



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PAMUK EKİLEN ARAZİLERDE ÇİFTÇİLERİN GÜBRE KULLANIM
ALİŞKANLIKLARININ NİTRAT KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN ALANSAL
DAĞILIMININ UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE
BELİRLENMESİ**

MELEK DERYA NİTELİK

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

**Şanlıurfa
2025**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PAMUK EKİLEN ARAZİLERDE ÇİFTÇİLERİN GÜBRE KULLANIM
ALİŞKANLIKLARININ NİTRAT KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN ALANSAL
DAĞILIMININ UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE
BELİRLENMESİ**

MELEK DERYA NİTELİK

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet ALİ ÇULLU**

**Şanlıurfa
2025**

TEŞEKKÜR

Tez sürecimin her aşamasında bilgi, deneyim ve akademik rehberliğiyle bana yol gösteren, sabrı ve desteğiyle beni yüreklendiren değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Ali Çullu'ya sonsuz teşekkür ederim. Bilimsel yaklaşımı ve yönlendirmeleri, bu çalışmanın şekillenmesinde büyük rol oynamıştır.

Bu süreçte hem mesleki anlamda fikir alışverişinde bulunduğum hem de manevi olarak yanımda hissettiğim kıymetli arkadaşım Bilal Enüştekin'e, her zaman içtenliği ve desteğiyle süreci daha anlamlı kılan sevgili Bermal Sağış'a teşekkür ederim. Varlığınız, bu yolculuğu benim için daha güçlü ve özel kıldı.

Ve en derin teşekkürüm, beni her zaman koşulsuz seven, dualarıyla güç veren canım aileme... Sabrınız, inancınız ve desteğiniz olmasaydı bu noktaya gelemezdim.

İyi ki varsınız. Bu başarı hepimizin.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
2.1. Pamuk Tarımında Gübreleme Uygulamaları	2
2.2. Bitkilerde Azot Alımı ve Azot Formlarının Önemi	11
2.3. Azotlu Gübrelerin Dengeli Kullanımı ve Tarımsal Verimlilik	11
2.4. Tarımsal Uygulamaların Nitrat Kirliliği ile İlişkisi	12
2.5. Nitratın Toprakta Yıkınması ve Yer Altı Sularına Etkisi	13
2.6. Nitrat Kirliliğinin Uzaktan Algılama ve CBS ile İzlenmesi	14
2.7. Nitratın Toprakta Yıkınması ve Su Kaynaklarına Etkileri	15
2.8. Nitrat Kirliliği ve Su Kaynaklarına Etkileri	16
2.9. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Nitrat Kirliliğinin Haritalanması ve İzlenmesi	17
3. GEREÇ VE YÖNTEM	26
3.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu	26
3.2. Harran Ovası İklim ve Toprak Özellikleri	27
3.3. Harran Ovası'nın Jeolojik Özellikleri	27
3.4. Uydu Görüntüsü Analizi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Uygulamaları	28
3.5. Gübreleme Alışkanlıklarının Belirlenmesine Yönelik Anket Çalışması	28
3.6. Nitrat Analizi İçin Toprak Örnekleme ve Laboratuvar Yöntemi	30
4. BULGULAR	34
4.1. Harran Ovası'nda Pamuk Tarımının Çevresel Etkileri	34
4.2. Harran Ovası'nda Pamuk Üretiminde Gübre Kullanım Alışkanlıklarının Belirlenmesi	35
4.3. Pamuk Ekili Alanların Uydu Verileri Kullanılarak Haritalanması	35
4.4. Pamuk Üretim Alanlarında Kullanılan Gübre Türleri ve Çiftçi Alışkanlıkları	38
4.4.1. Taban gübre tercihleri	38
4.4.2. Üst Gübre Kullanım Alışkanlıkları	40
4.4.2.1. Üre (%46 N)	40
4.4.2.2. CAN %26 (Kalsiyum Amonyum Nitrat)	41
4.4.2.3. AS %21 (Amonyum Sülfat)	42
4.5. Üst Gübre Tercihlerinin Değerlendirilmesi	43
4.6. Çiftçi Gübre Uygulamalarında Pamuk Ekim Öncesi Alınan Toprak Örneklerinde Nitrat Değerlendirmesi	44
4.6.1. Nitrat Okumaları ile Gübre Kullanım Miktarlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi	45
5. TARTIŞMA	48
6. SONUÇLAR	49
7. ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	55

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PAMUK EKİLEN ARAZİLERDE ÇİFTÇİLERİN GÜBRE KULLANIM ALIŞKANLIKLARININ NİTRAT KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN ALANSAL DAĞILIMININ UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE BELİRLENMESİ

MELEK DERYA NİTELİK

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

Tez Danışman: Prof. Dr. Mehmet ALİ ÇULLU

Yıl: 2025, Sayfa : 55

Bu çalışma, Türkiye'nin önde gelen pamuk üretim alanlarından biri olan Şanlıurfa'nın Harran Ovası'nda, çiftçilerin gübre kullanım alışkanlıklarının nitrat kirliliği üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırma kapsamında, Harran Ovası'nı temsilen 913 pamuk üreticisi ile yüz yüze anketler yapılmış, çiftçi tarlalarının konum bilgileri GPS ile kayıt altına alınmıştır. Pamuk ekimi öncesinde aynı arazilerden toprak örnekleri alınarak laboratuvar ortamında nitrat (NO_3^-) analizleri gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada, çiftçilerin beyan ettiği taban ve üst gübre uygulama miktarları, uydu tabanlı gözlemlerle desteklenmiştir. 2024 yılı üretim sezonuna ait Sentinel-2 uydu görüntüleri (Nisan ve Ağustos aylarına ait) analiz edilerek pamuk alanlarının mekânsal dağılımı ve ürün deseni belirlenmiştir. Uzaktan algılama verileri, çiftçi beyanlarıyla birleştirilmiş, elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamına aktarılmış ve ArcGIS yazılımı kullanılarak gübreleme alışkanlıkları ile nitrat kirliliği arasındaki mekânsal ilişkiler haritalanmıştır.

