerin otomatik kontrolü gibi mekanik sistemlerde büyük ilerlemelere yol açmıştır (Tekin ve Sındır, 2006). Bilişim teknolojilerindeki gelişmeler, tarımsal yönetim süreçlerinde devrim niteliğinde değişiklikler yaratmıştır. Coğrafi bilgi sistemleri, karar destek sistemleri ve veri tabanı yazılımları gibi yönetim bilgi sistemleri, tarımsal üretimde daha bilinçli kararlar alınmasını sağlamakta, üreticilere yüksek hassasiyetle veri analizi yapma ve girdileri optimize etme imkânı sunmaktadır. Özellikle yapay zekâ ve büyük veri

analitiği ile desteklenen tarımsal yönetim sistemleri, üretim süreçlerinin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, hassas tarım uygulamalarının yaygınlaşması hem ekonomik verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Gelecekte, uzaktan algılama sistemleri, nesnelerin interneti tabanlı tarım araçları ve akıllı karar destek sistemlerinin entegrasyonu ile tarımsal üretimde daha yüksek verimlilik ve çevre dostu uygulamalar yaygınlaşacaktır.

Hassas tarım, tarımsal üretimde verimliliği artırırken, artan çevresel duyarlılık ve ekonomik baskılar doğrultusunda girdi kullanımının azaltılmasını sağlayan gelişmiş kontrol sistemleri ve yönetim bilgi sistemlerinin entegrasyonuna odaklanmaktadır. Bu yaklaşım, kaynakların daha etkin kullanımını sağlayarak, tarımsal ürünlerin brüt marjlarını artırırken, aynı zamanda çevresel etkileri minimize eden sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmektedir (Tekin ve Sındır, 2006). Ancak, hassas tarımın yalnızca verim artışına odaklanmadığı, aynı zamanda tarımsal girdilerin gereğinden fazla kullanımını önleyerek üretimde sürdürülebilirliği artıran teknolojik çözümleri benimsemeyi amaçladığı unutulmamalıdır. Hassas tarım, küresel konum belirleme sistemleri (GPS), harita tabanlı uygulamalar ve elektronik sensörlerin entegrasyonu ile tarımsal arazilerdeki değişkenlikleri tespit ederek, ürün veriminde oluşabilecek farklılıkları belirleme ve buna uygun müdahalelerde bulunma imkânı sunmaktadır (Vatandaş vd. 2005).

Tarımsal girdilerin daha bilinçli ve etkin kullanılması amacıyla geliştirilen hassas tarım uygulamalarında, değişken oranlı gübreleme, sulama ve ilaçlama yöntemleri önemli bir yer tutmaktadır. Bitki yoğunluğunu belirleyen sensörler kullanılarak yapılan değişken oranlı azot uygulamaları, geleneksel sabit oranlı gübreleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında hem ekonomik hem de çevresel avantajlar sunmaktadır. Ehlert vd. (2004) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, buğday, kanola ve soya için değişken oranlı gübreleme ve ilaçlama uygulamaları değerlendirilmiş ve standart yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Değişken oranlı azot uygulamalarının hem maliyetleri azalttığı hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklediği ortaya konulmuştur. Benzer şekilde, Hindistan'da yürütülen çalışmalarda mısır ve soya üretiminde değişken oranlı pH yönetim stratejileri

ele alınmış ve hassas tarım uygulamalarının klasik tarım yöntemlerine kıyasla ekonomik, agronomik ve çevresel açılardan üstün olduğu belirlenmiştir (Deboer ve Bongiovanni, 2000).

Bu araştırmalar, hassas tarım teknolojilerinin sadece verimi artırmakla kalmayıp, aynı zamanda su, gübre ve kimyasal ilaç gibi girdilerin kullanımını optimize ederek tarımsal üretimin çevresel etkilerini azalttığını göstermektedir. Geleneksel tarım yöntemlerinde homojen uygulamalar, bazı bölgelerde aşırı gübre veya pestisit kullanımına neden olurken, bazı alanlarda ise eksik besin veya koruma sağlanmasına yol açmaktadır. Hassas tarım ise, bu değişkenliği dikkate alarak her bölgenin ihtiyacına uygun müdahalelerde bulunulmasını mümkün kılmaktadır. Böylece, toprak sağlığı korunmakta, su kaynaklarının kirlenmesi önlenmekte ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği sağlanmaktadır.

Hassas tarımın başarısı, bu teknolojilere erişim, çiftçilerin bilgi düzeyi ve devlet destekleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, yüksek maliyetli hassas tarım ekipmanlarının benimsenmesi sınırlı kalmakta, bu da teknolojinin geniş çapta yayılmasını engelleyebilmektedir. Ancak, uzun vadede hassas tarım uygulamalarının sunduğu maliyet tasarrufları ve çevresel faydalar, bu sistemlerin daha geniş ölçekte benimsenmesini teşvik edebilecek önemli faktörlerdir. Gelecekte, yapay zekâ tabanlı analizler, nesnelerin interneti destekli tarım sistemleri ve otonom tarım makineleri gibi yeniliklerin entegrasyonu, hassas tarımın daha da gelişmesine olanak tanıyacaktır. Tarım sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanması açısından hassas tarımın yaygınlaştırılması, hem küresel gıda güvenliği hem de çevresel koruma için kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

Hassas tarım teknolojileri, bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde verimliliği artırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirmek amacıyla giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bahçenin farklı bölgelerinde değişken oranlı toprak işleme, gübreleme ve ilaç uygulamalarının gerçekleştirilmesi, sulama ve drenaj sistemlerinin kurulması, hasat olgunluğunun belirlenmesi ve otonom hasat makineleriyle meyve toplanması gibi gelişmeler, bu teknolojilerin modern tarım

üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır (Zude-Masse, 2016). Özellikle hassas tarım kapsamında, yaprak analizleri ve uzaktan algılama sistemleri ile bitki gelişiminin sürekli izlenmesi, üreticilere daha bilinçli karar alma imkânı sunmaktadır.

Bahçe bitkilerinde ağaç gelişimini değerlendirmek için verim, taç yüzeyi, hacim ve meyve kalitesi gibi faktörler büyük önem taşımaktadır. Uzaktan algılama ve insansız hava araçları (İHA) kullanılarak ağaç taç yüzeyi yüksek doğrulukla ölçülebilmekte, lidar ve ultrasonik sistemler yardımıyla ise ağaç hacmi hesaplanabilmekte ve üç boyutlu görüntülenebilmektedir (Calders vd. 2015). Bunun yanı sıra, uydu görüntülerinden elde edilen kırmızı ve yakın kızılötesi bantların oranlanmasıyla hesaplanan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), bitki gelişimini ve sağlığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. NDVI analizleri ile bitkilerin fotosentetik aktivitesi ve gelişim durumu belirlenebilirken, klorofil düzeyi ölçen cihazlar ile de bitki besin durumu hakkında değerli bilgiler elde edilmektedir. Bu tür sensör tabanlı sistemlerden sağlanan veriler, değişken oranlı makineler tarafından kullanılarak tarımsal girdilerin en verimli şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktadır (Aggelopoulou, 2010).

Hassas tarım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, otomatik ve otonom hasat makinelerinin kullanımı da önemli bir gelişme kaydetmiştir. Hasat makineleri, meyve kalitesine ilişkin olgunluk, meyve rengi, şekil, dış kusurlar, şeker içeriği ve asitlik gibi faktörleri algılayıcılar yardımıyla değerlendirerek, optimum hasat zamanının belirlenmesini sağlamaktadır. Bazı meyvelerde, bu tür kalite ölçümlerinin bahçe ortamında lazer veya spektrometre sistemleri yardımıyla gerçekleştirilebileceği belirtilmektedir (Das vd. 2016). Bu gelişmeler, bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde insan müdahalesini en aza indirerek verimliliği artırmakta, iş gücü maliyetlerini azaltmakta ve gıda üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirmektedir.

Hassas tarım teknolojileri sayesinde elde edilen yüksek doğruluklu veriler, sadece üretim aşamasında değil, aynı zamanda işletme yönetimi ve uzun vadeli planlamalar için de kritik bir rol oynamaktadır. Önceki yıllara ait ağaç başına verim değerleri, iklim verileri ve toprak analiz sonuçları gibi bilgiler, üretim süreçlerinin optimizasyonu için kullanılarak kaynakların daha etkin yönetilmesine olanak tanımaktadır (Aggelopoulou,

2010). Sonuç olarak, hassas tarım, bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde üretim verimliliğini ve kaliteyi artıran, tarımsal girdileri daha etkin bir şekilde yöneterek çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden bir model olarak öne çıkmaktadır. Gelecekte, yapay zekâ destekli analizler, robotik sistemler ve nesnelerin interneti entegrasyonu gibi teknolojilerin hassas tarım uygulamalarına daha fazla entegre edilmesiyle birlikte, bu alandaki dönüşümün daha da hızlanacağı öngörülmektedir.

3.3 Hassas Tarımın Tarihçesi

Hassas tarımın ilk aşaması, 20. yüzyılın sonlarına doğru ortaya çıkmış ve GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) ile GIS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) teknolojilerinin entegrasyonu ile şekillenmiştir. Bu dönemde, tarımsal kaynakların bölgesel olarak yönetilmesi ve girdilerin en uygun alanlara yönlendirilmesi amacıyla veri tabanlı sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu dönemin temel amacı, su ve gübre gibi kritik kaynakları koruyarak çevresel etkileri en aza indirirken verimi artırmaktır (Fakhar ve Khalid, 2023). Başlangıç aşamasında, temel sensör teknolojileri ve haritalama teknikleri kullanılmış, bu da daha kapsamlı veri toplama ve analiz süreçlerinin temelini oluşturmuştur.

21. yüzyılın ilerleyen dönemlerinde, hassas tarım 2.0 konsepti ortaya çıkmış ve bu evre, otomasyon ile gerçek zamanlı veri toplamaya odaklanmıştır. Uzaktan algılama sistemleri, insansız hava araçları (UAV) ve nesnelerin interneti tabanlı sensörlerin kullanımı sayesinde, tarımsal veriler daha hassas bir şekilde izlenebilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu dönüşüm, özellikle toprak nem seviyelerinin, bitki sağlığının ve ürün gelişiminin daha hassas bir şekilde takip edilmesini sağlayarak tarımsal yönetimde önemli ilerlemelere yol açmıştır (McFadden vd. 2023; Gawande vd. 2023).

Makine öğrenimi algoritmalarının tarım süreçlerine entegre edilmesi, üreticilerin hızlı ve bilinçli kararlar almasını kolaylaştırmış ve operasyonel süreçleri daha verimli hale getirmiştir (Castaldo, 2023). ABD Tarım Bakanlığı tarafından yayımlanan raporlar, bu teknolojileri benimseyen üreticilerin tarımsal verimliliğinde ve kârlılığında belirgin artışlar sağlandığını göstermektedir (McFadden vd. 2023). Günümüzde tarım sektörü, Tarım 4.0 olarak adlandırılan yeni bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu aşamada, IoT ve

bulut bilişim teknolojilerinin tarımsal üretim süreçlerine entegrasyonu, tarımsal verilerin daha bütüncül bir şekilde işlenmesine ve karar mekanizmalarının dinamik olarak adapte olmasına imkân tanımaktadır (Miller, 2023). Ayrıca, CRISPR gibi biyoteknoloji uygulamalarının hassas tarım ile birleştirilmesi, tarımsal üretimde genetik dayanıklılığı artırarak hastalık ve zararlılara karşı daha dirençli bitkiler elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Gawande vd. 2023). Küresel nüfus artışı ve iklim değişikliği gibi kritik zorluklarla başa çıkmak adına geliştirilen bu yenilikçi yaklaşımlar, sürdürülebilir tarım uygulamalarının önemini artırmaktadır (Gawande vd. 2023). Sürdürülebilir tarım anlayışının yaygınlaşması, hassas tarımın yalnızca verim artışına odaklanmadığını, aynı zamanda tarımsal üretimin çevresel etkilerini minimize etmeyi amaçladığını göstermektedir. Modern hassas tarım uygulamaları, tarımsal faaliyetlerde karbon ayak izinin azaltılması, su ve gübre kullanımının optimize edilmesi ve kimyasal girdilerin gereksiz kullanımının önlenmesi gibi sürdürülebilirlik ilkelerini içermektedir (Karwacka vd. 2020). Özellikle nanoteknoloji ve yapay zekâ destekli izleme sistemleri, ürün besleme stratejilerini daha etkin hale getirerek hassas tarımı daha sürdürülebilir bir üretim modeli haline getirmektedir (Albanese vd. 2021).

Sonuç olarak, hassas tarımın tarihi, basit haritalama tekniklerinden tam entegre dijital tarım sistemlerine kadar geniş bir dönüşüm sürecini kapsamaktadır. Bu evrim, artan tarımsal zorluklara yanıt olarak şekillenmiş ve sürdürülebilir tarımsal üretim uygulamalarını desteklemeye yönelik teknolojik gelişmelerle güçlendirilmiştir. Gelecekte, yapay zekâ destekli karar sistemleri, robotik tarım makineleri, blok zinciri tabanlı tedarik zinciri yönetimi ve biyoteknoloji temelli genetik iyileştirme yöntemlerinin entegrasyonu, hassas tarımın daha ileri bir noktaya taşınmasına katkıda bulunacaktır. Tarım sektöründeki bu dönüşüm, küresel gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kritik bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

3.4 Dünyada Ve Ülkemizde Bahçe Tarımında Hassas Tarım Uygulamaları

Hassas tarım uygulamaları, küresel tarım sektörünün karşı karşıya olduğu temel sorunlara çözüm sunan önemli araçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu uygulamalar, modern teknolojileri kullanarak kaynak kullanımını optimize etmek, tarımsal verimliliği artırmak

ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla geliştirilmektedir. Özellikle bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde, hassas tarım kapsamında uzaktan algılama, nesnelerin interneti, robotik sistemler ve veri analitiği gibi teknolojilerin entegrasyonu, tarımsal üretim süreçlerinde devrim niteliğinde değişimler yaratmaktadır. Bu yenilikler, üretimin yoğunlaştırılması, doğal kaynak kısıtlarının yönetilmesi ve iklim değişikliğinin bahçe bitkileri sektörü üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması açısından kritik bir öneme sahiptir (Kumar vd. 2023).

Hassas tarımın temelinde, bitki sağlığı, toprak koşulları ve iklimsel değişkenler hakkında gerçek zamanlı veriler temelinde karar alma sürecinin iyileştirilmesi yatmaktadır. Uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler, bahçecilik sektöründeki üreticilere tarımsal faaliyetleri hakkında ayrıntılı veriler sağlayarak, zararlı istilaları ve su mevcudiyeti gibi faktörlerin analiz edilmesini mümkün kılmaktadır (Kumar vd. 2023). Örneğin, uzaktan algılama ile sulama yönetimi kararları daha bilinçli bir şekilde alınabilir, bu da hem su tasarrufunu sağlamakta hem de ürün verimini optimize etmektedir (Kumar vd. 2023). GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) gibi teknolojilerin entegrasyonu sayesinde hassas tarım yöntemlerinin uygulanması kolaylaşmakta ve çevresel kaynakların daha etkin yönetilmesine olanak tanımaktadır (Halder vd. 2024).

Son yıllarda, hassas tarımın önemli bir bileşeni olarak dijital ikiz teknolojisi giderek daha fazla kullanılmaktadır. Dijital ikizler, üreticilere tarımsal süreçleri sanal bir ortamda modelleme ve çeşitli senaryoları analiz etme imkânı sunarak, tarım alanında yapılan uygulamaların olası etkilerini önceden değerlendirme fırsatı tanımaktadır. Bu yaklaşım, toprak yönetimi ve bitki performansı hakkında değerli içgörüler sunarak karar alma süreçlerini geliştirmekte ve kaynak yönetimini daha verimli hale getirmektedir (Silva vd. 2023).

IoT tabanlı sensör teknolojilerinin kullanımı, bahçecilik ortamlarında çevresel koşulların daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Özellikle IoT sistemleri, sera ortamlarında iklim değişkenlerine uyum sağlayarak, bitki büyümesini ve verimini etkileyen faktörlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak tanımaktadır (Alhaqi vd. 2024). Türkiye gibi

su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde, IoT sistemlerinin kullanımı, su yönetiminde verimliliği artırmakta ve tarımsal sürdürülebilirliği desteklemektedir (Alhaqi vd. 2024). Dolayısıyla, nesnelerin interneti teknolojisi, hassas tarımın yeteneklerini genişleterek, çevresel koşulların kontrol edilmesini ve ürün verimliliğinin artırılmasını mümkün kılmaktadır.

Robotik sistemler ve otomasyon teknolojilerinin kullanımı, bahçecilikte iş gücüne duyulan ihtiyacı azaltarak üretim süreçlerini daha verimli hale getirmektedir. Özellikle hasat ve ekim gibi emek yoğun tarımsal işlemlerin robotik sistemler tarafından gerçekleştirilmesi, üreticilerin artan tüketici taleplerine yanıt verebilmesine olanak tanımaktadır (Halder vd. 2024). Hassas tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, kimyasal girdilere bağımlılığı azaltarak ekolojik sağlığı ve biyolojik çeşitliliği korumayı da desteklemektedir.

İklim değışikliğinin etkileri dikkate alındığında, araştırmacılar ve politika yapıcılar, hassas tarımı bahçecilik uygulamalarına entegre eden adaptasyon stratejilerine odaklanmaktadır. İklim değışikliğine dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi, ileri tarım teknolojilerinin entegrasyonu ile birlikte, iklim değışikliğinin tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasını sağlamaktadır (Chachar vd. 2023). Yapılan saha çalışmaları ve araştırmalar, hassas tarım bileşenlerinden sensör teknolojileri ve veri analitiğinin, bahçecilik sistemlerinde dayanıklılığı artırmada kritik bir rol oynadığını göstermektedir (Chachar vd. 2023; Janbandhu vd. 2024).

Türkiye’de de benzer eğilimler gözlemlenmekte olup, yerli üreticiler hassas tarım teknolojilerini benimseyerek değışen iklim koşullarıyla mücadele etmeye ve üretim verimliliğini artırmaya çalışmaktadır. Türkiye’nin farklı iklim bölgelerine ve tarımsal zenginliğine sahip olması, hassas tarım uygulamalarının başarılı bir şekilde uygulanması açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Özellikle hassas tarımın sunduğu fırsatlar, girdi kullanımının optimize edilmesini sağlarken, çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik önemli avantajlar sunmaktadır.

Ayrıca, Türkiye’deki araştırmacılar, yerel bahçecilik sektörünün ihtiyaçlarına özel olarak geliştirilen dijital tarım teknolojileri oluşturmak için iş birlikleri yapmaktadır. Yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin hızla benimsenmesi, Türkiye’de daha akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır (Fuentes vd. 2023). Türkiye’de hassas tarımın geleceği umut verici olup, özellikle sektörün sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği ekseninde gelişmesi, hassas tarım teknolojilerinin daha geniş çapta benimsenmesini teşvik edecektir.

Küresel tarım sektörü sürekli evrilirken, teknolojik ilerlemeler bahçecilik üretiminin yönünü belirlemeye devam etmektedir. Hassas tarım ve sürdürülebilirlik ilkelerinin birleşmesi, verimliliği artırmanın yanı sıra çevresel koruma ve gıda güvenliği hedefleriyle uyumlu bir üretim modeli sunmaktadır (Dzaky vd. 2022). İklim değişikliği ve küresel gıda talebindeki artış gibi zorluklar, hassas tarım uygulamalarının yenilikçi bir yaklaşımla ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, bahçecilik sektöründe hassas tarım teknolojilerinin benimsenmesi, tarımsal üretim sistemlerinin dayanıklılığını ve sürdürülebilirliğini güvence altına almak açısından büyük bir önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, bahçe bitkileri tarımı sektöründe hassas tarım uygulamalarının yaygınlaşması, geleneksel tarım yöntemlerini yeniden şekillendiren ileri teknolojilerle desteklenmektedir. Uzaktan algılama, nesnelerin interneti ve robotik sistemler gibi yenilikçi çözümler, hem üretkenliği hem de sürdürülebilirliği artırmada dönüştürücü bir potansiyel sunmaktadır. Türkiye ve dünya genelinde, hassas tarım uygulamalarına dayalı adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesi, tarımsal faaliyetlerin değişen çevresel ve sosyo-ekonomik koşullara karşı daha dirençli hale getirilmesini sağlayacaktır.

3.5 Hassas Tarımın Önemi ve Yararları

Hassas tarım, aynı zamanda akıllı tarım olarak da bilinen ve gelişmiş teknolojik çözümleri entegre ederek tarımsal üretkenliği ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu sistem, gerçek zamanlı izleme araçları ve yapay zekâ (AI) gibi veri odaklı yöntemleri kullanarak tarımsal faaliyetleri çevresel koşullara ve bitkisel gereksinimlere göre özelleştirmektedir. Hassas tarımın etkin bir şekilde uygulanması, hem ürün

veriminde artış sağlamakta hem de çevresel etkileri en aza indirmektedir. Hassas tarımın en önemli avantajlarından biri, tarımsal üretkenliğin önemli ölçüde artırılmasıdır. Değişken oranlı gübre uygulamaları ve hassas toprak örnekleme teknikleri gibi teknolojilerin kullanımı, çiftçilerin bitkilerinin özel ihtiyaçlarına en uygun şekilde kaynak tahsis etmesini sağlamaktadır (Bolfe vd. 2020). Bu süreç, girdi israfını azaltarak maliyetleri düşürmekte ve toplam üretim verimliliğini artırmaktadır. Yapılan araştırmalar, çiftçilerin hassas tarımı benimsemelerindeki en büyük motivasyon kaynağının üretkenliği artırmak ve üretim maliyetlerini azaltmak olduğunu göstermektedir. Bu eğilim, küresel düzeyde hassas tarım uygulamalarının yaygınlaşmasının temel nedenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Vatin vd. 2024).

Bunun yanı sıra, hassas tarım, bitki yönetimi konusundaki karar alma süreçlerini iyileştirmekte ve tahmin modelleri ile desteklenen veri analitiği yöntemleri sayesinde tarımsal planlamayı optimize etmektedir. Tarihsel ürün verilerini kullanarak gelecekteki verim tahminleri oluşturan öngörücü modelleme teknikleri, girdilerin daha etkin tahsis edilmesini sağlamakta ve ürün veriminde mekânsal değişkenlikleri belirlemeye yardımcı olmaktadır (Nyéki vd. 2022). Ancak, Nyéki vd. 2022'ye göre, bu modellerin doğruluğunu artıracak daha gelişmiş analiz araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, büyük veri analitiği, çiftçilerin tarımsal müdahaleleri dinamik olarak ayarlayabilmesini ve böylece verim kayıplarını önlemesini mümkün kılmaktadır.

Hassas tarımda drone'lar ve sensörler gibi yenilikçi teknolojilerin kullanımı, bu alandaki etkinliği daha da artırmaktadır. Özellikle drone'lar, bitki sağlığını izleme, toprak durumunu değerlendirme ve gübre ile pestisitlerin hassas miktarlarda uygulanmasını sağlama konularında büyük bir avantaj sunmaktadır (Ivezić vd. 2023). Ayrıca, Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin hassas tarımda kullanımı, tarımsal üretim süreçlerinde sürekli veri toplanmasını ve analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır (Vatin vd. 2024). Bu sistemler, tarımsal uygulamaların sürdürülebilirlik hedefleriyle daha iyi uyumlu hale gelmesini sağlamaktadır. Hassas tarımın en önemli boyutlarından biri de sürdürülebilirliğe olan katkısıdır. Küresel nüfusun hızla artması, gıda üretimi talebini artırırken, tarımsal faaliyetlerin daha sürdürülebilir yöntemlerle gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Vatin vd. 2024). Hassas tarım, tarımsal üretimde kaynak kullanımını

optimize ederek çevresel bozulmayı en aza indirir. Girdi yönetiminin hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi, kimyasal gübre ve pestisit kullanımının azaltılmasını sağlayarak toprak sağlığını iyileştirmekte ve su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunmaktadır (Ivezić vd. 2023). Bu yönüyle hassas tarım, küresel iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik sürdürülebilir tarım politikalarıyla da örtüşmektedir.

Ekonomik açıdan bakıldığında, hassas tarım teknolojileri çiftçilerin kârlılığını artırmakta ve tarımsal işletmelerin daha rekabetçi hale gelmesini sağlamaktadır. Özellikle tarımsal girdilerin hassas bir şekilde yönetilmesi, üretim maliyetlerini düşürerek çiftçilerin kâr marjlarını artırmaktadır (Lencsés ve Mészáros, 2020). Lencsés ve Mészáros tarafından yapılan araştırmalar, hassas tarım uygulamalarını benimseyen çiftçilerin yenilikçi iş modelleri geliştirerek daha yüksek verim elde ettiklerini ortaya koymaktadır (Lencsés ve Mészáros, 2020). Bu durum, yalnızca bireysel çiftçilerin ekonomik refahına katkıda bulunmakla kalmayıp, aynı zamanda tarım sektörünün genel ekonomik dayanıklılığını da artırmaktadır.

Hassas tarımın yaygınlaşmasıyla birlikte, veri güvenliği ve gizliliği gibi konular da ön plana çıkmaktadır. Dijital teknolojilerin tarımsal üretimde giderek daha fazla kullanılması, çiftçilere ait hassas bilgilerin güvenliği konusunda endişelere yol açmaktadır (Kaur vd. 2022). Bu nedenle, tarım sektöründe güvenilir veri yönetim protokollerinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Çiftçilerin hassas tarım teknolojilerine güven duyması için, veri güvenliği konusundaki endişelerin giderilmesi gerekmektedir.

Yapay zekâ, hassas tarımda verim tahmini ve tarımsal süreçlerin optimizasyonunda kilit bir rol oynamaktadır. Yapay zekânın entegre edilmesi, büyük veri setlerinin analiz edilmesini kolaylaştırarak, karar alma süreçlerini daha bilinçli ve etkili hale getirmektedir. Özellikle tarımsal zararlıların tespit edilmesi, toprak besin eksikliklerinin belirlenmesi ve su stresi gibi sorunların erken teşhis edilmesi konularında yapay zekâ çözümleri büyük avantajlar sunmaktadır. Bu yetenekler, tarımsal üretimin güvence altına alınması açısından kritik bir öneme sahiptir, çünkü 2050 yılına kadar küresel gıda talebinin %70 oranında artması beklenmektedir (Ikram vd. 2024).

Sonuç olarak, hassas tarım, modern tarımsal üretimi dönüştüren ve verimlilik, sürdürülebilirlik ve kârlılığı artıran yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Gerçek zamanlı izleme ve hassas yönetim tekniklerinin kullanımı, çiftçilerin kaynak kullanımını optimize etmelerini ve çevresel etkileri en aza indirmelerini sağlamaktadır. Bu alandaki sürekli gelişmeler, yapay zekâ ve IoT gibi yenilikçi teknolojilerle desteklenerek tarımın geleceğini şekillendirmeye devam etmektedir. Hassas tarımın sunduğu bütüncül faydalar, yalnızca tarımsal üretkenliği artırmakla kalmayıp, doğal ekosistemlerle uyumlu sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturmaya da katkıda bulunmaktadır.

3.6 Değişken Oranlı Tarım Uygulamaları

Tarımda verimliliğin artırılması, kaynak kullanım etkinliğinin yükseltilmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması adına son yıllarda değişken oranlı uygulamalar büyük önem kazanmıştır. Geleneksel tarımsal üretim sistemlerinde, homojen kabul edilen tarla alanlarında tüm işlemler (gübreleme, sulama, ilaçlama vb.) sabit oranlarla uygulanmakta, ancak bu durum çoğu zaman kaynak israfına, verim düşüklüğüne ve çevresel sorunlara neden olmaktadır. Modern tarımın temel ilkelerinden biri haline gelen hassas tarım, arazideki biyofiziksel farklılıkların dikkate alındığı, veriye dayalı, hedefe yönelik uygulamaları içermektedir. Bu yaklaşımın temelinde, arazi içi heterojenliğin hassas bir şekilde belirlenerek, uygulamaların bu heterojenlik doğrultusunda zon bazlı şekilde optimize edilmesi yatmaktadır.

Değişken oranlı uygulamaların etkinliği üzerine yapılan araştırmalar, özellikle NDVI gibi uzaktan algılama teknikleri, toprak elektriksel iletkenlik haritaları, sensör destekli veriler ve jeostatistiksel analizler aracılığıyla yönetim zonlarının belirlenmesiyle başlanıldığını ortaya koymaktadır (Mulla, 2013). Zhang vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, bu tür uygulamaların hem ekonomik hem çevresel açıdan geleneksel yöntemlere kıyasla daha avantajlı olduğu rapor edilmiştir. Değişken oranlı uygulamalar sadece girdi miktarlarını azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda verim potansiyelini maksimize etme ve çevresel etkileri minimize etme açısından da kritik rol oynamaktadır.

Bu bağlamda yapılan çalışmalarda, veriye dayalı karar destek sistemlerinin entegre edilmesiyle birlikte girdi kullanımında %20 ila %50 arasında tasarruf sağlandığı ve ürün kalitesinde veya miktarında önemli farklılıklar oluşmadığı da belirtilmiştir. Bu bulgular, özellikle sınırlı kaynakların verimli kullanımı açısından değişken oranlı tarımsal uygulamaların yaygınlaştırılması gerektiğini göstermektedir.

3.6.1 Bahçe bitkilerinde değişken oranlı sulama

Tarımda verimliliği artırmanın ve doğal kaynakları etkin kullanmanın yolu, alan içerisindeki mekânsal ve zamansal değişkenliklerin doğru şekilde tespit edilmesi ve bu farklılıklara uygun yönetim stratejilerinin uygulanmasından geçmektedir. Özellikle toprak özellikleri, topoğrafya, bitki gelişimi ve mikroklimatik faktörler gibi değişkenler, sulama ihtiyacının alan genelinde homojen olmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Ancak konvansiyonel sulama sistemleri genellikle tüm alana eşit miktarda su uygulamakta, bu durum hem su israfına hem de bitki gelişiminde dengesizliklere neden olmaktadır (Sadler vd. 2005; Jones vd. 2004).

Bu sınırlılıkları aşmak amacıyla geliştirilen Değişken Oranlı Sulama (DOS) sistemleri, arazinin farklı bölgelerinde değişken su ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış, hassas sulama yönetimi uygulamalarıdır. DOS sistemleri, alan içi heterojenliği dikkate alarak, önceden oluşturulmuş sulama reçetelerine ya da gerçek zamanlı sensör verilerine dayalı olarak her bir sulama birimine farklı miktarlarda su uygulamasını mümkün kılar (Evans ve Sadler, 2008). Böylece hem yüksek verimli alanlarda su kısıtı önlenmekte hem de düşük su ihtiyacı olan bölgelerde aşırı sulamadan kaynaklı kayıpların önüne geçilmektedir (O'Shaughnessy vd. 2019).

DOS'un temel avantajlarından biri, sulama programlarının farklı su tedarik koşullarına ve bitki türlerine göre optimize edilmesine olanak tanımasıdır. Zheng vd. (2024), yaptığı araştırmada buğday ve ayçiçeği gibi ürünlerde sulama programlarının optimizasyonu sayesinde %28,78 oranında su tasarrufu sağlandığını ve bunun çiftçilerin ekonomik kazancını %6,7 artırdığını ortaya koymuştur. Vera vd. (2019) ise, toprak su içeriğinin sulama faktörleriyle entegre edilmesinin hem verimi artırdığı hem de su kaynaklarının

daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağladığını belirtmektedir. İklim değişkenliği ve su kıtlığı, tarımsal üretimde giderek daha büyük bir sorun haline gelirken, DOS'nın sağladığı su verimliliği, modern tarımın sürdürülebilirliği açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Peter vd. (2019), değişken oranlı sulamanın en yaygın uygulamalarından biri olan damla sulamanın su kullanım verimliliğini (WUE) maksimize ettiğini ve bitki verimini koruyarak etkin sulama sağladığını belirtmektedir. Yu vd. (2020) ise, sensörler ve uzaktan izleme sistemleri gibi modern teknolojilerin sulama uygulamalarını gerçek zamanlı olarak düzenlemede kritik bir rol oynadığını ve bu sayede çevresel değişkenlere dinamik olarak yanıt verilebildiğini ifade etmektedir.

Değişken oranlı sulama teknolojisi genel olarak iki şekilde uygulanmaktadır: (i) önceden tanımlanmış reçetelere dayalı uygulamalar ve (ii) gerçek zamanlı sensör verilerine dayalı dinamik uygulamalar. Reçeteye dayalı sistemlerde, toprak nemi, bitki gelişim indeksleri, verim haritaları ve topoğrafik veriler bir arada değerlendirilerek sulama zonları belirlenir ve her bir zone özel su uygulama planı hazırlanır (Schellenberg vd. 2020). Sensör tabanlı sistemlerde ise, toprak nem sensörleri, bitki su stres indeksleri (CWSI), ya da uzaktan algılama verileri ile gerçek zamanlı karar desteği sağlanır (Evettd vd. 2012; Barker vd. 2018).

Bu sistemler özellikle merkez pivot ve lineer hareketli sulama sistemleri ile entegre edilerek uygulanmaktadır. Ancak damla sulama sistemlerinde de bölgesel kontrol vanaları aracılığıyla değişken oranlı sulama gerçekleştirilebilmektedir (Hedley ve Yule, 2009). Teknolojik ilerlemeler sayesinde, son yıllarda DOS sistemlerinin daha düşük maliyetli bileşenlerle daha yaygın ve erişilebilir hale geldiği görülmektedir (Kisekka vd. 2016).

Tarla bitkilerinde yaygınlaşan DOS uygulamaları, son yıllarda çok yıllık meyve türlerinin yer aldığı bahçe tarımına da uyarlanmakta ve dikkat çekici sonuçlar vermektedir. Bahçe bitkilerinde, kök gelişimi, gölgeleme alanı, toprak yapısı ve eğim farklılıkları gibi etmenler, ağaç bazında bile önemli su ihtiyacı farkları doğurabilmektedir (González-Dugo vd. 2012). Bu farklılıklar, klasik sulama sistemleriyle karşılanamadığında, hem suyun gereksiz kullanımına hem de ağaçlar arası gelişim dengesizliklerine yol

açmaktadır. Değişken oranlı sulama sistemleri, bahçe bitkilerinde ağaç bazında ya da mikro-zonlar düzeyinde farklı miktarlarda su uygulanmasına olanak sağlayarak, bu sınırlılıkları azaltmada önemli rol oynamaktadır (Bellvert vd. 2012).

DOS uygulamalarında bahçelere özgü sulama reçeteleri oluşturulurken, genellikle aşağıdaki veri kaynaklarından yararlanılmaktadır:

Toprak nem sensörleri (TDR, FDR, kapasitif): Farklı derinliklerde toprak su tutma kapasitesi ve nem durumu belirlenerek ağaçlara özgü sulama zamanları ve miktarları planlanmaktadır (Intrigliolo ve Castel, 2010).

Uzaktan algılama verileri (NDVI, CWSI, termal görüntüleme): Bitki su stresi düzeyi, gölgeleme oranı ve gelişim düzeylerine göre zonlar belirlenerek değişken sulama haritaları oluşturulmaktadır (Zarco-Tejada vd. 2012).

Topografik analiz ve toprak haritaları: Eğime bağlı su tutma farklılıkları, geçirgenlik ve drenaj durumu gibi parametrelerle mikro bölgelere farklı sulama uygulanmaktadır (Hedley vd. 2009).

González-Dugo vd. (2012), İspanya’da zeytinliklerde gerçekleştirdikleri bir çalışmada, NDVI temelli zonlamayla yapılan VRI uygulamalarının, su kullanım verimliliğinde önemli artış sağladığını ve %25’e varan su tasarrufu elde edildiğini rapor etmiştir. Benzer şekilde Bellvert vd. (2012), bağlarda yaptıkları çalışmada, termal kamera verileriyle oluşturulan zon bazlı sulama planlarının hem verim hem de kalite üzerinde olumlu etki yarattığını ortaya koymuştur. Bu çalışmada VRI sisteminin konvansiyonel sulamaya kıyasla %20 daha az suyla eşit düzeyde verim elde ettiği belirtilmiştir.

Türkiye’de de benzer şekilde meyve bahçelerinde VRI uygulamalarına yönelik araştırmalar artmaktadır. Özdemir vd. (2021), Isparta’da kiraz bahçelerinde NDVI temelli zonlama yaparak, damla sulama sisteminde her zon için farklı sulama dozları uygulamış, sonuçta hem ağaç gelişiminde dengelenme hem de %18'e varan su tasarrufu elde

edilmiştir. Ayrıca ağaç başı meyve iriliği ve homojenlik düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklar gözlemlenmiştir. Benzer bir şekilde Yazar vd. (2020), bağlarda yapılan DOS uygulamalarının, özellikle topografik olarak değişken alanlarda, düşük verimli bölgelere suyu optimize ederek kaliteyi artırmada etkili olduğunu bildirmiştir.

Bahçe bitkilerinde VRI sistemlerinin önemli avantajları arasında; su kullanım verimliliğinin artması, verim ve kalite homojenliğinin iyileştirilmesi, ağaç bazlı su yönetiminin mümkün hale gelmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi yer almaktadır. Ancak bu sistemlerin uygulanmasında bazı sınırlılıklar da söz konusudur. Özellikle küçük ve parçalı parsellerde otomasyon ve donanım kurulumu zorlaşmakta; sulama altyapısının (boru hattı, kontrol vanaları, otomasyon sistemleri) uygun hale getirilmesi ek maliyet gerektirebilmektedir (King vd. 2009). Ayrıca sensör verilerinin doğru yorumlanması ve karar destek sistemlerinin hassaslığı, uygulamanın başarısını doğrudan etkilemektedir.

Buna karşın, düşük maliyetli sensör teknolojilerinin yaygınlaşması, veri işleme yazılımlarının gelişmesi ve çiftçilere yönelik eğitim ve teşvik politikalarının artması sayesinde, bahçecilikte VRI sistemlerinin gelecekte daha yaygın biçimde uygulanabilir hale geleceği öngörülmektedir (Evans ve Sadler, 2008; Sadler vd. 2015).

3.6.2 Bahçe bitkilerinde değişken oranlı gübreleme

Tarım arazilerinde verimliliği sınırlayan en temel faktörlerden biri, arazinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler bakımından gösterdiği doğal heterojenliktir. Bu farklılıklar, bitki besin maddelerine olan ihtiyacın alan içerisinde değişkenlik göstermesine neden olmakta ve bu durum, gübrelemenin tek tip (uniform) şekilde uygulanması halinde ya eksik ya da fazla gübrelemeye yol açarak hem ekonomik kayıplara hem de çevresel sorunlara neden olabilmektedir (Mulla, 2013). Bu noktada, hassas tarım teknolojilerinin önemli bir bileşeni olan değişken oranlı gübreleme uygulamaları, alan içi değişkenliği dikkate alarak her bir alt bölgenin ihtiyacına uygun miktarda gübre uygulamayı mümkün kılmaktadır (Gebbers ve Adamchuk, 2010).

Değişken oranlı gübreleme uygulamaları, genel olarak üç temel veri kaynağına dayanır: (i) toprak analizlerine dayalı zonlama, (ii) bitki gelişim indekslerine dayalı uzaktan algılama verileri ve (iii) verim haritaları. Bu yöntemlerin her biri, arazideki besin madde eksikliklerini, verim farklılıklarını ya da bitki gelişimindeki heterojenliği tespit etmek amacıyla kullanılır (Khosla vd 2008). Elde edilen veriler doğrultusunda geliştirilen yönetim zonları ya da grid bazlı uygulama haritaları, gübreleme makinelerine entegre edilen GPS tabanlı kontrol sistemleri ile birlikte çalıştırılarak sahaya farklı oranlarda gübre uygulanmasını sağlar (Blackmore vd. 2003).

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) gibi bitki gelişimini izlemeye yönelik uzaktan algılama teknikleri, özellikle azot yönetiminde yaygın olarak kullanılmakta ve uygulama zamanına bağlı olarak dinamik haritalar oluşturulmasına imkân tanımaktadır (Raun vd. 2002). Bu tür sistemler, özellikle çok yıllık bitkilerde mevsel gelişim takibi açısından avantaj sağlamakta, farklı gelişim gösteren bölgelerin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır.

Konvansiyonel gübreleme uygulamaları, arazinin geneline tek bir dozda gübre uygulanmasına dayandığı için aşırı ya da yetersiz gübrelemenin önüne geçilememektedir. Aşırı gübre uygulamaları hem üretici açısından maliyet artışına, hem de yeraltı su kaynaklarında nitrat birikimi, toprakta tuzluluk ve ekosistem sağlığında bozulma gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Delgado vd. 2005). Yetersiz gübreleme ise özellikle verim potansiyeli yüksek bölgelerde bitki gelişiminin sınırlandırılmasına yol açar. DOG sayesinde, verim potansiyeli yüksek alanlara daha fazla, düşük potansiyelli alanlara ise daha az gübre uygulanarak hem bitki beslenmesi dengelenmekte, hem de toplam üretim maliyeti düşmektedir. Aynı zamanda bu sistem, gübre kullanım verimliliğini artırarak daha sürdürülebilir bir üretim modeline katkı sağlar (Sylvester-Bradley vd. 2008).

Değişken oranlı gübrelemenin uygulanabilirliği, büyük ölçüde doğru veri toplama, analiz ve uygulama teknolojilerine bağlıdır. Bu bağlamda yaygın olarak kullanılan veri kaynakları şunlardır:

Toprak örnekleri ve laboratuvar analizleri: Toprak pH'ı, organik madde miktarı, makro ve mikro besin element düzeyleri gibi parametreler temel zonlama kriterlerindendir.

Uzaktan algılama teknolojileri (NDVI, drone, uydu): Bitki örtüsündeki gelişim farklılıklarını belirlemede özellikle azot yönetiminde oldukça etkilidir.

Verim haritaları: Özellikle tahıllarda, biçerdöverden alınan verim verileri ile oluşturulan haritalar, alanın üretim potansiyelini zonlara ayırmak için kullanılır.

Elektro-manyetik sensörler: Toprak elektriksel iletkenliği, nem ve yoğunluk gibi özelliklerin hızlı ölçümü için kullanılır.