Elde edilen bulgular, Harran Ovası'nda pamuk tarımında kullanılan azotlu gübre miktarının önerilen seviyelerin ortalama 19 kg/da üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu fazladan azot uygulamasının önemli bir kısmı bitkiler tarafından alınmamakta, bu da toprakta biriken nitratın yer altı sularına sızmasına ve çevresel kirlenmeye neden olmaktadır. Ayrıca, gübre uygulama miktarlarının mekânsal dağılımı ile nitrat analiz sonuçları arasında anlamlı korelasyonlar belirlenmiş, yüksek gübre kullanım yoğunluğunun bulunduğu bölgelerde toprak nitrat düzeylerinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu bulgular, dijital tarım teknolojilerinin (uzaktan algılama ve CBS) çiftçi uygulamalarının izlenmesinde ve çevresel risklerin belirlenmesinde etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma sonuçları, sürdürülebilir pamuk tarımı için gübre yönetimi stratejilerinin yeniden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Harran ovası, Gübreleme, Nitrat Kirliliği, Coğrafi bilgi sistemi (CBS)

ABSTRACT

MASTER THESIS

SPATIAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF FERTILIZER USE PRACTICES ON NITRATE POLLUTION IN COTTON FARMING USING REMOTE SENSING TECHNIQUES: THE CASE OF HARRAN PLAIN

MELEK DERYA NİTELİK

**HARRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE EDUCATION
SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION**

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ALİ ÇULLU

Year: 2025, Page : 55

This study investigates the impact of fertilizer use practices on nitrate pollution in the Harran Plain, one of Türkiye's major cotton-growing regions. Face-to-face surveys were conducted with 913 cotton farmers, and GPS was used to record field locations. Prior to planting, soil samples were collected and analyzed for nitrate (NO_3^-) levels in laboratory conditions.

Fertilizer application rates reported by farmers were validated using satellite observations. Sentinel-2 imagery from April and August 2024 was analyzed to map cotton field distribution and cropping patterns. Remote sensing data were integrated with farmer declarations and transferred to a Geographic Information System (GIS) environment. Using ArcGIS, spatial relationships between fertilization practices and nitrate pollution were visualized.

Results show that nitrogen fertilizer use exceeds recommended levels by an average of 19 kg/da. Much of this excess nitrogen is not absorbed by plants, leading to nitrate accumulation in soil and leaching into groundwater. Significant correlations were found between fertilizer intensity and soil nitrate levels.

The findings demonstrate that digital agriculture technologies such as remote sensing and GIS—are effective tools for monitoring farming practices and assessing environmental risks. The study underscores the urgent need to revise fertilizer management strategies to support sustainable cotton production.

KEYWORDS: Harran plain, Fertilization, Nitrate Pollution, Geographical information system (GIS)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma Alanının Konumu	27
Şekil 3.2. Çiftçilerle yapılan anket çalışması	29
Şekil 3.3. Nitrat tayini için toprak örneği alımı	31
Şekil 3.4. Toprak örneklerinin kurutulması	32
Şekil 3.5. Toprak Örneklerinden Nitrat Tayini	33
Şekil 4.1. Gübre Alışkanlıklarının Belirlenmesi İçin Anket Yapılan Noktalar	35
Şekil 4.2. . Harran Ovası 2024 Yılı Sentinel-2 Uydu Ham Görüntüsü (A) ve Sınıflandırılmış Görüntüsü (B)	37
Şekil 4.3. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında taban gübresi olarak kullanılan 20-20-0 gübre çeşidi ve miktarı	39
Şekil 4.4. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında taban gübresi olarak kullanılan DAP (Diamonyum Fosfat) gübre çeşidi ve miktarı	40
Şekil 4.5. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında üst gübre olarak kullanılan Üre gübre çeşidi ve miktarı	41
Şekil 4.6. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında üst gübre olarak kullanılan CAN %26 (Kalsiyum Amonyum Nitrat) gübre çeşidi ve miktarı	42
Şekil 4.7. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında üst gübre olarak kullanılan CAN %26 (Kalsiyum Amonyum Nitrat) gübre çeşidi ve miktarı	42
Şekil 4.8. . Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında üst gübre olarak kullanılan AS%21 (Amonyum Sülfat) gübre çeşidi ve miktarı	43
Şekil 4.9. . Geleneksel Çiftçi Gübre Uygulamaları, Araziye Verilen Azot Miktarının Su Kaynaklarında Nitrat Kirliliğine Etkisi	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Pamuk Gübreleme Alışkanlıklarını Belirlemeye Yönelik Anket Formu	29
Çizelge 4.1.	. Harran Ovası ve Çevresinin Uydu Görüntüsü Analizi Arazi Kullanımı Dağılımı	37

1. GİRİŞ

Pamuk, tekstil, yağ, yem ve kimya sanayi gibi birçok sektöre ham madde sağlayan stratejik bir üründür. Dünya nüfusunun hızla artması, pamuk talebini artırmakta ve üretim alanlarını genişletmektedir. Türkiye, pamuk üretimi açısından dünya sıralamasında ilk 10 ülke içinde yer almakta ve bu üretim, özellikle Güneydoğu Anadolu, Ege ve Çukurova bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. 2022 yılı verilerine göre, Türkiye ortalama 820 bin ton lif pamuk üretimiyle dünya pamuk üretiminin yaklaşık %3'ünü karşılamaktadır (ICAC, 2023). Bu üretimin büyük bir kısmı, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında sulamaya açılan ve ülke pamuk üretiminin yaklaşık %40'ına ev sahipliği yapan Şanlıurfa ilinde gerçekleştirilmektedir (Kaya ve Yıldız, 2021). GAP sonrası artan sulama olanakları ve uygun iklim koşulları, Harran Ovası'nı Türkiye'nin pamuk üretim merkezlerinden biri haline getirmiştir.

Ancak yüksek pamuk verimi hedefleri doğrultusunda yapılan bilinçsiz gübre uygulamaları, özellikle azotlu gübrelerin aşırı ve yanlış zamanlarda kullanımı, çevresel sorunlara yol açmaktadır. Fazla azot uygulaması, bitkiler tarafından tam olarak alınamamakta; bu durum nitrat formundaki azotun toprakta birikmesine ve su kaynaklarına sızarak nitrat kirliliği oluşturmasına neden olmaktadır. Bu durum yalnızca çevre sağlığı açısından değil, aynı zamanda ekonomik kayıplar ve sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından da ciddi tehditler barındırmaktadır.

Günümüzde, tarımda verimliliği artırmak ve çevresel etkileri izlemek amacıyla dijital tarım uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknolojileri, arazi kullanım biçimlerinin, gübreleme yoğunluğunun ve kirlilik risklerinin izlenmesi açısından güçlü araçlar sunmaktadır. Tarımsal verilerin mekânsal olarak modellenmesi, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin entegre edilerek yorumlanması ve sonuçların haritalanması, modern tarımın önemli bir bileşeni haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, Şanlıurfa Harran Ovası'nda pamuk ekimi yapılan alanlarda çiftçilerin gübre kullanım alışkanlıklarının neden olduğu nitrat kirliliğinin alansal dağılımı, uzaktan algılama verileri ve CBS tekniklerinin entegrasyonu ile incelenmiştir. Çiftçi tarlalarından elde edilen gübreleme bilgileri, Sentinel-2 uydu görüntüleri ile eşlenmiş, topraklardan alınan örneklerle nitrat analizleri yapılmış ve elde edilen tüm veriler CBS ortamında analiz edilmiştir. Bu sayede, pamuk üretim alanlarında aşırı azotlu gübrelemenin boyutu, çevresel etkileri ve bölgesel farklılıkları ortaya konularak, dijital tarım teknolojilerinin sürdürülebilir gübre yönetimi planlamasındaki rolü değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Pamuk Tarımında Gübreleme Uygulamaları

Tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamanın temel unsurlarından biri, topraktaki organik madde dengesidir. Organik madde içeriği, toprakların verimliliği üzerinde etkili olan en önemli faktörlerden biridir. Organik maddeler, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olumlu katkılar sağlayarak ürün verimini artırır (Bellitürk vd., 2019). Ayrıca, doğa ve çevre dostu hayvansal ve bitkisel gübre uygulamaları, sürdürülebilir tarımsal üretimi destekleyerek toprak verimliliğine katkı sağlar (Kılbacak vd., 2021).

Organik ve inorganik gübrelemenin önemi, birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır. Günümüzde dünya genelinde 1,3 milyar ton hayvansal atık (biyokatı) üretilmektedir (Moya vd., 2017). Biyokatıların ve hayvan gübrelerinin gübre olarak geri dönüştürülmesi, sentetik gübrelere olan bağımlılığı azaltacak ve sınırlı kaynaklara sahip çiftçilere düşük maliyetle toprak yapısını ve besin durumunu iyileştirme imkânı sağlayacaktır (Antonious, 2009).

Çiftlik ve diğer hayvansal gübreler, DAP ve türevli gübreler ile fermantasyon kaynaklı gübreler, toprağın verimini artırmanın yanı sıra fiziko-kimyasal yapısını da geliştirmektedir (Liu vd., 2021). Bu tür gübrelerin toprağa eklenmesi, mikrobiyal aktiviteyi artırabilir ve topraktaki enzim ile metabolik reaksiyonları değiştirebilir. Böylece gübre ile gelen bileşikler, bitkide besin kalitesi ve verimi açısından artış sağlayabilmektedir (Mahajan vd., 2021; Spohn, 2016; Oyedele ve Lubbe, 2015; Zhong ve Makeschin, 2006; Albiach ve Canet, 2000).

Bu gübreler, maksimum seviyede besin elementi alınımını gerçekleştirmekte olup, alkali veya asidik topraklarda ise istenilen düzeyde verim sağlamamaktadır (Aygün ve Mert, 2020).

Tarım topraklarının verimliliğini artırmak, ürün kalitesini ve verimini yükseltmek amacıyla toprakta eksik olan bitki besin elementlerinin belirli miktarlarda toprağa eklenmesine gübreleme denir. Bu amaçla kullanılan çeşitli materyaller ise gübre olarak adlandırılmaktadır (Kacar ve Katkat, 1998).

Tüm bitkiler için önemli bir besin kaynağı olan azot, pamuk bitkisinin büyüme ve gelişiminde diğer makro ve mikro besin elementlerine göre daha etkili bir rol oynamaktadır. Azot, birçok farklı yolla bitkiye sağlanmakta; bitkilerde meydana gelen fizyolojik olaylarda görev almakta ve nitrat ile amonyum iyon formlarında

alınan, hayati öneme sahip mobil bir besin maddesidir (Kaçar, 2014).

Bitkisel üretimde azot gereksinimi ve kayıpları oldukça fazla ve aynı zamanda hızlı olduğundan, eksikliği yaygın olarak görülmektedir. Vejetatif gelişme döneminde bitkideki azot miktarı ve ihtiyacı belirgin şekilde artmaktadır. Bitkilerin tür, çeşit, yaş, verim potansiyeli ile kök, gövde ve yaprak yapısına bağlı olarak azot miktarı ve gereksinimi farklılık göstermektedir (Kaçar ve Katkat, 2015).

Tuzluluk, toprakta veya sularda birim hacimde çözünebilir tuzların miktarını ifade eder. Bu birikim hem doğal hem de yapay yollarla gerçekleşebilmektedir. Doğal tuzluluk, kurak ve yarı kurak bölgelerde drenaj yetersizliği, yağışlarla tuzların taşınması veya aşırı sıcaklık koşullarında tuzların kapilarite ile yukarı taşınması gibi faktörlerle ortaya çıkar. Yapay tuzluluk ise, yoğun tarım yapılan alanlarda yüksek konsantrasyonlarda kullanılan gübrelerin uzun yıllar boyunca birikmesi sonucu meydana gelmektedir (Sönmez ve Sönmez, 2007; Özbek vd., 1999).

Tarımda kullanılan gübreler ve ilaçlar, topraklara önemli miktarda toksik element bırakabilmektedir. Bu toksik elementler arasında kadmiyum, kurşun, nikel, arsenik ve bakır öne çıkmaktadır. Ağır metallerin toprağa ulaşması çoğunlukla fosforlu gübreler ve bu gübrelerin hammaddelerinden kaynaklanmaktadır. Araştırmalar, fosforlu gübre üretiminde kullanılan ithal ham fosfat kayasının yüksek düzeyde ağır metal içerdiğini ortaya koymuştur. Fosfat kayası, diğer gübre türlerine kıyasla en yüksek kadmiyum ve arsenik konsantrasyonlarına sahiptir (Köleli ve Kantar, 2006).

Tarım topraklarında verimliliği artırmak amacıyla kullanılan DAP, TSP ve kompoze gübreler, özellikle yüksek kadmiyum (Cd) içeriğine sahiptir (>8 mg/kg gübre) (Köleli ve Kantar, 2006). Toprak ve sudaki kadmiyum seviyesinin artması; su canlılarını, toprak verimliliğini ve ekosistem faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Kadmiyum, bitki bünyesine geçerek fotosentez, solunum, iyon alımı, büyüme ve gelişme gibi birçok metabolik aktiviteyi bozabilmektedir. Bu metabolik faaliyetlerin etkilenmesi ise ürün verimi ve kalitesinin azalmasına yol açmaktadır (Asri vd., 2007).