Bu teknolojiler, özellikle geniş arazilerde hassas yönetim zonları oluşturarak karar destek sistemleri ile entegre çalışabilmektedir (Basso ve Antle, 2020). Ayrıca, bulut tabanlı yazılımlar sayesinde bu veriler gerçek zamanlı olarak işlenip makinelere aktarılabilmektedir.

Bahçe bitkileri, tarla bitkilerine kıyasla çok yıllık olmaları, gelişim süreçlerinin yıllara yayılarak kök sistemlerinde farklılıklar oluşturması ve alan içinde mikroiklimsel etkilerin belirgin olması nedeniyle daha karmaşık bir besin madde ihtiyacı profiline sahiptir (Sudduth vd. 2005). Bu özellikleriyle meyve bahçeleri, değişken oranlı gübreleme sistemlerinin potansiyel olarak en fazla fayda sağlayabileceği tarım alanları arasında yer almaktadır. Ancak DOG teknolojilerinin çok yıllık bitkilerde kullanımı, topografik ve yapısal farklılıkların daha karmaşık olduğu bu sistemlerde daha hassas analizler ve ileri düzey veri entegrasyonu gerektirmektedir (Bongiovanni ve Lowenberg-DeBoer, 2004).

Bahçe bitkilerinde zonlama işlemi, genellikle üç ana veri kaynağına dayanarak gerçekleştirilir. Bunlardan ilki, farklı noktalardan alınan toprak örneklerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin analiz edilmesidir. Bu analizler sonucunda besin madde düzeyleri, pH, organik madde, kireç içeriği, tekstür ve su tutma kapasitesi gibi parametrelerdeki

farklılıklar dikkate alınarak zonlar oluşturulmaktadır (Peralta ve Costa, 2001; Godwin vd. 2003). İkinci olarak, gelişim sezonu boyunca elde edilen NDVI görüntüleri, ağaçların gelişim düzeyleri arasındaki farklılıkları yüksek hassasiyetle yansıtarak, dinamik zonlamalara olanak tanımaktadır (Zarco-Tejada vd. 2014). Üçüncü olarak ise, hasat sonrası elde edilen verim ve kalite verileriyle oluşturulan haritalar, özellikle meyve büyüklüğü, renklenme, şeker/ asit dengesi gibi kalite parametreleri açısından bölgesel farklılıkların belirlenmesini sağlar (Martínez-Casasnovas vd. 2010; Fiorillo vd. 2012). Bahçelerde DOG uygulamaları bu veriler ışığında zonlara özel gübre reçeteleri oluşturularak yürütülmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar, değişken oranlı gübrelemenin bahçe bitkilerinde önemli ölçüde verim ve kalite artışı sağladığını ortaya koymaktadır. Bramley ve Hamilton (2011), bağlarda yaptıkları bir çalışmada, DOG uygulamaları sonucunda şeker/ asit oranının homojenleştiğini, hasat zamanının dengeye kavuştuğunu ve ürün kalitesinde iyileşme sağlandığını rapor etmiştir. Benzer şekilde Fiorillo vd. (2012), elma bahçelerinde gerçekleştirdikleri DOG uygulamalarında, meyve iriliğinde ve renk dağılımında olumlu gelişmeler gözlemlemiştir. Martínez-Casasnovas vd. (2010), zonlara özgü gübreleme uygulanan elma bahçelerinde toplam verimde %12, meyve iriliğinde ise %18 oranında artış elde edildiğini bildirmiştir.

Türkiye’de yapılan çalışmalar da benzer sonuçları desteklemektedir. Yazar vd. (2020), Manisa’da bağ alanlarında gerçekleştirdikleri DOG uygulamalarında, azot ve potasyum gübrelemesinin zon bazlı yapılmasıyla verim ve kalite kriterlerinde önemli artışlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Özdemir vd. (2021) ise Isparta’daki kiraz bahçelerinde NDVI tabanlı zonlama ve gübreleme stratejileri uygulayarak hem ürün homojenliğinde hem de gübre kullanım verimliliğinde belirgin iyileşmeler sağlandığını ortaya koymuştur.

3.6.3 Bitki Gelişiminde Stres

Bitkiler, yaşam döngüleri boyunca çeşitli çevresel stres faktörlerine maruz kalmaktadır. Bu stres faktörleri arasında sıcaklık değişimleri, su kıtlığı, toprak tuzluluğu, ağır metal kirliliği ve atmosferik kirlleticiler yer almaktadır. Bitkilerin bu olumsuz koşullara verdiği

yanıtlar, genetik yapılarına, fizyolojik kapasitelerine ve çevresel adaptasyon yeteneklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İklim değişikliği, sanayileşme ve tarımsal uygulamalar nedeniyle bu stres faktörlerinin etkisi her geçen gün artmakta ve bitki sağlığı ile tarımsal verim üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır (Hussain vd. 2019). Bitkiler, stres koşullarına karşı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler seviyelerde yanıtlar geliştirerek uyum mekanizmalarını aktive eder (Raza vd. 2020a). Bu mekanizmalar, stres faktörlerinin olumsuz etkilerini en aza indirerek bitkinin hayatta kalmasını ve üreme yeteneğini korumasını sağlar. Özellikle ısı stresi, su kıtlığı ve toprak tuzluluğu gibi faktörler tarımsal üretimde önemli kayıplara neden olmakta ve gıda güvenliği açısından kritik bir risk teşkil etmektedir (Maheswari vd. 2012a).

Bitkiler yüksek sıcaklık stresine maruz kaldığında, tohum çimlenmesi ve fotosentetik kapasite zarar görerek genel verim düşmektedir. Sıcaklık, bitkilerin fizyolojik süreçlerini ve dağılımını belirleyen en önemli ekolojik faktörlerden biridir. Optimum sıcaklık aralıklarında bitkiler, stresli koşullara karşı en üst düzeyde fizyolojik ve biyokimyasal yanıt verebilirken, aşırı sıcaklık değişimleri büyüme ve gelişme üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır (Raza vd. 2020b). Özellikle C3 bitkileri, C4 bitkilerine kıyasla yüksek sıcaklıklara daha duyarlıdır ve fotosentetik kapasitede ciddi azalmalar meydana gelebilir (Crafts-Brandner vd. 2002). Isı stresi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimini tetikleyerek oksidatif stresi artırır ve gen ekspresyonunu değiştirerek osmotik düzenleyiciler, detoksifikasyon enzimleri ve taşıyıcı proteinlerin işlevlerini olumsuz etkileyebilir (Hasanuzzaman vd. 2013). Özellikle üreme dokuları, ısı stresine karşı en hassas bölgeler arasında yer almaktadır. Çiçeklenme döneminde yaşanan hafif sıcaklık artışları bile bitkinin genel sağlığını ve ürün verimini olumsuz etkileyebilir (Sato vd. 2006). Yapılan araştırmalar, sıcaklıkta meydana gelen 1,5 °C'lık bir artışın tahıllar, baklagiller ve yağlı tohumlar gibi birçok tarımsal üründe ciddi verim kayıplarına yol açabileceğini göstermektedir (Maheswari vd. 2012b).

Kuraklık, tarımsal üretimde verim kayıplarına neden olan en önemli stres faktörlerinden biridir. Özellikle kuru ve yarı kurak bölgelerde, yağışın yetersizliği ve suyun kısıtlı olması nedeniyle bitki büyümesi ve gelişimi olumsuz etkilenmektedir (Hussain vd. 2019). Kuraklık, bitkilerin çimlenme sürecini yavaşlatarak, fide gelişimini ve tane verimini

düşürmektedir (Raza vd. 2020b). Bitkiler, kuraklık stresine karşı morfolojik değişiklikler ve biyokimyasal adaptasyon mekanizmaları geliştirerek uyum sağlamaktadır. Örneğin:

- Yaprak yüzeyi küçülerek terleme oranı azaltılır.
- Kök büyümesi artarak su alımı maksimize edilir.
- Osmoregülasyon yoluyla prolin, şekerler ve hidrofilik proteinlerin sentezi sağlanır (Priya vd. 2019).

Kuraklık stresi, klorofil içeriğinde azalmaya neden olarak fotosentezi doğrudan etkileyebilir. Özellikle tahıl ve meyve üretiminde önemli kayıplara yol açmaktadır. Brezilya'nın Parana eyaletinde yapılan araştırmalar, kurak yıllarda sulama yapılmadığında kahve üretiminde %80'e varan verim düşüşü yaşandığını göstermektedir (Franchini vd. 2009).

Dünya genelinde yaklaşık 45 milyon hektar sulanan arazi tuz stresine maruz kalmaktadır. 2050 yılına kadar ekilebilir alanların yarısından fazlasının tuz etkisi altında kalabileceği tahmin edilmektedir, bu durum küresel gıda güvenliğini ciddi şekilde tehdit eden bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Hussain vd. 2019). Tuz stresi, bitkilerin büyümesini ve verimini osmotik stres ve iyon toksisitesi yoluyla olumsuz etkilemektedir. Toprakta tuz oranının artması, bitki hücrelerinde su kaybına neden olarak su ve mineral alımını kısıtlamaktadır (Kundu vd. 2018). Ayrıca, reaktif oksijen türlerinin üretimini artırarak hücrel yapıya zarar verebilir.

Bitkiler, tuz stresine karşı kök-sürgün oranlarını değiştirerek, yaprak kalınlığını artırarak ve yaprak dökerek bu olumsuz etkileri dengelemeye çalışmaktadır (Sabagh vd. 2020). Ancak, uzun vadede tuz stresi genetik adaptasyon gerektiren bir durum olduğundan tarımsal verimlilik üzerinde ciddi sınırlamalar oluşturmaktadır. Sanayileşme, madencilik ve tarımsal faaliyetler sonucunda ağır metallerin toprak ve suya karışması, tarımsal üretimde ciddi tehditler oluşturmaktadır (Shahid vd. 2015). Bitkiler için çinko, bakır,

molibden ve manganez gibi bazı ağır metaller düşük konsantrasyonlarda gerekli olsa da, yüksek seviyelerde toksik etkilere neden olabilirler (Salla vd. 2011).

Bu metallerin aşırı birikimi, bitkilerde morfolojik ve metabolik bozukluklara yol açarak verim kaybına neden olmaktadır. Süperoksit anyon radikali (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali (OH^-) gibi reaktif oksijen türleri üreterek oksidatif stresi artırmaktadır (Pourrut vd. 2011). Özellikle ozon kirliliği, bitkilerin hücrel yapısını bozarak büyüme hızlarını yavaşlatabilir. Tarımsal üretim açısından kritik öneme sahip olan ozon kirliliği ve azot oksitler gibi kirleticiler, fotosentezi baskılayarak bitki gelişimini engellemektedir.

Bitkiler, sıcaklık, kuraklık, tuzluluk, ağır metal kirliliği ve hava kirliliği gibi çevresel stres faktörlerine karşı çeşitli adaptasyon mekanizmaları geliştirerek hayatta kalmaya çalışmaktadır. Ancak, iklim değişikliği, sanayileşme ve tarımsal faaliyetler nedeniyle bu stres faktörlerinin etkisi artmakta ve gıda güvenliği açısından büyük tehdit oluşturmaktadır. Gelecekte, biyoteknolojik yaklaşımlar ve sürdürülebilir tarım uygulamaları, bitkilerin stres toleransını artırmada kritik bir rol oynayacaktır.

3.6.4 Hassas tarımda uzaktan algılama ile bitki gelişiminin izlenmesi

Hassas tarım uygulamalarında uzaktan algılama teknolojilerinin entegrasyonu, bitki büyümesinin izlenmesi, tarımsal verimliliğin artırılması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Uzaktan algılama sistemleri, gerçek zamanlı ve geniş ölçekli tarımsal değerlendirmeler yapılmasına olanak tanıyarak, mahsul sağlığı, büyüme dinamikleri ve tarımsal sürdürülebilirlik gibi önemli bileşenlerin yönetimini sağlamaktadır (Sainie, 2022). Tarım alanlarının gözlemlenmesi ve değerlendirilmesi yalnızca basit izleme süreçlerini değil, aynı zamanda bitki tanımlama, büyüme evrelerinin belirlenmesi, alan analizleri ve doğal afet değerlendirmesi gibi birçok uygulama alanını kapsamaktadır (Sainie, 2022). Son yıllarda, özellikle uydu ve insansız hava araçları (İHA) gibi uzaktan algılama platformlarındaki ilerlemeler, bitki sağlığındaki değişimleri daha hassas tespit etmeye olanak tanıyarak tarımsal yönetim süreçlerinde önemli bir dönüşüm yaratmıştır.

Phytotyping 4D, uzaktan algılama sistemlerinin en yenilikçi bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu teknoloji, ışık alan görüntüleme sistemlerini kullanarak hem odak hem de derinlik bilgisi içeren yüksek çözünürlüklü görüntüler üretmekte ve bitki büyüme süreçlerinin mekânsal ve zamansal değişimlerini hassas bir şekilde belirlemeye olanak tanımaktadır (Apelt vd. 2015).

Geleneksel multispektral sistemlerden daha gelişmiş bir teknoloji olan hiperspektral uzaktan algılama, tarımsal üretimde bitki sağlığı, klorofil içeriği, biyokütle değişimleri ve fotosentetik kapasite gibi kritik büyüme göstergelerini daha geniş spektral bant aralıklarında analiz etme imkânı sunmaktadır (Zhang vd. 2019a). Bu teknoloji, özellikle karışık ekim sistemlerinde ve farklı mahsullerin bir arada bulunduğu tarım alanlarında daha yüksek doğrulukla veri toplanmasını sağlayarak hassas tarım uygulamalarının etkililiğini artırmaktadır. Uzaktan algılama teknolojileri ayrıca tarımsal hastalıkların erken teşhisinde önemli rol oynamaktadır. Örneğin, kızılötesi görüntüleme kullanılarak bitkilerde hastalık belirtileri, semptomlar fiziksel olarak görünür hale gelmeden önce tespit edilebilir, böylece büyük ölçekli verim kayıplarının önüne geçilmesi sağlanabilir (Zia-Khan vd. 2022). Bunun yanı sıra, bitkilerin gelişim aşamalarının izlenmesi, sıcaklık ve nem seviyelerinin analiz edilmesi gibi çevresel faktörlerin değerlendirilmesi, su ve gübre yönetimi stratejilerinin daha verimli hale getirilmesine olanak tanımaktadır (Alexandru, 2023).

Uzaktan algılama sistemlerinden elde edilen verilerin yer bazlı gözlem sistemleriyle entegrasyonu, tarımsal yönetim kararlarını daha etkili hale getirmektedir. Uydu ve İHA görüntülerinin tarla bazlı ölçümlerle birleştirilmesi, mahsul sağlığına yönelik kapsamlı veri setleri oluşturulmasına ve tarımsal uygulamaların optimize edilmesine imkân tanımaktadır (Shrestha vd. 2017). Örneğin, Shofiyati (2022) tarafından yapılan çalışmalar, uzaktan algılama ile sahada yapılan gözlemlerin birleştirilmesinin bitki büyüme dinamiklerini daha iyi anlamak ve müdahaleleri zamanında gerçekleştirmek açısından büyük avantajlar sunduğunu göstermektedir. Bu teknolojiler aracılığıyla elde edilen yaprak alan indeksi (Leaf Area Index – LAI) ve klorofil içeriği gibi spektral özellikler, bitki gelişiminin değerlendirilmesi için önemli göstergeler sunmaktadır (Duan vd. 2019). Özellikle UAV görüntülerinin Fourier spektrum dokusu analizi yöntemiyle işlenmesi, pirinç gibi mahsullerde büyümenin etkin bir şekilde izlenmesine katkı

sağlamaktadır. Bu tür analizler, hassas tarımın geleneksel yöntemlerden veri odaklı ve güvenilir süreçlere geçiş yapmasını mümkün kılmaktadır.

Son yıllarda makine öğrenimi algoritmalarının uzaktan algılama teknolojileri ile entegrasyonu, tarımsal izleme sistemlerinin doğruluğunu artırmaktadır. Destek vektör makineleri (SVM) gibi algoritmalar, büyük spektral veri kümelerini analiz ederek mahsul sınıflandırması ve bitki sağlığı değerlendirmelerinde hassasiyetin artırılmasını sağlamaktadır (Zhang vd. 2019a). Bu tür yapay zeka destekli analizler, gelecekte mahsul verimi ve büyüme aşamalarının daha yüksek doğrulukla tahmin edilmesine olanak tanıyacaktır. Özellikle uzaktan algılama destekli iklim verileri ile saha verilerinin entegre edilmesi, mahsul yönetimi ve iklim değişikliğine uyum stratejileri açısından yeni fırsatlar sunmaktadır (Zamani vd. 2022).

Uzaktan algılama teknolojilerinin iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerini değerlendirmedeki rolü göz ardı edilemez. Örneğin, Kumar vd. (2023), kuraklık, sıcaklık stresi ve diğer çevresel stres faktörlerinin mahsul verimi üzerindeki etkilerini uzaktan algılama ile izleyerek, olası tarımsal kayıpların azaltılması yönünde çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu teknolojiler aynı zamanda büyük ölçekli tarımsal değerlendirmeleri kolaylaştırarak, geleneksel gözlem yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve düşük maliyetli çözümler sunmaktadır. Xu vd. (2025), geleneksel bitki gelişim izleme yöntemlerinin iş gücü gerektiren ve zaman alıcı süreçler olduğunu, buna karşın uzaktan algılama sistemlerinin geniş kapsamlı ve hızlı veri toplayarak tarımsal üretime büyük katkılar sunduğunu ortaya koymuştur.

Uzaktan algılama teknolojileri, hassas tarım uygulamalarının temel bileşenlerinden biri haline gelerek tarımsal yönetim süreçlerini büyük ölçüde olumlu yönde dönüştürmektedir. Uydu görüntüleme, insansız hava araçları, hiperspektral sensörler ve makine öğrenimi algoritmalarının entegrasyonu, bitki sağlığının izlenmesi, tarımsal üretimin artırılması ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük fırsatlar sunmaktadır. Gelecekte, uzaktan algılama teknolojilerinin nesnelerin interneti (IoT) ve yapay zeka destekli veri analizi ile entegrasyonunun artırılması, tarımsal yönetim süreçlerini daha da optimize ederek sürdürülebilir tarımsal üretime yönelik yeni olanaklar yaratacaktır.

4. KIRAZ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE MEVCUT DURUM

Türkiye'de tarımsal üretimi şekillendiren en önemli faktörler arasında iklim, toprak yapısı, su kaynakları gibi doğal etmenler ile tarımsal uygulamalar, arazi kullanımı, istihdam, kültürel uygulamalar (sulama, gübreleme, ilaçlama vb.), ulaşım olanakları ve ürün çeşitliliği gibi beşeri unsurlar yer almaktadır. Bu faktörlerin her biri, özellikle hassas meyve türleri açısından verim, kalite ve ekonomik sürdürülebilirliği doğrudan etkilemektedir (Başkaya, 2011).

Kiraz yetiştiriciliğinde en önemli belirleyici faktörlerden biri iklimdir. Kiraz ağaçları, ılıman iklim koşullarında en iyi şekilde gelişirken, aşırı sıcak ve soğuk hava koşullarına karşı oldukça hassastır. Özellikle 1000 metre rakım altındaki yayla iklimleri, kiraz üretimi için en uygun ekolojik ortamı sunmaktadır (Başkaya, 2011). Kiraz ağaçları, kış aylarında dinlenme aşamasında -20°C ile -26°C arasındaki sıcaklıklara dayanıklıdır. Ancak -20°C 'nin altındaki sıcaklıklar, tomurcuk, sürgün ve dallarda don zararına neden olarak verimi düşürebilir ve bazı durumlarda ağaçların tamamen kurummasına sebep olabilir. Bu durum, özellikle sert geçen kış aylarında görülen don olaylarıyla belirgin hale gelmektedir. Örneğin, kış aylarında sık sık -20°C 'nin altına düşen bölgelerde kiraz yetiştiriciliği önerilmemektedir (Başkaya, 2011). Kiraz ağaçlarının verimli bir çiçeklenme süreci geçirebilmesi için kış aylarında minimum $7,2^{\circ}\text{C}$ sıcaklığın altında en az 1100-1700 saat soğuklama süresine ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra, hasat döneminde sıcaklığın -2°C 'nin altına düşmemesi ve yağışsız bir ortamın sağlanması, kaliteli ve düzenli bir üretim için kritik öneme sahiptir (Özyiğit ve Sarısu, 2009).

Kiraz yetiştiriciliğinde çiçeklenme dönemi, verimlilik açısından büyük öneme sahiptir. Çiçeklenme süreleri ve zamanları, hem tozlaşma başarısını hem de meyve tutum oranlarını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda çiçeklenme süresi hızlanırken, düşük sıcaklıklarda bu süreç gecikmekte ve çiçeklenme süresi uzamaktadır. Ilık geçen kış aylarında soğuklama ihtiyacının karşılanamaması, tomurcukların düzensiz açılmasına ve dolayısıyla meyve veriminin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle yüksek soğuklama ihtiyacına sahip Lambert, Bigarreau Napoleon ve Bing gibi kiraz çeşitlerinde gözlemlenmektedir (Engin ve Ünal, 2002). Kiraz

tomurcukları -2,4°C'ye kadar dayanabilirken, açık çiçekler -2°C'de donabilmektedir. Bu nedenle, erken çiçeklenen çeşitler, ilkbahar geç donlarından daha fazla etkilenmekte ve verim kaybı yaşanabilmektedir (Engin ve Ünal, 2002).

Kiraz üretimini etkileyen doğal koşulların yanı sıra insan faktörleri de büyük bir rol oynamaktadır. Bahçe kurulumundan sulama, gübreleme, ilaçlama, çapalama ve budamaya kadar birçok kültürel uygulama, verim ve kaliteyi doğrudan etkilemektedir. Ülkemizde yabani kiraz (kuş kirazı) ve idris anaç çeşitleri, kiraz üretiminde en çok tercih edilen anaçlar olarak öne çıkmaktadır. Kiraz bahçeleri, genellikle bir yaşındaki fidanlarla oluşturulmakta olup, sert kış koşullarının yaşandığı bölgelerde dikimlerin ilkbaharda gerçekleştirilmesi önerilmektedir (Başkaya, 2011). Kiraz bahçelerinin kuruluşu sırasında, toprak işleme ve drenaj planlaması büyük önem taşımaktadır. Dikim öncesinde, toprak derinlemesine sürülerek havalandırılmalı ve su geçirgenliği artırılmalıdır. Özellikle drenaj sorunu yaşayan bölgelerde, suyun kök bölgesinde birikmesini önlemek için drenaj hendekleri açılmalıdır (Başkaya, 2011). Bahçe planlamasında, birbirini iyi dölleyebilen kiraz çeşitleri seçilmeli ve çiçeklenme zamanları örtüşen çeşitlerin bir arada bulunması sağlanmalıdır. Aksi takdirde, tozlaşma yetersizliği nedeniyle meyve tutum oranı düşük kalabilir. Ek olarak, arı popülasyonunun artırılması, tozlaşma başarısını olumlu yönde etkileyen faktörler arasındadır. Ortalama olarak 30-40 dönüm arazi için 15-20 bin arı kolonisinin bulunması tavsiye edilmektedir (Burak, 2006).

Kiraz üretiminde düzenli sulama, meyve büyüklüğü ve kalitesini artıran en kritik uygulamalardan biridir. Aktif büyüme döneminde yeterli su sağlanmadığında, meyve gelişimi yavaşlamakta, çatlamalar artmakta ve ürün kalitesi düşmektedir (Çetin, 2010). Sulama yöntemleri arasında damla sulama, mikro yağmurlama ve salma sulama en yaygın kullanılan sistemlerdir. Damla sulama ve mikro yağmurlama, su tasarrufu sağlayarak meyve kalitesini artıran modern sulama yöntemleri olarak öne çıkmaktadır. Ancak, salma sulama yöntemi uygulanırken, suyun ağaç gövdelerine temas etmemesi gerektiği belirtilmektedir. Aksi takdirde, mantar hastalıkları gelişebilir ve ürün kayıpları yaşanabilir (Akçay, Özyiğit ve Sarısu, 2009). Kiraz tarımı, doğal ve beşeri faktörlerin birleşik etkisiyle şekillenen bir üretim sürecidir. İklimsel faktörler, özellikle sıcaklık değişimleri, soğuklama süresi ve don riski açısından belirleyici olurken, toprak yapısı, sulama rejimi

ve gübreleme stratejileri gibi beşeri uygulamalar verim ve kaliteyi doğrudan etkilemektedir. Gelecekte, iklim değişikliği nedeniyle sıcaklık dalgalanmalarının artması, kiraz yetiştiriciliğinde soğuğa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesini zorunlu kılabilir. Ayrıca, modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması, su kaynaklarının etkin kullanımını artırarak daha sürdürülebilir bir kiraz üretim modeli oluşturulmasını sağlayacaktır.

4.1 Türkiye Kiraz Üretimi ve Ticareti

Türkiye, ılıman ve subtropikal iklim kuşağında yer alması, geniş ekolojik çeşitliliği ve uygun toprak yapısı sayesinde dünya çapında önemli bir meyve üreticisi konumundadır. Özellikle kiraz (*Prunus avium* L.) ve vişne (*Prunus cerasus* L.) üretimi, Türkiye'nin tarımsal üretim, ihracat potansiyeli ve ekonomik sürdürülebilirliği açısından büyük bir öneme sahiptir (Özbiçerler, 2006). Kiraz üretimi, hem iç pazarda taze tüketim için hem de dış ticarete önemli bir ihraç ürünü olarak giderek daha fazla stratejik değer kazanmaktadır. Türkiye'nin kiraz ihracatında son yıllarda önemli bir artış gözlemlenmekte olup, özellikle Ortadoğu ve Avrupa ülkelerindeki talep artışı, Türkiye'yi dünyanın en hızlı gelişen kiraz üretici ve ihracatçı ülkelerinden biri haline getirmiştir (Özbiçerler, 2006).

FAO'nun 2016-2020 verilerine göre Türkiye, dünya kiraz üretiminin %19,6'sını karşılamakta olup, beş yıllık üretim ortalaması yaklaşık 726,500 ton seviyesindedir. Bu oran, Türkiye'yi dünya kiraz üretiminde lider konuma taşımaktadır (TÜİK, 2024). Türkiye'yi sırasıyla ABD, Şili, İtalya, İspanya ve İran takip etmektedir (FAO, 2022).

Türkiye'nin küresel kiraz üretiminde lider konumda olmasının temel nedenleri şunlardır:

- Farklı toprak ve ekolojik koşullara uygun üretim alanlarının bulunması,
- Geliştirilen yeni kiraz çeşitleri ve verimli üretim teknikleri,
- Erken ve geç olgunlaşan çeşitlerle uzun hasat dönemlerinin sağlanması,

- Uluslararası pazarlarda Türk kirazına olan yüksek talep (Erdal vd. 2014).

Özellikle 0900 Ziraat çeşidi, Türkiye'nin en yaygın yetiştirilen ve uluslararası pazarlarda en çok tercih edilen kiraz türü olup, Avrupa'da "Turkish Cherry" adıyla tanınmaktadır. Bu çeşidin büyük meyve yapısı, sert dokusu, uzun raf ömrü ve yüksek tat kalitesi, Türkiye'yi dünya pazarlarında rekabetçi bir konuma getirmektedir (Erdal vd. 2014).

Türkiye'de kiraz üretimi geniş bir coğrafyaya yayılmış olup, belirli bölgelerde yoğunlaşmıştır. 2020 yılında dünya genelinde 445.068 hektarlık alanda kiraz üretimi gerçekleştirilmiş, Türkiye ise yaklaşık 82.729 hektarlık üretim alanıyla dünya genelindeki kiraz üretim alanlarının %19'unu oluşturmaktadır (FAO, 2022).

Türkiye'de kiraz üretimi coğrafi olarak geniş bir alana yayılmış olmakla birlikte, bazı iller öne çıkmaktadır. En büyük üretim alanı İzmir ilinde bulunmakta olup yaklaşık 120 bin dönüm ile toplam üretim alanının %14,4'ünü oluşturmaktadır. İzmir'i 96 bin dönüm (%11,5) ile Manisa ve 71 bin dönüm (%8,5) ile Konya takip etmektedir. Bunun yanı sıra, Bursa, Amasya, Denizli, Çanakkale, Isparta, Afyonkarahisar ve Niğde gibi iller de önemli kiraz üretim merkezleri arasında yer almaktadır (FAO, 2022).

2014 yılı ile kıyaslandığında, 2019 yılı itibarıyla Türkiye'deki kiraz ekim alanlarında yaklaşık %5,5'lik bir artış görülmüş, ancak 2019'da bir önceki yıla göre %0,8'lik bir azalma yaşanmıştır. 2019 yılında Türkiye'nin toplam kiraz üretimi 664 bin ton olarak kaydedilmiş olup, Konya 68 bin ton ile birinci sırada, İzmir 66 bin ton ile ikinci sırada ve Bursa 61 bin ton ile üçüncü sırada yer almıştır (Anonim, 2021). Son beş yılda Türkiye'nin kiraz üretimi %24 oranında bir artış göstermiştir.

Türkiye, dünya kiraz ihracatında dördüncü sırada yer almakta olup, 2022 yılı itibarıyla toplam 134 milyon 46 bin dolar değerinde kiraz ihracatı gerçekleştirmiştir (TRADEMAP, 2022). Dünya genelinde kiraz ihracatında öne çıkan ilk dört ülke arasında Şili, 2 milyar 127 milyon 906 bin dolarlık ihracat değeriyle ilk sırada yer almaktadır. Onu, 1 milyar 288 milyon 806 bin dolarla Hong Kong, 334 milyon 246 bin dolarla Amerika Birleşik Devletleri ve 134 milyon 46 bin dolarla Türkiye takip etmektedir (TRADEMAP, 2022).

Türkiye'nin ihracattaki bu güçlü konumu, kiraz üretiminin ticari potansiyelini artıran uygun ekolojik şartlara, yüksek kaliteli üretime ve uluslararası pazarlarda artan talebe dayanmaktadır.

Türkiye'de kiraz üretiminde yıllara göre fiyat dalgalanmaları gözlemlenmekte olup, üretici ve tüketici fiyatları arasında belirgin farklar ortaya çıkmaktadır.

- Üreticinin kazancı ve tüketicinin ödediği fiyat oranı, yıllar içinde değişiklik göstermektedir.
- Üretici ve tüketici fiyat endeksleri cari fiyatlarla hesaplanarak enflasyon oranlarıyla karşılaştırılmıştır.
- 2010-2022 yılları arasındaki veriler analiz edilerek, üretici ve tüketici arasındaki fiyat farkları incelenmiştir.

Yukarıda sunulan veriler, Türkiye'de kiraz üretiminin sadece tarımsal açıdan değil, ekonomik boyutuyla da analiz edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Türkiye, dünya kiraz üretiminde lider ve ihracatında ise önemli bir aktör konumundadır. Coğrafi avantajlar, uygun ekolojik koşullar ve kaliteli üretim teknikleri, Türkiye'yi kiraz üretiminde rekabetçi bir ülke haline getirmiştir. Ancak piyasa dalgalanmaları, iklim değişikliği, artan üretim maliyetleri ve uluslararası ticaret politikaları, Türkiye'nin kiraz üretiminde karşılaşılabileceği başlıca zorluklar arasında yer almaktadır.

4.2 Dünya Kiraz Üretimi ve Ticareti

Kiraz (*Prunus avium* L.), besin değeri yüksek, mineral açısından zengin bir meyve olup, dünya genelinde geniş bir yetiştirilme alanına sahiptir. Özellikle Asya kıtası, kiraz üretiminde başı çekerken, Avrupa ve Amerika kıtalarında da önemli miktarda üretim gerçekleştirilmektedir. Kiraz çeşitlerinin büyük bir bölümü taze tüketim için üretilmekte olup, sanayi sektöründe de geniş kullanım alanına sahiptir. Meyve suyu, şarap, konserve,

salamura, kurutulmuş veya dondurulmuş ürünler ile pastacılık, şekerleme ve reçel yapımı gibi birçok endüstriyel alanda değerlendirilmektedir.

FAO ve Anonim (2021) verilerine göre, 2019 yılı itibarıyla Türkiye, dünya kiraz üretiminde lider konumda olup, toplam 84 bin hektarlık dikim alanı ve yaklaşık 664 bin ton üretim miktarı ile dünya üretiminde ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'yi, 38 bin hektarlık dikim alanıyla ikinci sırada Şili, 35 bin hektar ile ABD ve 30 bin hektar ile Suriye takip etmektedir (Anonim, 2021). Dünya genelinde kiraz üretim miktarları incelendiğinde, Türkiye 664 bin tonluk üretimiyle ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'yi 321 bin tonla Amerika Birleşik Devletleri, 233 bin tonla Şili ve 176 bin tonla Özbekistan takip etmektedir (Anonim, 2021).

Yukarıda sunulan veriler, Türkiye'nin yalnızca üretim alanı bakımından değil, aynı zamanda üretim miktarında da küresel lider olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin üretimdeki bu güçlü konumu, farklı ekolojik bölgelere sahip olması, geniş çeşit yelpazesi ve gelişmiş tarımsal uygulamalarıyla ilişkilendirilmektedir.

Dünya genelinde kiraz ticareti her yıl artış göstermekte olup, 2019 yılında toplam 737 bin ton kiraz ihraç edilmiştir. Bu oran, bir önceki yıla kıyasla %4,2'lik bir artış göstermektedir (Anonim, 2021).

2019 yılı itibarıyla dünya genelinde en fazla kiraz ihraç eden ülkeler arasında Şili 260 bin ton ile ilk sırada yer alırken, onu 168 bin ton ile Hong Kong, 81 bin ton ile Amerika Birleşik Devletleri ve 77 bin ton ile Türkiye takip etmektedir. Türkiye bu ihracat miktarıyla küresel kiraz ihracatının yaklaşık %10,4'lük kısmını gerçekleştirmiştir (Anonim, 2021). Bu verilere göre Şili, Hong Kong ve ABD, dünya kiraz ihracatının %65,6'sını gerçekleştiren başlıca ihracatçı ülkeler olarak öne çıkmaktadır. Türkiye ise %10,4'lük payıyla dördüncü sırada yer almakta olup, özellikle Avrupa ve Ortadoğu pazarlarında önemli bir aktör konumundadır.

Kiraz, yalnızca üretim açısından değil, aynı zamanda yüksek talep gören bir ticari ürün olarak da dikkat çekmektedir. 2019 yılında dünya genelinde kiraz ithalatı, bir önceki yıla göre %2,4 artış göstererek toplam 744 bin ton seviyesine ulaşmıştır (Anonim, 2021). Dünya genelinde en büyük kiraz ithalatçısı ülkeler incelendiğinde, Çin 193 bin tonluk ithalat hacmiyle ve %51,3'lük pazar payıyla ilk sırada yer almaktadır. Onu 188 bin ton ve %13,2'lik payla Hong Kong takip etmektedir. Rusya %7,7, Almanya %4,3 ve Kanada ise %3,6'lık pazar paylarıyla diğer önemli ithalatçı ülkeler arasında yer almaktadır (Anonim, 2021).

Çin, yaklaşık 193 bin tonluk ithalat hacmiyle dünya kiraz ticaretinde en büyük tüketici konumunda olup, Hong Kong ile birlikte dünya ithalatının büyük bir bölümünü gerçekleştirmektedir. Bu veriler, Asya pazarlarının kiraz ticaretindeki belirleyici rolünü ve Türkiye gibi üretici ülkeler için bu bölgelere ihracatın stratejik önemini ortaya koymaktadır.

Türkiye, hem üretim kapasitesi hem de ihracattaki yükselen payı ile küresel kiraz piyasasında önemli bir konumda bulunmaktadır. Ekolojik avantajlar, geniş üretim alanları, kaliteli çeşitlerin geliştirilmesi ve pazar taleplerine yönelik üretim planlaması, Türkiye'nin lider üretici ve ihracatçı ülkeler arasında rekabetçiliğini artırmaktadır. Ancak, iklim değişikliği, üretim maliyetlerindeki artış, rekabetçi küresel pazar dinamikleri ve lojistik zorluklar, Türkiye'nin kiraz ihracatında karşılaşılabileceği başlıca risk faktörleridir. Bu nedenle, üretimde sürdürülebilirlik, ihracat pazarlarında marka değerinin artırılması ve üretici destek mekanizmalarının geliştirilmesi, Türkiye'nin dünya pazarındaki gücünü koruyabilmesi açısından stratejik önem taşımaktadır.

4.3 Kiraz Tarımında Sulama ve Gübrelemenin Önemi ve Karşılaşılan Zorluklar

Kiraz (*Prunus avium* L.) ağaçlarının sulama gereksinimleri üzerine yapılan araştırmalar, diğer meyve türlerine kıyasla sınırlı olup, özellikle farklı iklim koşulları altında su yönetiminin optimizasyonu konusunda daha fazla bilimsel çalışma gerekmektedir. Kiraz ağaçları, düşük yaz yağışına sahip ve yüksek buhar basıncı açığı bulunan bölgelerde 750 ila 1000 mm arasında sulama gereksinimi duyarken, daha nemli iklim bölgelerinde bu

ihtiyaç daha düşük seviyelere inmektedir. Örneğin, İspanya'da 'SL-64' (P. mahaleb) anaçlı 'Summi' çeşidi için 600-650 mm, Kanada'da ise çeşit/anaç kombinasyonlarına bağlı olarak 550-700 mm arasında değişen sulama miktarları yeterli olabilmektedir (Nilsen vd. 2017). Yarı kurak iklimlerde kiraz ağaçlarının su tüketimi oldukça yüksektir. "GiSelA 5" anaçlı "Bing" çeşidine ait bir ağacın, sıcak ve kuru hava koşullarında günlük yaklaşık 32 litre terleme yaptığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kiraz üretiminde sulamanın yalnızca verim artırıcı bir faktör olmadığı, aynı zamanda meyve kalitesini doğrudan etkileyen bir değişken olduğu bilinmektedir. Özellikle meyve olgunlaşma dönemindeki aşırı yağışlar veya toprakta biriken fazla su, kiraz meyvelerinde çatlama sorunlarına yol açarak ekonomik verimliliği düşürebilmektedir (Knoche ve Winkler, 2017).

Bitkiler, toprak çözeltisinden iyon formundaki mineral besinleri alarak gelişimlerini sürdürürler. Bu nedenle, toprak analizleri, meyve bahçesi kurulmadan önce toprağın beslenme durumunun belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Fosforlu gübrelerin, bitkilerin etkin şekilde kullanabilmesi için 40 cm veya daha derin tabakalara uygulanması gerekmektedir. Fosfat iyonları, toprak kolloidlerine bağlanarak hareketliliği düşük seviyede kalan besin maddeleri arasında yer aldığı için, gübre uygulamalarının bitkinin gerçek ihtiyaçları doğrultusunda yapılması büyük önem taşımaktadır (Koumanov ve Long, 2017).

Potasyum (K) gübrelemesi, özellikle killi topraklarda belirli zorluklar içermektedir. Potasyum iyonlarının hareketliliğinin düşük olması nedeniyle, toprak profilinin yalnızca üst 10 cm'lik kısmında yoğunlaşması mümkündür. Bu nedenle, ağır topraklarda potasyum gübrelerinin toprağa karıştırılarak uygulanması önerilmektedir. Gübre uygulama miktarı, üst 40 cm'lik toprak tabakasındaki hedeflenen K seviyesi ile mevcut K seviyesi arasındaki farka bağlı olarak hesaplanmalıdır. Bununla birlikte, aşırı potasyum uygulamalarının magnezyum (Mg) eksikliğine yol açabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (UMCAFE, 2013).

Kiraz ağaçlarının su gereksinimlerini belirlemek için yapılan çalışmaların yanı sıra, bitki su stresini tespit etmek amacıyla geliştirilen farklı yöntemler de bulunmaktadır. Diğer

odunsu meyve türlerine kıyasla, kiraz bitkileri için bitki sensörleri ve görüntüleme sistemleriyle yapılan araştırmalar daha sınırlıdır. Ancak, gövde büzülme-genişleme hareketleri, bitki su potansiyeli ölçümleri ve özsu akış hızları gibi parametreler, meyve ağaçlarında su stresinin belirlenmesi için önemli veriler sunmaktadır (Pagay, 2014). Modern sulama yönetiminde kullanılan mikrotansiyometreler, termal kameralar, uydu görüntüleme sistemleri, ultra hafif uçaklar ve insansız hava araçları (İHA), su stresinin uzaktan algılama teknikleriyle belirlenmesine yönelik umut vadeden yenilikler olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntemler henüz tam anlamıyla ticari uygulamalara entegre edilmemiş olsa da, gelecekte meyve bahçelerinde sulama yönetimini optimize etmek için büyük potansiyel taşımaktadır (Pagay, 2014).

Toprak neminin etkin şekilde kontrol edilmesi, bitkisel üretimde su dengesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Toprak nem içeriği veya toprak nem potansiyelini ölçmek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu ölçümler, manuel teknikler veya otomatik sulama sistemleri ile sürekli veri kaydı yöntemi ile gerçekleştirilebilir. Toprak su kapasitesi, günlük sulama yapılan sistemlerde zamanla azalma eğilimi gösterebilir, bu nedenle sulama programlarının toprak tipine ve nem tutma kapasitesine uygun şekilde düzenlenmesi gerekmektedir (Blanco vd. 2018).