Türkiye’de üretilen suni gübrelerin yaklaşık %87’sinde kadmiyum (Cd) içeriği, 8 mg/kg gübre sınır değerine yakın (7,5 mg/kg gübre) veya bu değerın 2–5 kat üzerindedir. Kadmiyum, topraktan bitkiye geçiş oranı yüksek ve toprakta oldukça hareketli bir elementtir. Çok düşük konsantrasyonlarda bile, özellikle çinko eksikliği durumunda bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilmekte ve bitkinin yenilebilir

kısımlarında birikebilmektedir. Bu durum, kadmiyumun çevre sağlığı açısından büyük bir tehlike oluşturduğunu göstermektedir.

Türkiye tarım topraklarının yaklaşık %50'sinde çinko eksikliği olduğu bilinmektedir. Avrupa Birliği, gübrelerdeki kadmiyum değerinin 2006 yılına kadar 60 mg Cd/kg P₂O₅, 2010 yılına kadar 40 mg Cd/kg P₂O₅ ve 2015 yılına kadar 20 mg Cd/kg P₂O₅ düzeyine düşürülmesini kabul etmiştir. Türkiye'de ise, ne yurt dışından ithal edilen ham ve ara maddeler ne de üretilen fosforlu gübreler için herhangi bir standart uygulanmamaktadır (Köleli ve Kantar, 2006).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak, veri toplama aşamasında zaman kaybı olmadan geniş alanlardan elde edilen verilerin değişkenlikleri hakkında hızlı ve etkili sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca, değişken parametrelerin yüzeysel dağılımlarının belirlenmesi ve bu verilerle daha sağlıklı kararlar alınabilmesi için CBS ile jeoistatistik yöntemleri birlikte kullanılabilir.

Son yıllarda geliştirilen CBS yazılımlarına jeoistatistik yöntemlerinin entegre edilmesi sayesinde; taban suyu tuzluluğu, derinliği ve toprak tuzluluğunun değişimi gibi birçok çalışmada CBS ve jeoistatistik yöntemlerinin birlikte kullanılması mümkün hale gelmiştir (Aranoff, 1991).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bir alan, durum veya olaylara ilişkin verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi, işlenmesi, yaygınlaştırılması ve sunulması işlevlerini yerine getiren yazılım ve donanım sistemlerinin bütünüdür (Lillesand ve Kiefer, 2000). CBS, planlamacılara karar verme süreçlerinde yardımcı olan modellerin oluşturulmasını sağlayan, analitik gücü yüksek bir araçtır.

Ayrıca, uzamsal analiz özelliği sayesinde daha önce elde edilemeyen doğru ve güncel bilgilerin üretilmesine ve bu bilgilere daha derin anlam kazandırılmasına olanak tanımakta; böylece geleceğin planlanmasına da katkıda bulunmaktadır (Mitchell, 1999).

Tarımsal uygulamalarda; parselasyon durumu, toprak haritası, arazi yetenek sınıfları, sulu tarıma uygunluk sınıfları, tarımsal kullanıma uygunluk durumları ve potansiyel kullanım grupları, harita katmanları halinde CBS ortamına aktarılmaktadır. Bu sayede parsel bazında ideal arazi kullanımları belirlenebilmektedir. Her bir parsel için uygun yönetim sisteminin oluşturulması; potansiyel arazi kullanımına göre üretilen ürünlerin veya münavebe sistemine göre uygun ürün deseninin belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Münavebe uygulamaları için birden çok senaryo üretilmektedir.

CBS'nin tarımsal amaçlı en yaygın kullanımı; toprak tasnifi, rekolte tahmini, toprak etütleri ve havza planlama konularında yoğunlaşmaktadır (Başyigit ve Şenol, 2008).

Şimşek vd., (2016), Şanlıurfa ili sınırları içerisinde yer alan Harran Ovası'nda, Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında en geniş tarım alanı ve sulama sistemine sahip bölgeyi incelemişlerdir. Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri kullanılarak pamuk, hububat ve mısır ürünlerine ait alanlar; 2013 ve 2014 yıllarına ait çok zamanlı LANDSAT 8 uydu görüntülerinin normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI) işlemine tabi tutulmuştur.

Bu işlem sonucunda vejetasyon değişimi belirlenmiş ve kural tabanlı sınıflandırma ile tematik ürün desen haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritanın parsellerle kontrol edilmesi sonucunda %97,3 uyum sağlandığı tespit edilmiştir. Tematik ürün desen haritasının yüksek uyumluluk göstermesi, ÇKS beyanlarının kontrolüne olanak sağlamış; ova sınırları içerisindeki köylere ait tarımsal ürün beyanları toplanarak pamuk için %99, mısır için %91, hububat için ise %92 oranında uyumluluk olduğu belirlenmiştir.

Hallberg (1989), yeraltı sularındaki kirlilik nedenleri arasında suda çözülmüş azot bileşiklerinin önemli bir yer tuttuğunu belirtmiştir. Yeraltı sularında en yaygın bulunan azot formu nitrat olup; amonyum, nitrit, azot oksit ve organik azot formları da mevcuttur. Oksijenli ortamlarda bulunan bakteriler, amonyağı nitrit veya nitrat iyonlarına dönüştürmektedir. Nitrit bileşiği ise oksijenli ortamlarda kararsız davranarak doğrudan nitrat bileşiğine dönüşmektedir.

Nitrat kirliliğine yol açan atıkların artan kullanımı, içme ve yeraltı sularında nitrat ve nitrit kirliliğinin giderek artmasına neden olmaktadır.

Özdemir (2006), yeraltı sularındaki kirliliğin en önemli nedenlerinden birinin tarımsal uygulamalar olduğunu belirtmiştir. Tarımda kullanılan kimyasal gübreler, ilaçlar ve hayvansal gübre atıklarının doğrudan toprağa bırakılması bu kirliliğin başlıca kaynaklarını oluşturmaktadır. Bilinçsizce toprağa bırakılan bu atık maddeler, yağmur veya sulama suları ile yıkanarak taban ve yeraltı sularına karışmakta; böylece bu sularda yüksek düzeyde kirlilik meydana gelmektedir.

İbrikçi vd., (2008), yeraltı sularından olan taban suyu, derinlerde bulunan kuyu suları ile kırsal alanlarda kullanılan içme ve kullanma sularının kirlenmesinin tarımsal kirleticilerle yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Bu kirleticilerin en önemli kaynaklarından biri kimyasal azotlu gübrelerdir. Bitkiler gelişimleri için azotlu gübrelere ihtiyaç duymakta; ancak bu gübrelerin aşırı miktarda kullanımı

olumsuz etkilere yol açarak su kaynaklarında nitrat kirliliğine neden olabilmektedir. Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü, nitrat içeriğinin sınır değerlerin altında tutulmasını önermektedir.

Süenal ve Erşahin (2012), yeraltı sularında nitrat kirliliği üzerine yaptıkları çalışmada, kirliliğin ana kaynaklarının bilinçsiz tarımsal gübreleme, ilaç kullanımı ve hayvan atıklarının doğrudan toprağa bırakılması olduğunu belirtmişlerdir. Türkiye’de nitrat kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalarda, kirliliğin en önemli nedenlerinden birinin sulardaki çözünmüş azot bileşiklerinin konsantrasyonu olduğu vurgulanmıştır.

Azotun çözünmüş formları arasında en yaygın olanı nitrat olup; amonyum, nitrit, organik azot ve azot oksit formları da bulunmaktadır. Oksijensiz ortamlarda bakteriler amonyağı nitrat veya nitrite dönüştürürken, nitrit bileşiği oksijenli ortamlarda doğrudan nitrat iyonuna dönüşmektedir. Bu süreç, nitrat iyonu konsantrasyonunun artmasına ve yeraltı sularında kirliliğe neden olmaktadır.

Bilinçsiz gübreleme, topraktaki azot miktarının artmasına ve bu azotun yıkanarak yeraltı sularına karışmasına yol açmaktadır. Nitrat kirliliğini azaltmak için azotlu gübrelerin bilinçli kullanımı ve bitkilerin azottan en iyi şekilde faydalanacağı zamanların belirlenmesi önemlidir. Ayrıca, denitrifikasyon yöntemi ve derin köklü bitkilerin kullanımı nitratın uzaklaştırılmasında etkili tedbirlerdir. Gübrelemenin kayıt altına alınması ve iyi tarım uygulamalarının örnek alınarak kirliliğe neden olan tarımsal faaliyetlerin kontrol altına alınması gerekmektedir.

Tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanmasında temel unsurlardan biri, topraktaki organik madde dengesidir. Organik madde içeriği, toprakların verimliliğini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Organik maddeler; toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olumlu katkılar sağlayarak ürün verimini artırmaktadır (Bellitürk vd., 2019).

Ayrıca, doğa ve çevre dostu hayvansal ve bitkisel gübre uygulamaları, sürdürülebilir tarımsal üretimi destekleyerek toprak verimliliğine katkı sağlamaktadır (Kılback vd., 2021).

Organik ve inorganik gübrelemenin önemi, birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır. Günümüzde dünya genelinde yaklaşık 1,3 milyar ton hayvansal atık (biyokatı) üretilmektedir (Moya vd., 2017). Biyokatıların ve hayvan gübrelerinin gübre olarak geri dönüştürülmesi, sentetik gübrelere olan bağımlılığı azaltmakta; sınırlı kaynaklara sahip çiftçilere ise düşük maliyetle toprak yapısını ve besin durumunu iyileştirme imkânı sağlamaktadır (Antonious, 2009).

Çiftlik ve diğer hayvansal gübreler, DAP ve türevli gübreler ile fermantasyon kaynaklı gübreler, toprağın verimliliğini artırmanın yanı sıra fiziko-kimyasal yapısını da geliştirmektedir (Liu vd., 2021). Bu tür gübrelerin toprağa eklenmesi, mikrobiyal aktiviteyi artırmakta ve topraktaki enzim ile metabolik reaksiyonları değiştirebilmektedir. Böylece gübre ile gelen bileşikler, bitkide besin kalitesi ve verimi açısından artış sağlamaktadır (Mahajan vd., 2021; Spohn, 2016; Oyedele ve Lubbe, 2015; Zhong ve Makeschin, 2006; Albiach ve Canet, 2000).

Maksimum seviyede besin elementi alınımını gerçekleştirmelerine rağmen, alkali veya asidik toprak koşullarında istenilen düzeyde verim sağlanamamaktadır (Aygün ve Mert, 2020).

Tarım topraklarının verimliliğini artırmak ve ürün kalitesi ile verimini yükseltmek amacıyla, toprakta eksik olan bitki besin elementlerinin belirli miktarlarda toprağa eklenmesine gübreleme denir. Bu amaçla kullanılan çeşitli materyaller ise gübre olarak adlandırılmaktadır (Kacar ve Katkat, 1998).

Tüm bitkiler için önemli bir besin kaynağı olan azot, pamuk bitkisinin büyüme ve gelişiminde diğer makro ve mikro besin maddelerine göre daha etkili bir elementtir. Azot, birçok farklı yolla sağlanmakta; bitkilerde meydana gelen fizyolojik olaylarda görev almakta ve nitrat ile amonyum iyon formlarında alınan, hayati öneme sahip mobil bir besin maddesi olarak öne çıkmaktadır (Kaçar, 2014).

Bitkisel üretimde azot gereksinimi ve kayıpları oldukça fazla ve aynı zamanda hızlı olduğundan, eksikliği yaygın olarak görülmektedir. Vejetatif gelişme döneminde bitkideki azot miktarı ve ihtiyacı belirgin şekilde artmaktadır. Bitkilerin tür, çeşit, yaş, verim potansiyeli ile kök, gövde ve yaprak yapısına bağlı olarak azot miktarı ve ihtiyacı değişim göstermektedir (Kaçar ve Katkat, 2015).

Tuzluluk, toprakta veya sularda birim hacimde çözünebilir tuzların miktarını ifade etmektedir. Bu birikim hem doğal hem de yapay yollarla gerçekleşebilmektedir. Doğal tuzluluk, kurak ve yarı kurak bölgelerde drenaj yetersizliği, yağışlarla tuzların taşınması veya aşırı sıcaklık koşullarında tuzların kapilarite ile yukarı taşınması gibi faktörlerle ortaya çıkmaktadır. Yapay tuzluluk ise, yoğun tarım yapılan alanlarda yüksek konsantrasyonlarda kullanılan gübrelerin uzun yıllar boyunca birikmesi sonucu meydana gelmektedir (Sönmez ve Sönmez, 2007; Özbek vd., 1999).