Yağış miktarının 600 mm ve üzeri olduğu bölgelerde sulama ihtiyacı bulunmazken, bu değer altında kalan alanlarda sezon boyunca 2-3 kez sulama yapılması yeterli olabilmektedir. Kiraz yetiştiriciliğinde damla sulama ve mini yağmurlama sistemleri, suyun daha verimli kullanılması açısından önerilmektedir. Özellikle kurak dönemlerde çiçeklenme aşamasında toprak nem seviyesinin optimum düzeyde tutulması, ağaç sağlığı ve verim açısından kritik öneme sahiptir. Hasat öncesi yapılan sulamalar, meyve büyüklüğünü olumlu yönde etkilerken, meyve sertliği ve lezzeti üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilir. Ayrıca, bu dönemde aşırı sulama, ağaç fizyolojisini olumsuz etkileyerek sonraki sezonun verimliliğini düşürebilir. Buna karşın, hasat sonrası sulamanın, yeni çiçek tomurcuğu oluşumunu desteklediği bilinmektedir (Blanco vd. 2018). Kiraz yetiştiriciliğinde sulama ve besin yönetimi, optimum verim ve kalite elde etmek için dikkatle planlanması gereken temel faktörlerdir. Güncel araştırmalar, iklim koşullarına bağlı olarak değişen sulama gereksinimlerinin belirlenmesi gerektiğini

vurgulamaktadır. Ayrıca, besin eksikliklerinin giderilmesi ve gübre uygulamalarının optimize edilmesi, toprak sağlığının korunması ve uzun vadede sürdürülebilir tarımsal üretimin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

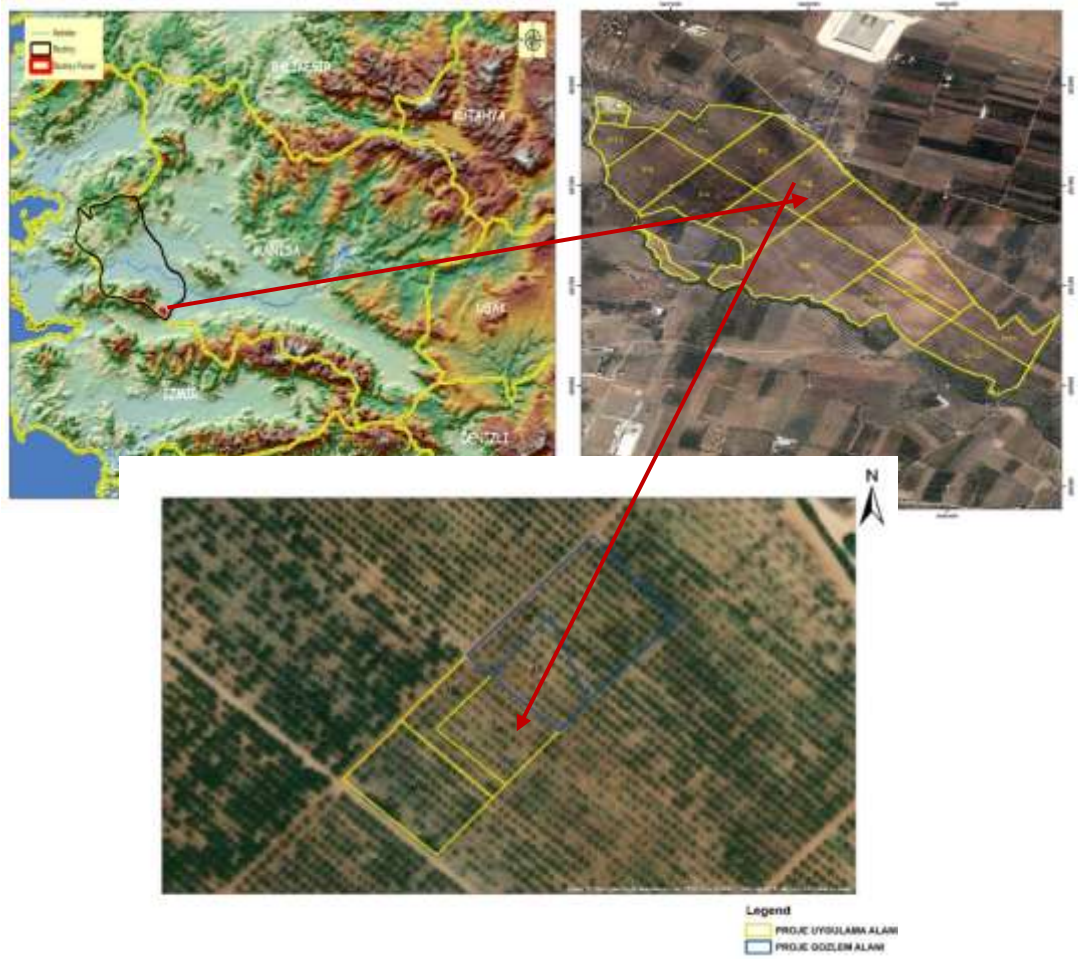
Yakın gelecekte, sensör bazlı su yönetim sistemleri, hassas tarım teknolojileri ve uzaktan algılama tekniklerinin sulama stratejilerine daha fazla entegre edilmesi beklenmektedir. Bu gelişmelerin verim kayıplarını en aza indirerek, çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi hedeflenmektedir.

5. MATERYAL ve YÖNTEM

5.1 Materyal

5.1.1 Deneme alanı

Proje, Gediz Havzası Bozköy-Manisa sınırları içerisinde bulunan ve denizden ortalama yüksekliği 200 metre olan Kiraz bahçesinde kurulmuştur. Çalışmada kullanılacak bahçe yurtdışı kiraz ihracatı amacıyla kurulmuş olan çiftçi arazisidir. Proje 60 ha bir alanda kurulu bulunan kiraz bahçesinden seçilmiş parselin 1 ha alanında yürütülmüştür (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Deneme alanına ait uydu görüntüsü

5.1.2 Deneme alanına ait meteorolojik veriler

Çizelge 5.1 Manisa İline ait bazı iklim verilerinin uzun yıllar içinde gerçekleşen Ortalama Değerler, 1930 - 2020

MANISA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.6	7.9	10.5	15.1	20.3	25.2	27.9	27.6	23.3	17.8	12.1	8.1	16.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.8	12.7	16.2	21.4	27.1	32.1	34.9	34.9	30.7	24.4	17.5	12.3	22.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3	3.7	5.3	8.9	13.3	17.5	20.4	20.3	16.1	11.8	7.5	4.4	11
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.8	3.7	5.1	6.1	8.2	10.2	10.8	10.3	8.6	6.2	3.9	2.3	6.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.6	11.6	10.8	9.7	7.9	4	1.4	1.1	3.1	6.8	10.1	13.6	93.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	127	107.1	77.7	55.6	39.7	19.6	9.9	9.3	19.8	51.8	89.2	137.7	744.4
Ölçüm Periyodu (1930 - 2020)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24	26.4	33.5	34.7	40.6	42.4	45.5	44.5	42.4	38.2	29.9	26.4	45.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-17.5	-10.9	-6.7	-2.7	2	7.4	10.5	8.5	3.3	-0.9	-7.3	-9.9	-17.5

Manisa ilinde yağışlar genellikle kış aylarında gerçekleşmektedir. En fazla yağış Ocak ve Aralık aylarında alınmaktadır. Ortalama yıllık toplam yağış miktarı 744 mm'dir. Temmuz ve Ağustos ayları en sıcak ve kurak aylardır. Manisa iline ait bazı iklim verilerinin uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir (MGM, 2020).

5.1.3 Araştırma alanı toprak özellikleri

Arazilerin büyük bir bölümünde değişen oranlarda profil içerisinde ve yüzeyde taşlılık bulunmakta olup yaklaşık olarak %1 – 10 arasında değişen kireç kapsamı belirlenmiştir. Genelde orta bünyeye sahip olan toprakların organik madde kapsamı değişkenlik göstermektedir. Toprak özellikleri konumsal ve zamansal olarak büyük değişim gösteren bahçede, homojen oranlı sulama, gübreleme ve fertigasyon yapılmaktadır. Bahçede bitki gelişim farklılıkları, ürün kalitesi, rekolte vb. şekilde sorunlar görülmektedir. Arazide yürütülen toprak etüt çalışmaları sonucunda, inceleme alanında yer alan toprakların düşük

derinliğe sahip, yoğun taşlı ve ana kayaya yakın profilli olduğu tespit edilmiştir. Bu özellikleri nedeniyle, söz konusu topraklar USDA Toprak Taksonomisine göre “Lithic Xerorthents” sınıfında değerlendirilmiştir. Araştırma alanına ait toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Araştırma alanına ait toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Zonlar	*VR1A		VR1B		**VR2A		VR2B		UR1		UR2	
	0-20 cm	20- 40 cm	0-20 cm	20- 40 cm	0-20 cm	20- 40 cm	0-20 cm	20- 40 cm	0-20 cm	20- 40 cm	0-20 cm	20- 40 cm
Kum %	37.7 5	35.31	34.8 0	34.49	35.8 6	39.10	40.2 2	41.69	40.6 9	36.79	42.6 9	36.79
Silt %	25.2 0	26.19	25.5 3	24.89	29.3 1	23.14	22.9 6	22.16	24.8 5	24.53	22.8 1	24.53
Kil %	37.0 5	38.50	39.6 6	40.62	34.8 3	37.76	36.8 2	36.15	34.4 6	38.68	34.5 0	38.68
Organik Madde (%)	3.63	2.14	2.64	1.83	2.97	1.09	2.11	1.46	2.44	1.27	2.24	1.77
Tarla Kapasitesi	25.1 7	22.29	26.2 1	22.64	25.5 5	22.16	25.8 5	20.16	20.7 8	19.99	22.7 5	19.24
Solma Noktası	15.9 2	15.73	15.5 2	15.66	14.6 6	16.06	14.1 4	13.80	12.0 4	9.91	12.0 4	13.05
Hacim Ağırlığı (gr cm ⁻³)	1.28	1.24	1.32	1.28	1.34	1.25	1.30	1.27	1.44	1.25	1.36	1.26
Toplam N %	0.19	0.14	0.19	0.14	0.16	0.15	0.17	0.11	0.17	0.14	0.18	0.15
P (mg/kg)	68.1 2	11.39	89.3 4	40.22	41.9 4	18.13	54.5 6	15.05	69.7 6	25.87	68.2 6	10.96
K (mg/kg)	703. 05	379.7 1	345. 58	291.8 1	302. 26	241.9 2	379. 71	195.9 1	599. 50	379.7 1	530. 20	312.8 5
Ca (mg/kg)	768 5.00	8125. 00	625 0.00	7735. 00	667 0.00	7440. 00	589 0.00	6790. 00	642 0.00	6400. 00	653 5.00	5965. 00
Mg (mg/kg)	685. 00	355.0 0	580. 00	665.0 0	103 0.00	900.0 0	480. 00	585.0 0	725. 00	410.0 0	625. 00	505.0 0
Fe (mg/kg)	7.90	6.82	7.34	6.54	5.78	5.40	7.22	5.78	9.36	5.64	7.12	5.82
Zn (mg/kg)	4.72	0.46	8.58	1.50	2.40	1.03	2.50	0.58	5.18	2.20	5.60	0.84
Mn (mg/kg)	7.70	6.80	6.72	9.88	8.34	9.32	7.18	9.44	12.5 2	7.20	11.3 4	9.42
Cu (mg/kg)	11.9 8	3.24	9.76	3.34	9.72	3.62	7.18	2.22	10.0 2	7.40	10.6 0	1.94
pH	7.76	7.78	7.68	7.71	7.84	7.84	7.74	7.73	7.77	7.78	7.84	7.84
EC (dSm ⁻¹)	0.52	0.54	0.47	0.53	0.46	0.55	0.44	0.50	0.52	0.51	0.43	0.43
Kireç %	3.80	10.80	2.80	4.10	2.50	5.10	1.60	1.60	2.10	1.75	2.68	1.72

VR1: Değişken oranlı uygulama alanı 1, VR2: Değişken oranlı uygulama alanı 2

5.1.4 Bitki materyali özellikleri

Bu çalışmada bitki materyali olarak *Prunus avium L.* türüne ait Alara kiraz çeşidi kullanılmıştır (Şekil 5.2). Alara Dev, Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen, büyük meyve yapısına sahip, ticari değeri yüksek bir kiraz çeşididir. Meyveleri iri, ortalama 10-12 g ağırlığında, yuvarlak-oval formda ve parlak koyu kırmızı renktedir. Sert, sulu ve tatlı meyve eti, yüksek kaliteli bir tat profili sunar. Meyve eti sertliği, özellikle uzun raf ömrü ve nakliye sırasında oluşabilecek hasara karşı direnç sağlamaktadır. Alara Dev çeşidi, geniş bir adaptasyon kapasitesine sahip olup, yüksek verim potansiyeliyle bilinir. Ayrıca, geççi bir çeşit olarak tanımlanmakta ve bu özelliğiyle geç hasat edilen kirazlara talep olan dönemlerde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Alara Dev kirazı, vernalizasyon gereksinimi yüksek olan bir çeşittir ve kış soğuklamasına olan ihtiyacı yaklaşık 800-1000 saat arasındadır (Yılmaz ve Koç 2018).



Şekil 5.2 Alara Dev kiraz çeşidi

5.1.5 Araştırmada kullanılan ekipmanlar

5.1.5.1 Meteoroloji istasyonu

Deneme alanında kullanılan iklim gözlemleri ve veri toplama işlemleri, iMETOS otomatik iklim istasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Sistem, saatlik veri toplama özelliği

sayesinde uzun dönemli iklim gözlemlerini sürekli ve tutarlı bir şekilde kaydetme olanağı sunmaktadır. İstasyonun donanımı, tarımsal üretim süreçlerini etkileyen önemli çevresel faktörlerin izlenmesi için çeşitli sensörler içermektedir. Bu sensörler arasında; hava sıcaklığını ölçmek için termometre, atmosferdeki nem seviyelerini izlemek amacıyla oransal bağıl nemölçer, yağış miktarını belirlemek için yağışölçer, güneş radyasyonunun şiddetini ölçen piranometre ve rüzgar hızını ölçen anemometre yer almaktadır. Veriler saatlik olarak bir veri depolayıcıyla kayıt edilmektedir. Kayıtlı olan verilere internet üzerinden ulaşılmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Otomatik iklim istasyonu

5.1.5.2 Sulama sisteminin özellikleri ve kurulumu

Araştırma sahasında kullanılan sulama suyu, yakınında bulunan derin kuyulardan elektrikle çalışan pompalar aracılığıyla çekilerek bir havuzda toplanarak sulama yapılmaktadır. Sulama sistemine ait kontrol ünitesi ve sulama kuyusunun detayları Şekil 5.4'te sunulmuştur.



Şekil 5.4 Kontrol ünitesi ve sulama havuzu

Sulama başlamadan hemen önce, vantuzlar aracılığıyla lateral hatlarda biriken hava tahliye edilmekte ve bu sayede sistemin tamamen su ile dolumu sağlanmaktadır. Giriş ve çıkış manifold hatlarına yerleştirilen manometreler, sistem içerisindeki basınç kayıpları ve olası kaçakların tespit edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Sulama suyunun her bir parselde dağıtımı, su sayaçları aracılığıyla kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Giriş ve çıkış manifold hatları ile sistem bileşenlerinin detaylı görünümü Şekil 5.5'de sunulmuştur.

Elektriksel İletkenlik (dS m^{-1}): Doygunluk işlemi uygulanmış çamur ve çamur ekstraktında, elektriksel iletkenlik ölçer ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (TS ISO 11265, Richards, 1954).

Toprak Reaksiyonu (pH): Doygun hale getirilmiş çamur ve ekstraktında, pH değeri pH metre ile ölçülmüştür (Richards, 1954).

Kasyon Değişim Kapasitesi ($\text{me } 100\text{g}^{-1}$): Toprak örneği önce 1 N sodyum asetat ile doyurulmuş, ardından 1 N amonyum asetat ile ekstrakte edilmiştir. Elde edilen çözeltide, alev fotometresi yardımıyla sodyum miktarı tespit edilerek kasyon değişim kapasitesi hesaplanmıştır (Bower vd. 1952).

Toprak Tekstür Analizi: 2 mm'lik elekten geçirilen 50 gram toprak örneği beher içerisine alınmıştır. Behere 5 mL NaOH ve $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ eklenmiş ve Bouyoucos hidrometre yöntemi ile 40 saniye ve 2 saatlik ölçümler alınmıştır (Bouyoucos, 1951).

Hacim Ağırlığı (g cm^{-3}): Bozulmamış toprak örnekleri laboratuvara getirilmiş ve 105°C 'de bir gece boyunca kurutulmuştur. Kuru ağırlık, örneğin silindir hacmine bölünerek hacim ağırlığı hesaplanmıştır (Richards, 1954).

Tarla Kapasitesi (%): Poroz levha üzerinde bir gün boyunca suya doyurulan toprak örnekleri, 1/3 atmosfer basınç uygulayan basınçlı tencereye yerleştirilmiş ve bu basınç altında tarla kapasitesi belirlenmiştir (Tüzüner vd. 1990).

Solma Noktası (%): Poroz levha üzerinde suya doyurulan toprak örnekleri, 15 atmosfer basınç uygulayan basınçlı tencereye konularak solma noktası belirlenmiştir (Tüzüner vd. 1990).

Kireç Değeri (%): Toprak örneği, seyreltik HCl ile reaksiyona sokulmuş ve Scheibler kalsimetresi ile kireç miktarı belirlenmiştir (Çağlar, 1949).

Organik Madde (%): Toprak örneğindeki organik madde, modifiye edilmiş Walkley-Black yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemle, organik madde demir sülfat kullanılarak titre edilmiştir (TS 8336).

Potasyum (mg/kg): Toprak ekstraktındaki potasyum miktarını belirlemek amacıyla, 1 M NH_4HCO_3 çözeltisi kullanılarak ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekstrakte edilen

potasyumun konsantrasyonu, flame fotometrede yardımıyla ölçülerek tespit edilmiştir (Jackson, 1958).

Fosfor (P_2O_5): Toprakta bulunan bitkiye yararışlı fosfor (P_2O_5) miktarını belirlemek amacıyla, 0.5 N sodyum bikarbonat (pH 8.5) çözeltisi kullanılarak fosforun topraktan ekstrakte edilmesi sağlanmıştır. Ekstrakte edilen fosfor, mavi renk oluşturan bir reaksiyonla bağlanmış ve bu mavi rengin yoğunluğu spektrofotometre ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları, aynı koşullarda hazırlanmış ve fosfor miktarı bilinen standart çözeltilerle karşılaştırılarak toprakta bulunan bitkiye yararışlı fosfor miktarı belirlenmiştir (Olsen vd. 1954).

Azot (N): Toprak örneklerinde toplam azot (N) miktarı, Kjeldahl metodu (Bremner, 1965) ile belirlenmiştir. Bu yöntem, organik azot bileşiklerinin sülfürik asit (H_2SO_4) ortamında katalizör yardımıyla amonyum (NH_4^+) formuna dönüştürülmesine ve daha sonra bu amonyumun damıtma ve titrasyon yoluyla ölçülmesine dayanmaktadır.

Kalsiyum ve Magnezyum: Toprak örneklerindeki kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) miktarlarının belirlenmesi amacıyla, 1.0 N nötr (pH 7.0) amonyum asetat (CH_3COONH_4) çözeltisi ile ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekstrakte edilen süzüntüdeki kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları, ICP-OES cihazı kullanılarak tespit edilmiştir (Pratt, 1965).

Demir, Çinko, Bakır ve Mangan: Toprak örneklerinde demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) miktarlarının belirlenmesi için, Lindsay ve Norvell (1978) tarafından önerilen yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemde, toprak-çözelti oranı 1:2 olacak şekilde, 0.005 M DTPA (dietilen triamin penta asetik asit), 0.01 M $CaCl_2$ ve 0.1 M TEA (trietanolamin) içeren karışım çözeltisi (pH 7.3) kullanılmıştır. Toprak örnekleri bu karışımla 2 saat boyunca çalkalanarak ekstrakte edilmiştir. Ekstrakte edilen süzüntüdeki demir, çinko, bakır ve mangan konsantrasyonları, ICP-OES cihazı ile ölçülerek belirlenmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978).

5.2.2 Bitki analizleri

Yaprak örnekleri, her bir YZ’lerde belirlenen ve her bir YZ’yi kendi içerisinde temsil edecek şekilde ağaçların vejetasyon gelişimleri dikkate alınarak belirlenmiş olan üç kuvvetli ve üç zayıf olacak şekilde belirlenen her bir YZ için toplam altı ağaçlardan alınarak yapılmıştır. Örnekleme için güneş gören, meyvesiz yıllık sürgünlerin orta kısmındaki tam gelişmiş yapraklar tercih edilmiştir (Jones, 2001).

Belirlenen ağaçlardan gübreleme öncesi ve vejetasyon dönemlerinde ortalama olarak 20-30 yaprak toplanmış ve örnekler, kontaminasyon riskini en aza indirmek için eldiven kullanılarak toplanmıştır. Örnekleme sırasında toz, çamur ve diğer yabancı maddelerle temasın önlenmesine dikkat edilmiştir (Mills ve Jones, 1996). Toplanan yaprak örnekleri, hava koşullarından etkilenmemesi için kağıt torbalara yerleştirilmiş ve laboratuvara götürülmüştür.

Azot Analizi: Bitki örneklerinde yüzde toplam N Kjeldalh yöntemi ile belirlenecektir (Kacar, 1995).

Fosfor, Potasyum, Kalsiyum ve Magnezyum Analizi: Yaş yakma uygulanarak analize hazır hale getirilen örneklerde P, K, Ca ve Mg analizleri Perkin Elmer Avio 200 model ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) cihazı ile belirlenmiştir (Kacar, 1995).

Demir, Çinko, Mangan ve Bakır Analizi: Yaş yakma uygulanarak analize hazır hale getirilen örneklerde Fe, Zn, Mn ve Cu analizleri Perkin Elmer Avio 200 model ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) cihazı ile belirlenip sonuçlar mg/kg olarak ifade edilmiştir (Kacar, 1995).

5.2.3 Meyve kalite analizleri

Meyve örnekleri, kiraz bitkisinin olgunlaşma ve hasat süreci dikkate alınarak her bir yönetim zonundan özenle alınmış ve bu örneklerin çeşitliliği sağlanmıştır. Hasat döneminde alınan bu meyve örnekleri üzerinde, ürünün kalite, verim ve diğer

özelliklerine ilişkin kapsamlı analizler yapılmıştır. Ayrıca, deneme alanından alınan yaş kiraz örnekleri üzerinde de fiziksel, kimyasal ve kaliteye ilişkin çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir.

Suda Çözünebilir Kuru Madde (%SÇKM): Kiraz örneklerinden elde edilen meyve suyu, "Atago" marka el refraktometresi (Atago S-28, Japonya) kullanılarak oda sıcaklığında (20°C) analiz edilmiştir. Bu işlem sonucunda, suda çözünebilir kuru madde miktarı belirlenmiş ve sonuçlar yüzde (%) cinsinden ifade edilmiştir (Usenik vd. 2008)

Asit Miktarı (Titre Edilebilir Asitlik): Yönetim zonlarından alınan tane örneklerinde 10 ml ezilerek elde edilen kiraz suyunun 0,1 N NaOH'lik ile titre edilmesiyle (% malik asit) elde edilmiştir (Koyuncu ve Özdemir, 2007).

Meyve Eti Sertliği: Yönetim zonlarından alınan tane sertlikleri el penetrometresi ile ölçülerek N-kuv cinsinden ifade edilmiştir (Koyuncu ve Özdemir, 2007).

Renk Ölçümleri: Yönetim zonlarından alınan kiraz meyve örneklerinde L* (parlaklık), +a* (kırmızılık-yeşillik) ve +b* (sarılık-mavilik), Chroma (Doygunluk) ve Hue açısı değerleri Minolta CR-300 renk ölçüm cihazı kullanılarak tespit edilmiştir (Pathare, 2012).

Meyve Boyutu: Her bir meyvenin en ve boy ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler, yüksek hassasiyetli dijital kumpas (± 0.01 mm duyarlılık) kullanılarak milimetre (mm) cinsinden kaydedilmiştir. Her bir yönetim zonundan alınan meyve örnekleri üzerinde gerçekleştirilen ölçümler, en ve boy değerlerinin ayrı ayrı belirlenmesini sağlamıştır (Gübbük vd. 2009).

5.2.4 Sulama suyu miktarının belirlenmesi

Her bir hassas yönetim bloğu için elde edilen toprağın infiltrasyon hızları ve yarayışlı su tutma kapasite değerleri sulama suyu seviyesinin belirlenmesinde öncelikli kriter olarak belirlenmiştir. YZ verilecek olan sulama suyu miktarının belirlenmesinde 0-40cm toprak derinliğindeki su tutma kapasitesinin %50'si tüketildiğinde sulamalar yapılmıştır (Gültaş ve Erdem 2007; Erdem vd. 2012) Sulamalardan önce 0-40 cm deki toprak nemi gravimetrik olarak takip edilmiştir. Kiraz ağacında sulamalar ağaç gözlerinin uyandığı

Nisan ayında başlayıp hasattan sonraki dönemi de içine alacak şekilde Eylül ayına kadar devam etmektedir (Steduto vd. 2012). Sulama suyu miktarının belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Yıldırım 2013).

$$I = (TK - MN).p.A$$

Eşitlikte;

I: Net sulama suyu miktarı(m³),

TK: Tarla kapasitesi (mm),

MN: mevcut nem (mm)

p: ıslatma oranı (toprakta ıslatılan şerit eni/lateral aralığı)

A: parsel alanı (da)

5.2.5 Sulama suyu kullanım etkinliğinin belirlenmesi

Mevsim boyunca uygulanan sulama suyu ve verim değerlerinin kaydedilmesiyle birlikte her bir YZ için su kullanım etkinliği (WUE) ve sulama suyu kullanım etkinliği (WPI) aşağıda verilen eşitlikler yardımı ile hesaplanacaktır (Howell vd.1990).

$$WPI = Y/I$$

Eşitliklerde;

WPI: Sulama Suyu Kullanım Etkinliği (kg m-3), Y: Verim (kg da-), I: Uygulanan Sulama Suyu Miktarı (mm)

5.2.6 Gübreleme stratejisi

Sezon öncesinde, her bir yönetim zonundan alınan toprak örnekleri analiz edilerek toprağın makro (N, P, K) ve mikro (Fe, Zn, Mn, Cu, B) element içerikleri değerlendirilmiştir. Toprak analizleri doğrultusunda Çizelge 5.3'e göre eksikliği belirlenen elementler için uygun dozlarda gübreleme yapılmıştır. Bu uygulama, ağaçların

büyüme dönemine güçlü bir başlangıç yapmasını ve temel besin ihtiyaçlarının karşılanmasını hedeflemiştir. Bu süreçte aynı zamanda Çizelge 5.4 takip edilerek daha optimum gübreleme stratejisi takip edilmiştir.

Çizelge 5.3 Toprak analiz sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan referans değerler, azot (N) için g/kg, kireç ve organik madde (O.M.) için yüzde (%), E.C için dS/m, diğer besin elementleri için ise mg/kg birimlerinde ifade edilmiştir (Lindsay ve Norwell 1978, Güneş vd.1996)

Besin Maddesi	Çok Az	Az	Yeterli	Fazla	Çok Fazla
N	<0.45	0.45-0.90	0.90-1.70	1.70-3.20	>3.20
P	<2.5	2.5-8.0	8.0-25.0	25.0-80.0	>80.0
K	<50	50-140	140-370	370-1000	>1000
Ca	0-380	380-1150	1150-3500	3500-10000	>10000
Mg	0-50	50-160	160-480	480-1500	>1500
Mn	<4	4-14	14-50	50-170	>170
Zn	<0.2	0.2-0.7	0.7-2.4	2.4-8.0	>8.0
Fe	Yetersiz: <4.5		Yeterli: >4.5		
Cu	Yetersiz: <0.2		Yeterli: >0.2		
Kireç	0-1	1-5	5-15	15-25	>25
E.C	0-2	2-4	4-8	8-16	>16
O.M.	0-1	1-2	2-3	3-4	>4
pH	<4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	6.5-7.5	>8.5

Çizelge 5.4 Verime göre uygulanması gereken gübre miktarı (Sallato, 2023)

Besin Maddesi	kg/ton
Azot (N)	1.95 - 2.18
Fosfor (P)	0.32 - 0.39
Potasyum (K)	1.91 - 2.72
Kalsiyum (Ca)	0.14 - 0.18
Magnezyum (Mg)	0.09 - 0.18
Kükürt(S)	0.14

Sezonun ilerleyen dönemlerinde, her bir yönetim zonundan farklı vejetasyon dönemlerinde ve NDVI görüntülerinin anormal seyrettiği dönemlerde yaprak örnekleri alınarak bitkideki mevcut besin elementi durumları analiz edilmiştir. Yaprak analizleri sonucunda belirlenen eksikliklere yönelik (Çizelge 5.5) olarak yaprak gübreleri veya toprağa uygulanabilir gübreler kullanılmıştır. Belirlenen eksikliklerde karar mekanizması olarak Ankerman ve Large (2001) 'e göre strateji belirlenmiştir. Böylece büyüme ve meyve gelişimi süreçlerinde besin elementi eksikliklerinin giderilmesi sağlanmıştır.

Çizelge 5.5 Besin maddesi yeterlilik aralıkları (Ankerman ve Large, 2001)

Plant analysis guide												
Cherry	N	S	P	K	Mg	Ca	Na	B	Zn	Mn	Fe	Cu
----- % -----							----- ppm -----					
From	2.00	0.15	0.25	2.00	0.50	2.00	0.01	25	20	50	50	10
To	3.00	0.25	0.40	3.00	0.90	3.00	0.10	40	40	70	100	20

5.2.7 Yönetim zonlarının belirlenmesi

Proje kapsamında, yönetim zonları içerisinde bulunan Kiraz bitkisine ait vejetasyon gelişimleri 3m çözünürlüğe sahip olan PlanetScope (Planet Labs Inc. (San Francisco, CA, USA), uydu görüntüleri kullanılarak izlenmiştir. PlanetScope uydusuna ait genel özellikler Çizelge 5.6'da verilmiştir. Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), bitki örtüsünün kırmızı ve yakın kızılötesi bantlardaki spektral tepkilerinin farklılığını vurgulamak için geliştirilmiştir (Deng ve vd. 2015). NDVI (bkz. Denklem 1.1), NDVI bitki örtüsü durumunu, PlanetScope'un yakın kızılötesi (Band 5) ve görünür bantlarındaki (Band 4) deki yansımaların oranı aracılığıyla gösterir.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad [1.1]$$

Proje alanına ait 2020, 2021 ve 2022 yılları kümülatif (Mart-Ağustos) NDVI veri setleri ArcGIS kullanarak elde edilmiştir. Görüntüler, atmosferik koreksiyon, bulut maskesi ve diğer gerekli ön işleme adımlarını içeren standart uzaktan algılama teknikleriyle işlenmiştir. Elde edilen veri setleri üzerinde Principal Component Analysis (PCA)

uygulanarak boyut indirgemesi yapılmış ve veri setlerinin ana bileşenleri çıkarılmıştır. Bileşenlerin seçimi, toplam varyansın maksimum kısmını açıklayan özvektörler üzerinden yapılmıştır. PCA sonuçlarına dayanarak, veri noktalarının bulanık (fuzzy) üyeliklerini belirlemek için Fuzzy c-Means kümeleme algoritması kullanılmıştır (Zeraatpisheh vd.2020). Optimum küme sayısı, Elbow metodu (Şekil 5.6) kullanılarak tespit edilmiştir. PCA ve Fuzzy c-Means algoritmaları analizlerinde RStudio programı kullanılmıştır (Lu vd.2022). Kümeleme sonuçları, farklı yönetim zonlarını tanımlamak için her bir küme, arazi kullanımının ve bitki örtüsünün durumunu temsil ederek ve bu bölgeler arasındaki yönetim stratejilerinin belirlenmesinde temel alınmıştır.

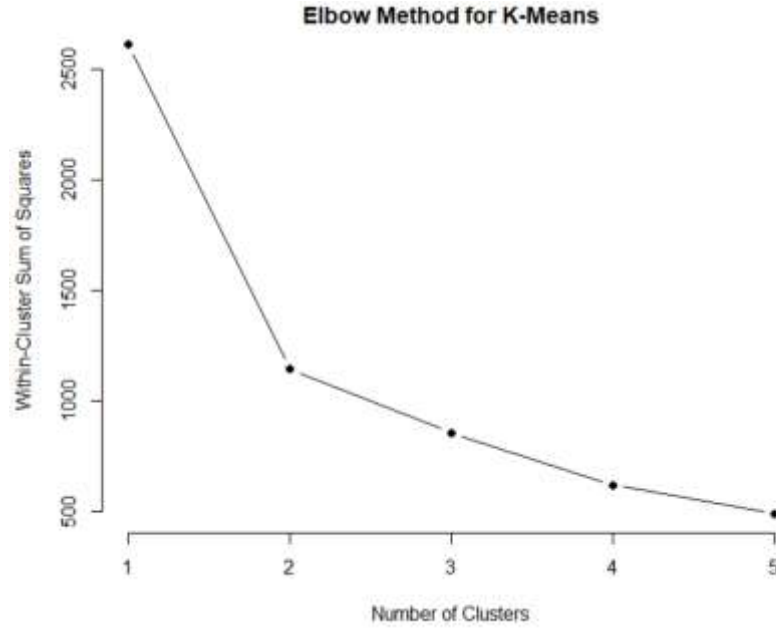
Çizelge 5.6 PlanetScope uydusunun genel özellikleri (Team, 2017)

Bantlar	Dalga Boyu (µm)	Çözünürlük (m)
Band 1 – Blue	0.455-0.515	3
Band 2 – Green	0.500-0.590	
Band 3 – Red	0.590-0.670	
Band 4 - NIR	0.780-0.860	

Çok boyutlu bir veri setinin, ana bileşen analizi (PCA) yoluyla iki boyuta indirgenmesinin ardından elde edilen yapıyı göstermektedir. PCA'nın uygulanışı, veri setindeki varyansın maksimize edilerek en önemli bilgilerin korunmasını sağlamış ve böylece yüksek boyutlu veri seti üzerindeki kümelenme (clustering) analizlerinin daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımıştır. İki boyuta indirgenmiş bu veri uzayında, fuzzy clustering teknikleri kullanılarak, her bir veri noktasının birden fazla kümeye kısmi üyelik gösterebileceği esnek bir sınıflandırma yapılmıştır. Grafikte kırmızı ve mavi noktalar, farklı yönetim zonlarını temsil etmekte olup, noktaların konumları bu zonların çekirdeklerini ve sınırlarını belirginleştirmektedir (Şekil 5.7). Yapılan analizin ardından proje alanı 3 farklı YZ'lere ayrılmış olup bunlar sırasıyla VR1, VR2 ve çiftçi uygulaması olan UR olarak belirlenmiştir.

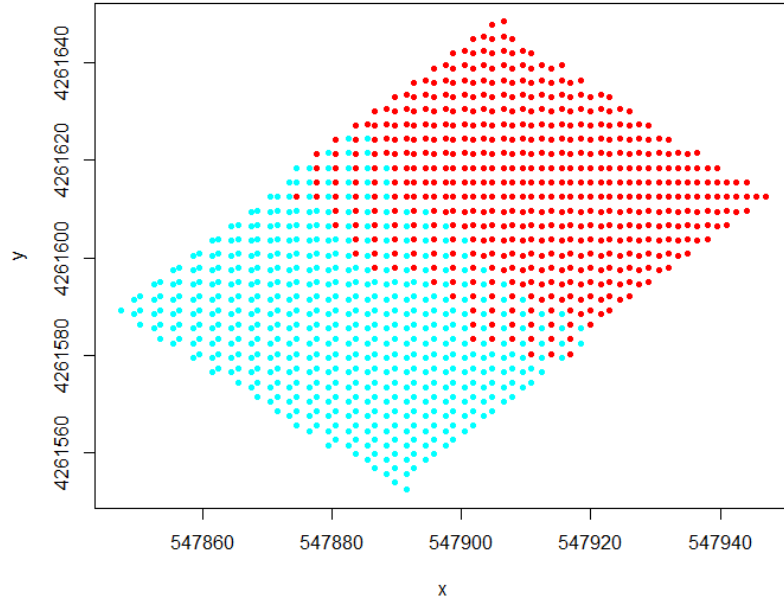
Çalışma alan YZ lere ayrıldıktan sonra izleme/karar mekanizmasının sağlıklı oluşturulabilmesi için düzenli olarak PlanetScope uydu kullanılarak NDVI izlemesi

yapılıdır. Bölgenin hakim iklim koşullarından dolayı vejetasyon süresi Nisan aylarının başında başlayıp Ekim-Kasım aylarında biterek gerçekleşmektedir. Proje boyunca toplam 2023 ve 2024 üretim sezonu olmak üzere bu yıllarda her ay yaklaşık 2-3 kez NDVI izlemeleri yapılmıştır. İzlemeler iklim koşullarına göre değişiklik göstermiş olup bazı aylarda daha fazla NDVI gözlemi yapılmıştır.



Şekil 5.6 En iyi küme sayısının belirlenmesi (Elbow Method)

Şekil 5.6’da görüldüğü üzere değişken oranlı sulama ve gübrelemenin yapılacağı alan 2 farklı zonlara (VR1 ve VR2) ayrıldı. Her bir zonun yaklaşık olarak yüz ölçümü 2250 m^2 olarak belirlenmiş ve yaklaşık 4500 m^2 lik bir alan geleneksel uygulamaların yapılacağı gözlem zonu olarak ayrılmıştır.



Şekil 5.7 İki ana bileşen üzerinde fuzzy clustering ile elde edilen yönetim zonları

5.2.7 Tarımsal uygulamalar ve gözlemler

Deneme kapsamında 2023 ve 2024 yıllarında gerçekleştirilen tarımsal uygulamalar, bitkinin fizyolojik gelişimine ilişkin gözlemler ile sulama tarihleri Çizelge 5.7 ve 5.8’de sunulmuştur. 2023 yılında ilk sulama uygulaması VR1 yönetim zonunda 12 Mayıs, VR2 zonunda ise 9 Mayıs tarihinde gerçekleştirilmiştir. 2024 yılına gelindiğinde ise her iki zon için ilk sulama 26 Nisan tarihinde yapılmıştır. 2023 yılında tam çiçeklenme 10 Nisan tarihinde gerçekleşmişken, 2024 yılında bu evre 7 Nisan’da meydana gelmiştir. 2023 yılında meyvelerde sarı saman dönemi 5 Mayıs tarihinde gözlemlenmiş; ancak 2024 yılında sıcaklıkların mevsim normallerinin üzerinde seyretmesi nedeniyle bu dönem belirgin şekilde görülmemiş, meyveler yeşil renkten doğrudan kırmızı renge geçiş yapmıştır. Hasat tarihi ise 2023 yılında 30 Mayıs olarak kaydedilmişken, 2024 yılında bu tarih 15 Mayıs’a kadar gerilemiştir. Her iki yönetim zonunda da sulama uygulamaları, hasat sonrasında da devam ettirilmiş ve Eylül ayının ortalarına kadar sürdürülmüştür.

Çizelge 5.7 2023 yılı tarımsal uygulamalar ve gözlemler

VR1		VR2	
Tarih	Tarımsal İşlemler	Tarih	Tarımsal İşlemler
10.03.2023	Sıvı Çinko-Bakır Uygulaması	10.03.2023	Sıvı Çinko-Bakır Uygulaması
10.04.2023	Tam Çiçeklenme	10.04.2023	Tam Çiçeklenme
09.05.2023	Yapraktan Gübre Uygulaması	09.05.2023	Yapraktan Gübre Uygulaması
12.05.2023	İlk Sulama	9.05.2023	İlk Sulama
13.04.2023	Fertigasyon (7.75mm su)	13.04.2023	Fertigasyon (7.75mm su)
05.05.2023	Sarı Saman	05.05.2023	Sarı Saman
16.05.2023	Sulama	12.05.2023	Sulama
22.05.2023	Sulama	16.05.2023	Sulama
24.05.2023	Fertigasyon (7.75mm su)	24.05.2023	Fertigasyon (7.75mm su)
26.05.2023	Sulama	22.05.2023	Sulama
30.05.2023	Hasat	30.05.2023	Hasat
01.06.2023	Sulama	26.05.2023	Sulama
02.06.2023	Meyve Kalite Analizleri	02.06.2023	Meyve Kalite Analizleri
16.06.2023	Sulama + Fertigasyon (7.75mm su)	01.06.2023	Sulama
22.06.2023	Sulama	16.06.2023	Sulama + Fertigasyon (7.75mm su)
02.07.2023	Sulama	22.06.2023	Sulama
12.07.2023	Sulama	02.07.2023	Sulama
18.07.2023	Fertigasyon (7.75mm su)	18.07.2023	Fertigasyon (7.75mm su)
23.07.2023	Sulama	12.07.2023	Sulama
02.08.2023	Sulama	17.07.2023	Sulama + Fertigasyon (7.75mm su)
15.08.2023	Sulama + Fertigasyon (7.75mm su)	23.07.2023	Sulama
23.08.2023	Sulama	02.08.2023	Sulama
02.09.2023	Sulama	10.08.2023	Sulama
12.09.2023	Sulama	15.08.2023	Sulama + Fertigasyon (7.75mm su)
		23.08.2023	Sulama
		02.09.2023	Sulama
		07.09.2023	Sulama
		12.09.2023	Sulama

Çizelge 5.8 2024 yılı tarımsal uygulamalar ve gözlemler

VR1		VR2	
Tarih	Tarımsal İşlemler	Tarih	Tarımsal İşlemler
12.03.2024	Sıvı Çinko-Bakır Uygulaması	12.03.2024	Sıvı Çinko-Bakır Uygulaması
07.04.2024	Tam Çiçeklenme	07.04.2024	Tam Çiçeklenme
15.04.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)	15.04.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)
26.04.2024	İlk Sulama	26.04.2024	İlk Sulama
02.05.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)	02.05.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)
12.05.2024	Sulama	12.05.2024	Sulama
15.05.2024	Hasat	15.05.2024	Hasat
17.05.2024	Meyve Kalite Analizleri	17.05.2024	Meyve Kalite Analizleri
20.05.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)	20.05.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)
03.06.2024	Sulama	03.06.2024	Sulama
13.06.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)	13.06.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)
14.06.2024	Sulama	14.06.2024	Sulama
26.06.2024	Sulama	26.06.2024	Sulama
03.07.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)	03.07.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)
10.07.2024	Sulama	10.07.2024	Sulama
17.07.2024	Sulama	14.07.2024	Sulama
25.07.2024	Sulama	17.07.2024	Sulama
01.08.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)	25.07.2024	Sulama
07.08.2024	Sulama	28.07.2024	Sulama
13.08.2024	Sulama	01.08.2024	Sulama + Fertigasyon (10 mm)
20.08.2024	Sulama	07.08.2024	Sulama
27.08.2024	Sulama	13.08.2024	Sulama
05.09.2024	Sulama	17.08.2024	Sulama
14.09.2024	Sulama	20.08.2024	Sulama
		27.08.2024	Sulama
		01.09.2024	Sulama
		05.09.2024	Sulama
		14.09.2024	Sulama

5.2.8 İstatiksel analizler

Çalışma kapsamında YZ’lerde yapılan uygulamaların verime ve meyve kalitesine olan etkilerini belirlemek için elde edilen verilerin analizinde Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) ve Microsoft Office Excel 2017 programlarından yararlanılmıştır. Normal dağılan verilerde parametrik testlerden ANOVA (tek yönlü varyans analizi) testi uygulanmıştır. Sonuçlar %95 güven aralığı ve 0,05 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir.