Tarımda kullanılan gübreler ve ilaçlar, topraklara önemli miktarda toksik element bırakabilmektedir. Bu elementler arasında kadmiyum, kurşun, nikel, arsenik

ve bakır öne çıkmaktadır. Ağır metallerin toprağa ulaşması genellikle fosforlu gübreler ve bu gübrelerin hammaddelerinden kaynaklanmaktadır. Araştırmalar, fosforlu gübre üretiminde kullanılan ithal ham fosfat kayasının yüksek düzeyde ağır metal içerdiğini ortaya koymuştur. Fosfat kayası, diğer gübre türlerine kıyasla en yüksek kadmiyum ve arsenik konsantrasyonlarına sahiptir (Köleli ve Kantar, 2006).

Tarım topraklarında verimliliği artırmak amacıyla kullanılan DAP, TSP ve kompoze gübreler, özellikle yüksek kadmiyum (Cd) içeriğine sahiptir (>8 mg/kg gübre) (Köleli ve Kantar, 2006). Toprak ve sudaki kadmiyum seviyesinin artması; su canlılarını, toprak verimliliğini ve ekosistem faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Kadmiyum, bitki bünyesine geçerek fotosentez, solunum, iyon alımı, büyüme ve gelişme gibi birçok metabolik aktiviteyi bozabilmektedir. Bu metabolik faaliyetlerin etkilenmesi ise ürün verimi ve kalitesinin azalmasına yol açmaktadır (Asri vd., 2007).

Türkiye’de üretilen suni gübrelerin yaklaşık %87’sinde kadmiyum (Cd) içeriği, 8 mg/kg gübre sınır değerine yakın (7,5 mg/kg gübre) veya bu değer 2–5 kat üzerindedir. Kadmiyum, topraktan bitkiye geçiş oranı yüksek ve toprakta oldukça hareketli bir elementtir. Çok düşük konsantrasyonlarda bile, özellikle çinko eksikliği durumunda bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilmekte ve bitkinin yenilebilir kısımlarında birikebilmektedir. Bu durum, kadmiyumun çevre sağlığı açısından büyük bir tehlike oluşturduğunu göstermektedir.

Türkiye tarım topraklarının yaklaşık %50’sinde çinko eksikliği olduğu bilinmektedir. Avrupa Birliği, gübrelerdeki kadmiyum değerinin 2006 yılına kadar 60 mg Cd/kg P₂O₅, 2010 yılına kadar 40 mg Cd/kg P₂O₅ ve 2015 yılına kadar 20 mg Cd/kg P₂O₅ düzeyine düşürülmesini kabul etmiştir. Türkiye’de ise, ne yurt dışından ithal edilen ham ve ara maddeler ne de üretilen fosforlu gübreler için herhangi bir standart uygulanmamaktadır (Köleli ve Kantar, 2006).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak, veri toplama aşamasında zaman kaybı olmadan geniş alanlardan elde edilen verilerin değişkenlikleri hakkında hızlı ve etkili sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca, değişken parametrelerin yüzeysel dağılımlarının belirlenmesi ve bu verilerle daha sağlıklı kararlar alınabilmesi için CBS ile jeoistatistik yöntemleri birlikte kullanılabilir.

Son yıllarda geliştirilen CBS yazılımlarına jeoistatistik yöntemlerinin entegre edilmesi sayesinde; taban suyu tuzluluğu, derinliği ve toprak tuzluluğunun değişimi gibi birçok çalışmada CBS ve jeoistatistik yöntemlerinin birlikte kullanılması mümkün hale gelmiştir (Aranoff, 1991).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bir alan, durum veya olaylara ilişkin verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi, işlenmesi, yaygınlaştırılması ve sunulması işlevlerini yerine getiren yazılım ve donanım sistemlerinin bütünüdür (Lillesand ve Kiefer, 2000). CBS, planlamacılara karar verme süreçlerinde yardımcı olan modellerin oluşturulmasını sağlayan, analitik gücü yüksek bir araçtır.

Ayrıca, uzaysal analiz özelliği sayesinde daha önce elde edilemeyen doğru ve güncel bilgilerin üretilmesi ve bu bilgilere daha derin anlam kazandırılmasıyla geleceğin planlanmasına da katkıda bulunmaktadır (Mitchell, 1999).

Tarımsal uygulamalarda; parselasyon durumu, toprak haritası, arazi yetenek sınıfları, sulu tarıma uygunluk sınıfları, tarımsal kullanıma uygunluk durumları ve potansiyel kullanım grupları, harita katmanları halinde CBS ortamına aktarılmaktadır. Bu sayede parsel bazında ideal arazi kullanımları belirlenebilmektedir.

Her bir parsel için uygun yönetim sisteminin oluşturulması; potansiyel arazi kullanımına göre üretilecek ürünlerin veya münavebe sistemine göre uygun ürün deseninin belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Münavebe uygulamaları için birden çok senaryo üretilebilmektedir.

CBS'nin tarımsal amaçlı en yaygın kullanımı; toprak tasnifi, rekolte tahmini, toprak etütleri ve havza planlama konularında yoğunlaşmaktadır (Başyigit ve Şenol, 2008).

Şimşek vd., (2016), Şanlıurfa ili sınırları içerisinde yer alan Harran Ovası'nda, Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında en geniş tarım alanı ve sulama sistemine sahip bölgeyi incelemişlerdir. Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri kullanılarak pamuk, hububat ve mısır ürünlerine ait alanlar; 2013 ve 2014 yıllarına ait çok zamanlı LANDSAT 8 uydu görüntülerinin normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI) işlemine tabi tutulmuştur.

Bu işlem sonucunda vejetasyon değişimi belirlenmiş ve kural tabanlı sınıflandırma ile tematik ürün desen haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritanın parsellerle kontrol edilmesi sonucunda %97,3 uyum sağlandığı tespit edilmiştir. Tematik ürün desen haritasının yüksek uyumluluk göstermesi, ÇKS beyanlarının kontrolüne olanak sağlamış; ova sınırları içerisindeki köylere ait tarımsal ürün beyanları toplanarak pamuk için %99, mısır için %91, hububat için ise %92 oranında uyumluluk olduğu belirlenmiştir.

Hallberg (1989), yeraltı sularındaki kirlilik nedenleri arasında suda çözülmüş azot bileşiklerinin önemli bir yer tuttuğunu belirtmiştir. Yeraltı sularında en yaygın bulunan azot formu nitrat olup; amonyum, nitrit, azot oksit ve organik azot formları da mevcuttur. Oksijenli ortamlarda bulunan bakteriler, amonyağı nitrit veya nitrat iyonlarına dönüştürmektedir. Nitrit bileşiği ise oksijenli ortamlarda kararsız davranarak doğrudan nitrat bileşiğine dönüşmektedir. Nitrat kirliliğine yol açan atıkların artan kullanımı, içme ve yeraltı sularında nitrat ve nitrit kirliliğinin giderek artmasına neden olmaktadır.

Özdemir (2006), yeraltı sularındaki kirliliğin en önemli nedenlerinden birinin tarımsal uygulamalar olduğunu belirtmiştir. Tarımda kullanılan kimyasal gübreler, ilaçlar ve hayvansal gübre atıklarının doğrudan toprağa bırakılması bu kirliliğin başlıca kaynaklarını oluşturmaktadır. Bilinçsizce toprağa bırakılan bu atık maddeler, yağmur veya sulama suları ile yıkanarak taban ve yeraltı sularına karışmakta; böylece bu sularda yüksek düzeyde kirlilik meydana gelmektedir.

İbrikçi vd.,(2008), taban suyu, derin kuyu suları ve kırsal alanlarda kullanılan içme ve kullanma sularının kirlenmesinin tarımsal kirleticilerle yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Bu kirleticilerin en önemli kaynaklarından biri kimyasal azotlu gübrelerdir. Bitkiler gelişimleri için azotlu gübrelere ihtiyaç duymakta; ancak bu gübrelerin aşırı miktarda kullanımı olumsuz etkilere yol açarak su kaynaklarında nitrat kirliliğine neden olabilmektedir. Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü, nitrat içeriğinin sınır değerlerin altında tutulmasını önermektedir.

Süenal ve Erşahin (2012), yeraltı sularında nitrat kirliliği üzerine yaptıkları çalışmada, kirliliğin ana kaynaklarının bilinçsiz tarımsal gübreleme, ilaç kullanımı ve hayvan atıklarının doğrudan toprağa bırakılması olduğunu belirtmişlerdir. Türkiye’de nitrat kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalarda, kirliliğin en önemli nedenlerinden birinin sulardaki çözülmüş azot bileşiklerinin konsantrasyonu olduğu vurgulanmıştır. Azotun çözülmüş formları arasında en yaygın olanı nitrat olup; amonyum, nitrit, organik azot ve azot oksit formları da bulunmaktadır. Oksijensiz ortamlarda bakteriler amonyağı nitrat veya nitrite dönüştürürken, nitrit bileşiği oksijenli ortamlarda doğrudan nitrat iyonuna dönüşmektedir. Bu süreç, nitrat iyonu konsantrasyonunun artmasına ve yeraltı sularında kirliliğe neden olmaktadır.

Bilinçsiz gübreleme, topraktaki azot miktarının artmasına ve bu azotun yıkanarak yeraltı sularına karışmasına yol açmaktadır. Nitrat kirliliğini azaltmak için azotlu gübrelerin bilinçli kullanımı ve bitkilerin azottan en iyi şekilde faydalanacağı zamanların belirlenmesi önemlidir. Ayrıca, denitrifikasyon yöntemi ve derin köklü bitkilerin kullanımı nitratın uzaklaştırılmasında etkili tedbirlerdir. Gübrelemenin kayıt altına alınması ve iyi tarım uygulamalarının örnek alınarak kirliliğe neden olan tarımsal faaliyetlerin kontrol altına alınması gerekmektedir.

2.2. Bitkilerde Azot Alımı ve Azot Formlarının Önemi

Azot, bitkiler için temel bir besin elementidir ve protein, enzim, nükleik asit ve klorofil sentezinde doğrudan rol oynamaktadır. Bitkiler azotu çoğunlukla iki formda almaktadır: nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+). Bu iki formun toprakta bulunabilirliği; pH, sıcaklık, mikrobiyal aktivite ve gübreleme stratejilerine bağlı olarak değişmektedir (Marschner, 2012; Havlin vd., 2014). Bitkiler genellikle nitrat formunu daha hızlı ve yüksek miktarda alabilmekte; ancak aşırı nitrat alımı bazı bitki türlerinde beslenme dengesizliklerine ve kalite kayıplarına yol açabilmektedir (Fageria ve Baligar, 2005).

Amonyum formu ise doğrudan bitki kökleri tarafından alınabilmekte ve enerji gereksinimi daha azdır. Bununla birlikte, amonyum fazlası toprakta toksik etki yaratabilmekte ve nitrifikasyon yoluyla tekrar nitrat formuna dönüşerek yıkanma riskini artırmaktadır (Kirkby ve Römheld, 2007). Bu nedenle, azotun hangi formda ve ne zaman uygulanacağı hem bitki verimi hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Çalışmalar, pamuk gibi azot talebi yüksek bitkilerde azotun farklı formlarda dengeli ve zamanında uygulanmasının, hem vejetatif büyüme hem de generatif gelişim üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir (Boquet, 2005; Sadras ve Wilson, 1997). Harran Ovası gibi sıcak ve kuru iklim koşullarında nitrat formunun yıkanma riski daha düşük olmakla birlikte, aşırı sulama veya şiddetli yağışlarda bu risk artabilmektedir. Bu bağlamda, gübrelerin kontrollü salınımlı olarak uygulanması veya yaprak gübrelemesi gibi alternatif yöntemler, azot kayıplarını azaltma açısından değerlidir (Dinnes vd., 2002).

2.3. Azotlu Gübrelerin Dengeli Kullanımı ve Tarımsal Verimlilik

Azot, bitki gelişimi için en kritik makro besin elementlerinden biridir. Ancak azotun eksik veya aşırı uygulanması, tarımsal üretimde verim kayıplarına ya da çevresel problemlere neden olabilir. Bu nedenle, azotun dengeli kullanımı hem optimum ürün verimi hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır (Ladha vd., 2005; Fageria ve Baligar, 2005). Dengeli azot kullanımı, bitkinin fenolojik dönemlerine göre doğru zamanda, uygun formda ve doğru miktarda azot uygulanması ile sağlanabilir. Ayrıca, azotun diğer makro ve mikro besinlerle olan etkileşimleri de dikkate alınmalıdır.