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bulgular ve tartışma bölümünde, NDVI temelli yöntemle belirlenen yönetim zonlarında değişken oranlı sulama ve gübreleme uygulamalarından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Aynı zamanda bu bölümde, çalışmada elde edilen sonuçlar ayrıntılı şekilde analiz edilerek yorumlandığı ve literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırıldığı bir yapıda sunulmaktadır. Bu bağlamda, elde edilen veriler hem teorik hem de pratik bir çerçevede değerlendirilmiş ve bulguların tarımsal yönetim uygulamalarına katkıları ortaya konulmuştur. NDVI, uzaktan algılama teknolojilerinin tarımda kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bitki sağlığı, stres durumu ve gelişim farklılıklarının belirlenmesinde etkin bir araç haline gelmiştir. Bu çalışma kapsamında NDVI verileri kullanılarak oluşturulan yönetim zonları, homojen olmayan bitki gelişim bölgelerinin tespitine olanak sağlamış ve bu bölgelerde kaynak kullanım etkinliğini artırmayı amaçlayan değişken oranlı uygulamalar tasarlanmıştır. Böylece, su ve gübre gibi tarımsal girdilerin optimize edilerek kullanılması, hem verimliliğin artırılması hem de çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması bakımından değerlendirilmiştir. Öncelikle farklı yönetim zonlarında izlenen yöntemler ve uygulamalar sonucu su kullanım ve gübre kullanım miktarları, ardından değişken oranlı sulama ve gübreleme uygulamalarının ürün verimi, kalite parametreleri ve bitki gelişim dinamikleri üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçların ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından anlamlılığı tartışılmakta ve çalışma bulgularının mevcut literatürle uyumu değerlendirilmektedir.

6.1 Deneme Yıllarına İklim Özellikleri

Araştırmanın gerçekleştirildiği yıllarda, yetiştirme sezonu boyunca otomatik iklim istasyonundan günlük olarak kaydedilen iklim parametreleri, Çizelge 11.1’de detaylı şekilde sunulmuştur.

Çizelge 6.1’de bulunan 2023 ve 2024 yıllarına ait meteorolojik veriler incelendiğinde, 2024 yılında bazı kritik farklılıklar dikkat çekmektedir. Hava sıcaklıkları 2024’te özellikle Mart ve Nisan aylarında belirgin şekilde artış göstermiştir. Nisan ayında sıcaklık

yaklaşık 5°C artarak 18.93°C'ye ulaşmıştır. Solar radyasyon değerleri 2024 yılında genel bir artış eğilimi sergilemiştir. Nisan ayında yaklaşık %30'luk bir artışla solar radyasyon 321.16 W/m²'ye yükselmiştir. Özellikle Haziran ve Ağustos aylarında bu artış daha da belirgin hale gelmiştir. Nispi nem açısından bakıldığında, 2024 yılında değerlerin genellikle daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, artan buharlaşma oranlarıyla birlikte sulama ihtiyacını yükseltmiştir. Yağış miktarları ise 2024 yılında ciddi bir düşüş göstermiştir. Mart ayında 109.4 mm olan yağış miktarı, 2024'te 61 mm'ye gerilemiştir. Özellikle 2024 yılı Nisan ayında ise yağışlar dramatik bir şekilde azalmış ve sadece 19 mm olarak kaydedilmiştir. Yaz aylarında, özellikle Temmuz ve Ağustos'ta, yağış miktarlarının her iki yılda da oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.1 2023-2024 yılları çalışma alanına ait deneme alanı iklim verileri

2023 Yılı					2024 Yılı			
Aylar	Hava Sıcaklığı (°C)	Solar Radyasyon Wm ⁻²	Nispi Nem (%)	Yağış (mm)	Hava Sıcaklığı (°C)	Solar Radyasyon Wm ⁻²	Nispi Nem (%)	Yağış (mm)
	Ort.	Ort.	Ort.		Ort.	Ort.	Ort.	
Mart	11.63	214.16	70.51	109.4	12.24	228.58	66.29	61
Nisan	13.89	243.47	66.91	145.2	18.93	321.16	51.09	19
Mayıs	24.82	341.81	54.32	32.82	19.57	310.07	55.86	19.2
Haziran	23.27	355.46	63.66	86	28.43	381.68	38.69	0.4
Temmuz	28.87	397.35	38.09	0	29.54	377.87	43.22	2
Ağustos	28.48	341.65	48.63	1.8	28.68	399.32	39.09	1.2
Eylül	25.15	317.25	53.14	28.8	21.87	336.41	64.91	22.43

6.2 Yönetim Zonlarının Belirlenmesi ve Toprak Özellikleri

Yönetim zonlarına ait toprak analiz sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir, hem zonlar arasındaki hem de aynı zon içerisindeki alt bölümlerin (A ve B) farklılıklarını ortaya koyarak hassas tarım uygulamalarının etkinliği açısından önemli veriler sağlanmıştır. VR1, VR2 ve UR olarak belirlenen yönetim zonları, NDVI değerlerindeki varyasyonlar temel alınarak kendi içinde A ve B alt bölümlerine ayrılmıştır. Bu ayrım, aynı yönetim zonu içerisinde bile bitki gelişim potansiyeli, toprak özellikleri ve dolayısıyla sulama ve gübreleme ihtiyaçlarının farklılık gösterebileceğini göstermektedir. Alt bölümlerden alınan toprak örnekleri ve yapılan analizler, NDVI’nın zon içindeki mikro varyasyonları yansıtmada etkili bir araç olduğunu ve bu farklılıkların tarımsal yönetim kararları üzerindeki önemini vurgulamaktadır.

Zonların fiziksel toprak özellikleri, tekstür (kum, kil, silt oranları), tarla kapasitesi, solma noktası ve hacim ağırlığı gibi parametreler üzerinden değerlendirilmiştir. Tekstür analizleri, zonlar ve alt bölümler arasında farklar olduğunu göstermiştir. Örneğin, VR1-B alt toprakta kil oranı %40.62 ile en yüksek seviyede bulunurken, aynı zonun üst toprağında bu oran %37.05 olarak ölçülmüştür. UR-2 üst toprakta %42.69 ile kum oranının en yüksek değer olarak bulunmuştur. Silt oranı açısından ise VR2-B alt toprakta %24.89 ile düşük bir değer ölçülmüş, buna karşın VR1-A alt toprak %26.19 ile daha dengeli bir dağılım sergilemiştir.

Tarla kapasitesi değerleride, zonlar ve alt bölümler arasında önemli farklılıklar göstermiştir. VR2A üst toprak, %26.21 ile en yüksek tarla kapasitesine sahipken, bu değer UR2 alt toprakta %19.24 ile en düşük seviyede kalmıştır. Benzer şekilde, solma noktası değerleri kil içeriği ile uyumlu bir şekilde değişim göstermiştir. VR1A üst toprak %15.92 ile en yüksek solma noktasına sahipken, UR2 üst toprak %12.04 ile en düşük değeri göstermiştir. Bu farklılıklar, zonlar arasındaki su tutma kapasitesindeki varyasyonları açıkça ortaya koymaktadır. Hacim ağırlığı değerleri ise tüm zonlarda 1.24 g/cm³ ile 1.44 g/cm³ arasında değişmiştir.

Çizelge 6.2 Yönetim zonları belirlenmeden önce araştırma alanına ait toprak özellikleri

Zonlar	VR1A		VR1B		VR2A		VR2B		UR1		UR2	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Kum %	37.7 5	35.31	34.8 0	34.49	35.8 6	39.10	40.2 2	41.69	40.6 9	36.79	42.6 9	36.79
Silt %	25.2 0	26.19	25.5 3	24.89	29.3 1	23.14	22.9 6	22.16	24.8 5	24.53	22.8 1	24.53
Kil %	37.0 5	38.50	39.6 6	40.62	34.8 3	37.76	36.8 2	36.15	34.4 6	38.68	34.5 0	38.68
Organik Madde (%)	3.63	2.14	2.64	1.83	2.97	1.09	2.11	1.46	2.44	1.27	2.24	1.77
Tarla Kapasitesi	25.1 7	22.29	26.2 1	22.64	25.5 5	22.16	25.8 5	20.16	20.7 8	19.99	22.7 5	19.24
Solma Noktası	15.9 2	15.73	15.5 2	15.66	14.6 6	16.06	14.1 4	13.80	12.0 4	9.91	12.0 4	13.05
Hacim Ağırlığı (gr cm ⁻³)	1.28	1.24	1.32	1.28	1.34	1.25	1.30	1.27	1.44	1.25	1.36	1.26
Toplam N %	0.19	0.14	0.19	0.14	0.16	0.15	0.17	0.11	0.17	0.14	0.18	0.15
P (mg/kg)	68.1 2	11.39	89.3 4	40.22	41.9 4	18.13	54.5 6	15.05	69.7 6	25.87	68.2 6	10.96
K (mg/kg)	703	379	345	291	302	241	379	195	599	379	530	312
Ca (mg/kg)	7685	8125	6250	7735	6670	7440	5890	6790	6420	6400	6535	5965
Mg (mg/kg)	685	355	580	665	1030	900	480	585	725	410	625	505
Fe (mg/kg)	7.90	6.82	7.34	6.54	5.78	5.40	7.22	5.78	9.36	5.64	7.12	5.82
Zn (mg/kg)	4.72	0.46	8.58	1.50	2.40	1.03	2.50	0.58	5.18	2.20	5.60	0.84
Mn (mg/kg)	7.70	6.80	6.72	9.88	8.34	9.32	7.18	9.44	12.5 2	7.20	11.3 4	9.42
Cu (mg/kg)	11.9 8	3.24	9.76	3.34	9.72	3.62	7.18	2.22	10.0 2	7.40	10.6 0	1.94
pH	7.76	7.78	7.68	7.71	7.84	7.84	7.74	7.73	7.77	7.78	7.84	7.84
EC (dSm ⁻¹)	0.52	0.54	0.47	0.53	0.46	0.55	0.44	0.50	0.52	0.51	0.43	0.43
Kireç %	3.80	10.80	2.80	4.10	2.50	5.10	1.60	1.60	2.10	1.75	2.68	1.72

Zonlar arasındaki kimyasal farklılıklar, özellikle organik madde, fosfor (P), potasyum (K) ve diğer besin elementleri açısından belirgin olmuştur. Organik madde içeriği, VR1A üst toprakta %3.63 ile en yüksek seviyede bulunmuş, VR2B alt toprakta %1.09 ile en düşük seviyeye gerilemiştir. Bu durum, VR1 zonunun daha yüksek biyolojik aktiviteye ve daha iyi organik madde birikimine sahip olduğunu göstermektedir. Organik madde içeriğindeki bu farklılıklar, zonlar arasındaki farklı gübreleme stratejilerinin olmasına olanak sağlayacaktır.

Fosfor konsantrasyonu, hassas tarım uygulamaları açısından önemli bir gösterge olmuştur. VR2-A üst toprak, 89.34 mg/kg fosfor içeriği ile en yüksek seviyede bulunmuş,

UR-2 alt toprak ise 10.96 mg/kg ile en düşük değere ulaşmıştır. Benzer şekilde, potasyum (K) konsantrasyonu da zonlar arasında farklılık göstermiştir. VR1-A üst toprak, 703.05 mg/kg potasyum içeriği ile en yüksek değeri gösterirken, VR2-B alt toprak 195.91 mg/kg ile en düşük seviyeye ulaşmıştır.

Mikro element analizleri, çinko (Zn), mangan (Mn), bakır (Cu) gibi besin elementleri zonlar arasında farklılıklar göstermiştir. VR2-A üst toprak, 8.58 mg/kg çinko içeriği ile en yüksek seviyede bulunmuş, UR-2 alt toprak ise 0.84 mg/kg ile en düşük seviyeye sahip olmuştur. Benzer şekilde, bakır (Cu) konsantrasyonu VR1-A üst toprakta 11.98 mg/kg ile yüksek bir değere ulaşmış, VR2-B alt toprakta 2.22 mg/kg seviyesine düşmüştür.

Toprak pH değerleri tüm zonlarda nötr seviyede bulunmuş, 7.68 ile 7.84 arasında değişim göstermiştir. Kireç içeriği ise zonlar arasında önemli farklılıklar göstermiştir. VR1B alt toprak %10.80 ile en yüksek kireç içeriğine sahipken, UR2 üst toprak %1.60 ile en düşük seviyede bulunmuştur. Elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, tüm zonlarda 0.43 dSm⁻¹ ile 0.55 dSm⁻¹ arasında değişmiş ve toprakların tuzluluk açısından herhangi bir problem teşkil etmediği belirlenmiştir.



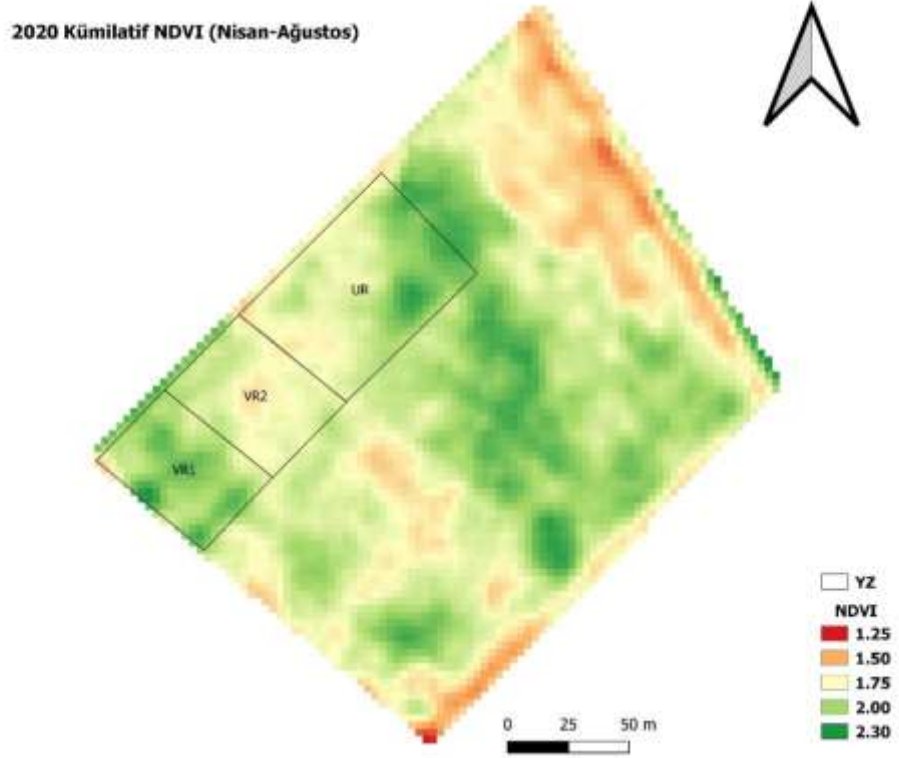
Şekil 6.1 Yönetim zonlarına ait genel toprak profilleri

Şekil 6.1’de verilen toprak profil fotoğrafları, zonlar arasındaki özellikle taşlılık açısından fiziksel farklılıkların tarımsal yönetim açısından aynı olamayacağını ortaya koymuştur. VR1 zonlu, homojen horizon yapısı ve VR2’ye oranla daha az taşsız özellikleri ile kök gelişimini destekleyen uygun yapı olarak değerlendirilmiştir. VR2 zonlu, diğer zonlara göre daha taşlı horizonları ile drenajın hızlandığı ve kök gelişiminin sınırlandığı bir yapı sergilemektedir. Bu durum, VR2’nin daha sık sulama gerektiren bir zon olmasını açıklamaktadır. UR zonlu, taşsız bir yapıya sahip olmakla birlikte, fiziksel özellikler açısından VR1,VR2’ye kıyasla daha ideal bir biriki yetiştirme ortamı sunmamaktadır.

Çizelge 6.3 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait alansal NDVI ortalamaları (Nisan-Ağustos kümülatif)

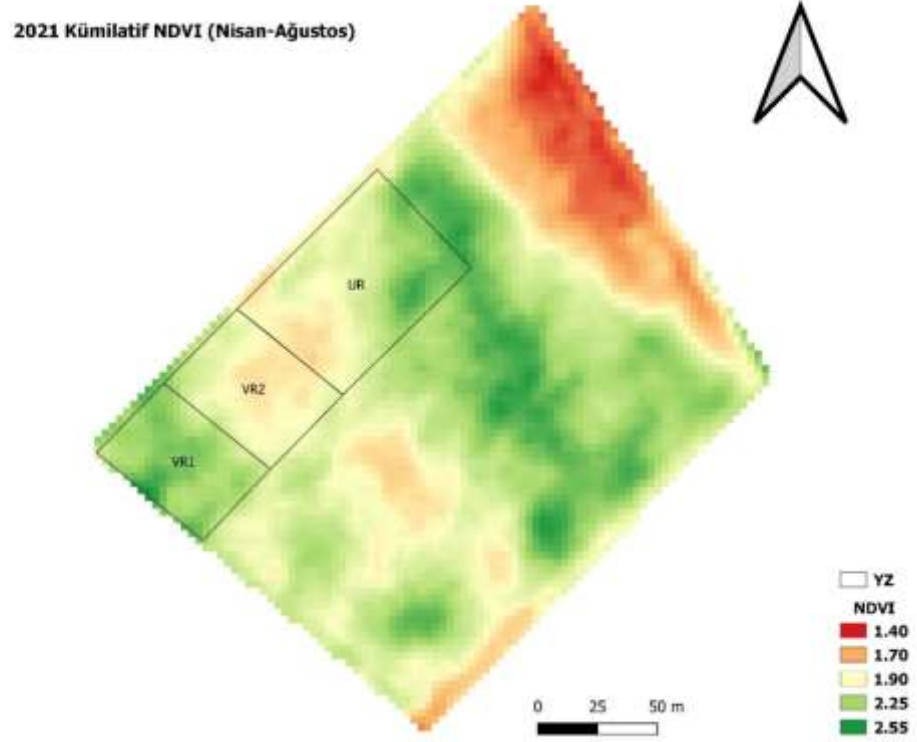
Yönetim Zonları	Yıllar		
	2020	2021	2022
VR1	2.10	2.25	3.27
VR2	1.75	1.85	3.00
UR	1.92	2.09	3.19

2020-2022 yıllarına ait kümülatif Çizelge 6.3’te verilmiştir. Yukarıda verilen veriler, değişken oranlı uygulamalara geçilmeden önceki döneme ait olup, alanın mevcut durumunu değerlendirme ve zon ayrımlarını yapma açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle VR1 ve VR2 olarak ayrılan zonlar, bitki gelişiminde gözlemlenen heterojenlikler temel alınarak belirlenmiştir.



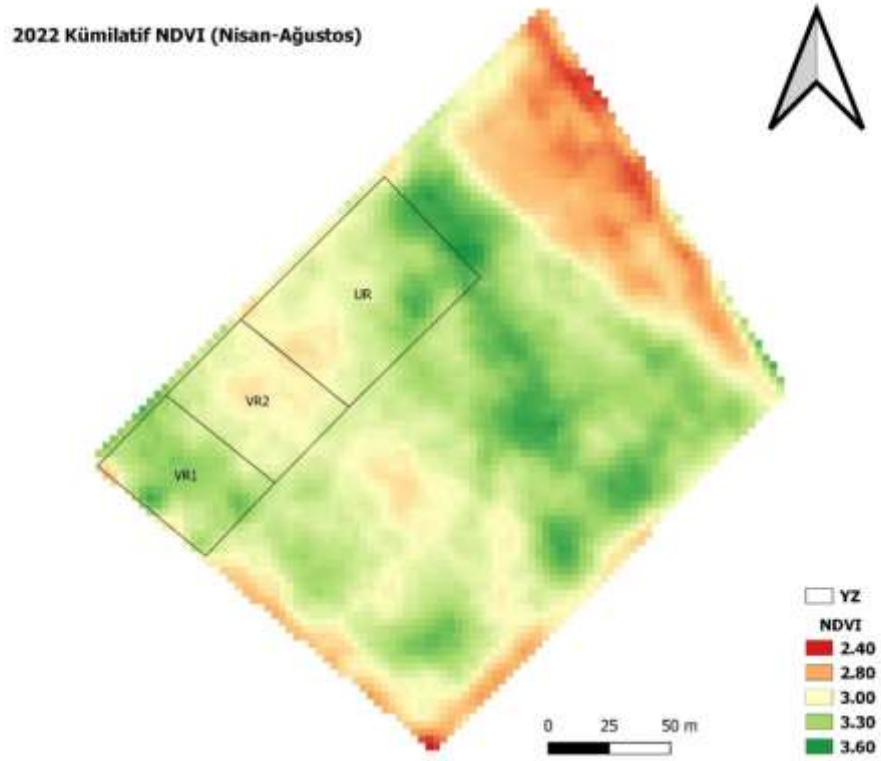
Şekil 6.2 2020 Kümülatif NDVI (Nisan-Ağustos)

2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait alansal NDVI ortalamaları (Çizelge 6.3) zonların bitki gelişim potansiyelindeki farklılıkları net bir şekilde göstermektedir. VR1 zonu, her üç yılda da yüksek NDVI değerleri (2020: 2.10, 2021: 2.25, 2022: 3.27) sergileyerek bitki sağlığı açısından en avantajlı zon olarak öne çıkmıştır. Buna karşılık, VR2 zonu 2020 yılında en düşük NDVI ortalamasına (1.75) sahiptir. UR zonu, VR1 ve VR2 arasında bir performans göstermiş ve genel çiftçi uygulamalarını yansıtan bir zon olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.3 2021 Kümülatif NDVI (Nisan-Ağustos)

NDVI haritaları (Şekil 6.2-6.4), bu farklılıkları görsel olarak desteklemektedir. 2020 yılına ait NDVI haritasında (Şekil 6.2), VR1 zonu yoğun yeşil renklerle temsil edilirken, VR2 zonunda sarı ve açık yeşil tonların baskın olduğu görülmektedir. VR1, genel performans açısından üstünlüğünü korumuştur.



Şekil 6.4 2022 Kümülatif NDVI (Nisan-Ağustos)

Yönetim zonlarının VR1 ve VR2 olarak ayrılmasının temel gerekçesi, NDVI verilerinin bitki gelişimi ve toprak özelliklerindeki heterojenlikleri açıkça ortaya koymasıdır. VR1 zonu, yüksek NDVI değerleriyle homojen bir yapıya ve güçlü bir bitki gelişim potansiyeline sahip olduğunu kanıtlamıştır. Bu zonu yüksek performansı, organik madde içeriği, su tutma kapasitesi ve besin elementleri açısından avantajlı bir yapıya sahip olmasıyla ilişkilendirilmektedir. Buna karşılık, VR2 zonu, 2020-2022 yılları arasında sürekli olarak daha düşük NDVI değerleri sergileyerek zayıf bir bitki gelişim potansiyeli göstermiştir. VR2'nin taşlı yapıya sahip olması, düşük organik madde içeriği ve sınırlı su tutma kapasitesi, bu zonu dezavantajlı bir konumda olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanının heterojen olmayan taşlılık özelliği, suyun toprak içinde hareketini ve tutulmasını önemli ölçüde etkileyen kritik bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Gaspar ve Izquierdo (2013) taşlılığın su dinamiklerini önemli ölçüde etkilediğini ve bu durumun, özellikle Akdeniz topraklarında nemin homojen olarak değil, heterojen dağılımına yol açabileceğini belirtmiştir. Sulama suyunun homojen dağılımı özellikle verimli su

kullanımının çok önemli olduğu bahçecilik uygulamaları için önem arz emektedir. Taşların varlığı heterojen bir toprak ortamı oluşturarak eşit olmayan nem dağılımına yol açar ve potansiyel olarak bitkilerde lokal kuraklık stresine neden olur. Benzer şekilde, alışmamızda VR2 zonunda gözlemlenen yoğun taşlı horizon (şekil 6.1), suyun homojen bir şekilde tutulmasını engelleyerek kök bölgelerinde lokal kuraklık stresine neden olduğu aynı zamanda VR2 zonuna ait NDVI değerlerinin diğer YZ lere göre düşük olduğu (izelge 6.3) ve üretim szonu boyunca daha fazla sulama yapılması toprak özelliklerine göre bitkinin vejetasyon gelişimine göre hassas tarım uygulaması yapılmasının kanıtıdır. Bununla birlikte Reinhardt vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, taşlılığın biyolojik verim potansiyeli üzerinde sınırlı bir etkisi olsa da, küçük ölçekli çiftçiler için çok önemli olan toprak işleme ve toprak yönetimi uygulamalarını zorlaştırabileceği belirtilmiştir.

NDVI, bitki sağlığını ve tarımsal alanlardaki mekansal farklılıkları belirlemede etkili bir aracıdır. Georgi vd. (2017) fuzzy clustering yönteminin NDVI verileriyle birleştirilerek zon bazlı yönetim stratejilerinin tasarlanmasında kullanılabileceğini vurguladığı bulguları, bu çalışmamızın yöntemsel temelini oluşturmuştur. Proje alanında, VR1 zonu daha yüksek NDVI değerleri (2023: 3.27) sergilediği ve bu zonu organik madde oranının (%3.14) ve su tutma kapasitesinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (izelge 6.2). Buna karşın, VR2 zonunda VR1' enispeten düşük NDVI değerleri (2023: 3.00) ile taşlı horizonların ve düşük organik madde oranının (%2.11) etkileri net bir şekilde ortaya konmuştur. NDVI verilerinin, toprak özelliklerini tamamlayan bir ölçüt olarak kullanılması, zon bazlı tarımsal uygulamaları optimize etmede etkili bir araç sunmaktadır. Serrano vd. (2023) yapmış olduğu çalışmada NDVI'nin bahçe bitkilerinde özellikle bağcılıkta karar destek sistemlerine entegrasyonundaki önemini vurgulamıştır. Serrano vd. (2023), NDVI'nin bağ alanlarındaki mekânsal heterojenliği tanımlamada ve zon bazlı yönetim uygulamalarını optimize etmede başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmada, NDVI yardımıyla belirlenen yönetim zonlarının, sulama ve gübreleme gibi uygulamalarda daha hassas bir planlama yapılmasını sağladığı, bu sayede hem kaynak kullanımının optimize edildiği hem de çevresel etkilerin azaltıldığı belirtilmiştir.

Sulama uygulamalarında ise, taşlı toprakların nem dağılımını zorlaştırması, çalışma alanında da kullanıldığı üzere damla sulama sistemlerinin entegrasyonu ile kısmen ortadan kaldırılmıştır. Thakur vd. (2018) damla sulama sistemlerinin suyun doğrudan kök bölgesine iletilmesindeki etkisini vurgulamıştır. Özellikle VR2 zonu gibi toprak özelliğine sahip bölgelerde, bu tekniklerin kullanılması, taşlı horizonlardan kaynaklanan kayıpların azalmasına katkı sağlamıştır. Gübreleme stratejileri açısından, toprak özellikleri ve taşlılık besin maddelerinin toprakta homojen bir şekilde dağılmasını engelleyebilir. Riaz vd. (2018), organik madde miktarının toprak yapısını iyileştirerek besin alımını artırdığını vurgulamıştır. Araştırma alanında da benzer şekilde, VR2 zonunda düşük organik madde oranı ve temel toprak yapısı itibari ile gübreleme etkinliğinin sınırlı olduğu gözlemlenmiş ve daha hassas bir yönetim stratejisi uygulanması ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışma, NDVI verileri ve toprak özelliklerinin entegrasyonu ile hassas tarım stratejilerinin etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir. Ancak, elde edilen bulguların diğer iklim ve toprak tiplerine genellenebilirliği sınırlıdır. Coelho vd. (2021) belirttiği gibi, taşlı horizonların uzun vadeli etkilerinin ve NDVI tabanlı yönetim stratejilerinin ekonomik uygulanabilirliğinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Gelecekte yapılacak olan araştırmalar, özellikle taşlılık oranı yüksek toprakların detaylı mekansal analizi ve zon bazlı uygulama stratejilerinin daha uzun vadeli etkilerinin araştırılmasını içermelidir. Ayrıca, NDVI'nin drone ve İHA tabanlı çok bantlı görüntüleme gibi daha yüksek çözünürlükteki teknolojilerle entegrasyonu, tarımsal yönetim stratejilerinin daha da optimize edilmesine katkı sağlayabilir. Bunun yanı sıra, taşlı horizonların uzun vadeli etkilerini ele alan arazi denemeleri, mevcut bulguların sürdürülebilir tarım uygulamalarına entegrasyonunu kolaylaştırabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, toprak özellikleri ve NDVI verilerinin entegre edildiği hassas tarım uygulamalarının, tarımsal verimlilik ve kaynak kullanım etkinliği üzerinde çok yönlü katkılar sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

6.3 Yönetim Zonu Bazlı Sulama

Bu bölümde, VR1 ve VR2 zonlarında 2023 ve 2024 yıllarına ait sulama ve nem değişim verileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sulama, yağış ve nem dinamikleri arasındaki etkileşim, zonların toprak özelliklerine ve yıllık farklılıklara bağlı olarak analiz edilmiştir. Çalışmada tarla kapasitesi (TK) ve solma noktası (SN) referans değerleri, toprak analiz sonuçları temel alınarak nem seviyelerinin sulama ve yağış ile nasıl değişim gösterdiği değerlendirilmiştir. Özellikle VR1 zonunun daha yüksek organik madde içeriği ve su tutma kapasitesi sayesinde daha stabil nem seviyelerine sahip olduğu; buna karşın, VR2 zonunda düşük organik madde oranı ve taşlılık gibi toprak özelliklerinin nem seviyesindeki dalgalanmalara neden olduğu tespit edilmiştir.

6.3.1 Sulama uygulamaları

Çalışma alanında 2023 ve 2024 yıllarında gerçekleştirilen sulama uygulamalarına ait veriler analiz edilerek, sulama zamanları, miktarları ve yıllar arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir. Sulama uygulamalarının VR1 ve VR2 yönetim zonlarına göre karşılaştırılması yapılmış, sulama zamanlamaları ve toplam su miktarları Çizelge 6.4'te incelenmiştir.

2023 yılında ilk sulama 9 Mayıs tarihinde gerçekleştirilmiş olup, bu tarihte VR1 zonuna 16.0 mm, VR2 zonuna ise 9.1 mm su uygulanmıştır. Buna karşılık 2024 yılında sulama uygulamaları daha erken bir tarihte, 15 Nisan itibarıyla başlatılmış ve VR1'e 23.13 mm, VR2'ye 21.25 mm su uygulanmıştır. İklimsel olarak erken başlayan sıcaklık artışlarından dolayı, 2024 yılında sulama sezonunun 2023'e kıyasla yaklaşık bir ay erken başladığını göstermektedir.

Çizelge 6.4 Yönetim zonlarına ait sulama suyu miktarı (mm)

Sulama Suyu Miktarı(mm)							
2023 Yılı				2024 Yılı			
Sulama Tarihleri	VR1	Sulama Tarihleri	VR2	Sulama Tarihleri	VR1	Sulama Tarihleri	VR2
9.05.2023	-	9.05.2023	9.10	15.04.2024	23.13	15.04.2024	21.25
12.05.2023	16.00	12.05.2023	5.67	26.04.2024	11.14	26.04.2024	17.29
16.05.2023	18.21	16.05.2023	13.06	02.05.2024	10.35	02.05.2024	9.90
22.05.2023	9.23	22.05.2023	10.42	12.05.2024	21.60	12.05.2024	5.41
26.05.2023	22.94	26.05.2023	6.73	20.05.2024	20.52	20.05.2024	8.97
01.06.2023	24.60	01.06.2023	22.04	03.06.2024	24.64	03.06.2024	13.86
16.06.2023	21.36	16.06.2023	15.57	14.06.2024	26.68	14.06.2024	26.79
22.06.2023	22.61	22.06.2023	4.75	26.06.2024	31.76	26.06.2024	38.41
02.07.2023	23.34	02.07.2023	32.91	03.07.2024	26.89	03.07.2024	36.20
12.07.2023	32.90	12.07.2023	36.47	10.07.2024	35.34	10.07.2024	38.00
23.07.2023	28.90	17.07.2023	28.85	17.07.2024	35.12	14.07.2024	32.04
02.08.2023	23.81	23.07.2023	39.44	25.07.2024	33.84	17.07.2024	33.00
15.08.2023	29.70	02.08.2023	36.08	01.08.2024	37.37	25.07.2024	29.00
23.08.2023	29.31	10.08.2023	28.91	07.08.2024	30.73	28.07.2024	32.51
02.09.2023	24.20	15.08.2023	36.59	13.08.2024	35.12	01.08.2024	33.00
12.09.2023	28.20	23.08.2023	35.58	20.08.2024	35.59	07.08.2024	35.10
		02.09.2023	35.87	27.08.2024	36.64	13.08.2024	30.70
		07.09.2023	19.65	05.09.2024	29.50	17.08.2024	43.86
		12.09.2023	32.91	14.09.2024	34.34	20.08.2024	26.20
Toplam	355		451			27.08.2024	27.20
						01.09.2024	36.40
						05.09.2024	26.20
						14.09.2024	34.60
				Toplam	540		636

2023 yılında VR1 zonunda toplam 15 sulama, VR2 zonunda ise 19 sulama gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık, 2024 yılında VR1’de 19 sulama, VR2’de ise 23 sulama yapılmıştır. Sulama sayısındaki bu artış, 2024 yılındaki iklim koşullarına bağlı olarak artan su ihtiyacına işaret etmektedir. 2023 yılında VR1 zonunda toplam 355 mm sulama suyu uygulanırken, VR2 zonunda 451 mm su kullanılmıştır. 2024 yılında ise sulama miktarları her iki zon için de belirgin şekilde artmıştır. VR1 zonunda toplam 540 mm, VR2 zonunda ise 636 mm su uygulanmıştır. 2024 yılında sulama miktarlarındaki artış,

artan sıcaklık ve yağış rejimindeki değişiklikler ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir.

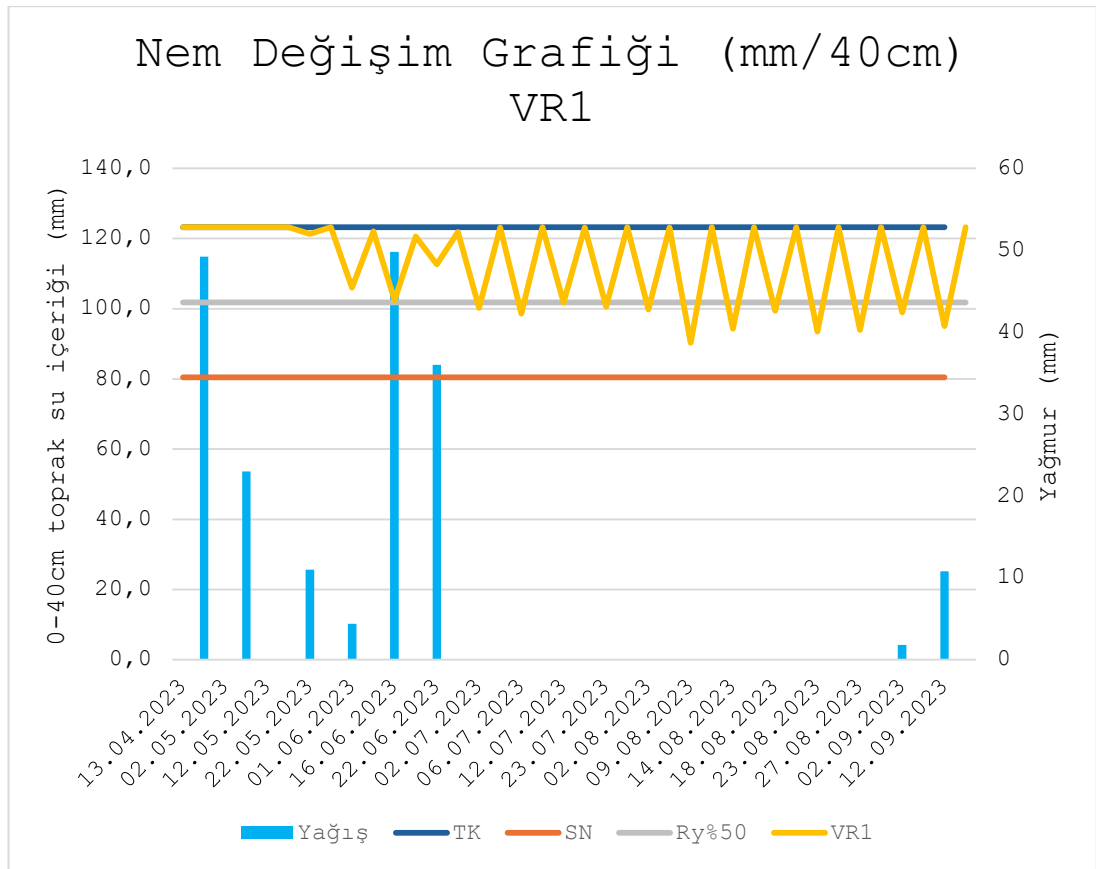
Sulama miktarları açısından VR1 ve VR2 zonları kıyaslandığında, her iki yılda da VR2 zonunda daha fazla su uygulanmıştır. 2023 yılında VR2'ye uygulanan toplam su miktarı VR1'e kıyasla %27 daha fazla iken, 2024 yılında bu oran %18'e düşmüştür.

Her iki yıl incelendiğinde, sulama uygulamalarının özellikle Haziran-Ağustos aylarında yoğunlaştığı görülmektedir. Temmuz ayında sulama miktarı VR1'de 85.24 mm, VR2'de 98.23 mm'ye ulaşmıştır. 2024 yılında da benzer bir trend gözlemlenmiş olup, sulama miktarlarının Haziran ve Temmuz aylarında en yüksek seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. 2024 yılı, 2023 yılına kıyasla daha erken bir sulama başlangıcı, daha yüksek toplam sulama miktarları ve daha sık sulama periyotları ile karakterize edilmiştir. Sulama sıklığı ve miktarlardaki görülen bu değişim, artan su ihtiyacı ve olası iklimsel değişkenliklerle ilişkili olduğu gözükmemektedir. Özellikle 2024 yılında sulama miktarlarındaki genel artış, su yönetiminin daha yoğun ve kontrollü bir şekilde yapılmasını gerektirmiştir. VR1 ve VR2 zonları arasındaki sulama farkı her iki yılda da belirgin olmakla birlikte, VR2 zonunda taşlı toprak yapısının su tutma kapasitesini düşürmesi nedeniyle daha fazla sulama ihtiyacı duyulmuştur. Genel olarak, VR2 zonunda daha fazla sulama suyu uygulanmıştır.

6.3.2 Toprak nem içeriği

Su yönetimi, hassas tarım uygulamalarında temel bir bileşen olup, zon bazlı sulama stratejilerinin etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır. Sulama zonlarına ait 0-40 cm derinliğinden gravimetrik ölçümle elde edilen toprakların 2023 yılının nem değişim grafikleri Şekil 6.5-6.8'de verilmiştir. 2023 üretim yılı VR1 ve VR2 yönetim zonlarında gerçekleştirilen sulama uygulamaları ve toprak nem değişimleri incelenerek, iki bölge arasındaki farklılıklar belirlenmiştir. Her iki zonda da nem seviyeleri, tarla kapasitesi (TK) ve solma noktası (SN) değerleriyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

VR1 zonunda ilk sulama 9 Mayıs 2023 tarihinde gerçekleştirilmiş olup, sezon boyunca toplam 355 mm sulama uygulanmıştır (Çizelge 6.4). Sulama periyotları incelendiğinde, özellikle yaz aylarında artan su ihtiyacına bağlı olarak sulama sıklığının arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, VR1’de yağış katkısının özellikle ilkbahar aylarında belirgin olduğu, ancak Temmuz ve Ağustos aylarında yağış miktarının azaldığı ve sulamaya bağımlılığın arttığı tespit edilmiştir.

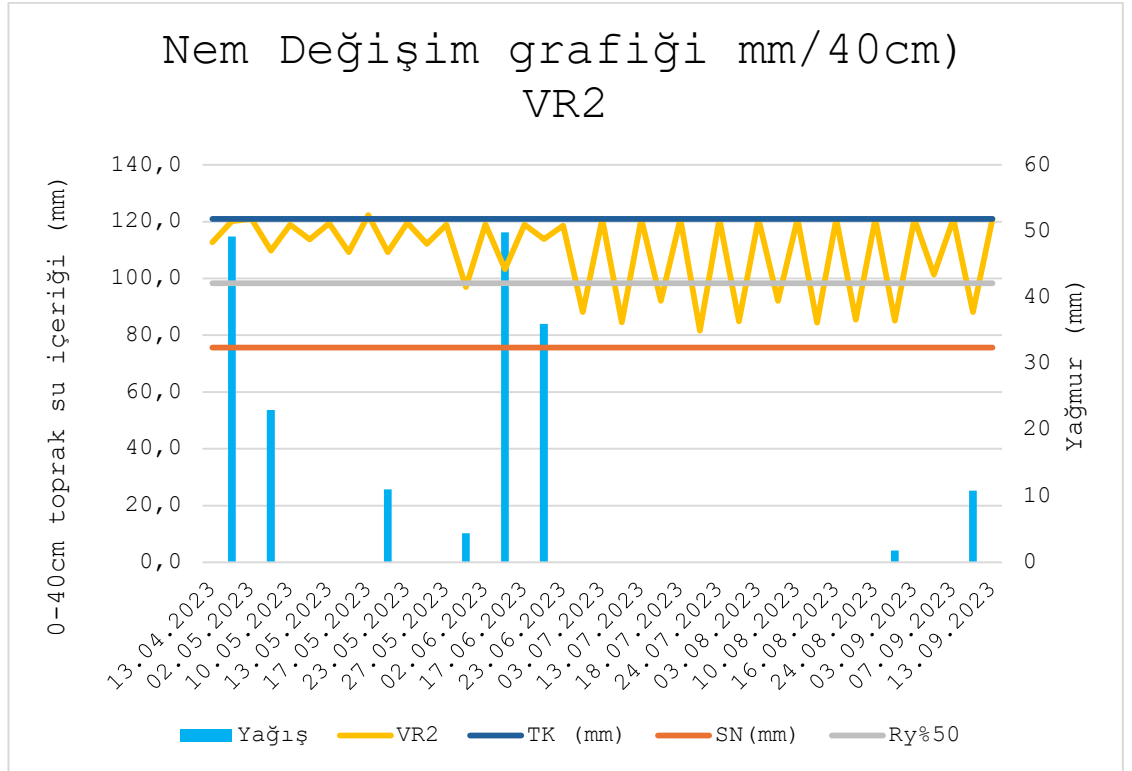


Şekil 6.5 2023 yılına ait topraktaki nem değişimi (VR1)

Şekil 6.5’te verilen nem değişim eğrisi incelendiğinde, VR1 zonunda sulama sonrası nem seviyesinin belirli bir süre boyunca yüksek kaldığı ve yavaş bir azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, VR1 toprak yapısının su tutma kapasitesinin yüksek olduğuna işaret etmektedir. Toprak nem içeriği, tarla kapasitesi (123.2 mm/40 cm) ve solma noktası (80.4 mm/40 cm) referans değerleri arasında değişim göstermiştir. Sulama sonrası nem

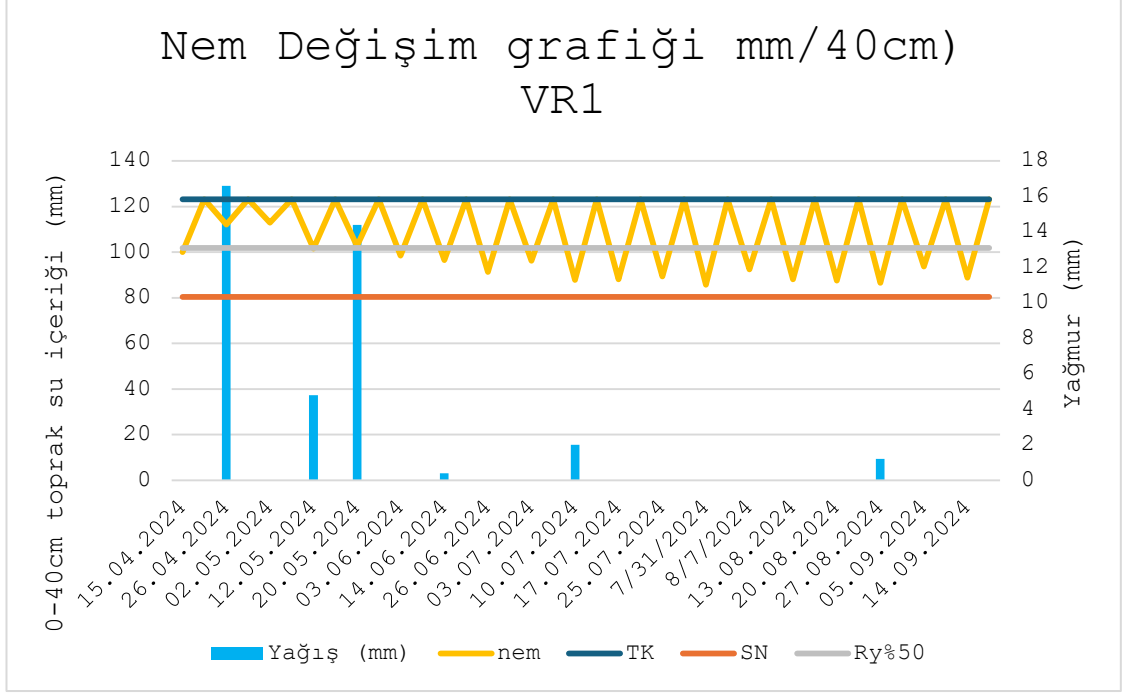
seviyesi, genellikle TK'ya yakın seyretmiş ve sulamalar arasında belirli bir stabilite korunmaya çalışılmıştır.

VR2’de nem değişimi, VR1'e kıyasla daha büyük dalgalanmalar göstermiştir. Özellikle sulama sonrası nem içeriğinin hızlı bir şekilde düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, toprak yapısının suyu tutma kapasitesinin düşük olduğunu ve VR2 zonuna ait genel toprak profilinin daha taşlı bir yapıya sahip olması suyun toprak profili boyunca daha hızlı hareket ettiğini göstermektedir. Ayrıca, VR2’de nem içeriğinin solma noktasına (SN: 75.7 mm/40 cm) daha sık yaklaştığı ve bu nedenle sulama ihtiyacının daha sık ortaya çıktığı belirlenmiştir (Şekil 6.6).



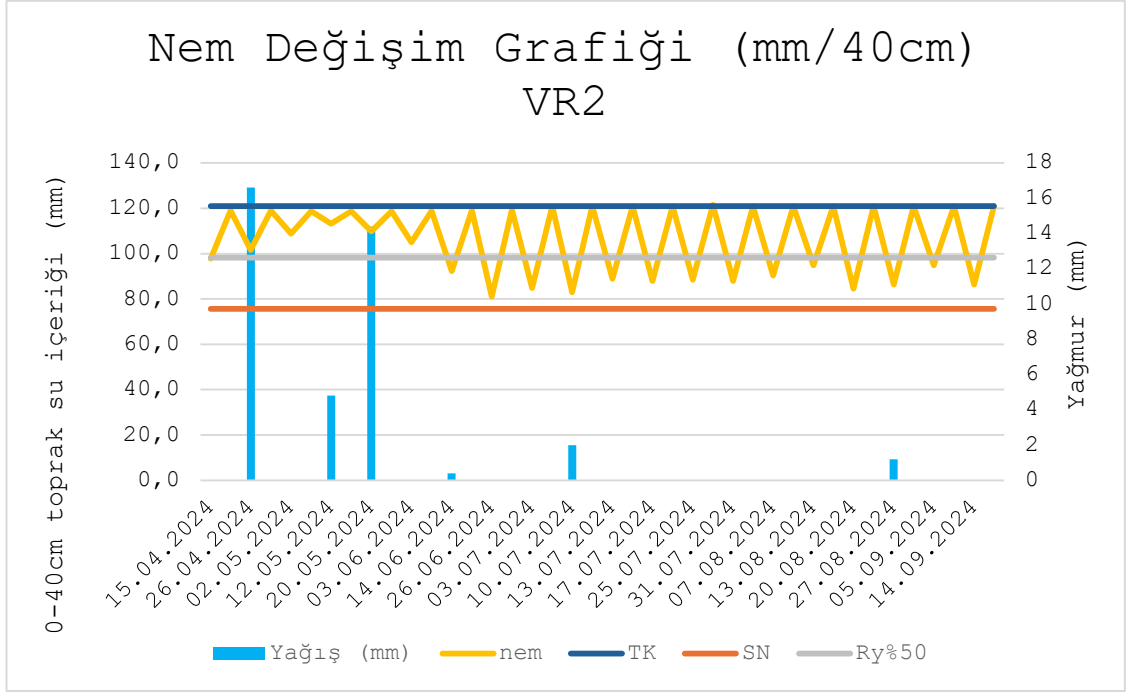
Şekil 6.6 2023 yılına ait topraktaki nem değişimi (VR2)

2024 yılına ait VR1 ve VR2 nem değişim grafiklerinde, sulama ve yağış olaylarının toprak nem seviyesi üzerindeki etkileri belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu etkiler, VR2'nin daha fazla sulama ihtiyacı duyduğunu ve bu bölgedeki su yönetiminin daha dikkatli yapılması gerektiğini göstermektedir (Şekil 6.7-6.8).



Şekil 6.7 2024 yılına ait topraktaki nem değişimi (VR1)

Nem değişim grafikleri incelendiğinde, VR1 bölgesinde sulama sonrası nem seviyesinin belirli bir stabilitede kaldığı (Şekil 6.7), ancak VR2’de nem seviyesinin daha hızlı dalgalandığı gözlemlenmiştir. Bu dalgalanmalar, VR2 bölgesindeki taşlı horizonların ve toprak yapısının su tutma kapasitesini sınırlayarak daha sık sulama gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 03 Temmuz 2024 ve 10 Temmuz 2024 tarihlerinde VR2 bölgesinde sulama yapılmasına rağmen nem seviyesinin hızla düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun aksine, VR1 bölgesinde benzer tarihlerde sulama suyu uygulanmış, ancak toprak nem seviyesi daha stabil bir seyir izlemiştir.



Şekil 6.8 2024 yılına ait topraktaki nem değişimi (VR2)

6.3.3 Bitki su tüketimi

Denemede bitki su tüketiminin hesaplanmasında toprak su dengesi eşitliğinden yararlanılmıştır. 2023 yılı boyunca VR1 ve VR2 yönetim zonlarına ait bitki su tüketimi (ET) değerleri, sulama suyu uygulamaları, yağış katkısı (R), dönem başı ve dönem sonu toprak nem içerikleri gibi temel değişkenler kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.5). Toprak su bütçesi eşitliğinde ΔS hesabı son nemden ilk nemin çıkarılması ile hesaplanmıştır. Yüzey akış (RF) hesaplanmasında etkili yağış hesaplanarak bulunmuştur. 2023 yılında VR1 zonuna toplam 355 mm sulama suyu uygulanırken, VR2 zonunda bu miktar 451 mm olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 6.5'te görüldüğü üzere VR2'nin daha fazla sulama gereksinimi duyduğunu, bunun muhtemel nedenlerinin ise toprak yapısı, taşlılık oranı ve su tutma kapasitesi ile ilişkili olduğunu gözlemlenmektedir.

Çizelge 6.5 2023 yılına ait bitki su tüketimi değerleri (mm)

Yönetim Zonları	Sulama suyu	R	ΔS	RF	BİTKİ SU TÜKETİMİ $ET_a = I+R+-DS-RF$
VR1	355	186.0	-29.7	0.0	570
VR2	451	186.0	-24.6	4.7	657

ET hesaplamalarına göre, 2023 yılı boyunca VR1 zonundaki toplam bitki su tüketimi 570 mm, VR2 zonunda ise 657 mm olarak belirlenmiştir. VR2'nin VR1'e kıyasla %15,3 daha fazla su tüketmesi, bu zonun su tutma kapasitesinin daha düşük olmasıyla açıklanabilmektedir. Özellikle VR2'de gözlemlenen yüksek taşlılık oranı ve suyun toprak profili boyunca daha hızlı infiltrasyon olması, suyun bitki tarafından daha az etkin kullanıldığı anlamına taşımaktadır.

Çizelge 6.6 2024 yılına ait bitki su tüketimi değerleri (mm)

Konular	Sulama suyu	R	ΔS	BİTKİ SU TÜKETİMİ, $ET_a = I+R+-DS-RF$
VR1	540.2	39.4	-11.3	591
VR2	635.9	39.4	-11.4	687

2024 yılı için VR1 ve VR2 yönetim zonlarında gerçekleştirilen sulama uygulamaları, toprak nem değişimi ve toplam bitki su tüketimi (ET) değerleri Çizelge 6.6'da verilmiştir. 2024 yılında bitki su tüketimi hesabı yapılırken yüzey akış ve derine sızma gerçekleşmediğinden, bu parametreler sıfır olarak kabul edilmiştir. VR1 zonunda, toplam 540.2 mm sulama suyu uygulanmış olup, toplam bitki su tüketimi 591 mm olarak bulunmuştur. VR2 zonunda ise sulama miktarı 635.9 mm olup, bu zonun toplam bitki su tüketimi 687 mm olarak hesaplanmıştır. Değerlere bakıldığında, VR2'nin bitki su tüketiminin VR1'e göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.

6.3.4 Sulama suyu üretkenlikleri (WPI)

Sulama suyu üretkenliği (WPI), 2023 yılı verileri Çizelge 6.7’de verilmiştir. VR1 zonunda toplam 355 mm sulama suyu uygulanmış ve bu zonun toplam verimi 1197.90 kg/YZ olarak kaydedilmiştir. Buna bağlı olarak, VR1 için hesaplanan WPI değeri 3.37 kg/m³’tür. VR2 zonunda ise sulama miktarı 451 mm ve verimi 974.85 kg/YZ olarak kaydedilmiştir. VR2’nin su kullanım etkinliği 2.16 kg/m³ olarak hesaplanmış olup, bu değer VR1’e göre %35 daha düşüktür. Çiftçi uygulaması olan UR zonunda ise en yüksek sulama miktarı uygulanmış (696.2 mm) olmasına rağmen toplam verim 1190.70 kg/YZ ile VR1’e oldukça yakın bir seviyede kalmıştır. Ancak, bu zonun WPI değeri 1.71 kg/m³ olarak belirlenmiş olup, VR1’e kıyasla %49 oranında daha düşük su kullanım etkinliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.7 2023 yılına ait WPI değerleri

Yönetim Zonları	Sulama Suyu Miktarı (mm)	Verim (kg/YZ)	WPI (kg/m ³)
VR1	355	1197.90	3.37
VR2	451	974.85	2.16
UR	696	1190.70	1.71

2024 yılına ait sulama suyu üretkenliği (WPI) verileri Çizelge 6.8’de verilmiştir. VR1 yönetim zonunda toplam 540 mm sulama suyu uygulanmış ve bu zonun toplam verimi 339.5 kg/YZ olarak kaydedilmiştir. Buna bağlı olarak, VR1 için hesaplanan WPI değeri 0.63 kg/m³’tür. VR2 zonunda toplam 636 mm sulama uygulanmasına rağmen verim 318 kg/YZ olarak gerçekleşmiş ve WPI değeri 0.50 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. UR zonunda ise en yüksek sulama miktarı uygulanmış (845 mm) olmasına rağmen, verim 335.5 kg/YZ seviyesinde kalmış ve WPI değeri 0.40 kg/m³ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.8 2024 yılına ait WPI değerleri

Yönetim Zonları	Sulama Suyu miktarı (mm)	Verim (kg/YZ)	WPI (kg/m ³)
VR1	540	339.5	0.63
VR2	636	318.0	0.50
UR	845	335.5	0.40

2024 yılı verileri, sulama suyu üretkenliği açısından, 2023 yılına kıyasla önemli değişiklikler göstermektedir. 2023 yılında VR1 zonunun WPI değeri 3.37 kg/m³ iken, 2024 yılında bu değer 0.63 kg/m³'e gerilemiştir. Benzer şekilde, VR2 ve UR zonlarında da WPI değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu farklılıklar, 2024 yılında su kullanım verimliliğini etkileyen iklim faktörlerin özellikle üretim sezonu boyunca düşen yağış miktarından dolayı, toprak nem dinamiklerinin ve sulama stratejilerindeki değişikliklerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Blanco vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Akdeniz iklim koşullarında yetiştirilen 'Prime Giant' kiraz ağaçlarında farklı su yönetim stratejilerinin etkileri dört yıl boyunca incelenmiştir. Çalışmada düzenli su kısıtlama ve sürekli su kısıtlama yöntemleri karşılaştırılmış, her iki stratejinin ağaçların su durumu, verim, vejetatif büyüme ve meyve kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, düzenli su kısıtlama yöntemi ile sulama suyu kullanımında %39'a varan tasarruf sağlanırken, sürekli kısıntılı sulama uygulaması ile bu oran %28 olarak belirlenmiştir. Düzenli su kısıtlama uygulamasının vejetatif büyümeyi sınırlamasına karşın, verim ve meyve kalitesinde önemli bir azalmaya neden olmadığı, sürekli su kısıtlama uygulamasının ise meyve büyüklüğünü düşürmekle birlikte çözünür katı madde içeriğini hafifçe artırdığı tespit edilmiştir. Özellikle hasat sonrası dönemde uygulanan su kısıtlamasının, meyve çatlamasını azaltarak su kullanım verimliliğini artırdığı belirlenmiştir. Bu bulgular, belirli fenolojik dönemlerde kontrollü su eksikliğinin su kullanım etkinliğini artırabileceğini göstermektedir. Ancak, değişken oranlı sulama ve gübreleme gibi hassas tarım uygulamalarının kiraz tarımındaki etkileri üzerine yapılan çalışmalar literatürde sınırlıdır. Bu nedenle, değişken oranlı su ve besin yönetimi stratejilerinin kiraz yetiştiriciliğinde uzun vadeli etkilerini belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Değişken oranlı sulama uygulamaları farklı iklim ve toprak koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Katz vd. (2022), İsrail'in Mishmar Hayarden bölgesinde bulunan 40 da büyüklüğündeki bir şeftali bahçesinde değişken oranlı damla sulama için termal görüntüleme tabanlı mekânsal-zamansal bir karar destek protokolü geliştirmiştir. Çalışmada, bahçe 22 yönetim hücrelerine bölünerek, her bir bölgeye uygulanan sulama miktarı bitki su stresini belirleyen termal görüntüler ve gövde su potansiyeli kullanılarak belirlenmiştir. Değişken oranlı sulama uygulanan bölgelerde su kullanımının azaldığını, sulama etkinliğinin arttığını ve yönetim zonlarına göre farklı sulama tepkilerinin görüldüğünü ortaya koymuştur. Çalışmamızda da benzer şekilde, VR1 ve VR2 yönetim zonlarında uygulanan değişken oranlı sulamanın toplam su tüketimi ve su kullanım verimliliği (WPI) üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmada, VR1 ve VR2 yönetim zonlarına uygulanan toplam sulama suyu miktarı 2023 yılında sırasıyla 355 mm ve 451 mm olarak belirlenmiştir. 2024 yılında ise bu değerler VR1 için 540.2 mm, VR2 için 635.9 mm olarak ölçülmüştür. Sanchez, J vd. (2017a) tarafından ABD'nin Kaliforniya eyaletinde toplamda 130 da alana kurulmuş bir meyve bahçesinde yürütülen çalışmada, arazi değişkenliğine göre toplamda 140 sulama zonu belirlenmiş ve her bir zon selenoid vanalar yardımıyla bağımsız olarak sulanmıştır. Dört yıl süren uygulama sonucunda, değişken oranlı sulama yapılan bölgelerde su kullanımının azaldığı ve genel olarak verimde %10-17 arasında bir artış sağlandığı rapor edilmiştir. Çalışmamızda VR2 zonunda VR1'e göre uygulanan daha yüksek sulama miktarına rağmen VR1'e göre bir verim artışı gözlemlenmemiştir. Ancak, VR1 ve VR2 yönetim zonlarında yapılmış olan sulama miktarları her iki yılda da UR'ye göre daha az olarak kaydedilmiştir.

Sulama etkinliği açısından değerlendirildiğinde, WPI değerleri 2023 yılında VR1 için 3.37 kg/m³, VR2 için 2.16 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. 2024 yılında ise benzer eğilim devam etmiş ve VR1'de su kullanım etkinliği en yüksek seviyede kalırken, UR'de daha düşük WPI değerleri gözlemlenmiştir. Ortuani vd. (2018) tarafından İtalya'nın Lombardiya bölgesinde, Lodi şehrine yakın 1 hektarlık bir armut bahçesinde yürütülen değişken oranlı sulama çalışmasında elde edilen bulgularla paralellik göstermektedir. Çalışmada, elektromanyetik indüksiyon sensörü ile toprak elektriksel iletkenlik haritaları

oluşturulmuş ve istatistiksel yöntemlerle iki homojen yönetim bölgesi belirlenmiştir. Sulama programı kablosuz sensör ağı ile yönetilmiş ve değişken oranlı sulama uygulanan bölgelerde su kullanımı referans sektöre kıyasla %48 oranında azaltılmıştır. Yine Bonfante vd. (2018), İtalya'nın Lombardiya bölgesinde yürüttükleri çalışmalarında, değişken oranlı sulama uygulamalarının bağcılıkta su tüketimi ve üzüm kalite parametreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada, toprak elektriksel iletkenliği (EC) kullanılarak homojen yönetim zonları belirlenmiş ve her zon için farklı sulama stratejileri uygulanmıştır. Sonuçlar, DOS'nın su tüketimini %20 oranında azalttığını, ancak üzüm verimi ve kalite parametreleri üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığını ortaya koymuştur. Karar destek sisteminin entegrasyonu ile su kullanımında tasarruf sağlanırken, üretim seviyesinin korunduğu belirlenmiştir. Çalışmamıza benzer olarak UR yönetim zonunda sulamalar her iki yılda da ciddi oranda artmasına rağmen verimde diğer yönetim zonlarına göre belirgin bir fark olmadığı gözlemlenmiştir

Nadav ve Schweitzer (2017) tarafından İsrail'de yaklaşık olarak 13 da büyüklüğündeki bir üzüm bağında yapılan çalışmada, bağ alanı toprak tekstürüne ve kireç içeriğine göre altı farklı yönetim zonuna ayrılmış, ardından bu zonlar değişken oranlı ve konvansiyonel olarak iki farklı gruba ayrılarak toplamda 12 zon oluşturulmuştur. Zonların her biri, toprak özellikleri göz önünde bulundurularak 5 mm – 15 mm / hafta değişken oranlı damla sulama ile yönetilmiştir. Çalışmanın sonucunda, etkili su kullanımının yaklaşık %20 azaldığı ve toplam ürün veriminin %17 arttığı tespit edilmiştir. Ancak, çalışmamızda VR2 zonunda daha fazla su uygulanmasına rağmen verimde belirgin bir artış kaydedilmemiştir. Modina G vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, değişken oranlı sulama sistemlerinin İtalya'da üzüm ve armut bahçelerinde toplam su kullanımını sırasıyla %20 ve %50 oranında azalttığı belirlenmiştir. Çalışmamıza paralel olarak toplam su kullanımı çiftçi uygulaması olan UR'ye göre, 2023 yılı için VR1'de % 49.4 ve VR2'de %35.3 oranında azaldığı, 2024 yılında ise VR1 için %36.1 ve VR2 için %24.8 oranında azalma gerçekleştirilmiştir.

6.4 Yönetim Zonu Bazlı Gübreleme

6.4.1 Üretim sezonu toprak analizleri

2023 yılı sezon başı toprak analiz sonuçları incelendiğinde, yönetim zonları arasında belirgin besin elementi farklılıkları gözlemlenmiştir. Toplam azot (N) değerleri VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla %0.19, %0.17 ve %0.18 olarak ölçülmüş olup (Çizelge 11.9), referans tablodaki değerlendirmeye göre tüm zonlarda azot miktarının "fazla" kategorisinde olduğu belirlenmiştir. Fosfor (P) içerikleri açısından VR1 (78.73 mg/kg) ve UR (69.01 mg/kg) bölgeleri "fazla" seviyesinde yer alırken, VR2 bölgesi (48.25 mg/kg) "yeterli" kategorisine düşmektedir.

Potasyum (K) içeriği, VR1 bölgesinde 524.32 mg/kg, VR2’de 340.99 mg/kg ve UR’de 564.85 mg/kg olarak belirlenmiştir. Referans tablodaki değerlendirmeye göre VR1 ve UR bölgeleri "fazla" kategorisinde bulunurken, VR2 "yeterli" düzeyde kalmıştır. Bu durum, VR1 ve UR bölgelerinde fazladan potasyum uygulamasının gereksiz olduğunu, ancak VR2’nin potasyum yönünden desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Kalsiyum (Ca) değerleri tüm yönetim zonlarında "fazla" kategorisinde yer almakta olup, VR1’de 6967.50 mg/kg, VR2’de 6280.00 mg/kg ve UR’de 6477.50 mg/kg olarak ölçülmüştür. Magnezyum (Mg) açısından VR1, VR2 ve UR bölgeleri sırasıyla 632.50 mg/kg, 755.00 mg/kg ve 675.00 mg/kg değerlerine sahip olup, tüm bölgeler "fazla" kategorisinde yer almaktadır. Bu sonuçlar, toprakta yüksek seviyede kalsiyum ve magnezyum bulunduğunu ve gübreleme stratejisinde bu durumun göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 6.1 2023 Yılı üretim sezonu öncesi toprak analiz sonuçları

Yönetim Zonları	Derinlik	Toplam N %	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	pH	EC	Kireç %
VR1	0-20	0.19	78.73	524.32	6967.50	632.50	7.62	6.65	7.21	10.87	7.72	0.50	3.30
	20-40	0.14	25.81	335.76	7930.00	510.00	6.68	0.98	8.34	3.29	7.75	0.54	7.45
VR2	0-20	0.17	48.25	340.99	6280.00	755.00	6.50	2.45	7.76	8.45	7.79	0.45	2.05
	20-40	0.13	16.59	218.92	7115.00	742.50	5.59	0.80	9.38	2.92	7.79	0.53	3.35
UR	0-20	0.18	69.01	564.85	6477.50	675.00	8.24	5.39	11.93	10.31	7.81	0.48	2.39
	20-40	0.15	18.42	346.28	6182.50	457.50	5.73	1.52	8.31	4.67	7.81	0.47	1.74

Çizelge 6.10 2024 Yılı üretim sezonu öncesi toprak analiz sonuçları

Zonlar	Derinlik (cm)	Toplam N %	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	pH	EC	Kireç %
VR1	0-20	0.15	55.18	563.83	5957.53	797.46	12.44	7.83	15.11	16.47	7.77	0.56	2.76
	20-40	0.14	18.14	413.07	6111.42	736.74	14.81	1.96	14.71	5.11	7.80	0.54	6.71
VR2	0-20	0.15	73.14	607.99	6151.43	432.76	14.06	5.15	17.48	10.90	7.78	0.47	3.16
	20-40	0.13	33.28	493.27	6812.98	432.66	15.10	2.63	19.72	5.34	7.82	0.56	4.74
UR	0-20	0.20	57.04	459.46	4825.29	528.33	10.53	4.58	18.83	6.61	7.74	0.53	1.58
	20-40	0.15	7.72	326.52	5319.64	571.53	8.05	1.04	22.44	1.88	7.71	0.51	1.18

Mikro besin elementleri açısından değerlendirildiğinde, demir (Fe) içeriği VR1’de 7.62 mg/kg, VR2’de 6.50 mg/kg ve UR’de 8.24 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bu değerler, referans tablosuna göre "orta" seviyede olup, bölgeler arasında ciddi bir farklılık göstermemektedir. Çinko (Zn) içeriği VR1’de 6.65 mg/kg ile "fazla", VR2’de 2.45 mg/kg ile "fazla", UR’de ise 5.39 mg/kg ile yine "fazla" seviyesinde bulunmuştur. Manganez (Mn) değerleri VR1’de 7.21 mg/kg, VR2’de 7.76 mg/kg ve UR’de 11.93 mg/kg olarak belirlenmiş olup, VR1 ve VR2 bölgeleri "az", UR ise "yeterli" kategorisinde yer almaktadır. Bakır (Cu) içeriği ise VR1’de 10.87 mg/kg, VR2’de 8.45 mg/kg ve UR’de 10.31 mg/kg olup, tüm bölgelerde "fazla" olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, özellikle manganez yönünden VR1 ve VR2 bölgelerinin eksiklik gösterdiğini ve takviye gerektirebileceğini göstermektedir.

Toprak pH seviyeleri VR1’de 7.72, VR2’de 7.79 ve UR’de 7.81 olarak ölçülmüş olup, referans tablosuna göre tüm bölgeler "hafif alkali" kategorisinde yer almaktadır. Elektriksel iletkenlik (EC) değerleri VR1’de 0.50 dS/m, VR2’de 0.45 dS/m ve UR’de 0.48 dS/m olarak belirlenmiş olup, tüm bölgeler "hafif tuzlu" sınıfında değerlendirilmektedir. Kireç yüzdesi açısından VR1’de %3.30, VR2’de %2.05 ve UR’de %2.39 değerleri gözlemlenmiştir ve bu değerler "orta kireçli" kategorisine girmektedir. 2024 yılı toprak analiz sonuçları incelendiğinde, yönetim zonları arasındaki besin elementleri ve toprak kimyasal özelliklerinde farklılıklar Çizelge 4.10’da verilmiştir.. Toprak azot (N) seviyeleri incelendiğinde, 0-20 cm için VR1 ve VR2 bölgelerinde toplam azot değerleri sırasıyla %0.15 olarak belirlenmiş olup, UR bölgesinde ise %0.20 olarak ölçülmüştür. Alt horizonlarda (20-40 cm) ise VR1 (%0.14), VR2 (%0.13) ve UR (%0.15) bölgelerinde hafif bir azalma gözlemlenmiştir. Literatürde, toprak azot seviyelerinin %0.09-0.17 aralığının yeterli olduğu bildirildiğinden (Referans), VR1 ve VR2 bölgelerinin alt sınırdan olduğu, UR bölgesinde ise azot seviyesinin nispeten daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Fosfor (P) konsantrasyonları değerlendirildiğinde, yüzey katmanda VR1 ve VR2 bölgelerinde sırasıyla 55.18 mg/kg ve 73.14 mg/kg değerleri tespit edilmiştir. UR bölgesi ise 57.04 mg/kg ile benzer bir dağılım göstermiştir. Alt katmanda ise fosfor seviyeleri tüm zonlarda belirgin bir düşüş göstermiş ve VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 18.14

mg/kg, 33.28 mg/kg ve 7.72 mg/kg olarak ölçülmüştür. Referans değerlerle karşılaştırıldığında (Çizelge 6.3), 8-25 mg/kg aralığında yeterli olarak kabul edilen fosfor seviyelerinin, yüzey katmanda VR2’de fazla, VR1’de sınırda olduğu, alt katmanda ise özellikle UR bölgesinde ciddi eksiklik gösterdiği görülmektedir.

Potasyum (K) içerikleri incelendiğinde, yüzey katmanda VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 563.83 mg/kg, 607.99 mg/kg ve 459.46 mg/kg olarak belirlenmiştir. Alt katmanda ise VR1’de 413.07 mg/kg, VR2’de 493.27 mg/kg ve UR’de 326.52 mg/kg değerleri tespit edilmiştir. Referans aralıklarına göre (140-370 mg/kg yeterli, 370-1000 mg/kg fazla), yüzey katmandaki tüm zonların potasyum seviyeleri fazla kategorisinde yer almaktadır. Ancak, alt katmanda VR1 ve VR2 bölgeleri yeterli seviyede potasyum içerirken, UR bölgesinde potasyum seviyesi sınır değerinin altında kalmıştır.

Kalsiyum (Ca) seviyeleri VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 5957.53 mg/kg, 6151.43 mg/kg ve 4825.29 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Alt katmanda ise sırasıyla 6111.42 mg/kg, 6812.98 mg/kg ve 5319.64 mg/kg olarak ölçülmüştür. Referans aralıklarına göre (1150-3500 mg/kg yeterli, 3500-10000 mg/kg fazla), tüm yönetim zonlarında kalsiyum seviyelerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bununla birlikte, kireç yüzdesi açısından değerlendirildiğinde, yüzey katmanda VR1 (%2.76), VR2 (%3.16) ve UR (%1.58) olarak ölçülmüş olup, alt katmanda ise sırasıyla %6.71, %4.74 ve %1.18 değerleri elde edilmiştir. Referans skalasına göre %1-5 aralığı kireçli olarak sınıflandırıldığından, VR1 ve VR2 bölgelerinde orta düzeyde kireçlilik gözlemlenirken, UR bölgesinde daha düşük seviyede kireç içeriği kaydedilmiştir. Magnezyum (Mg) içerikleri değerlendirildiğinde, yüzey katmanda VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 797.46 mg/kg, 432.76 mg/kg ve 528.33 mg/kg olarak belirlenmiştir. Alt katmanda ise VR1’de 736.74 mg/kg, VR2’de 432.66 mg/kg ve UR’de 571.53 mg/kg değerleri tespit edilmiştir. Referans aralıklarına göre (160-480 mg/kg yeterli, 480-1500 mg/kg fazla), VR1 bölgesindeki magnezyum seviyelerinin fazla olduğu, VR2 ve UR bölgelerinin ise yeterli seviyede bulunduğu anlaşılmaktadır.

Demir (Fe) seviyeleri VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 12.44 mg/kg, 14.06 mg/kg ve 10.53 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Alt katmanda ise sırasıyla 14.81 mg/kg, 15.10 mg/kg ve 8.05 mg/kg olarak ölçülmüştür. Referans aralıklarına göre (4.5 mg/kg üzeri fazla), tüm yönetim zonlarında demir seviyelerinin yeterli olduğu belirlenmiştir. Çinko (Zn) içerikleri incelendiğinde, yüzey katmanda VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 7.83 mg/kg, 5.15 mg/kg ve 4.58 mg/kg olarak belirlenmiştir. Alt katmanda ise VR1’de 1.96 mg/kg, VR2’de 2.63 mg/kg ve UR’de 1.04 mg/kg değerleri tespit edilmiştir. Referans aralıklarına göre (0.7-2.4 mg/kg yeterli, 2.4-8 mg/kg fazla), yüzey katmanda VR1 ve VR2 bölgelerinin çinko seviyelerinin fazla olduğu, UR bölgesinin ise yeterli seviyede bulunduğu anlaşılmaktadır. Alt katmanda ise VR1 ve UR bölgelerinin sınır değerinin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Mangan (Mn) seviyeleri VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 15.11 mg/kg, 17.48 mg/kg ve 18.83 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Alt katmanda ise sırasıyla 14.71 mg/kg, 19.72 mg/kg ve 22.44 mg/kg olarak ölçülmüştür. Referans aralıklarına göre (4-14 mg/kg az, 14-50 mg/kg yeterli), yüzey katmanda tüm yönetim zonlarının yeterli seviyede olduğu belirlenmiştir.

Bakır (Cu) içerikleri incelendiğinde, yüzey katmanda VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 16.47 mg/kg, 10.90 mg/kg ve 6.61 mg/kg olarak belirlenmiştir. Alt katmanda ise VR1’de 5.11 mg/kg, VR2’de 5.34 mg/kg ve UR’de 1.88 mg/kg değerleri tespit edilmiştir. Referans aralıklarına göre (0.2 mg/kg üzeri yeterli), tüm yönetim zonlarında bakır seviyelerinin yeterli olduğu belirlenmiştir. pH seviyeleri VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 7.77, 7.78 ve 7.74 olarak tespit edilmiştir. Alt katmanda ise sırasıyla 7.80, 7.82 ve 7.71 olarak ölçülmüştür. Referans aralıklarına göre (6.5-7.5 nötr, 7.5-8.5 hafif alkali), tüm yönetim zonlarının hafif alkali özellik gösterdiği belirlenmiştir. Toprak tuzluluğu (EC) incelendiğinde, yüzey horizonlarında VR1, VR2 ve UR bölgelerinde sırasıyla 0.56 dS/m, 0.47 dS/m ve 0.53 dS/m olarak belirlenmiştir.

6.4.2 Üretim sezonu yaprak analizleri

Çizelge 6.12, 2023 yılı boyunca VR1, VR2 ve UR yönetim zonlarında yapılan yaprak analizlerinin temel makro ve mikro besin elementlerinin değerlerini göstermektedir. Referans olarak Çizelge 6.11 dikkate alınmıştır. Azot (N) konsantrasyonu, tüm yönetim zonlarında %2,00 ile %3,00 arasında değişen referans aralığı içinde kalmıştır. Ancak VR2 zonunda azot miktarı %2,05 ile sınır değerlere yakın seyretmiştir. Bu durum, VR2 bölgesinde azot alımının daha kısıtlı olduğunu göstermektedir. Fosfor (P) düzeyi ise VR1 ve UR zonlarında 0,31-0,34% seviyelerinde yeterli bulunurken, VR2 bölgesinde 0,25% olarak ölçülmüş ve alt sınırdaki kalmıştır.

Çizelge 6.11 Referans değerler (Haifa Group,2025)

Sweet Cherry	N	S	P	K	Mg	Ca	Na	B	Zn	Mn	Fe	Cu
	----- % -----							----- ppm -----				
From	2.00	0.15	0.25	2.00	0.50	2.00	0.01	25	20	50	50	10
To	3.00	0.25	0.40	3.00	0.90	3.00	0.10	40	40	70	100	20

Potasyum (K) değerleri VR1 ve UR zonlarında %2,25 ve %2,30 ile önerilen %2,00-3,00 aralığında yer alırken, VR2 bölgesinde %1,95 olarak ölçülmüş ve alt sınırın hemen altında kalmıştır. Magnezyum (Mg) düzeyi VR1 ve UR’de yeterli seviyelerde bulunurken, VR2’de 0,48% ile sınır değere yakın seviyede kaydedilmiştir. Kalsiyum (Ca) değerleri tüm zonlarda yeterli seviyelerde olup, UR zonunda 1,98% ile sınır değere oldukça yakın bulunmuştur.

Mangan (Mn) değerleri tüm yönetim zonlarında referans aralığında bulunmuş, ancak VR1’de 67 ppm, VR2’de 50 ppm ve UR’de 58 ppm ile değişkenlik göstermiştir. Bakır (Cu) düzeyleri ise tüm zonlarda yeterli olup, VR1’de 12,8 ppm, VR2’de 10,1 ppm ve UR’de 11,5 ppm seviyelerinde ölçülmüştür.

Çizelge 6.12 2023 Yılı yaprak analiz sonuçları

Yönetim Zonu	Örnek Tarihi	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Zn ppm	B ppm	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm
VR1	20.03.2023	23.10	3.82	11.15	12.93	2.26	47.44	104.34	75.64	16.78	30.07
	02.05.2023	30.17	3.44	14.46	11.29	3.70	6.02	37.27	66.94	17.26	6.16
	17.05.2023	23.10	2.50	19.10	10.80	3.60	6.02	47.31	93.11	24.07	5.21
	15.08.2023	21.70	2.10	21.60	18.70	3.72	38.80	60.11	90.58	50.40	17.37
VR2	20.03.2023	23.90	4.05	11.54	11.86	2.27	56.84	158.54	97.14	16.76	17.90
	02.05.2023	28.56	2.88	13.59	11.38	2.79	7.59	34.62	69.57	19.07	5.67
	17.05.2023	23.87	2.42	17.56	12.87	3.60	46.76	46.25	108.46	33.23	5.66
	15.08.2023	20.80	2.10	20.50	19.20	3.37	37.74	59.21	89.68	49.48	17.40
UR	20.03.2023	24.40	4.03	11.48	14.00	2.39	67.14	211.02	96.54	18.40	25.21
	02.05.2023	28.50	2.60	15.40	13.00	2.75	26.30	41.05	83.37	24.51	6.24
	17.05.2023	32.10	2.47	17.50	12.50	2.90	44.13	44.54	98.27	30.32	7.21
	15.08.2023	27.40	1.53	18.00	17.50	2.98	38.34	60.26	85.58	50.54	21.55

Çizelge 6.13 2024 Yılı yaprak analiz sonuçları

Yönetim Zonu	Örnek Tarihi	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Zn ppm	B ppm	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm
VR1	07.03.2024 (tomurcuk)	15.70	8.90	8.80	18.50	3.20	166.05	4.78	23.98	16.03	106.32
	22.04.2024	32.20	4.13	16.67	10.41	2.83	151.81	15.87	21.88	5.77	95.31
	13.06.2024	23.55	2.52	19.08	10.66	3.58	91.77	27.74	24.16	5.12	46.61
VR2	07.03.2024 (tomurcuk)	15.20	5.40	7.70	19.80	3.20	159.18	9.52	19.58	17.74	123.57
	22.04.2024	31.93	3.50	14.23	11.28	2.75	107.74	18.94	28.18	6.90	76.18
	13.06.2024	21.26	2.20	15.43	9.33	2.94	80.15	24.30	19.87	4.64	43.93
UR	07.03.2024 (tomurcuk)	15.70	8.90	8.80	18.50	3.20	166.05	4.78	23.98	16.03	106.32
	22.04.2024	32.20	4.13	16.67	10.41	2.83	151.81	15.87	21.88	5.77	95.31
	13.06.2024	23.55	2.52	19.08	10.66	3.58	91.77	27.74	24.16	5.12	46.61

Çinko (Zn) içerikleri VR1’de 25,3 ppm, UR’de 23,9 ppm ile yeterli seviyelerde bulunurken, VR2 zonunda 19,5 ppm ile referans aralığının alt sınırına yakın ölçülmüştür. Demir (Fe) düzeyleri, VR1 ve UR’de 58-65 ppm aralığında yeterli seviyelerde ölçülmüş, ancak VR2’de 47 ppm olarak belirlenmiş ve önerilen minimum değer olan 50 ppm’in altında kalmıştır. Çizelge 6.13, VR1, VR2 ve UR yönetim zonlarında 2024 sezonu boyunca ölçülen makro ve mikro besin elementleri düzeylerini göstermektedir.

Azot (N) seviyeleri, tüm yönetim zonlarında %2,10 - %2,75 aralığında ölçülerek önerilen referans aralığı olan %2,00 - %3,00 arasında kalmıştır. VR1’de %2,60, VR2’de %2,15, UR’de ise %2,75 olarak belirlenmiştir. 2023 yılı ile kıyaslandığında, özellikle VR2’de azot seviyesinin nispeten düşük kaldığı görülmektedir.

Fosfor (P) düzeyi açısından değerlendirildiğinde, VR1 ve UR’de 0,33 - 0,38% ile yeterli seviyelerde bulunurken, VR2’de 0,28% olarak ölçülmüş ve referans değer aralığının alt sınırına yakın seyretmiştir. 2023 yılı ile karşılaştırıldığında, VR2’de fosfor içeriğinde hafif bir artış görülmesine rağmen hala sınır değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir.

Potasyum (K) düzeyleri VR1’de %2,35, VR2’de %2,10, UR’de ise %2,50 olarak ölçülmüştür. Tüm yönetim zonları için önerilen referans aralığında kalmasına rağmen, VR2’nin potasyum düzeyi %2,00 - %3,00 aralığının alt sınırına oldukça yakın bulunmuştur. 2023 yılı ile kıyaslandığında, VR2’de potasyum düzeyinde hafif bir artış kaydedilmiş, ancak VR1 ve UR bölgelerinde benzer seviyeler korunmuştur.

Magnezyum (Mg) düzeyi açısından VR1 ve UR’de 0,65 - 0,75% seviyelerinde yeterli bulunurken, VR2’de 0,50% olarak belirlenmiş ve sınır değerde seyretmiştir. Kalsiyum (Ca) düzeyleri tüm yönetim zonlarında yeterli seviyelerde ölçülmüş olup, VR1’de 2,25%, VR2’de 2,00%, UR’de ise 2,50% olarak belirlenmiştir. Çinko (Zn) içerikleri VR1’de 28,2 ppm, UR’de 26,5 ppm ile yeterli seviyelerde bulunurken, VR2’de 21,0 ppm ile referans aralığının alt sınırına yakın ölçülmüştür. Demir (Fe) düzeyleri, VR1 ve UR’de 65-72 ppm aralığında yeterli seviyelerde ölçülmüş, ancak VR2’de 52 ppm olarak belirlenmiş ve referans değerlerin alt sınırında seyretmiştir. Bu durum, VR2’de demir eksikliğine bağlı olarak fizyolojik gelişim problemlerinin devam ettiğini göstermektedir.

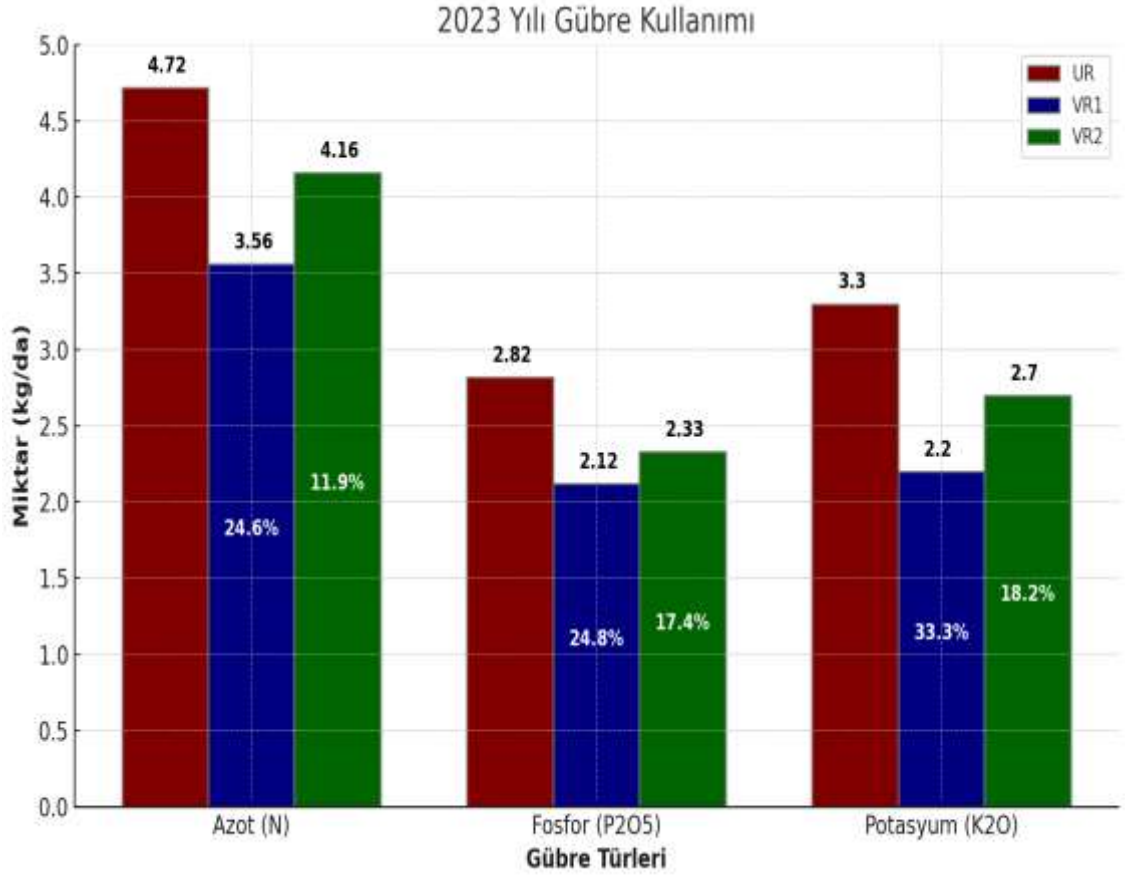
Manganez (Mn) değerleri VR1’de 70 ppm, VR2’de 55 ppm ve UR’de 63 ppm olarak belirlenmiş olup, referans aralığında bulunmuştur. Bakır (Cu) düzeyleri ise tüm zonlarda yeterli olup, VR1’de 14,2 ppm, VR2’de 11,8 ppm ve UR’de 12,6 ppm seviyelerinde ölçülmüştür.

6.4.3 Üretim sezonu gübre kullanımı

2023 yılında yönetim zonları bazında uygulanan gübre miktarları incelendiğinde, azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) kullanımlarının zonlara göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (şekil 6.9). Azot gübrelemesi açısından en yüksek uygulama UR (ifti uygulaması) bölgesinde gerçekleşmiş olup, toplam 4.72 kg/da N uygulanmıştır. VR1 ve VR2 zonlarında ise sırasıyla 3.56 kg/da ve 4.16 kg/da azot gübresi kullanılmıştır. Bu durum, değişken oranlı gübreleme (VRA) yapılan bölgelerde azot gübresi uygulamalarının homojen alanlara kıyasla daha düşük seviyede tutulduğunu göstermektedir.

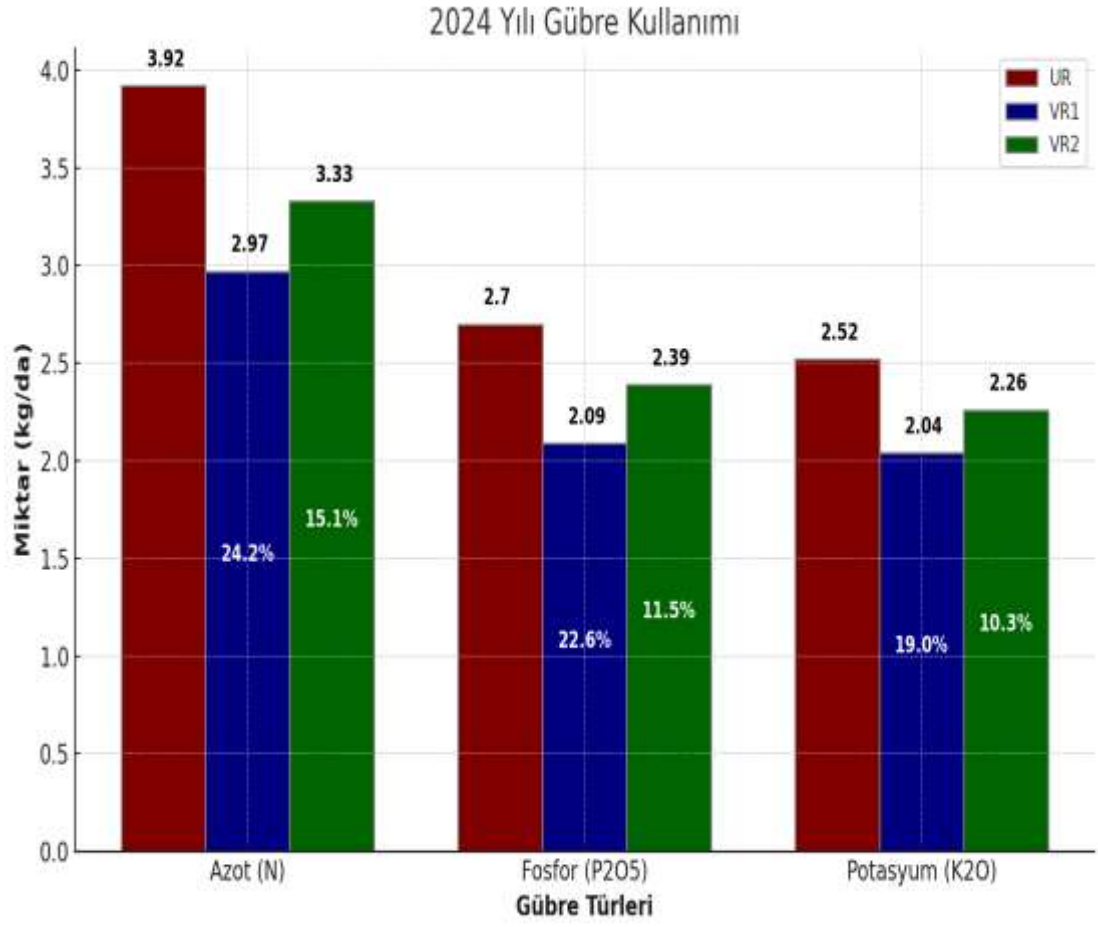
Fosfor (P) uygulamalarında da benzer bir eğilim gözlemlenmiştir. UR bölgesinde 2.82 kg/da fosfor uygulanırken, VR1 ve VR2 bölgelerinde sırasıyla 2.12 kg/da ve 2.33 kg/da fosfor gübresi kullanılmıştır. Bu değerler, değişken oranlı gübreleme uygulanan zonlarda gübre kullanım etkinliğinin artırıldığını ve homojen uygulamaya kıyasla gereksiz fosfor yüklemesinin önüne geçildiğini ortaya koymaktadır.

Potasyum (K) kullanımında da benzer bir durum söz konusudur. UR bölgesinde uygulanan toplam potasyum gübresi 3.3 kg/da olurken, VR1 ve VR2 bölgelerinde sırasıyla 2.2 kg/da ve 2.7 kg/da potasyum gübresi uygulanmıştır.



Şekil 6.9 2023 yılına ait gübre kullanımı

2024 yılında gerçekleştirilen gübreleme uygulamalarında, azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) için yönetim zonları arasında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir (Şekil 6.10). Azot kullanımı açısından, UR bölgesinde 3.92 kg/da, VR1 bölgesinde 2.97 kg/da ve VR2 bölgesinde 3.33 kg/da azot gübresi uygulanmıştır. 2023 yılına kıyasla, UR bölgesinde azot gübrelemesi belirgin şekilde azalmış (%17), VR1 ve VR2 bölgelerinde ise sırasıyla %16.6 ve %20 oranında azalma gözlenmiştir.



Şekil 6.10 2024 yılına ait gübre kullanımı

Fosfor (P) kullanımında da benzer bir eğilim gözlemlenmiştir. 2024 yılında UR bölgesinde 2.7 kg/da, VR1 bölgesinde 2.09 kg/da, VR2 bölgesinde ise 2.39 kg/da fosfor uygulanmıştır. 2023 yılına kıyasla fosfor uygulamalarında UR ve VR1 bölgelerinde sırasıyla %4.2 ve %1.4 oranında azalma gerçekleşirken, VR2 bölgesinde %2 oranında bir düşüş kaydedilmiştir..

Potasyum kullanımına bakıldığında, 2024 yılında UR bölgesinde 2.52 kg/da, VR1 bölgesinde 2.04 kg/da, VR2 bölgesinde ise 2.26 kg/da potasyum gübresi uygulanmıştır. 2023 yılı çiftçi uygulamasına kıyasla tüm bölgelerde %20'ye varan bir azalma gözlemlenmiştir.

Literatürde değişken oranlı gübreleme uygulamalarının tahıllar, endüstri bitkileri ve bazı meyve bahçelerinde yaygın olarak incelendiği, ancak özellikle kiraz yetiştiriciliğinde bu konu üzerine yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut araştırmaların büyük bir kısmı turunçgil, elma ve bağcılık gibi uzun ömürlü bitkilerde değişken oranlı gübrelemenin etkilerini ele alırken, kiraz yetiştiriciliğinde besin maddesi dağılımı, verim ve kalite üzerine olan etkilerine dair detaylı bulguların eksik olduğu gözlemlenmiştir.

Colaço ve Molin (2014), Brezilya'daki turunçgil bahçelerinde DOG uygulamalarının beş yıllık süreçte verim ve toprak besin maddesi dağılımı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada, DOG'ın azot kullanımını %37-51, potasyum kullanımını ise %18-41 oranında azalttığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu uygulamanın verimi belirli bölgelerde artırmasına rağmen, düşük doğal verimliliğe sahip alanlarda yeterli etki göstermediği tespit edilmiştir. Bu çalışmaya paralel olarak, mevcut araştırmamızda azot kullanımında %15.6-%24.6, potasyum kullanımında ise %10.3-%33.3 oranında azalma kaydedilmiştir. Bu durum, değişken oranlı gübrelemenin gereksiz gübre kullanımını önleyerek çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik sağladığını göstermektedir.

Öte yandan, Sanchez, J vd. (2017b) tarafından ABD'nin Kaliforniya eyaletinde yürütülen bir araştırmada, değişken oranlı gübreleme ve sulamanın (fertigasyon) entegre bir şekilde uygulanmasıyla verimde %10-17 oranında artış sağlandığı bildirilmiştir. Ancak çalışmamızda, yönetim zonlarına uygulanan değişken oranlı sulama ve gübreleme, çiftçi uygulaması ile karşılaştırıldığında verimde belirgin bir artışa yol açmamıştır. Bu farklılık, çalışma alanlarının toprak yapısı, iklim koşulları ve gübre uygulama yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklanıyor olabilir. Özellikle kiraz gibi yüksek kaliteli ve ihracata yönelik bir ürün yetiştiriciliğinde, gübre uygulamalarının sadece verim değil, aynı zamanda kalite parametreleri üzerindeki etkisinin de dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.

Bu bağlamda, ilerleyen araştırmalarda değişken oranlı gübreleme ve sulamanın birlikte değerlendirilmesi, yönetim zonlarının belirlenmesinde toprak özellikleri ve bitki besin durumu arasındaki ilişkinin daha detaylı analiz edilmesi gerekmektedir. Özellikle, kiraz

gibi meyve türlerinde besin maddesi alımının zamansal ve mekânsal değişkenliği göz önüne alındığında, uzun vadeli çalışmaların yapılması, hassas gübre yönetimi stratejilerinin etkinliğini artıracaktır.

Pawase vd. (2023), DOG'nin gübre kullanım verimliliğini artırarak çevresel etkiyi azalttığını ve ürün verimini optimize ettiğini vurgulamaktadır. Çalışmalarında, sensör tabanlı ve harita tabanlı yaklaşımlar arasında farklılıkları ele alarak, sensör tabanlı sistemlerin gerçek zamanlı gübre uygulamasında daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda da zon bazlı gübreleme uygulamalarının toprak besin elementleri ve yaprak besin içeriği üzerindeki etkileri incelenmiş olup, VR1 ve VR2 yönetim zonlarında gübre kullanım etkinliğinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Ancak, bizim çalışmamızda Pawase vd. (2023) tarafından bildirilen verim artışı gözlemlenmemiştir. Çalışma alanlarının farklı agro-ekolojik koşullara sahip olmasın ve toprak-besin etkileşimlerinin bölgesel değişkenlik göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Atik ve Akdemir (2022) çalışmasında, NDVI ve SPAD verileri kullanılarak değişken oranlı gübreleme ile sabit oranlı gübreleme karşılaştırılmış ve NDVI'nın gübreleme etkisini belirlemede tek başına yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada, değişken oranlı gübreleme uygulamalarının besin elementi dağılımını iyileştirdiği ancak verim üzerinde anlamlı bir fark oluşturmadığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, bizim çalışmamızda da zon bazlı gübreleme uygulamalarının besin elementi seviyelerini optimize ettiği, ancak verimde belirgin bir artış sağlamadığı gözlemlenmiştir.

Vatsanidou vd. (2017) tarafından yürütülen çalışmada, değişken oranlı azot gübrelemesinin geleneksel sabit oranlı gübreleme uygulamalarıyla karşılaştırıldığında bitki besin maddesi kullanım verimliliğini artırdığı ve toprak azot dengesini optimize ettiği belirtilmiştir. Çalışmada, azotun farklı yönetim zonlarına göre uygulanması sonucunda, gübre kullanımının %50 oranında azaltılmasına rağmen verimde anlamlı bir kayıp olmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, gübre yönetiminde zon bazlı uygulamaların, özellikle gereksiz azot girdisini önleyerek hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlayabileceğini göstermektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada ise, benzer şekilde

yönetim zonlarına özgü özellikle azot gübrelemesinde yaklaşık %25 oranında azalma tespit edilmiştir.

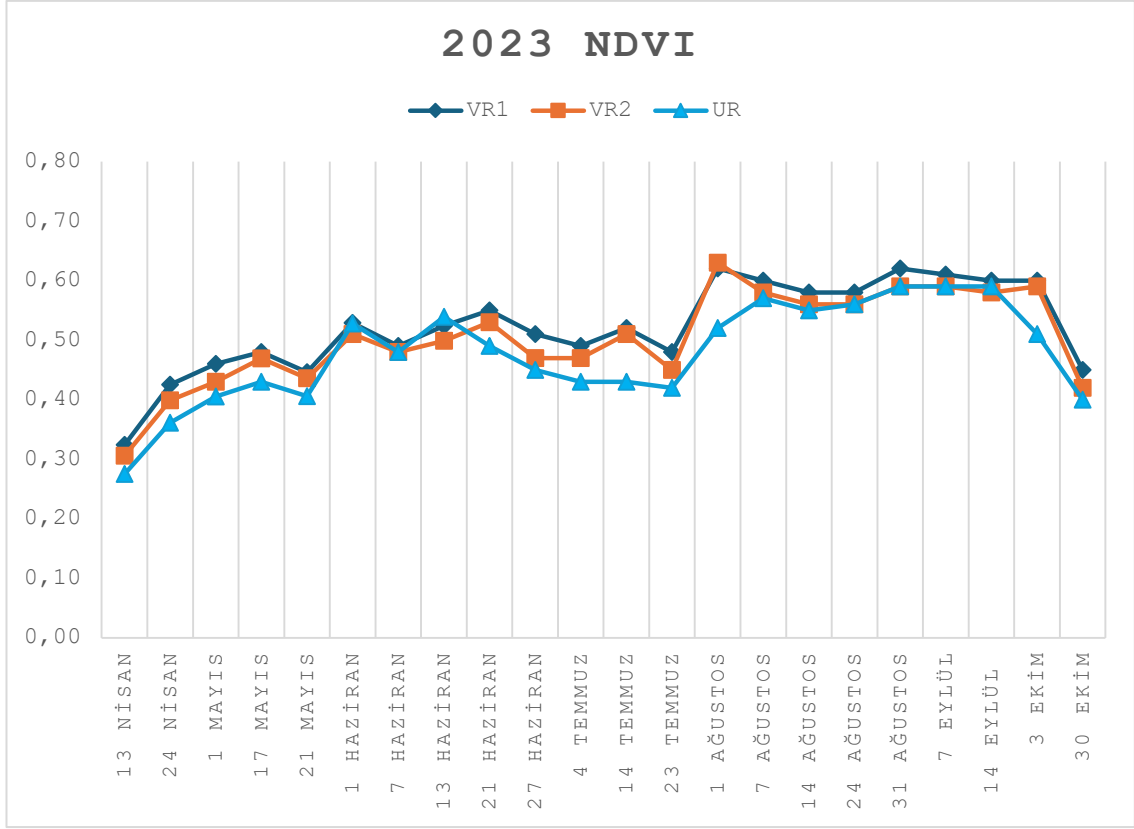
Aggelopoulou vd. (2010) yapmış olduğu araştırmada, 0.8 hektarlık bir elma bahçesinde toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mekânsal değişkenliği incelenmiş ve site-spesifik gübreleme haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada, toprak örnekleri 0-30 cm ve 30-60 cm derinliklerinden alınarak pH, katyon değişim kapasitesi, azot formları (NO₃-N, NH₄-N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn), bakır (Cu) ve organik madde içeriği analiz edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak değişken oranlı azot gübreleme haritaları oluşturulmuş ve sabit oranlı gübrelemeye kıyasla azot kullanımında %38 tasarruf sağlandığı belirlenmiştir. Aggelopoulou vd. (2010) çalışmasında sadece azot gübrelemesine odaklanılırken, bizim araştırmamızda hem azot hem de diğer makro ve mikro besin elementlerinin dağılımı dikkate alınmıştır. Ayrıca, NDVI gibi uzaktan algılama tekniklerinin entegrasyonu, bizim çalışmamızda besin yönetiminin hassasiyetini artıran önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Liakos vd. (2020) tarafından Yunanistan'daki bir ticari elma bahçesinde yürütülen çalışmada, değişken oranlı gübreleme (DOG) uygulamalarının, geleneksel sabit oranlı gübreleme ile karşılaştırıldığında verim üzerinde önemli bir farklılık yaratmadığı, ancak gübre kullanımını %59,6 ila %63,4 oranında azalttığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, bizim çalışmamızda da zon bazlı gübreleme uygulamalarının toprak besin elementleri ve yaprak analizleri üzerindeki etkileri belirgin olmakla birlikte, doğrudan verim artışına yol açmadığı gözlemlenmiştir. Liakos vd. (2020) çalışmasında, özellikle gübreleme programlarının verime etkisinin sınırlı olduğu ve bunun büyük ölçüde toprak özelliklerinden bağımsız olduğu vurgulanırken, bizim çalışmamızda toprak özelliklerinin belirli zonlarda gübreleme yanıtını şekillendirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, söz konusu çalışmada DOG'nin ekonomik olarak daha avantajlı olduğu ve gübre kullanımının azalmasının çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağladığı ifade edilmiştir. Bizim çalışmamızda da VR1 ve VR2 zonlarında uygulanan değişken oranlı gübreleme stratejileri, benzer şekilde besin elementlerinin daha etkin yönetilmesini sağlamış ve özellikle fosfor ve potasyum seviyelerindeki dalgalanmaların gübreleme stratejilerinin

etkinliği açısından dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Ancak, alışmamızda NDVI verileri ile yaprak analizleri birlikte değerlendirilerek gübreleme kararları şekillendirilmiş, bu da Liakos vd. (2020) alışmasına kıyasla daha dinamik bir yönetim yaklaşımını ortaya koymaktadır.

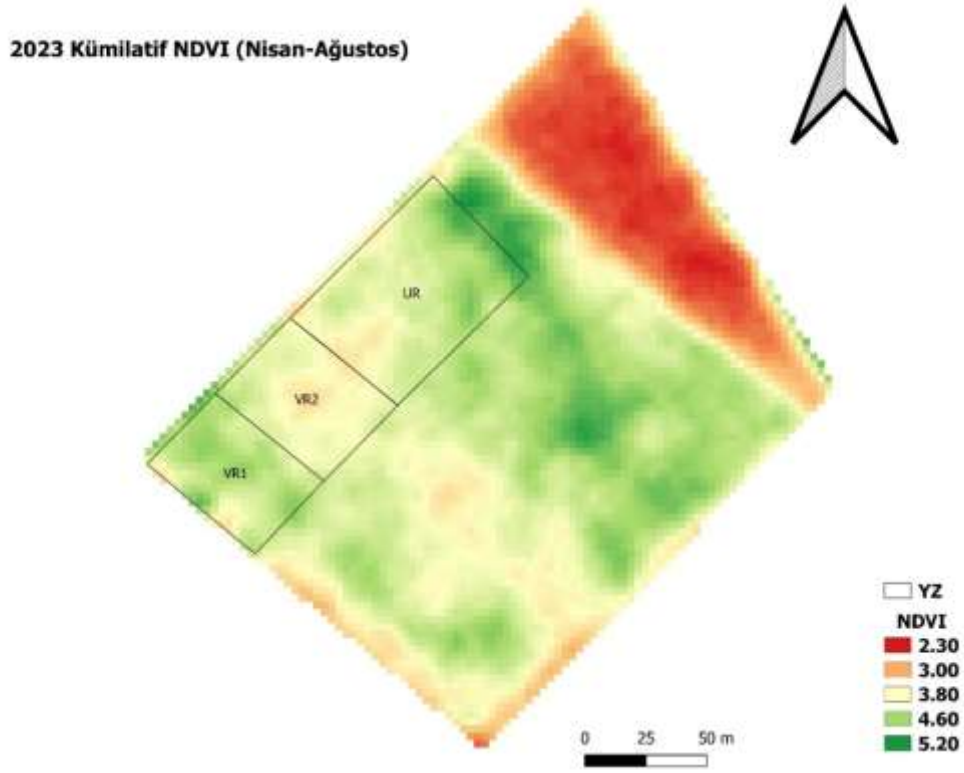
6.5 NDVI Tabanlı Bitki Gelişimi ve Zonlar Arası Değerim

2023 yılı boyunca yapılan NDVI lmleri, yönetim zonları arasında bitkisel gelişim açısından anlamlı varyasyonlar olduğunu ortaya koymuştur. Nisan-Ekim dönemini kapsayan zaman serisi analizine göre (şekil 6.11), sezon başında NDVI değerleri VR1, VR2 ve UR zonlarında sırasıyla 0.33, 0.30 ve 0.28 seviyelerinde başlamıştır. Mayıs ayı ortasında tüm zonlarda belirgin bir artış gözlemlenmiş; 21 Mayıs tarihinde VR1 zonu 0.50, VR2 0.48 ve UR 0.45 NDVI seviyelerine ulaşmıştır. Bu artış Haziran başında zirve yaparak, VR1 zonunda maksimum 0.56, VR2’de 0.53 ve UR zonunda 0.50 seviyelerine kadar yükselmiştir. Temmuz ayı ortasından itibaren NDVI değerlerinde kademeli bir düşüş gözlemlenmiş ve Ekim sonu itibarıyla tüm zonlarda değerler tekrar 0.40 altına inmiştir.



Şekil 6.11 2023 yılı NDVI zamansal değişimi

Mekânsal olarak değerlendirilen kümülâtif NDVI haritası (Şekil 6.12) da bu farklılıkları mekânsal olarak desteklemektedir. Sezon boyunca elde edilen uydu verilerinden oluşturulan harita, VR1 zonunun yoğunlukla yüksek NDVI sınıflarında yer aldığını, VR2 ve UR bölgelerinde ise daha düşük vegetatif indekslerin baskın olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, zonlar arası NDVI varyasyonunun sadece zamansal değil, aynı zamanda mekânsal olarak da istikrarlı biçimde sürdüğünü ortaya koymaktadır.

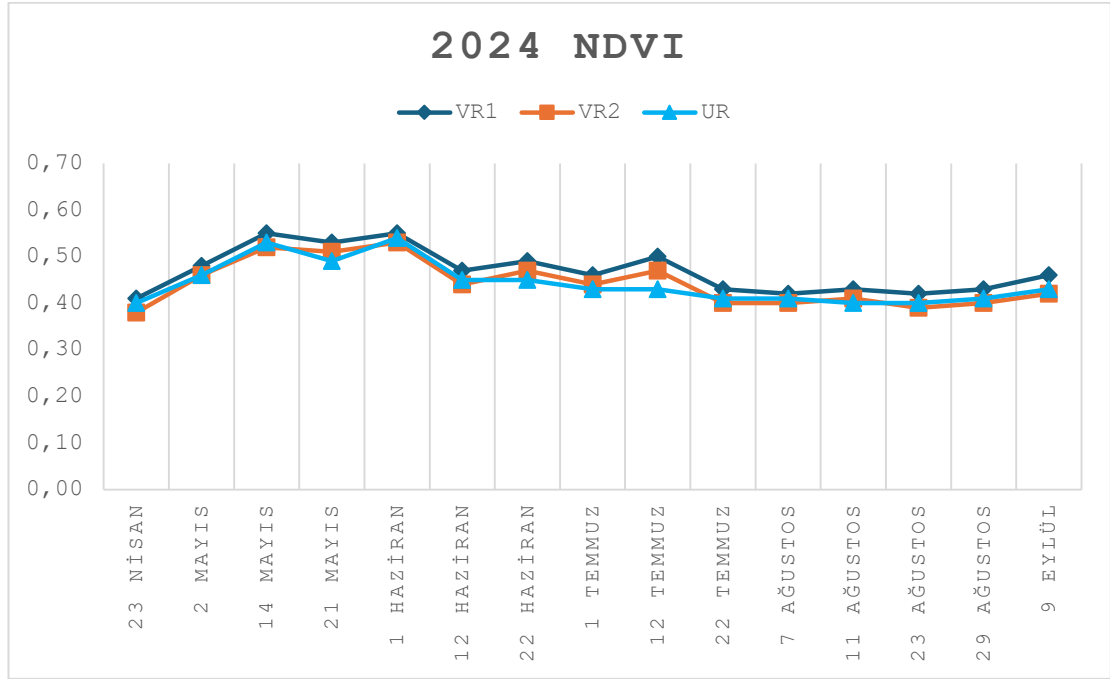


Şekil 6.12 2023 kümülâtif NDVI haritası

Zaman serisi ve mekânsal analizlerin birlikte değerlendirilmesi, NDVI'nın bitkisel performansın zon bazlı takibinde güvenilir bir gösterge olduğunu ortaya koymuştur. NDVI verileri, bitki gelişimini izlemeye yönelik temel kullanımının ötesinde, gübreleme ve sulama gibi tarımsal girdilerin yer ve zaman bazlı değişimini ortaya koyarak üreticiye mekânsal karar desteği sunmaktadır. Bu sayede, üretim alanlarında homojen olmayan gelişim bölgeleri tespit edilerek, gereksiz girdi kullanımının önüne geçilmekte; hem verimlilik artışı hem de girdi maliyetlerinde azalma sağlanmaktadır. Bu yönüyle NDVI, hassas tarım uygulamalarında karar destek mekanizması olarak önemli bir işlev üstlenmektedir.

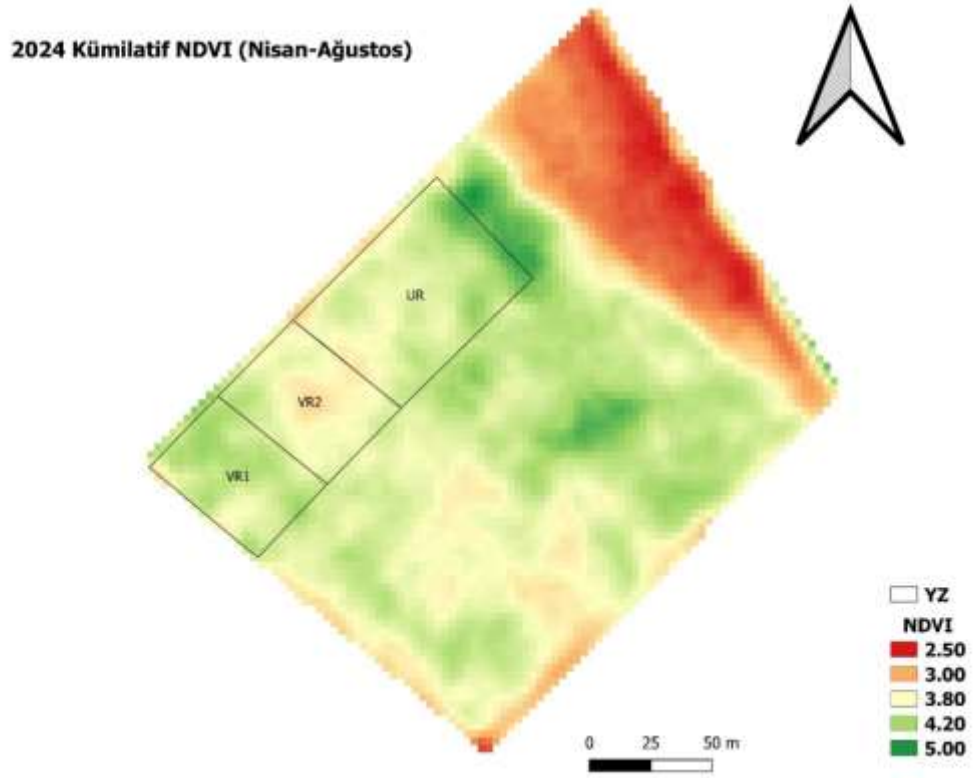
2024 yılına ait NDVI zaman serisi verileri (Şekil 6.13), sezon boyunca tüm yönetim zonlarında sınırlı bir vegetatif gelişim göstermiştir. Nisan ayı itibarıyla benzer düzeylerde başlayan NDVI değerleri, 14 Mayıs civarında tüm zonlarda sezon içi zirve noktasına ulaşmış, örneğin VR1 zonu yaklaşık 0.55 seviyesine kadar çıkmıştır. Ancak bu yükseliş kalıcı olmamış, Haziran sonu itibarıyla NDVI değerlerinde hasat sonrası belirgin bir

düşüş eğilimi gözlenmiştir. Temmuz ve Ağustos aylarında zonlar arasında çok sınırlı farklar oluşmuş ve tüm zonlar 0.40–0.45 bandında sabitlenmiştir. Gözükten bu durum, sezon boyunca stres faktörlerinin baskın olduğunu ve bitkisel gelişimin oldukça durağan geçtiğini göstermektedir.



Şekil 6.13 2024 yılı NDVI zamansal değişimi

Mekânsal olarak değerlendirilen 2024 yılına ait kümülatif NDVI haritası (Şekil 6.14), zonlar arasında görsel olarak farklılıkların sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. VR1 zonu, alanın diğer bölümlerine kıyasla daha yeşil tonlarla temsil edilmiş olup, sezon genelinde görece daha iyi bir bitki gelişimi göstermiştir. Buna karşılık, VR2 ve UR zonlarının çoğu bölgesinde daha açık tonlar hâkimdir. Haritadan da anlaşıldığı üzere, sezon boyunca bu zonlarda gelişimin daha sınırlı kaldığına işaret etmektedir. Renk dağılımı göz önüne alındığında, 2023 yılına göre zonlar arasındaki ayrışma daha belirsizdir.



Şekil 6.14 2024 kümülâtif NDVI haritası

Zaman serisi grafiği ile mekânsal analiz birlikte değerlendirildiğinde, 2024 yılında NDVI değerlerinin genel olarak düşük ve sabit seyretmesi, çevresel koşulların (örneğin uzun süreli kuraklık ve sıcaklık stresi) baskın etkisini ortaya koymaktadır. Bu gelişim dinamikleri, zon bazlı yönetim kararlarının mevsim koşulları ile birlikte değerlendirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır.

2023 ve 2024 yıllarında yapılan değerlendirmelerde, özellikle VR1 zonunun vegetatif gelişim açısından öne çıktığı, NDVI değerlerinin bu zonda sezon boyunca daha yüksek seyrettiği tespit edilmiştir (Şekil 6.11, 6.13). Genel olarak bu durum, toprak özellikleri, sulama ve gübreleme uygulamalarının zonlara özgü etkilerinin NDVI ile izlenebildiğini göstermektedir. Benzer bir yaklaşım Contador vd. (2015) tarafından İspanya'daki bir üzüm bağında uygulanmış, NDVI zaman serileri kullanılarak farklı stres seviyeleri ve gelişim potansiyelleri olan zonlar tanımlanmıştır. Contador vd. (2015), NDVI verilerinin sezonun erken dönemlerinde bile verim potansiyelini öngörebildiğini ve zon bazlı sulama ile gübreleme kararlarının bu verilere dayanarak optimize edilebileceğini vurgulamıştır.

Yapmış olduğumuz çalışma, kiraz bitkisi üzerinde benzer sonuçların alınabildiğini göstererek literatüre yeni bir katkı sunmaktadır.

Zhang vd. (2019b), elma bahçelerinde NDVI zaman serilerini yaprak azot içeriğiyle korelasyonlayarak, NDVI'nin sadece biyokütle gelişimi değil, aynı zamanda beslenme durumu hakkında da bilgi verebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada, NDVI değerlerinin yaprak azot içeriğiyle güçlü bir ilişki gösterdiği rapor edilmiş ve değişken oranlı gübreleme kararlarının bu verilere dayalı olarak alınabileceği belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda da yaprak analizleri ile NDVI verileri eş zamanlı olarak değerlendirilmiş ve özellikle VR2 zonunda gözlenen daha düşük NDVI değerlerinin yaprak azot içeriğindeki düşüklükle örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu yönüyle, NDVI verilerinin sadece gelişim takibi değil, aynı zamanda beslenme düzeyini izleme açısından da geçerli bir araç olduğu doğrulanmıştır.

Ek olarak, Baluja vd. (2012), NDVI ve diğer spektral indekslerin kullanımıyla elma bahçelerinde yönetim zonlarını ayırmış ve elde ettikleri verilerle verim tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Bizim çalışmamızda doğrudan verimle korelasyon yapılmasa da, NDVI'nin vegetatif gelişimi izleme başarısı sayesinde ve 2024 yılında yaşanan verim kaybıyla, verim üzerindeki etkileri dolaylı biçimde ortaya konulmuştur.

Tüm bu çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, NDVI'nin değişken oranlı uygulamalarda karar destek sistemi olarak kullanılabilirliği açık biçimde görülmektedir. Ancak bu konuda kiraz bitkisine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle dikili meyve bahçelerinde, tür ve çeşit özelliklerinin NDVI tepkisine etkisi, gelişim dönemlerine göre NDVI hassasiyeti ve meyve kalitesi ile korelasyon düzeyleri üzerine daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışma, NDVI zaman serilerinin zon bazlı sulama ve gübreleme stratejilerinin planlanmasında kiraz bahçelerine özgü olarak nasıl işlevsel hale getirilebileceğini ortaya koymakta; böylece hassas tarım uygulamalarının meyvecilikteki kullanımına dair literatüre anlamlı bir katkı sunmaktadır.

6.6 Verim ve Kalite Üzerindeki Etkiler

Çalışmada 2023 ve 2024 yıllarına ait verim değerleri incelendiğinde, tüm yönetim zonlarında (VR1, VR2 ve UR) verimde belirgin bir azalma yaşandığı tespit edilmiştir. 2023 yılında VR1 bölgesinde 499.12 kg/da, VR2 bölgesinde 406.18 kg/da ve UR bölgesinde 496.12 kg/da verim elde edilirken, 2024 yılında bu değerlerin sırasıyla 141.45 kg/da, 132.5 kg/da ve 139.8 kg/da seviyelerine düştüğü belirlenmiştir (Çizelge 6.14). Bu dramatik düşüşün temel nedenleri arasında çiçeklenme döneminde gerçekleşen yüksek sıcaklık stresinin önemli bir rol oynadığı görülmektedir.

Çizelge 6.14 2023 ve 2024 yıllarına ait verimler

Yönetim Zonu	2023	2024
	Verim (kg/da)	
VR1	499.12	141.45
VR2	406.18	132.5
UR	496.12	139.8

Çiçeklenme dönemindeki sıcaklık değişimleri, meyve tutumu ve verim üzerinde belirleyici faktörlerden biridir. Yavuz vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, çiçeklenme dönemindeki sıcaklığın her 1°C artışıyla meyve tutum oranının %4 oranında azaldığı bildirilmiştir. 2024 yılı çiçeklenme döneminde çalışma alanından bulunan iklim istasyonu verilerine göre Nisan ayının ilk haftalarında hava sıcaklığının 31°C'ye ulaştığı tespit edilmiş olup, bu sıcaklık değerleri polen canlılığı ve dölleme başarısını olumsuz etkileyerek verim düşüşüne neden olmuştur. Bununla birlikte Çizelge 6.1 görüldüğü üzere 2023 yılı Nisan ayı ortalama sıcaklığı ile 2024 yılı Nisan ayı sıcaklık ortalamalarındaki ciddi farklılıklar ve her iki yıl için toplamda 100 saatten fazla soğuk gün sayısı bu oluşan olumsuz durumu ortaya koymuştur. Ercan ve Ünlü (2006) çalışmalarında, yüksek sıcaklığın polen tüpü gelişimini hızlandırırken, dişi borusundaki ilerlemeyi olumsuz etkilediğini ve bu durumun dölleme sürecinde aksamalara yol açtığını vurgulamışlardır.

Buna ek olarak, Kara vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, yüksek sıcaklıkların çiçeklenme süresini kısaltarak çiçeklerin hızla solmasına ve dökülmesine yol açtığı bildirilmiştir. 2024 sezonunda gözlemlenen verim düşüşü ile çiçeklenme süresindeki bu

değişimler arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmektedir. Çiçeklenme süresinin kısılması, tozlaşma ve döllenme süreçlerinde aksamalara neden olmuş, dolayısıyla meyve tutum oranlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Demirtaş vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada da ortaya koyduğu gibi yüksek sıcaklıkların embriyo kesesi ve nusellus dokularında dejenerasyona yol açarak meyve oluşum sürecini olumsuz etkilediği görüşüyle de örtüşmektedir. Çalışmamızda tespit edilen 2024 yılı verim düşüşü, benzer şekilde, yüksek sıcaklık stresinin embriyo gelişimini sekteye uğrattığını ve meyve kayıplarına yol açtığını gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, 2024 yılında kaydedilen verim düşüşünün, çiçeklenme dönemindeki sıcaklık stresinin doğrudan bir sonucu olduğu ve bu durumun polen canlılığı, çiçeklenme süresi ve embriyo gelişimi üzerindeki etkilerle ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16, VR1, VR2 ve UR yönetim zonları arasındaki meyve kalite kriterlerine (ortalama meyve ağırlığı, meyve boyu-eni, meyve sertliği, meyve rengi, suda çözünebilir kuru madde içeriği (SÇKM) ve pH değerleri gibi) ait 2023 ve 2024 yıllarında elde edilen analiz sonuçlarını göstermektedir. Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18'de ise yıllara göre yapılan istatistiksel analiz sonuçları yer almakta olup, zonlar arasında kalite kriterleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir.

Çizelge 6.15 2023 yılına ait meyve kalite parametreleri analizi sonuçları

VR1 Zayıf Ağaç	En	Boy	Toplam Ağırlık gr (10 adet)	Meyve Eti Sertliği (kg)	SÇKM %	T.Asitlik	pH	Olgunluk Oranı (SÇKM/Asitlik değeri)	Meyve Rengi (a) değeri
1	27.25	23.71	88.26	0.41	14.70	0.92	3.51	15.98	33.33
2	29.56	25.07	110.27	0.41	16.80	1.00	3.39	16.80	31.54
3	29.33	25.60	109.00	0.53	17.30	0.98	3.43	17.65	32.28
Ort.	28.71	24.79	102.51	0.45	16.27	0.97	3.44	16.81	32.38
VR1 Kuvvetli Ağaç									
1	30.41	25.86	118.74	0.40	16.00	0.83	3.50	19.28	33.20
2	30.34	26.16	118.46	0.52	16.10	1.04	3.37	15.48	31.77
3	30.26	26.20	116.55	0.49	16.50	1.02	3.38	16.18	33.05
Ort.	30.34	26.07	117.92	0.47	16.20	0.96	3.42	16.98	32.67
VR2 Zayıf Ağaç									
1	30.10	25.87	116.61	0.44	16.20	0.98	3.45	16.53	36.92
2	30.52	26.05	121.64	0.47	17.00	1.10	3.33	15.45	36.06
3	30.06	25.99	120.75	0.53	16.50	1.14	3.20	14.47	35.90
Ort.	30.23	25.97	119.67	0.48	16.57	1.07	3.33	15.49	36.29
VR2 Kuvvetli Ağaç									
1	29.85	26.25	119.55	0.51	16.20	1.02	3.46	15.88	36.81
2	30.00	26.10	120.88	0.51	15.20	0.91	3.36	16.70	36.45
3	29.31	25.46	109.62	0.51	14.80	1.07	3.48	13.83	36.84
Ort.	29.72	25.94	116.68	0.51	15.40	1.00	3.43	15.47	36.70
1	28.70	24.92	107.40	0.55	14.90	0.91	3.31	16.37	38.17
2	29.10	25.38	113.00	0.59	15.50	0.94	3.34	16.49	37.48
3	28.18	24.67	105.09	0.49	16.60	0.91	3.39	18.24	35.95
Ort.	28.66	24.99	108.50	0.54	15.67	0.92	3.35	17.03	37.20
UR Kuvvetli Ağaç									
1	29.28	24.83	109.90	0.52	15.70	1.01	3.26	15.54	35.89
2	27.53	24.53	95.75	0.48	13.60	0.92	3.58	14.78	38.55
3	29.76	25.49	118.68	0.50	16.10	1.00	3.32	16.10	34.23
Ort.	28.86	24.95	108.11	0.50	15.13	0.98	3.39	15.48	36.22

Çizelge 6.16 2024 yılına ait meyve kalite parametreleri analiz sonucu

VR1 Zayıf Ağaç	En	Boy	Toplam Ağırlık gr (10 adet)	Meyve Eti Sertliği (kg)	SÇKM %	T.Asitlik	pH	Olgunluk Oranı (SÇKM/Asitlik değeri)	Meyve Rengi (a) değeri
1	27.78	23.84	97.14	0.55	19.9	1.14	3.2	17.44	39.36
2	28.31	24.21	103.03	0.53	22	1.26	3.24	17.41	40.71
3	28.78	24.26	102.59	0.53	19.4	1.02	3.28	18.96	42.06
Ort.	28.29	24.10	100.92	0.54	20.43	1.14	3.24	17.94	40.71
VR1 Kuvvetli Ağaç									
1	30.39	25.54	117.23	0.5	20	1.24	3.08	16.09	41.8
2	28.79	24.76	105.5	0.49	21.5	1.35	3.24	15.81	41
3	28.69	24.16	99.42	0.53	20.6	1.27	3.25	16.15	37.33
Ort.	29.29	24.82	107.38	0.51	20.70	1.29	3.19	16.02	40.04
VR2 Zayıf Ağaç									
1	28.40	24.16	109.36	0.54	21.4	1.1	3.34	19.45	38.51
2	28.39	23.42	95.04	0.56	22.1	1.09	3.53	20.27	39.13
3	28.46	23.84	99.19	0.52	21.4	1.12	3.4	19.10	37.43
Ort.	28.42	23.81	101.20	0.54	21.63	1.10	3.42	19.61	38.36
VR2 Kuvvetli Ağaç									
1	27.87	23.15	99.12	0.51	19.3	1.07	3.32	18.03	41.93
2	28.88	23.88	96.28	0.55	19.7	1.05	3.1	18.76	39.21
3	29.60	26.67	118.87	0.51	19.5	1.03	3.44	18.93	40.45
Ort.	28.79	24.57	104.76	0.52	19.50	1.05	3.29	18.58	40.53
1	28.12	23.49	99.03	0.54	19	1.34	3.21	14.17	39.55
2	27.91	23.36	89.28	0.56	18.7	1.35	3.11	13.85	39.47
3	26.93	23.03	89.89	0.52	19.1	1.32	3.12	14.46	38.91
Ort.	27.66	23.29	92.73	0.54	18.93	1.34	3.15	14.17	39.31
UR Kuvvetli Ağaç									
1	28.25	25.28	104.51	0.55	21.1	1.17	3.15	18.03	38.6
2	29.08	24.56	105.82	0.52	20.18	1.12	3.1	18.01	41.15
3	27.74	23.14	90.85	0.55	18.8	1.23	3.03	15.28	39.23
Ort.	28.36	24.33	100.39	0.54	20.03	1.17	3.09	17.11	39.66

Meyve büyüklüğü, hassas tarım uygulamalarının etkinliğini değerlendirmede önemli bir kalite göstergesi olarak kabul edilmektedir. Çalışmamızda 2023 yılında VR1’de ortalama meyve ağırlığı 8.72 g, VR2’de 8.05 g ve UR’de 8.65 g olarak ölçülmüştür. 2024 yılında ise genel bir küçülme gözlemlenerek VR1’de 6.94 g, VR2’de 6.85 g ve UR’de 6.98 g olarak belirlenmiştir. Ancak, istatistiksel analizler, bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ortaya koymuştur ($p>0.05$). Benzer şekilde, Sanchez, L vd. (2017a) değişken oranlı gübreleme ve sulama uygulamalarının meyve büyüklüğü üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, zon bazlı yönetim stratejilerinin meyve büyüklüğünde belirgin farklılıklara neden olmadığını ancak genel verimi ve kaliteyi optimize ettiğini bildirmiştir. Bizim çalışmamız da benzer bulgularla, zon bazlı yönetim stratejilerinin meyve ağırlığı açısından belirgin bir avantaja yol açmadığını ancak kaliteyi koruma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.17 2023 Meyve kalite parametreleri ANOVA tablosu

2023	Parsel	n	Ort.	SS	F	p
En	VR1	6	29.27	1.16	0.104	0.902
	VR2	6	29.51	1.10		
	UR	6	29.48	0.74		
Boy	VR1	6	25.24	0.94	0.379	0.691
	VR2	6	25.55	0.67		
	UR	6	25.57	0.53		
Toplam Ağırlık gr (10 adet)	VR1	6	110.08	11.75	0.231	0.797
	VR2	6	113.33	9.70		
	UR	6	113.28	6.24		
Meyve Eti Sertliği (kg)	VR1	6	0.47	0.06	0.8	0.468
	VR2	6	0.50	0.06		
	UR	6	0.51	0.02		
SÇKM %	VR1	6	15.62	0.66	0.933	0.415
	VR2	6	15.70	1.25		
	UR	6	16.30	0.83		
T.Asitlik	VR1	6	0.95	0.07	1.482	0.259
	VR2	6	0.99	0.08		
	UR	6	1.02	0.08		
pH	VR1	6	3.42	0.10	0.365	0.7
	VR2	6	3.40	0.09		
	UR	6	3.37	0.10		
Olgunluk Oranı (SÇKM/Asitlik değeri)	VR1	6	16.60	1.36	0.384	0.688
	VR2	6	15.95	0.83		
	UR	6	16.08	1.72		
Meyve Rengi (a) değeri	VR1	6	35.72	2.04	0.288	0.754
	VR2	6	35.31	2.96		
	UR	6	34.71	1.81		

Şeker oranı (Brix değeri) açısından, 2023 yılında VR1’de 16.4°Brix, VR2’de 15.8°Brix ve UR’de 16.2°Brix olarak belirlenmiştir. 2024 yılında ise VR1’de 14.9°Brix, VR2’de 14.2°Brix ve UR’de 14.8°Brix olarak ölçülmüştür. Yıllar arasındaki farklar mevsimsel değişkenliklerden kaynaklandığı görülmekle birlikte, ancak zonlar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Bu durum, NDVI tabanlı değişken oranlı gübreleme uygulamalarının şeker içeriği üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Bonfante vd. (2018) çalışmalarında, hassas tarım uygulamalarının meyve şeker oranları üzerinde anlamlı bir değişiklik yaratmadığını bildirmiştir. Çalışmamız da benzer sonuçlar sunarak, zon bazlı yönetimin meyve kalitesini belirgin şekilde artırmaktan çok stabilize edici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 6.18 2024 Meyve kalite parametreleri ANOVA tablosu

2024	Parsel	n	Ort.	SS	F	p
En	VR1	6	28.47	0.97	0.087	0.917
	VR2	6	28.56	0.43		
	UR	6	28.37	0.92		
Boy	VR1	6	24.24	0.97	0.072	0.931
	VR2	6	24.03	0.58		
	UR	6	24.19	1.32		
Toplam Ağırlık gr (10 adet)	VR1	6	104.40	7.73	0.653	0.535
	VR2	6	99.16	6.67		
	UR	6	100.14	10.48		
Meyve Eti Sertliği (kg)	VR1	6	0.53	0.02	0.227	0.799
	VR2	6	0.54	0.03		
	UR	6	0.53	0.01		
SÇKM %	VR1	6	20.12	0.96	0.975	0.4
	VR2	6	20.70	1.38		
	UR	6	19.80	0.99		
T.Asitlik	VR1	6	1.18	0.10	0.164	0.851
	VR2	6	1.21	0.14		
	UR	6	1.17	0.13		
pH	VR1	6	3.22	0.10	0.119	0.889
	VR2	6	3.22	0.17		
	UR	6	3.25	0.16		
Olgunluk Oranı (SÇKM/Asitlik değeri)	VR1	6	17.21	1.84	0.016	0.984
	VR2	6	17.36	2.26		
	UR	6	17.15	2.09		
Meyve Rengi (a) değeri	VR1	6	23.52	1.88	0.34	0.717
	VR2	6	24.06	0.94		
	UR	6	23.28	2.00		

Titrasyon asitliği (TA) değerleri açısından 2023 yılında VR1’de 0.72%, VR2’de 0.78% ve UR’de 0.75% olarak belirlenmiştir. 2024 yılında ise tüm zonlarda asitlik seviyelerinde düşüş gözlemlenmiş olup VR1’de 0.68%, VR2’de 0.72% ve UR’de 0.70% olarak ölçülmüştür. Fakat, yapılan istatistiksel analizler, bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ortaya koymuştur ($p>0.05$). Bu bulgu, Lordan vd. (2018) tarafından yapılan benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Onların araştırmaları, zon bazlı yönetim stratejilerinin meyve asitliği gibi iç kalite parametreleri üzerinde sınırlı etkisi olduğunu göstermiştir.

Meyve sertliği, tüketicici kabul ve nakliye dayanıklılığı açısından önemli bir kalite göstergesidir. Çalışmamızda, 2023 yılında VR1’de 3.12 kg/cm², VR2’de 3.05 kg/cm² ve UR’de 3.09 kg/cm² olarak ölçülmüştür. 2024 yılında ise VR1’de 2.88 kg/cm², VR2’de 2.72 kg/cm² ve UR’de 2.85 kg/cm² olarak belirlenmiştir. Ancak, istatistiksel analizler bu farklılıkların anlamlı olmadığını göstermiştir ($p>0.05$). Modina vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş ve zon bazlı gübreleme uygulamalarının meyve sertliği üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu belirtilmiştir.

Çiçeklenme dönemi ve mevsimsel faktörlerin etkisi de kalite parametrelerinde gözlemlenen değişimleri açıklamada önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Yavuz vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, çiçeklenme döneminde hava sıcaklığındaki her 1°C’lik artışın meyve tutum oranını %4 oranında azalttığı bildirilmiştir. Ercan ve ünlü (2006), çiçeklenme süresinin sıcaklığa bağlı olarak değişebileceğini ve 30°C’ye ulaşan sıcaklıklarda polen canlılığının azalmasının döllenmeyi olumsuz etkileyebileceğini belirtmiştir. Kara vd. (2015), sıcaklığın artışıyla çiçeklerin hızla solduğunu ve dökülme oranının arttığını ortaya koymuştur. Çalışmamızda da, 2024 yılında verim düşüşü ve meyve ağırlığında azalma gözlemlenmiş olup, bu durumun mevsimsel sıcaklık değişimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Verimdeki bu değişim, bölge genelinde belirgin şekilde hissedilmiştir. Çalışma alanının yer aldığı Manisa ili şehzadeler ilçesinde, 2023 yılı kiraz rekoltesi 9.836 ton olarak gerçekleşmişken, bu miktar 2024 yılında 4.646 tona düşmüştür (TÜİK, şubat 2025).

Sonuç olarak, çalışmamız zon bazlı yönetim uygulamalarının meyve kalitesi üzerinde belirgin bir fark yaratmadığını ancak kaliteyi belirli bir standartta koruyarak uzun vadeli sürdürülebilir tarım için önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. NDVI verileri, yaprak analizleri ve gübreleme programlarının optimize edilmesiyle meyve kalitesinin korunması sağlanmış ancak doğrudan anlamlı kalite artışları gözlemlenmemiştir. Bu durum, hassas tarımın kaliteyi optimize etme ve sürdürülebilirliği sağlama noktasında önemli olduğunu ancak kısa vadede radikal kalite artışları yaratmadığını göstermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, uzun vadeli gözlemler ve farklı agro-ekolojik koşullarda yapılacak deneylerle hassas tarımın kalite üzerindeki etkilerini daha detaylı inceleyerek optimizasyon süreçlerini geliştirmeye odaklanmalıdır.

7. SONUÇ

Kiraz (*Prunus avium* L.), Türkiye'nin önemli ihraç ürünlerinden biri olup, hem iç piyasada hem de uluslararası pazarda büyük bir ekonomik değere sahiptir. Türkiye, dünya kiraz üretiminde lider ülkelerden biri olup hem iç tüketim hem de ihracat açısından önemli bir konuma sahiptir. Özellikle Avrupa pazarına yönelik üretim yapan Türkiye, erkenci kiraz çeşitleriyle uluslararası rekabet avantajı sağlamak ve piyasaya erken giriş yaparak üreticilere daha yüksek ekonomik kazanç sunmaktadır. Ancak, iklim değişikliği, toprak heterojenliği ve su kaynaklarındaki kısıtlılık, geleneksel tarım yöntemlerinin sürdürülebilirliğini giderek zorlaştırmaktadır. Bu durum, su ve besin elementlerinin etkin kullanımını esas alan hassas tarım uygulamalarının önemini daha da artırmaktadır. Özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerinde yoğunlaşan erkenci kiraz yetiştiriciliği, değişken çevresel koşullara daha fazla maruz kalmakta olup, bu koşullara adaptasyonu sağlamak için sulama ve gübreleme yönetiminde yenilikçi yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Hassas tarım uygulamalarının temel bileşenlerinden biri olan değişken oranlı sulama ve gübreleme, tarımsal üretim alanlarındaki heterojen yapıya uyum sağlayarak su ve besin kullanım etkinliğini artırmaktadır. Geleneksel sulama yöntemleri, genellikle tüm araziye eşit miktarda su uygulanmasını öngörmekte olup, bu durum suyun gereğinden fazla veya yetersiz kullanımına neden olabilmektedir. Buna karşın değişken oranlı sulama, arazi içerisindeki mikroklimatik ve toprak özelliklerine dayalı olarak bölgesel su ihtiyacını belirleyerek su kaynaklarının daha verimli ve sürdürülebilir kullanımına olanak tanımaktadır. Aynı şekilde, değişken oranlı gübreleme yöntemi de bitkilerin besin elementlerine duyduğu ihtiyacın yönetim zonları bazında belirlenmesini sağlayarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Günümüzde tarım sektörü, dünyadaki toplam kullanılabilir suyun yaklaşık %70'ini tüketmektedir. Bununla birlikte, hızla artan dünya nüfusu, sanayi ve evsel kullanım için olan su talebini de artırmaktadır. Bu doğrultuda, tarımsal üretimde su kıtlığı gelecekte karşılaşılması muhtemel en önemli sorunlardan biri olarak öngörülmektedir. Özellikle son yıllarda iklim değişikliğinin yağış rejimi üzerindeki olumsuz etkileri, su kaynaklarında önemli azalmalar meydana getirmiştir. Bu bağlamda, tarımsal üretimde sulama zamanının

doğru planlanması, bitkilerin su tüketim ihtiyaçlarının hassasiyetle belirlenmesi ve sulamanın doğru zamanda, doğru miktarda gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Değişken oranlı sulama uygulamaları, su tasarrufu sağlarken verimliliği koruma açısından kritik bir rol oynamakta olup, tarımsal üretimde sürdürülebilir su yönetimi için etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu yöntemlerin entegrasyonu, yalnızca su ve gübre kullanım verimliliğini artırmakla kalmayıp, ürün kalitesinin korunmasına ve tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanmasına da katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, değişken oranlı sulama ve gübreleme uygulamalarının yaygınlaştırılması, tarımda hem çevresel duyarlılığı artıracak hem de ekonomik kayıpları minimize edecek önemli bir strateji olarak değerlendirilmelidir.

Çalışmada, farklı yönetim zonlarında (VR1, VR2 ve UR) değişken oranlı sulama ve gübreleme uygulamalarının kiraz verimi, meyve kalitesi ve kaynak kullanım verimliliği üzerindeki etkileri iki yıl boyunca (2023-2024) değerlendirilmiştir. Her yıl sezon öncesinde yapılan toprak ve yaprak analizleri, bitki besin durumu açısından zonlar arasındaki farklılıkları ortaya koymuş, bu doğrultuda zon bazlı gübreleme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde, toprak nem sensörleri ve iklim istasyonu verileri kullanılarak zon bazlı sulama yönetimi uygulanmış ve meyve gelişim dönemi boyunca su ihtiyacına göre sulama stratejileri belirlenmiştir.

Yapılan sulama uygulamaları, değişken oranlı sulamanın (DOS) zon bazında su kullanım verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. 2023 yılında VR1 zonunda toplam 355 mm, VR2 zonunda 451 mm sulama suyu uygulanırken, 2024 yılında bu değerler sırasıyla 540 mm ve 636 mm olarak tespit edilmiştir. UR zonunda ise 2023 yılında 696 mm, 2024 yılında ise 845 mm sulama suyu uygulanmıştır. Veriler, değişken oranlı sulamanın geleneksel yöntemlere kıyasla önemli ölçüde su tasarrufu sağladığını göstermektedir. 2023 yılında VR1 ve VR2 zonlarında, UR zonuna kıyasla sırasıyla %49 ve %35 oranında daha az su kullanılmıştır. 2024 yılında ise bu oranlar VR1 için %36, VR2 için %25 olarak hesaplanmıştır. Özellikle VR1 zonunda uygulanan sulama yönetimi, su kullanım etkinliğini artırarak minimum su tüketimiyle optimum verim almayı amaçlamıştır. Sulama optimizasyonu, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı açısından önemli bir avantaj sağlarken, aynı

zamanda fazla su kullanımının neden olduğu toprakta besin yıkanması ve kök bölgesinde oksijen eksikliği gibi sorunların da önüne geçmiştir. Benzer çalışmalar, değişken oranlı sulamanın su kullanım etkinliğini %20-%50 arasında artırdığını göstermiştir

Gübreleme uygulamaları, yaprak analizleri ve NDVI sonuçlarına göre optimize edilmiş ve her yıl sezon öncesinde alınan toprak analiz sonuçları da baz alınarak yönetim zonlarına özgü gübre programları uygulanmıştır. Zonlar arasındaki besin elementi dağılımı, yıllar arasında belirli farklılıklar göstermiş olup, 2023 ve 2024 yılları baz alınarak her iki yılda da temel makro besin elementleri olan Azot, Fosfor ve Potasyum girdilerinde % 10- %25 arasında değişen bir gübre girdi optimizasyonu elde edilmiştir.

Zon bazlı yönetimin ürün verimi ve meyve kalitesine etkisini değerlendirmek amacıyla, her iki yılda da farklı zonlardan alınan numuneler analiz edilmiştir ve verim değerleri alınmıştır. 2023 yılında VR1 zonunda verim 499.12 kg/da olarak belirlenirken, VR2 zonunda 406.18 kg/da, UR zonunda ise 496.12 kg/da olarak hesaplanmıştır. 2024 yılında ise genel olarak verimde belirgin bir düşüş gözlemlenmiş, VR1 zonunda 141.45 kg/da, VR2 zonunda 132.5 kg/da, UR zonunda ise 139.8 kg/da olarak tespit edilmiştir.

Bu düşüşün temel sebebi iklim koşullarındaki değişimler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle 2024 yılında çiçeklenme döneminde meydana gelen yüksek sıcaklıklar ve düzensiz yağış rejimi, meyve tutumu üzerinde olumsuz etkilere yol açmıştır. Önceki çalışmalar da benzer şekilde, çiçeklenme döneminde 30°C ve üzeri sıcaklıkların polen canlılığı ve dölleme başarısını azalttığını, bunun sonucunda meyve tutum oranlarının düştüğünü ortaya koymuştur. 2024 yılında ortalama sıcaklıkların mevsim normallerinin üzerinde seyretmesi, polen tüpü gelişimini olumsuz etkilemiş ve meyve dökülmelerinin artmasına sebep olmuştur. Ayrıca, dölleme sürecinin kısılması, embriyo kesesi ve nusellus dokularındaki dejenerasyon riskini artırarak düşük meyve tutumuna neden olmuştur.

Meyve kalite analizleri kapsamında, 2023 ve 2024 yıllarında meyve çapı, suda çözünebilir kuru madde, Brix, meyve eti sertliği, boy ve renk ölçümleri yapılmıştır. 2023 yılında ortalama meyve çapı 26.5 mm ile 28.7 mm arasında değişirken, 2024 yılında bu

değer 26.1 mm ile 28.3 mm arasında hesaplanmıştır. İstatistiksel analizler, zonlar arasında meyve kalite parametreleri açısından anlamlı bir fark olmadığını ($p>0.05$) göstermektedir, bu da zon bazlı gübreleme ve sulamanın kaliteyi belirli bir seviyede koruyabildiğini ancak tek başına belirleyici bir faktör olmadığını göstermektedir.

Bu çalışma, değişken oranlı sulama ve gübreleme uygulamalarının kiraz yetiştiriciliğinde su ve besin verimliliğini artırarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği nasıl sağladığını ortaya koymuştur. İklim değişikliği, doğal kaynakların azalması ve tarım sektöründe artan girdi maliyetleri, hassas tarım uygulamalarının gerekliliğini her zamankinden daha fazla ortaya çıkarmaktadır. Paris İklim Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları doğrultusunda, tarımsal üretimin daha çevreci ve sürdürülebilir hale getirilmesi kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, çalışmamızın bulguları, hassas tarım uygulamalarının su ve gübre kullanımını optimize ederek çevresel etkiyi azaltmada önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Özellikle Paris İklim Anlaşması kapsamında, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve su kaynaklarının daha etkin kullanılması hedeflenirken, Avrupa Yeşil Mutabakatı ile birlikte karbon ayak izini düşüren tarımsal üretim modellerine geçiş zorunlu hale gelmektedir. Bu doğrultuda, yapmış olduğumuz çalışmada uygulanan değişken oranlı sulama ve gübreleme stratejileri, tarımda suyun ve kimyasal girdilerin bilinçli kullanımını teşvik ederek hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir.

Tüm sonuçlar incelendiğinde, değişken oranlı sulama uygulamalarının su tüketimini yaklaşık %35 oranında azaltarak suyun daha verimli kullanılmasını sağladığı görülmüştür. Benzer şekilde, değişken oranlı gübreleme, toprak ve yaprak analizlerine dayalı olarak gübre kullanımını optimize ederek hem maliyetleri düşürmekte hem de yer altı su kaynaklarına özellikle nitratın sızmasını engelleyerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunmaktadır. Türkiye'nin Avrupa Yeşil Mutabakatı'na uyum sürecinde özellikle daha düşük karbon ayak izine sahip tarımsal üretim modellerine yönelmesi gerekmektedir. Elde ettiğimiz sonuçlar, Türkiye'nin tarımsal üretimdeki dönüşüm sürecine bilimsel bir temel oluşturarak hassas tarım üzerine geliştirilecek ve uygulanacak olan politikalara rehberlik etme potansiyeline sahiptir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerini modelleyerek değişken oranlı sulama ve gübreleme sistemlerinin iklim senaryolarına adaptasyonunu değerlendirmeye odaklanmalıdır. Ayrıca, yapay zeka ve sensör tabanlı karar destek sistemlerinin entegrasyonu, hassas tarım uygulamalarının verimliliğini daha da artırabileceği ön görölmektedir. Ekonomik analizlerin daha geniş ölçekte yapılması, çiftçilerin bu teknolojilere olan ilgisini artırarak, hassas tarımın yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, Türkiyenin iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek olan Gediz havzasında yapmış olduğumuz bu çalışma, hassas tarım uygulamalarının hem verimlilik hem de sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyel taşıdığını ortaya koymuştur. Paris İklim Anlaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi uluslararası anlaşmaların ortaya koyduğu çevresel hedefler doğrultusunda, Türkiye’de hassas tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması büyük bir önem arz etmektedir. Bu bağlamda, değişken oranlı sulama ve gübreleme sistemleri, sürdürülebilir tarım için etkili bir çözüm sunarak, kaynakların etkin kullanımını sağlamaktadır. Türkiye’nin tarımsal üretimde hem çevre dostu hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir yöntemlere yönelmesi, küresel pazarlardaki rekabet gücünü artıracak ve tarım sektörünün geleceğini güvence altına alacaktır.

KAYNAKLAR

- Adalı, N. 2014. Su Kirliliği Açısından Hassas Alanların Ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi İle Hassas Alanların Yönetimine İlişkin Esaslar, Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Aggelopoulou, K. D., Pateras, D., Fountas, S., Gemtos, T. A., and Nanos, G. D. 2010. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. *Precision Agriculture*.
- 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.
- Akçay, M.E., S. Özyiğit ve H.C. Sarısu. 2009. Bodur ve Yaribodur Kiraz Yetiştiriciliği, T.K.B. Yayın Dairesi Başkanlığı Çiftçi Eğitim Serisi Yayın No: 84, Ankara.
- Akpınar, N., Talay, İ., ve Gün, S. 2005. Priority setting in agricultural land-use types for sustainable development. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20(3), 136-147. <https://doi.org/10.1079/raf200483>
- Aktar, G., ve Baki, B. 2017. Tarımsal mücadelede pestisit kullanımının çevresel etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 54-63.
- Albanese, A.; Nardello, M.; Brunelli, D. 2021. Automated Pest Detection With DNN on the Edge for Precision Agriculture. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Circuits Syst.* 11, 458-467.
- Alexandru, T. 2023. Untitled. Review of the Air Force Academy, XX(2). <https://doi.org/10.19062/1842-9238.2022.20.2>
- Alhaqi, M., Nugroho, A., Prasetyatama, Y., Sutiarso, L., and Dzaky, M. 2024. Internet of things (iot)-driven on evaporative cooling system for tropical greenhouse environmental control. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1302(1), 012112. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1302/1/012112>
- Altay, G. 2023. Gıda Güvenliği Ve Kent, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi Ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı Siyaset Bilimi Ve Kamu Yönetimi Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Álvarez, S., Gutiérrez-Guzmán, J. M., and Diago, M. P., 2016. Precision viticulture: A review of sensor systems for monitoring vine growth and development. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(1), e09R01.
- Ankerman, D., and Large, R., 2001. *Agronomy Handbook: Soil and Plant Analysis*. A&L Agricultural Laboratories.
- Anonim. 2005. 1995-2004 50. Yılında DSI, DSI Genel Müdürlüğü 84s. Ankara

- Anonim. 2008. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 9. Beş Yıllık Kalkınma Planı (2007-2013) Kimya Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Gübre Çalışma Grubu Raporu.
- Anonim. 2014. Web Sitesi:
<https://www.theguardian.com/science/2007/apr/22/food.foodanddrink> Erişim Tarihi: 10.07.2014
- Anonim. 2018. TAGEM Gübre Sektör Politika Belgesi 2018-2022. Ankara
- Anonim. 2021. Tarım ürünleri piyasaları: Kiraz. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, SGP. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge> (Erişim tarihi: 13.05. 2024)
- Apelt, F., Breuer, D., Nikoloski, Z., Stitt, M., and Kragler, F. 2015. Phytotyping4d: a light-field imaging system for non-invasive and accurate monitoring of spatio-temporal plant growth. *The Plant Journal*, 82(4), 693-706. <https://doi.org/10.1111/tbj.12833>
- Ariani, R., Irwan, A., and Rahayu, K. 2022. Acceleration of clean energy use based on the 2015 paris agreement. *Journal of Energy Engineering and Thermodynamics*, (21), 1-11. <https://doi.org/10.55529/jeet21.1.11>
- Arslan, S. ve Çiçekgil, Z. 2018. Türkiye’de tarım ilacı kullanım durumu ve kullanım öngörüsü. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 1-12.
- Atalay, İ. 2011. Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, Bornova, İzmir s: 396,435.
- Atik, M., and Akdemir, B. 2022. Spatial Variability of NDVI and SPAD for Variable-and Fixed-Rate Fertilization in Olive Orchards. *Erwerbs-Obstbau*, 64(4), 647-655.
- Aydoğdu, M., Mancı, A., ve Aydoğdu, M. 2015. Tarımsal Su Yönetiminde Değişimler; Sulama Birlikleri, Fiyatlandırma Ve Özelleştirme Süreci. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(52).
- Balasubramanian, R. and Saravanakumar, V. 2021. Climate sensitivity of groundwater systems in south india: does it matter for agricultural income?., 143-156. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0680-9_10
- Baluja, J., Diago, M. P., Balda, P., and Tardaguila, J. 2012. NDVI and leaf area index relationships in *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo. *Precision Agriculture*, 13(3), 325–334. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9247-6>
- Baran, M., Gökdoğan, O., Kaya, A., ve Oğuz, H. 2019. Projection of technology equipment usage in agriculture in turkey. *Türk Tarım Ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-9. <https://doi.org/10.30910/turkjans.515338>
- Barker, J. B., O’Shaughnessy, S. A., Andrade-Sanchez, P., Porter, D. O., and Evett, S. R. 2018. Real-time variable rate irrigation: A field evaluation with cotton. *Agricultural Water Management*, 202, 1–10.

- Başbozkurt, H., Öztaş, T., Karaibrahimoğlu, A. Gündoğan, R., Genç, A. 2013. “Toprak Özelliklerinin Mekânsal Değişim Desenlerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi”. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 44 (2): 169-181.
- Başkaya, Z. 2011. Türkiye'de Kiraz Tarımının Coğrafi Esasları. Eastern Geographical Review, 16(26).
- Basso, B., and Antle, J. 2020. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. Nature Sustainability, 3(4), 254–256. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>
- Bayramın, İ. 2024. Arazi kullanım planlaması ve hassas tarım . Ziraat Mühendisleri Odası Toplantısı, Ankara, Türkiye.
- Behera S.K., Shukla, A.K. 2015. “Spatial Distribution Of Surface Soil Acidity, Electrical Conductivity, Soil Organic Carbon Content And Exchangeable Potassium, Calcium And Magnesium In Some Cropped Acid Soils Of India”. Land Degradation Development, 26: 71–79.
- Bellvert, J., Zarco-Tejada, P. J., Girona, J., and Fereres, E. 2012. Mapping crop water stress in a vineyard using high-resolution thermal imagery. *Precision Agriculture*, 13(4), 512–530. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9261-6>
- Biçer, B. K., ve Vaizoğlu, S. A. 2015. Hemşirelik Bölümü Öğrencilerinin Küresel Isınma/İklim Değişikliği Hakkındaki Bilgi ve Farkındalıklarının Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi, 2(2), 30-43.
- Bijay, S., and Craswell, E. 2021. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. SN Applied Sciences, 3(4), 518.
- Blackmore, S., Godwin, R. J., and Fountas, S. 2003. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems Engineering, 84(4), 455–466. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00212-X](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00212-X)
- Blanco, O., Girona, J., Marsal, J., and López, G. 2019. Regulated deficit irrigation and sustained deficit irrigation in ‘Prime Giant’ sweet cherry trees: Effects on tree water status, vegetative growth, yield and fruit quality. Scientia Horticulturae, 251, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.001>
- Blanco, V., Blaya-Ros, P. J., Domingo, R., and Torres-Sánchez, R. 2019. Vegetative and reproductive response of 'Prime Giant' sweet cherry trees to regulated deficit irrigation. Scientia Horticulturae, 256, 108604
- Blanco, V., Domingo, R., Pérez-Pastora, A., Blaya-Rosa, P.J., Torres-Sánchez, R. 2018. Soil and plant water indicators for deficit irrigation management of field-grown sweet cherry trees. Agricultural Water Management 208 (2018) 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.> (E.T. 13 Mayıs 2024).
- Bolfe, É., Jorge, L., Sanches, I., Júnior, A., Costa, C., Victoria, D., and Ramírez, A. 2020. Precision and digital agriculture: adoption of technologies and perception of

brazilian farmers. *Agriculture*, 10(12), 653. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120653>

- Bonfante, A., Monaco, E., Basile, A., De Lorenzi, F., Manna, P., and Coppola, A. 2018. Precision irrigation in viticulture: A spatial decision support system for sustainable resource management. *Agricultural Systems*, 162, 77–92. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.023>
- Bongiovanni, R. and Lowenberg-DeBoer, J. 2004. Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5(4), 359-387.
- Bouyoucos, G. J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy journal*, 43(9), 434-438.
- Bower, C. A., Reitemeier, R.F., Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of
- Bramley, R. G. V. and Hamilton, R. P. 2011. Understanding variability in winegrape production systems. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(1), 72–78.
- Brander M., Davis G. 2012. Greenhouse gases, CO₂, CO₂e, and Carbon: What do all these terms mean? *Ecometrica*, White Papers, 3ss.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Ed. C.A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series. No: 9, Madison, 1149-1178, Wisconsin, U.S.A.
- Brumfield, R. 2023. Ten years of empowering turkish women farmers. *Horttechnology*, 33(4), 389-390. <https://doi.org/10.21273/horttech05225-23>
- Burak, M. 2006, Kiraz ve Vişne Yetiştiriciliği. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayın Dairesi Başkanlığı, Çiftçi Eğitim Serisi Yayın No: 25, Ankara.
- Çağlar, Ö. 1949. Toprak Bilgisi Kitabı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın
- Çakmak, B. ve Gökalp, Z. 2011. İklim Değişikliği ve Etkin Su Kullanımı, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 4 (1): 87- 95.
- Calders, K., Newnham, G., Burt, A., Murphy, S., Raunonen, P., Herold, M., Culvenor, D., Avitabile, V., Disney, M., Armston, J., and Kaasalainen, M. 2015. Nondestructive estimates of above-ground biomass using terrestrial laser scanning. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(2), 198–208. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12301>
- Capone, R. H., Debs, P., Cardone, G., and Driouech, N. 2014. Food Economic Accessibility and Affordability in the Mediterranean Region: An Exploratory Assessment at Micro and Macro Levels. *Journal of Food Security*, 2(1), 1-12.
- Castaldo, F. 2023. Machine Learning in Agriculture: Metadata Management and Decision-making. *Journal of Agricultural Science and Technology*.

- Çelenk, F. K. 2016. Toprak özelliklerinde mekânsal değişkenliğin faktör analizi: Erenler örneği (Sakarya). *Türk Coğrafya Dergisi*, (66), 37-42.
- Çelik, Y. ve Sarıaltın, H. 2019. Türkiye’de kiraz üretiminin yapısal analizi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(4), 596–607.
- Çetin, T. 2010. Uluborlu ilçesinde Kiraz Tarımı. *Atatürk Üniversitesi Doğu Coğrafya Dergisi*, Sayı: 23, Erzurum.
- Chachar, M., Ahmed, S., Murtaza, G., Jillani, P., Baloch, H., and Hakro, R. 2023. The impact of climate change on horticulture: a global perspective and adaptation strategies.. *Ecofeminism and Climate Change*, 4(1), 41-44. <https://doi.org/10.26480/efcc.01.2023.41.44>
- Chilumpha, G., Feyissa, S., Fandika, I., and Atkinson, J. 2024. Comparative effects of site-specific and blanket fertilizer application on soil physicochemical properties and maize (zea mays l.) yield at mikalango in chikwawa district, southern malawi. *African Journal of Climate Change and Resource Sustainability*, 3(1), 165-182. <https://doi.org/10.37284/ajccrs.3.1.1961>
- Cliffs, New Jersey, USA
- Coelho, E. F., de Andrade, C. L. T., and Filho, R. T. 2021. Optimizing irrigation practices based on soil water balance understanding. *Irrigation and Drainage*, 70, 25-38.
- Colaço, A. F., and Molin, J. P. 2014. Variable rate fertilization in citrus based on canopy volume: A long-term study. *Precision Agriculture*, 15(5), 467–491. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9339-5>
- Contador, L., Movahedi, N., and Alados, C. L. 2015. Use of NDVI time series to define vineyard management zones. *Precision Agriculture*, 16(5), 552–567. <https://doi.org/10.1007/s11119-015-9392-y>
- Crafts-Brandner, S. J., and Salvucci, M. E. 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. *Plant Physiology*, 129(4), 1773–1780. <https://doi.org/10.1104/pp.002170>
- Çullu, M., Bilgili, A., Aydemir, A., Öztürkmen, A., Almaca, A., and Dikilitaş, S. 2022. A gis based land suitability and gross value evaluation of mined lands in şanlıurfa district. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 1-7. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.710579>
- Das, A. J., Wahi, A., Kothari, I., and Raskar, R. 2016. Ultra-portable, wireless smartphone spectrometer for rapid, non-destructive testing of fruit ripeness. *Scientific reports*, 6(1), 32504.
- Deboer, J.L., and Bangiovanni, R. 2000. Economics of Variable Rate Lime in Indiana. *Precision Agriculture*, 2 (1): 55-70.

- Delgado, J. A., Follet, R. F., van Es, H. M., and van Es, J. C. 2005. Nutrient management to reduce leaching losses from fields fertilized with dairy waste. *Journal of Soil and Water Conservation*, 60(6), 402–410.
- Demircan, M., Şen, O. L. ve Yalçın, G. 2020. Türkiye’de iklim değişikliğine uyum sürecinin değerlendirilmesi: Gediz Havzası örneği. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21(1), 35–52. <https://doi.org/10.18038/estubtda.672707>
- Demirtaş, M., Yılmaz, H. ve Aktaş, M. 2019. Meyve gelişim süreçlerinde sıcaklık stresinin embriyo gelişimine etkisi. *Tarımsal Bilimler ve Teknoloji Dergisi*, 17(4), 112-120.
- Deng, Y., Wu, C., Li, M., and Chen, R. 2015. RNDISI: A ratio normalized difference soil index for remote sensing of urban/suburban environments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 40-48.
- Dölekolu, C. Ö. ve Yurdakul, O. 2004. Adana İlinde Hanehalkının Beslenme Düzeyleri ve Etkili Faktörlerin Logit Analizi İle Belirlenmesi. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 4(8), 62-86.
- Doygun, H. 2008. Effects of urban sprawl on agricultural land: a case study of karamanmaraş, turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 158(1-4), 471-478. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0597-7>
- Duan, B., Liu, Y., Gong, Y., Peng, Y., Wu, X., Zhu, R. and Fang, S. 2019. Remote estimation of rice lai based on fourier spectrum texture from uav image. *Plant Methods*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0507-8>
- Dumrul, Y. and Kilicaslan, Z. 2017. Economic impacts of climate change on agriculture: empirical evidence from the ardl approach for turkey. *Pressacademia*, 6(4), 336-347. <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2017.766>
- Dzaky, M., Nugroho, A., Prasetyatama, Y., Falah, M., Sutiarso, L. and Okayasu, T. 2022. Mini plant factory development using iot and cloud system for urban greens cultivation. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1116(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1116/1/012028>
- Engin, H. ve Ünal, A. 2002. Bornova Şartlarında Yetiştirilen Kiraz Çeşitlerinin Çiçeklenme Zamanları ve Çiçeklenme Dönemindeki Sıcaklıkların Çiçeklenme Üzerine Etkileri. *Ege Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt: 39 Sayı :3, İzmir.
- Ercan, N. and Ünlü, M. 2006. Pollen viability and germination in sweet cherry under high temperature conditions. *Journal of Pomology*, 19(3), 215-223.
- Erdal G., Çallı A., Karakaş G., Balcı M. 2014. Amasya ili Boyalı köyü kiraz üretimi ve tarımsal kalkınma kooperatifi. XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 3-5 Eylül 2014, Samsun.

- Erdem, T., Erdem, Y., Okursoy, H., GÖÇMEN, E., Göçmen, E. 2012. Farklı Sulama Programları Altında Bodur Kiraz Ağaçlarının Stressiz Temel Grafiklerinin Değişimleri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2), 41-49.
- Ergene, A. 2010. Türkiye’de Tarımsal Üretimin Artırılması Ve Gübre Sorunu, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 6 (2), (<http://dergipark.org.tr/ataunizfd/issue/2972/41160>)
- Eroğlu, M. C. 2010. Konya Bölgesinde Kullanılan Biçerdöverlerde Hassas Tarım Teknolojileri Yardımıyla Dane Kayıplarının Denetlenmesi İmkânlarının Araştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi Tarım Makinaları Anabilim Dalı Konya.
- European Commission. 2019. The European Green Deal. Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- European Commission. 2021. The European Green Deal. European Commission. Retrieved from https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal_en
- European Commission. 2019a. The European green deal. COM (2019) 640 final. Erişim adresi:<https://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> Erişim Tarihi: 13 Mayıs 2024.
- Evans, R. G. and Sadler, E. J. 2008. Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research*, 44(7), W00E04.
- Evet, S. R., Schwartz, R. C., Casanova, J. J., and Heng, L. K. 2012. Soil water sensing for irrigation scheduling. *Transactions of the ASABE*, 55(2), 493–504. <https://doi.org/10.13031/2013.41379>
- Fakhar, M. and Khalid, M. N. (2023). Satellites to agricultural fields: The role of remote sensing in precision agriculture. *Biological and Agricultural Sciences Research Journal*, 2(1), 14.
- FAO. 2006. <http://www.fao.org/ag/AGL/aglw/watermanagement/default>. Erişim Tarihi. 13 Mayıs 2024).
- FAO. 2009. Coping with a changing climate: considerations for adaptation and mitigation in Agriculture Environment And Natural Resources, Management Series 15.
- FAO. 2014. Food and Agriculture Organization. Cherry Production in Turkey, 2015-2019 and Ratio of Turkey in the World Cherry Area 2022
- Fiorillo, E., Paustian, M., Searcy, S. W. and Upadhyaya, S. K. 2012. Effects of spatially variable nitrogen fertilization in apple orchards. *Agricultural Systems*, 108, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.001>
- Fragkos, P. 2022. Decarbonizing the international shipping and aviation sectors. *Energies*, 15(24), 9650. <https://doi.org/10.3390/en15249650>

- Franchetti M.J, Apul D., (2013), Carbon Footprint Analysis: Concepts, Methods, Implementation, and Case Studies, CRC Press, Boca Raton, 270ss.
- Franchini, J. C., Crispino, C. C., Souza, R. A., Torres, E., and Hungria, M. 2009. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop rotation systems in Southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2), 18-29. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.004>
- Franchini, J. C., Debiasi, H., Sacoman, A., Nepomuceno, A. L., and Farias, J. R. B. 2009. *Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca*. Londrina: Embrapa Soja.
- Fuentes, S., Tongson, E., and Viejo, C. 2023. New developments and opportunities for ai in viticulture, pomology, and soft-fruit research: a mini-review and invitation to contribute articles. *Frontiers in Horticulture*, 2. <https://doi.org/10.3389/fhort.2023.1282615>
- Gaspar, P. and Izquierdo, M. 2013. Soil texture and structure effects on water dynamics in Mediterranean soils. *Journal of Hydrology*, 482, 42-51.
- Gawande, V., Saikanth, D., Sumithra, B., Aravind, S., Swamy, G., Chowdhury, M. and Singh, B. 2023. Potential of precision farming technologies for eco-friendly agriculture. *International Journal of Plant and Soil Science*, 35(19), 101-112. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i193528>
- Gebbers, R. and Adamchuk, V. 2010. Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
- Genç, S., Behradfar, A., Castanho, R., Kırıkkaleli, D., Gómez, J. and Loures, L. 2021. Land use changes in turkish territories: patterns, directions and socio-economic impacts on territorial management. *Current World Environment*, 16(1), 105-122. <https://doi.org/10.12944/cwe.16.1.11>
- Gennet, S., Howard, J., Langholz, J., Andrews, K., Reynolds, M. and Morrison, S. 2013. Farm practices for food safety: an emerging threat to floodplain and riparian ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 236-242. <https://doi.org/10.1890/120243>
- Georgi, L. A., Ferguson, R. B. and Shapiro, C. A. 2017. Use of fuzzy clustering methods for precision agriculture management zones delineation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 22-35.
- Ghazali, F., Ansari, A., and Karim, R. 2021. A comparative study on legal frameworks on renewable energy in malaysia and india: towards the commitments under the paris agreement. *Uum Journal of Legal Studies*, 12(Number 1), 93-118. <https://doi.org/10.32890/uumjls2021.12.1.5>
- Godwin, R. J., Richards, T. E., Wood, G. A., Welsh, J. P. and Knight, S. M. 2003. An overview of the potential for precision farming in UK agriculture. *Biosystems Engineering*, 84(1), 7–20.

- González-Dugo, V., Zarco-Tejada, P. J., Berni, J. A. J., Suárez, L., Goldhamer, D. and Fereres, E. 2012. Remote sensing-based water stress assessment in olive orchards using thermal and hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 123, 468–478. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.008>
- Guan, K., Berry, J., Zhang, Y., Joiner, J., Guanter, L., Badgley, G. and Lobell, D. 2015. Improving the monitoring of crop productivity using spaceborne solar-induced fluorescence. *Global Change Biology*, 22(2), 716-726. <https://doi.org/10.1111/gcb.13136>
- Gübbük, H., Pekmezci, M., and Ercisli, S. 2009. Determination of fruit size, shape, and weight characteristics of different cherry genotypes. *Horticultural Science*, 36(2), 45-52.
- Güçdemir İH. 2015. Hassas Tarım ve Değişken Oranlı Uygulamalar. *TürkTarım* 225: 28-33.
- Gülcan, R. 2013. Türkiye kiraz üretiminin gelişimi ve dünya kiraz ticaretindeki yeri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1–9.
- Gültaş, H.T. and Erdem, Y. 2007. Bodur Kiraz Bahçelerinde Dam la ve Mikro Yağmurlama Sulama Yöntemlerinin Yatırım ve İşletme Masrafları Yönünden Karşılaştırılması. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, Sayı: 13(1), Ankara.
- Güneş, A., Aktaş, M., İnal, A. ve Alpaslan, M. 1996. Konya kapalı havzası topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın No: 1453. Bilimsel araştırma ve inceleme No: 801.
- Haifa Group. 2025. Fertilization of cherry trees: When and how? Haifa Group. Erişim tarihi: 10 Şubat 2025, from <https://www.haifa-group.com/fertilization-cherry-trees-when-and-how-0>
- Halder, S., Purkaystha, S., Ghosh, T., Ghosh, S., and Hayat, A. 2024. Application of precision farming in horticulture: a comprehensive review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(6), 653-665. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i62083>
- Hanedar, A., Tanık, A., Girgin, E. (2023). Yeşil Mutabakat Kapsamında Pestisit Yönetimi ve Türkiye, *İTÜ Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2), 87-96.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M. 2013. Extreme temperature responses, oxidative stress and antioxidant defense in plants. *Abiotic stress-plant responses and applications in agriculture*, 13, 169-205.
- Hawken P., Lovins A.B. and Lovins L.H., 2010. *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*, Routledge Taylor and Francis Group.

- Hedley, C. B. and Yule, I. J. 2009. A method for spatial prediction of daily soil water status for precise irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, 96(12), 1737–1745.
- Howell, T. A., Cuenca, R.H., and Solomon, K.H. 1990. Crop yield response. In: Hoffman, G.J., Howell, T. A. and Solomon, K. H., Eds., *Management of Farm Irrigation Systems*, American Society of Agricultural Engineers,. St. Joseph, pp. 93–122.
- Hussain, H. A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S., Zhang, S. and Liao, C. 2019. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*, 9(1), 3890.
- Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A. M., Solaiman, Z. M., Alghamdi, S. S., and Siddique, K. H. M. (2019). Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments*, 19(7), 2891-2909. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02302-0>
- IFPRI(International Food Policy Research Institute). (2009), *Impact on Agriculture and Costs of Adaptation*, Food Policy Report.
- Ikram, A., Mehmood, H., Arshad, M. T., Rasheed, A., Noreen, S., and Gnedeka, K. T. 2024. Applications of artificial intelligence (AI) in managing food quality and ensuring global food security. *CyTA – Journal of Food*, 22(1), Article 2393287. <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2393287>
- İktisadi Kalkınma Vakfı. 2020. AB Yeşil Mutabakatı temel unsurları ve yol haritası. Erişim adresi: https://www.ikv.org.tr/images/files/AB_Yesil_Mutabakati_Temel_Unsurlari_ve_Yol_Haritasi.pdf(E.T. 13 Mayıs 2024).
- Intrigliolo, D. S., and Castel, J. R. 2010. Response of grapevine cv. ‘Tempranillo’ to timing and amount of irrigation. *Irrigation Science*, 28(2), 113–122.
- İşik, S. and Özbuğday, F. 2021. The impact of agricultural input costs on food prices in turkey: a case study. *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika)*, 67(3), 101-110. <https://doi.org/10.17221/260/2020-agricecon>
- ITC. Trademap. Turkey Export Data 2022. www.trademap.org. (Erişim Tarihi: 13. 05. 2024).
- Ivezić, A., Trudić, B., Stamenković, Z., Kuzmanović, B., Perić, S., Ivošević, B., Buđen, M., and Petrović, K. 2023. Drone-related agrotechnologies for precise plant protection in Western Balkans: Applications, possibilities, and legal framework limitations. *Agronomy*, 13(10), 2615. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102615>
- Jackson, M. 1958. *Soil chemical analysis*. p. 1–498. Prentice–Hall, Inc. Englewood
- Janbandhu, M., Mehta, A., Beese, S., Pandey, S., Singh, B., Patel, A. and Singh, B. 2024. *Advances and emerging trends in horticultural production and management*.

- Journal of Experimental Agriculture International, 46(3), 47-69.
<https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i32325>
- Jones, H. G., Stoll, M., Santos, T., de Sousa, C., Chaves, M. M., and Grant, O. M. 2004. Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh213>
- Jones, J. B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press.
- Jurišić, M., Radočaj, D., Plaščak, I., and Rapčan, I. 2021. A comparison of precise fertilization prescription rates to a conventional approach based on the open source gis software. *Poljoprivreda*, 27(1), 52-59. <https://doi.org/10.18047/poljo.27.1.7>
- Kacar, B. 1995. Bitki Ve Toprağın Kimyasal Analizleri III. A.Ü. Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma Ve Geliştirme Vakfı Yayın No:3, Ankara.
- Kara, O., Demir, A. ve Öztürk, S. 2015. Kiraz çiçeklenme süresi ve sıcaklık ilişkisi üzerine bir inceleme. *Meyvecilik Araştırma Dergisi*, 23(1), 39-50.
- Kara, T., Yıldız, H., Özdemir, E. and Demirtaş, M. N. 2015. The impact of temperature stress on cherry fruit set. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(5), 734–743. <https://doi.org/10.3906/tar-1412-74>
- Karaer, F. ve Gürlük, S. 2003. Gelişmekte olan ülkelerde tarım-çevre-ekonomi etkileşimi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 4(2), 197–206.
- Karakaya, E. 2016. Paris iklim anlaşması: içeriği ve Türkiye üzerine bir değerlendirme. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 1-12.
- Karunathilake, E., Le, A., Heo, S., Chung, Y., and Mansoor, S. 2023. The path to smart farming: innovations and opportunities in precision agriculture. *Agriculture*, 13(8), 1593. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>
- Karwacka, M.; Ciurzyńska, A.; Lenart, A.; Janowicz, M. 2020. Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review. *Sustainability*, 12, 6463.
- Katz, Y., Alchanatis, V., Cohen, Y., and Moller, M. 2022. Thermal imaging-based variable rate irrigation decision support protocol for peach orchards. *Agricultural Water Management*, 267, 107633.
- Kaur, J., Hazrati Fard, S. M., Amiri-Zarandi, M., and Dara, R. 2022. Protecting farmers' data privacy and confidentiality: Recommendations and considerations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Article 903230. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.903230>
- Khosla, R., Inman, D., Westfall, D. G., Reich, R., Frasier, M., Mzuku, M., Koch, B. and Hornung, A. 2008. A synthesis of multi-disciplinary research in site-specific

- management of agricultural inputs. *Precision Agriculture*, 9(6), 417–431. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9088-z>
- King, B. A., Stark, J. C., Kincaid, D. C. and Wall, R. W. 2009. Development of variable rate irrigation control software. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(4), 561–568. <https://doi.org/10.13031/2013.27305>
- Kisekka, I., O’Shaughnessy, S. A., Aguilar, J. P. and Porter, D. O. 2016. Field evaluation of a variable rate irrigation system for center pivot irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(6), 803–812.
- Knoche, M. and Winkler, A. 2017. Rain-Induced Cracking of Sweet Cherries. *Cherries, Botany, Production and Uses*. Ed. J. Quero-García, Amy Iezzoni, Joanna Puławska, Gregory Lang. p:140-164. ISBN-13: 978 1 78064 837 8, ISBN 9781780648392 (e-pub).
- Koc, A., Giovanis, Ö. and Uysal, P. 2023. What explains total factor productivity in agriculture: an empirical investigation using panel data analysis. *New Medit*, 22(2). <https://doi.org/10.30682/nm2302f>
- Koc, A., Yu, T., Kıymaz, T., and Sharma, B. 2019. Effects of government supports and credits on turkish agriculture. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 9(4), 391-401. <https://doi.org/10.1108/jadee-11-2018-0164>
- Koumanov, K.S. and Long L.E. 2017. Site preparation and orchard infrastructure. Chapter 10., *Cherries Botany, Production and Uses* p:223-243. ISBN-13: 978 1 78064 837 8.
- Koyuncu, F. ve Özdemir, E. 2007. Farklı kiraz çeşitlerinin meyve eti sertliği, ağırlık ve diğer kalite özelliklerinin karşılaştırılması. *Horticultural Science*, 34(2), 125-130.
- Kumar, R., Karada, M., Mishra, R., Agnihotri, D., Patel, K., Thakur, S. and Singh, D. 2023. Transformative role of remote sensing in advancing horticulture: optimizing sustainability, efficiency and resilience. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 3559-3567. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i103026>
- Kundu, D., Hazra, G. C., Pal, B., Kundu, S. and Das, M. 2018. Mitigation strategies for salt-affected soils. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 66(2), 123-136.
- Lauffenburger, Z., Gurdak, J., Hobza, C., Woodward, D. and Wolf, C. 2018. Irrigated agriculture and future climate change effects on groundwater recharge, northern high plains aquifer, usa. *Agricultural Water Management*, 204, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.022>
- Lencsés, E. and Mészáros, K. 2020. Business model innovation with precision farming technology from farmers point of view. *Hungarian Agricultural Engineering*, 38, 79–84. <https://doi.org/10.17676/HAE.2020.38.79>

- Liakos, V., Smith, E., Fountas, S., Nanos, G., Kalfountzos, D. and Gemtos, T. 2020. On-farm evaluation of variable rate fertilizer applications using yield-based mathematical formulae in a Greek apple orchard. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S48-S65.
- Liang, Y. and Fu, X. 2014. The design of quality traceability system for agricultural products based on supermap. *Applied Mechanics and Materials*, 635-637, 1643-1647. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.635-637.1643>
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42(3), 421– 428.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42(3), 421– 428.
- Lordan, J., Domínguez, P., Bielinski, M. and Valdés, A. 2018. Effects of site-specific irrigation and fertigation on apple yield and fruit quality. *Horticultural Science*, 53(6), 812–823.
- Lu, Z., Qi, L., Zhang, H., Wan, J. and Zhou, J. 2022. Image Segmentation of UAV Fruit Tree Canopy in a Natural Illumination Environment. *Agriculture*, 12(7), 1039.
- Maheswari, M., Rajalakshmi, K., Sivasankar, T. and Udayakumar, M. 2012a. Physiological responses of crop plants to drought stress. *Current Science*, 102(12), 1698-1706.
- Maheswari, M., Yadav, S., Shanker, A. K., Kumar, M. A. and Venkateswarlu, B. 2012b. Overview of plant stresses: Mechanisms, adaptations and research pursuit. Crop stress and its management: perspectives and strategies, 1-18.
- Marahatta, S. 2018. Increasing productivity of an intensive rice based system through site specific nutrient management in western terai of nepal. *Journal of Agriculture and Environment*, 18, 140-150. <https://doi.org/10.3126/aej.v18i0.19899>
- Maris, G. and Flouros, F. 2021. The Green Deal, National Energy and Climate Plans in Europe: Member States' Compliance and Strategies, *Administrative Sciences*, 11(3), 75, doi.org/10.3390/admsci11030075
- Martínez-Casasnovas, J. A., Ramos, M. C. and Bordes, X. 2010. Site-specific management zones delineation from multivariate spatial analysis of soil and plant variables in a vineyard. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4), 900–912.
- McFadden, J., Njuki, E. and Griffin, T. 2023. Precision agriculture in the digital era: recent adoption on US farms.
- McKenna, P., Banwart, S., Evans, B., Zakaria, F. and Guest, J. 2022. Will the circle be unbroken? the climate mitigation and sustainable development given by a circular economy of carbon, nitrogen, phosphorus and water.. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2256164/v1>

- Melse, R. W. and Timmerman, M. 2009. Sustainable intensive livestock production demands manure and exhaust air treatment technologies. *Bioresource Technology*, 100(22), 5506–5511. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.038>
- MGM. 2020. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sitesi. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=Aandm=MANİSA>
- Michailidis, A., Charatsari, C., Bournaris, T., Loizou, E., Paltaki, A., Lazaridou, D. and Lioutas, E. 2024. A first view on the competencies and training needs of farmers working with and researchers working on precision agriculture technologies. *Agriculture*, 14(1), 99. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010099>
- Miller, J. 2023. Cloud Computing in Smart Agriculture: Data Storage, Processing, and Analysis.
- Mills, H. A. and Jones, J. B. 1996. Plant analysis handbook II. Micro-Macro Publishing, Inc.
- Mirici, M. E. ve Berberoğlu, S. 2022. Türkiye perspektifinde yeşil mutabakat ve karbon ayak izi: tehdit mi? fırsat mı?. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 156-164.
- Modina, G., D’Urso, G., Catalano, F. and Minacapilli, M. 2019. Assessment of variable rate irrigation systems in Mediterranean vineyards and pear orchards. *Agricultural Water Management*, 215, 50–63.
- Modina, S., Faci, J. M., Castel, J. R. and Bonany, J. 2019. Site-specific irrigation and fertilization impact on fruit quality and yield in high-density apple orchards. *European Journal of Agronomy*, 105, 1–10.
- Mohammed, E., Tewodros, M., Lulseged, T., Feyera, L., Wuletawu, A. and Amsalu, T. 2024. Agronomic and socio-economic drivers of fertilizer use and crop productivity in smallholder wheat production systems in ethiopia. *Discover Environment*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00162-x>
- Monteleone, S., Moraes, E., Faria, B., Aquino, P., Maia, R., Neto, A. and Toscano, A. 2020. Exploring the adoption of precision agriculture for irrigation in the context of agriculture 4.0: the key role of internet of things. *Sensors*, 20(24), 7091. <https://doi.org/10.3390/s20247091>
- Müdürlüğü. Ankara
- Muggli, T. and Schürch, S. 2023. Analysis of pesticide residues on fruit using swab spray ionization mass spectrometry. *Molecules*, 28(18), 6611. <https://doi.org/10.3390/molecules28186611>
- Mulla, D. J. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>

- Nadav, I. and Schweitzer, H. 2017. Soil texture-based variable rate irrigation in vineyard management. *Irrigation Science*, 35, 123-136.
- Nb. 939, Washington D. C., S:19.
- Nilsen G.H., Nilsen D., and Forge T. 2017. Environmental limiting factors for cherry production Chapter 9. *Cherries Botany, Production and Uses* p:189-223. ISBN-13: 978 1 78064 837 8.
- Nisbet, E., Fisher, R., Lowry, D., France, J., Allen, G., Bakkaloglu, S. and Zazzeri, G. 2020. Methane mitigation: methods to reduce emissions, on the path to the paris agreement. *Reviews of Geophysics*, 58(1). <https://doi.org/10.1029/2019rg000675>
- No:10, Ankara 67-73.
- Nyéki, A., Daróczy, B., Kerepesi, C., Neményi, M. and Kovács, A. J. 2022. Spatial variability of soil properties and its effect on maize yields within field—A case study in Hungary. *Agronomy*, 12(2), 395. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020395>
- O'Shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Andrade, M. A. and Colaizzi, P. D. 2019. Integration of irrigation scheduling and variable rate irrigation system for site-specific water application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 190–202
- Odum E.P. and Barrett G.W. 2016. *Ekolojinin Temel İlkeleri*, Çeviri Editörü: Kani Işık, Palme Yayınevi, 598ss.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Vatanabe, F. S. and Dean L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dep. Ofagr. Cir., Nb. 939, Washington D. C., S:19.
- Ortuani, B., Fereres, E., Domínguez, J. Testi, L. 2018. Variable rate irrigation and precision agriculture applications in pear orchards. *Precision Agriculture*, 19(6), 1134–1151.
- Özbiçerler, A. 2006. Yeni Kiraz Çeşitlerinde Sık Dikim Ve İspanyol Budama Sisteminin Meyve Verim Ve Kalitesi Üzerine Etkileri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Adana.
- Özdemir, A., Yıldız, H., Kaya, C. ve Demirtaş, M. 2021. Hassas tarım uygulamalarıyla kiraz bahçelerinde yönetim zonlarının belirlenmesi ve gübreleme stratejileri. *Bahçe*, 50(2), 245–253.
- Özgül, M. and Çomaklı, E. 2023. The strategy of utilize unused lands for production purposes in turkey. *Turkish Journal of Range and Forage Science*, 4(1), 1-12. <https://doi.org/10.51801/turkjrf.1214479>
- Öztürk, M. Z., Dursun, Ş. ve Kısa, A. 2014. Gediz Havzası'nda iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisinin değerlendirilmesi. *Türkiye Su Kongresi*, İstanbul.

- Pagay, V. 2014. Physiological responses of grapevine shoots to water stress and the development of a microtensiometer to continuously measure water potential. PhD thesis, Cornell University, Ithaca, New York.
- Parlak, T. 2020. Gıda Ürünleri Üretiminde Hijyen Kavramına Farklı Bir Bakış. OHS ACADEMY İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi, 3(2), 73-101.
- Pathak, H. and Wassmann, R. 2007. “Introducing Greenhouse Gas Mitigation as A Development Objective in Rice-Based Agriculture: I. Generation of Technical Coefficients”, Agricultural Systems, Vol.94, pp.807–825.
- Pathare, P. B., Opara, U. L. and Al-Said, F. A. J. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. Food and bioprocess technology, 6, 36-60.
- Pawase, P. P., Nalawade, S. M., Bhanage, G. B., Walunj, A. A., Kadam, P. B., Durgude, A. G. and Patil, M. R. 2023. Variable rate fertilizer application technology for nutrient management: A review. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 16(4), 11-19.
- Pekin, B. 2013. Effect of widespread agricultural chemical use on butterfly diversity across turkish provinces. Conservation Biology, 27(6), 1439-1448. <https://doi.org/10.1111/cobi.12103>
- Peralta, N. R. and Costa, J. L. 2001. Delineation of management zones with soil information and crop yield. Computers and Electronics in Agriculture, 39(2), 219–236.
- Peter, S., Ayyanagowdar, M., Babu, B., Pampanna, Y., Polisgowdar, B. and Ramesh, G. 2019. Evaluation of drip irrigation levels on amaranthus (amaranthus hybridus l) yield and water use efficiency under shade-net. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8(09), 318-326. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.809.038>
- phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dep. Ofagr. Cir.,
- Platis, D., Anagnostopoulos, C., Tsaboula, A., Menexes, G., Kalburtji, K. and Mamolos, A. 2019. Energy analysis, and carbon and water footprint for environmentally friendly farming practices in agroecosystems and agroforestry. *Sustainability*, 11(6), 1664
- Pool, S., Francés, F., García-Prats, A., Pulido-Velázquez, M., Ibor, C., Schirmer, M. and Jiménez-Martínez, J. 2021. From flood to drip irrigation under climate change: impacts on evapotranspiration and groundwater recharge in the mediterranean region of valencia (spain). *Earth S Future*, 9(5). <https://doi.org/10.1029/2020ef001859>
- Pourrut, B., Jean, S., Silvestre, J. and Pinelli, E. 2011. Lead-induced DNA damage in Vicia faba root cells: potential involvement of oxidative stress. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 726(2), 123-128.

- Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P. and Pinelli, E. 2011. Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 213, 113–136. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9860-6_4
- Pratt, P. F. 1965. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Ed. C.A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series No. 9.
- Priya, M., Sharma, L., Kaur, R., Bindumadhava, H., Nair, R. M., Siddique, K., Nayyar, H. 2019. GABA (γ -aminobutyric acid), as a thermo-protectant, to improve the reproductive function of heat-stressed mungbean plants. *Scientific Reports*, 9(1), 7788.
- Priya, M., Balasubramaniam, P., Govindasamy, V. and Thangavelu, M. 2019. Role of osmoprotectants in plant stress tolerance. *Advances in Plant Physiology*, 17, 345-367.
- Raza, A., Ashraf, F., Zou, X., Zhang, X., Tosif, H. 2020a. Plant adaptation and tolerance to environmental stresses: mechanisms and perspectives. *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses*, 117-145.
- Raza, A., Ashraf, F., Zou, X., Zhang, X., Tosif, H., and Cheng, Y. 2020b. Applications of multi-omics methods in improving heat stress tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 637722. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.637722>
- Reinhardt, D. L., Smith, J. A., and Jones, R. T. 2021. The impact of soil stoniness on agricultural management and mechanization in small-scale farming. *Agricultural Systems*, 187, 103-116.
- Riaz, A., Qureshi, S., and Khan, H. 2018. Organic amendments improve soil fertility and crop productivity. *Soil Use and Management*, 34, 299-307.
- Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA
- Sabagh, A. E., Barutçular, C., Islam, M. S. and Hu, C. 2020. Effects of salt stress on crop plants. In M. Hasanuzzaman (Ed.), *Salt and drought stress tolerance in plants* (pp. 43-74). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34521-3_3
- Sabagh, A. E., Hossain, A., Islam, M. S., Iqbal, M. A., Raza, A., Karademir, Ç. and Singhal, R. K. 2020. Elevated CO₂ concentration improves heat-tolerant ability in crops. In *Abiotic stress in plants: IntechOpen*.
- Sadler, E. J., Camp, C. R., Evans, R. G. and Millen, J. A. 2005. Opportunities for conservation with precision irrigation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 60(6), 371–378.
- Sadler, E. J., Evans, R. G., Stone, K. C. and Camp, C. R. 2015. Variable-rate irrigation design: Evaluation and characterization. *Applied Engineering in Agriculture*, 31(5), 829–834.

- Sağlam, M. 2013. “Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler ile Toprak Özelliklerinin Gruplandırılması”. *Toprak Su Dergisi*, 2(1):7-14.
- Şahin, G. 2016. Türkiye'de gübre kullanım durumu ve gübreleme konusunda yaşanan problemler. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 22(1), 19-32.
- Sainie, L. 2022. Remote sensing monitoring data of soybean growth in ecosystem. *Academic Journal of Agricultural Sciences*, 3(4). <https://doi.org/10.38007/ajas.2022.030402>
- saline and alkali soils: *Sci.* 73, 251-261
- Salla, G. B., Mastroberti, A. A. and Mariath, J. E. 2011. Heavy metal stress and plant responses. *Acta Botanica Brasilica*, 25(4), 839-846. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000400018>
- Sallato, B. 2023. Nutrient management in sweet cherries. Washington State University. Retrieved from <https://treefruit.wsu.edu/article/nutrient-management-in-sweet-cherries>
- Sanchez, J., Thompson, R. B., Fereres, E., & Goldhamer, D. A. 2017a. Long-term variable rate irrigation impacts on fruit tree production and water use efficiency in California orchards. *Journal of Irrigation Science*, 35(3), 249–265.
- Sanchez, J., Thompson, R. B., Fereres, E. and Goldhamer, D. A. 2017b. Precision fertilization and irrigation strategies in orchard systems: A review. *Journal of Precision Agriculture*, 18(4), 487–502.
- Sanchez, L. A., Sams, B., Alsina, M. M., Hinds, N., Klein, L. J. and Dokoozlian, N. 2017a. Improving vineyard water use efficiency and yield with variable rate irrigation in California. *Advances in animal biosciences*, 8(2), 574-577.
- Sanderson, B., Xu, Y., Tebaldi, C., Wehner, M., O'Neill, B., Jahn, A. and Lamarque, J. 2017. Community climate simulations to assess avoided impacts in 1.5 and 2 °c futures. *Earth System Dynamics*, 8(3), 827-847. <https://doi.org/10.5194/esd-8-827-2017>
- Sato, S., Kamiyama, M., Iwata, T., Makita, N., Furukawa, H. and Ikeda, H. 2006. Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of *Lycopersicon esculentum* by disrupting specific physiological processes in male reproductive development. *Annals of Botany*, 97(5), 731–738. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl037>
- Schellenberg, D. L., Evett, S. R., Colaizzi, P. D., Howell, T. A. and Marek, T. H. 2020. A prescription-based approach to site-specific irrigation management using variable rate irrigation. *Agricultural Water Management*, 240, 106290
- Şengül, H., Güneş, E., Artukoğlu, M. ve Kızılaslan, H. 2010. Tarımsal Girdi Kullanımı ve Politikaları, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Cilt: 2, s. 853 – 860, Ankara.

- Şensoy, S. Demircan, M. Ulupınar, Y. Balta, İ. 2008. Türkiye İklimi, Ankara: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
- Serrano, E., Martinez, C. and Blanco, R. 2023. NDVI integration into viticulture decision-support systems. *Precision Agriculture*, 24, 355-372.
- Sevinç, M. 2021. Farmers' perception of agricultural cooperatives: the case of şanlıurfa, turkey. *Ciência Rural*, 51(3). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200445>
- Shahid, M., Khalid, S., Abbas, G., Shahid, N., Nadeem, M., Sabir, M. and Dumat, C. 2015. Heavy metal stress and crop productivity. *Crop production and global environmental issues*, 1-25.
- Shannon, D., Clay, D. and Sudduth, K. 2018. An introduction to precision agriculture., 1-12. <https://doi.org/10.2134/precisionagbasics.2016.0084>
- Shofiyati, R. 2022. The role of remote sensing technology (latest geospatial) for agriculture in indonesia.. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220305.037>
- Shrestha, M. and Khanal, S. 2020. Future prospects of precision agriculture in nepal. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 5(3), 397-405. <https://doi.org/10.26832/24566632.2020.0503023>
- Shrestha, P., Sharma, R., Gyawali, B., Carlisle, E. and Hopkins, D. 2017. A pilot study to explore the possibility of combining field and remotely sensed data for agricultural resources management. *International Journal of Agriculture and Environmental Science*, 4(4), 105-108. <https://doi.org/10.14445/23942568/ijaes-v4i4p117>
- Silva, L., Rodríguez-Sedano, F., Baptista, P. and Coelho, J. 2023. The digital twin paradigm applied to soil quality assessment: a systematic literature review. *Sensors*, 23(2), 1007. <https://doi.org/10.3390/s23021007>
- Simoglou, K., Skarpa, P. and Roditakis, E. 2023. Pesticide safety in greek plant foods from the consumer perspective: the importance of reliable information. *Agrochemicals*, 2(4), 484-502. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals2040027>
- Smol, M. 2022. Is the green deal a global strategy? Revision of the green deal definitions, strategies and importance in post-COVID recovery plans in various regions of the World, *Energy Policy*, 169, 113152.
- Solihin, I., Seminar, K., Desrial, D. and Priandana, K. 2024. On-board computer unit development for precision fertilization in oil palm plantations based on data from a precision agriculture platform. *Journal of Computer Science*, 20(12), 1696-1711. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2024.1696.1711>
- Southernland Association, 2006. [http:// www. Terredelsud.Org / risidriceng .php](http://www.Terredelsud.Org/risidriceng.php). Erişim Tarihi: 17.05.2024

- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. 2012. Crop yield response to water. Fao Irrigation And Drainage Paper 66. Rome.
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı. 2022. Türkiye’de tarım istatistikleri: Gelişimi, sorunlar ve çözüm önerileri (Yayın No: 2022-33). T.C. Cumhurbaşkanlığı. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Turkiyede-Tarim-Istatistikleri-Gelisimi-Sorunlar-ve-Cozum-Onerileri.pdf>
- Sudduth, K. A., Drummond, S. T. and Kitchen, N. R. 2005. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3), 271–285.
- Sylvester-Bradley, R., Kindred, D.R., Blake, J., Dyer, C.J. and Sinclair, A. H. 2008. Optimising fertilizer nitrogen for modern wheat and barley crops. HGCA Project Report No. 438.
- Symeonaki, E., Arvanitis, K. and Piromalis, D. 2020. A context-aware middleware cloud approach for integrating precision farming facilities into the iot toward agriculture 4.0. *Applied Sciences*, 10(3), 813. <https://doi.org/10.3390/app10030813>
- TAGEM. 2018. Gübre Sektör Politika Belgesi 2018-2022, Ankara.
- Tanrıvermiş, H. 2003. Agricultural land use change and sustainable use of land resources in the mediterranean region of turkey. *Journal of Arid Environments*, 54(3), 553-564. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.1078>
- Taylor, J. C., McBratney, A. B. and Whelan, B. M. 2007. Variable rate fertilizer application in orchards. *Acta Horticulturae*, 717, 91–98.
- Team, P. 2017. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA.
- Tekin AB, Sındır KO. 2006. Tarımsal Üretimde Hassas Tarım (Precision Agriculture) Uygulamaları. inet-tr’06 - XI. "Türkiye’de İnternet" Konferansı Bildirileri, 21-23 Aralık, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara.
- Tekin, A. ve Sındır, K.O. 2006. Tarımsal Üretimde Hassas Tarım Uygulamaları. XI. Türkiye’de İnternet Konferansı. 21-23 Aralık 2006, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara.
- Temizyurek-Arslan, M. and Karaçetin, E. 2022. Assessing the environmental impacts of organic and conventional mixed vegetable production based on the life cycle assessment approach. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(6), 1733-1746. <https://doi.org/10.1002/ieam.4609>
- Thakur, P. S., Singh, J. and Raina, R. 2018. Efficiency of drip irrigation systems in heterogeneous soils. *Irrigation Science*, 36, 563-576.
- Tiryaki, O., Canhilal, R. and Horuz, S. 2010. Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. Erciyes üniversitesi fen bilimleri enstitüsü fen bilimleri dergisi, 26(2), 154-169.

- Toros Tarım. 2024. Tarımda verimlilik. from https://www.toros.com.tr/documents/TARI_MSAL/Dosya/Dosya_Tarimda%20Verimlilik.pdf
- TS 8333. 1990. Türk Standartları Enstitüsü. Topraklar- Suyla Doygunluk Tayini
- TS 8336. 1990. Türk Standartları Enstitüsü. Topraklar- Organik Madde Tayini
- Türker U, Akdemir B, Topakcı M, Tekin B, Aydın İÜA, Özoğul G, Evrenosoğlu M. 2015. Hassas Tarım Teknolojilerindeki Gelişmeler. Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1, 295, Ankara.
- Türker, U., Göçdemir, İ. ve Karabulut, A. 2003. Alansal Değişkenliğin Hassas Tarım Teknolojilerinden Yararlanarak Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi. 3-5 Eylül. Konya.
- Türkiye Gıda Dernekleri Federasyonu. 2011. Çiftlikten Çatala Gıda Güvenliği. Ankara: TGDF Yayınları.
- Türkiye İstatistik Kurumu. 2024. Taş çekirdekli meyveler 2024. <https://data.tuik.gov.tr/> Erişim Tarihi : 24.03.2025
- Türkiye İstatistik Kurumu. 2025. Kiraz üretim miktarı, illere göre - 2023-2024. <https://www.tuik.gov.tr> Erişim Tarihi : 24.03.2025
- Türkmen, E. 2015. Hassas Tarım Uygulamalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı, Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı.
- Tüzüner, A., Kurucu, N., Börekçi, M., Gedikoğlu, İ., Sönmez, B., Eyüpoğlu, İ., Açar, A. 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Ankara
- Ülke, A. ve Aksoy, H. 2022. Gediz Nehri Havzası'nda yeraltı suyu değişimlerinin uzaktan algılama ile izlenmesi. Su Bilimi ve Teknolojisi Dergisi, 8(1), 23–36. <https://doi.org/10.53562/sbt.1024932>
- UMCAFE. 2013. Nutrient management of apple orchards. In: 2013 New England Tree Fruit Management Guide. University of Massachusetts Center for Agriculture, Food and the Environment, Amherst, Massachusetts, pp. 100–108.
- UNFCCC. 2015. Adoption of the Paris Agreement, 21st Conference of the Parties, United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1). <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- UNFCCC. 2018. Türkiye 7. Ulusal Bildirimi. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/14936285_Turkey_NC72_Seventh%20National%20Communication%20of%20Turkey.pdf
- Ünver, İ. ve Karaman, M. R. 2008. Türkiye topraklarının genel özellikleri. Toprak Bilimi Derneği Yayınları.

- Usenik, V., Štampar, F. and Kastelec, D. 2008. Quality changes during ripening of sweet cherry fruit (*Prunus avium* L.) related to application of gibberellic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(4), 596-602.
- Ustaoglu, E. and Aydınoğlu, A. 2019. Regional variations of land-use development and land-use/cover change dynamics: a case study of turkey. *Remote Sensing*, 11(7), 885. <https://doi.org/10.3390/rs11070885>
- Vargı, S. 2020. Küresel Krizlerde Gıda Güvenliği. <https://www.ucnoktacom.com/kuresel-krizlerde-gida-guvenligi/8036>. (Erişim Tarihi: 13.05.2024).
- Vatandaş M, Güner M, Türker U. 2005. Hassas Tarım Teknolojileri. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, 6. Teknik Kongresi, 3–7 Ocak, 347–365, Ankara.
- Vatin, N., Joshi, S., Acharya, P., Sharma, R., and Rajasekhar, N. 2024. Precision agriculture and sustainable yields: insights from iot-driven farming and the precision agriculture test. *Bio Web of Conferences*, 86, 01091. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248601091>
- Vatsanidou, A., Nanos, G. D., Fountas, S., Baras, J., Castrignano, A., and Gemtos, T. A. 2017. Nitrogen replenishment using variable rate application technique in a small hand-harvested pear orchard. *Spanish journal of agricultural research*, 15(4), e0209-e0209.
- Vera, J., Conejero, W., Conesa, M. and Ruiz-Sánchez, M. 2019. Irrigation factor approach based on soil water content: a nectarine orchard case study. *Water*, 11(3), 589. <https://doi.org/10.3390/w11030589>
- Wang, G., Hao, Y. and Chen, Y. 2015. Research on the model of variable-rate fertilization in Maize Based on Geographic Information System. In 2015 6th International Conference on Manufacturing Science and Engineering (pp. 1756-1763). Atlantis Press.
- WCA.2006.<http://www.wca.infonet.org/servlet/CDSServlet?status=ND0xMjE5Ljk0MTQ4JjY9ZW4mMzM9ZG9jdW1lbnRzJjM3PwluZm8> Erişim Tarihi: 13.05. 2024.
- Wetter, J. 2015. Heinrich Böll Stiftung Derneği, 2015..<https://tr.boell.org/tr/2015/06/23/gubre-endustrisi-sektor-buyuk-amac-ortak>
- Wiedmann, T., and Minx, J. 2008. A definition of ‘carbon footprint’. *Ecological economics research trends*, 1(2008), 1-11.
- World Resources Institute. 2000. *World resources 2000–2001: People and ecosystems—The fraying web of life*. Washington, DC: World Resources Institute. Erişim Tarihi: 13.05.2024.
- Xu, J., Liu, Q., Yan, X., Xu, Y. and Shi, M. 2025. Research progress on forage crop growth monitoring by remote sensing., 67. <https://doi.org/10.1117/12.3045534>

- Xu, T., Su, N., Wang, R. and Song, L. 2015. A novel variable rate fertilization system based on the android platform., 395-398. <https://doi.org/10.1109/pic.2015.7489876>
- Yaprak, S., ve Arslan, E. 2011. Kriging yönteminin geoit modellemesinde kullanılabilirliğin araştırılması. İTÜDERGİSİ/d, 7(3).
- Yavuz, H., Kara, T. and Ercisli, S. 2012. The effects of high temperature during flowering on fruit set in cherry. *Acta Horticulturae*, 962, 87–93.
- Yavuz, H., Şahin, M. ve Kaya, C. 2012. Kiraz çiçeklenme döneminde sıcaklık artışının meyve tutumu üzerindeki etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(2), 97-104.
- Yazar, A., Demirtaş, C., Kaya, B. and Şahin, M. 2020. Değişken oranlı gübreleme uygulamalarının bağlarda verim ve kaliteye etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 312–320.
- Yenigün, K. and Aydogdu, M.H. 2010. "Evaluation of Irrigation and Drainage Systems of GAP, the Turkey's Largest Integrated Water Resource Development Project", *Scientific Research and Essays*, Vol.5 (21), pp.3237-3253.
- Yıldırım, O. 2013. Sulama Sistemlerinin Tasarımı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1594, Ders Kitabı: 546: ss: 165
- Yılmaz, K. and Koç, A. 2018. Türkiye'de yetiştirilen önemli kiraz çeşitleri ve tarımsal özellikleri. *Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 55-65.
- Yu, T., Cho, S., Koc, A., Bölük, G., Kim, S. and Lambert, D. 2013. Evaluating spatial and temporal variation in agricultural output elasticities in turkey. *Agricultural Economics*, 45(3), 279-290. <https://doi.org/10.1111/agec.12064>
- Yu, Y., Li, D., Liu, J., Wang, Y. and Zhang, Z. 2020. Internet of Things-based intelligent irrigation system for smart agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105459. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105459>
- Yüzügüllü, O., Lorenz, F., Fröhlich, P. and Liebisch, F. (2020). Understanding fields by remote sensing: soil zoning and property mapping. *Remote Sensing*, 12(7), 1116. <https://doi.org/10.3390/rs12071116>
- Zabunoğlu, S. 1970. Memleketimizde Gübre Üretim ve Tüketimi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 408, Deneme Dersleri: 2, s. 26, Ankara.
- Zamani, A., Sharifi, A., Felegari, S., Tariq, A. and Zhao, N. 2022. Agro climatic zoning of saffron culture in miyaneh city by using wlc method and remote sensing data. *Agriculture*, 12(1), 118. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010118>
- Zarco-Tejada, P. J., González-Dugo, V. and Berni, J. A. J. 2012. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*, 117, 322–337.

- Zarco-Tejada, P. J., Hubbard, N. and Loudjani, P. 2014. Precision agriculture: An opportunity for EU farmers—potential support with the CAP 2014–2020. Joint Research Centre (JRC) Scientific and Policy Report.
- Zeraatpisheh, M., Bakhshandeh, E., Emadi, M., Li, T. and Xu, M. 2020. Integration of PCA and fuzzy clustering for delineation of soil management zones and cost-efficiency analysis in a citrus plantation. *Sustainability*, 12(14), 5809.
- Zhang, J., He, Y., Lin, Y., Liu, P., Zhou, X. and Huang, Y. 2019a. Machine learning-based spectral library for crop classification and status monitoring. *Agronomy*, 9(9), 496. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090496>
- Zhang, N., Wang, M. and Wang, N. 2002. Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)
- Zhang, Y., Yu, H., Liu, Q., Zhao, C., Zhang, Y. and Wang, Y. 2019b. Combining NDVI time series and leaf nitrogen content to support variable rate fertilization in apple orchards. *Remote Sensing*, 11(4), 399.
- Zheng, H., Hou, H., Wu, J., Tian, D. and Miao, P. 2024. Irrigation schedule optimization for wheat and sunflower intercropping under water supply restrictions in inner mongolia, china. *Atmosphere*, 15(5), 566. <https://doi.org/10.3390/atmos15050566>
- Zhuang, D., Yu, D., and Sun, J. (2018). Design and implementation of traceability system of agricultural product quality and safety based on grid management. *Strategic Study of Cae*, 20(2), 63. <https://doi.org/10.15302/j-sscae-2018.02.010>
- Zia-Khan, S., Kleb, M., Merkt, N., Schock, S. and Müller, J. 2022. Application of infrared imaging for early detection of downy mildew (*plasmopara viticola*) in grapevine. *Agriculture*, 12(5), 617. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050617>
- Zidouemba, P. R. and Gérard, F. 2018. Does agricultural productivity matter for food security? *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 66(1), 103–142.
- Zude-Sasse, M., Fountas, S., Gemtos, T. A., and Abu-Khalaf, N. 2016. Applications of precision agriculture in horticultural crops.