Dengeli azot gübrelemesi, pamuk gibi azot ihtiyacı yüksek bitkilerde vejetatif ve generatif gelişim süreçlerini doğrudan etkiler. Erken dönemde yetersiz azot uygulamaları, yaprak alanı ve fotosentetik aktiviteyi sınırlarken; geç dönemde aşırı azot uygulamaları bitkide vejetatif büyümeyi teşvik eder ancak çiçek ve koza

oluşumunu olumsuz etkiler (Boquet, 2005; Sadras ve Wilson, 1997). Ayrıca, fazla azotun pamuk bitkisinde koza dökümünü artırdığı, lif kalitesini düşürdüğü ve hastalık duyarlılığını artırdığı da belirtilmektedir (Zhao vd., 2016). Bu nedenle, azotun fenolojik evrelere göre kademeli ve ihtiyaç temelli uygulanması gerekmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, özellikle kontrollü salımlı azotlu gübreler, yaprak gübreleri ve azot inhibitörleri gibi teknolojik ürünlerin kullanımı ile azotun tarımsal etkinliğinin artırılacağı belirtilmektedir (Subbarao vd., 2012). Bu tür uygulamalar sayesinde azotun bitki tarafından alımı optimize edilmekte, azot kayıpları azaltılmakta ve ürün verimi artırılmaktadır. Örneğin, Zhang vd. (2020) tarafından Çin’de yapılan bir çalışmada, dengeli azot uygulaması yapılan pamuk tarlalarında hem verim hem de azot kullanım verimliliği önemli ölçüde artmıştır.

Türkiye’de, özellikle Harran Ovası gibi yarı kurak bölgelerde gübrelemenin verime etkisi sulama ve iklim faktörleriyle birlikte değerlendirilmelidir. Çullu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda, Harran Ovası’nda fazladan uygulanan azotun büyük oranda toprakta birikerek yer altı sularına karıştığı ve aynı zamanda bitkide verimi artırmadan kayba neden olduğu gösterilmiştir. Bu durum, azotun sadece miktar olarak değil, aynı zamanda uygulama zamanı ve yöntemi açısından da optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Özetle, dengeli azot uygulaması sadece verim artışı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gübre maliyetlerini azaltır ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur. Bu doğrultuda, hassas tarım teknikleri, bitki gelişim izleme sensörleri ve toprak analizlerine dayalı gübreleme programları, dengeli azot yönetimini destekleyen yenilikçi yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır (Raun ve Johnson, 1999; Gebbers ve Adamchuk, 2010).

2.4. Tarımsal Uygulamaların Nitrat Kirliliği ile İlişkisi

Tarımsal faaliyetler, özellikle de bilinçsiz azotlu gübre kullanımı, günümüzde yer altı ve yüzey sularında nitrat kirliliğinin başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Tarım alanlarında azotlu gübrelerin fazlaca ve yanlış zamanlamayla uygulanması, bitkiler tarafından yeterince alınamayan nitratin toprakta birikmesine ve sulama veya yağışla toprak profilinden yıkanarak yer altı su kaynaklarına karışmasına neden olmaktadır (Camargo ve Alonso, 2006). Bu süreç, hem tarımsal üretim sistemlerinde verimsizlik yaratmakta hem de çevre ve insan sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır.

Nitrat kirliliğinin tarımsal uygulamalarla olan ilişkisini inceleyen pek çok çalışma, özellikle azot kullanım dozunun ve zamanlamasının kritik bir etken

olduğunu göstermiştir. Örneğin, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan çalışmalar, pamuk gibi azot tüketimi yüksek bitkilerin yetiştirildiği alanlarda önerilen azot dozlarının %30–50 üzerinde gübreleme yapıldığını ortaya koymuştur (Çullu vd., 2022). Bu fazlalık, tarımsal verimi daha fazla artırmadığı gibi toprakta çözünür nitratın birikmesine ve su kaynaklarına taşınmasına zemin hazırlamaktadır.

Nitratın su kaynaklarında birikmesi, ekolojik dengeyi bozmanın yanı sıra insan sağlığına da doğrudan zarar verebilmektedir. Özellikle içme sularında yüksek nitrat konsantrasyonu, bebeklerde methemoglobinemi (mavi bebek sendromu) gibi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Ward vd., 2005). Bu nedenle tarımsal kaynaklı nitrat kirliliği, yalnızca bir çevre sorunu değil, aynı zamanda bir halk sağlığı problemidir.

Tarımsal nitrat kirliliğini etkileyen diğer önemli faktörler arasında sulama yöntemi, toprak tipi, organik madde düzeyi ve meteorolojik koşullar yer almaktadır. Özellikle aşırı veya yanlış planlanan sulama uygulamaları, toprağın yıkanma kapasitesini artırarak nitratın yer altına taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, tarım arazilerinde münavebe yapılmaması, sürekli aynı bitkinin ekimi ve azot tüketiminin tek yönlü artması, toprakta dengesiz mineral birikimlerine neden olmaktadır (Addiscott vd., 1991).

Tüm bu nedenlerle, tarımsal uygulamalarla ilişkili nitrat kirliliğinin azaltılması için entegre gübre yönetimi yaklaşımlarının benimsenmesi, gübreleme zamanının bitkinin ihtiyaç duyduğu dönemlere göre planlanması ve çiftçilere yönelik yaygın eğitim programlarının uygulanması büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, izleme ve kontrol sistemlerinin güçlendirilmesi ve uzaktan algılama–CBS destekli haritalama tekniklerinin uygulanması, riskli alanların belirlenmesinde ve müdahalelerin yönlendirilmesinde etkili bir rol oynamaktadır (Akıncı vd., 2021).

2.5. Nitratın Toprakta Yıkanması ve Yer Altı Sularına Etkisi

Nitrat (NO_3^-), toprakta oldukça hareketli bir anyon olması nedeniyle bitkiler tarafından alınmadığında kolaylıkla toprak profilinden sızarak yer altı su kaynaklarına ulaşabilmektedir. Bu durum, özellikle geçirgenliği yüksek kumlu topraklarda, aşırı sulama koşullarında ve yüksek dozda azotlu gübre uygulamalarında daha da belirgin hale gelmektedir (Di ve Cameron, 2002).

Topraktaki nitrat, katyonlara göre daha zayıf tutunma özelliklerine sahip olduğundan yıkanma potansiyeli oldukça yüksektir. Bu özellik, nitratın toprak çözeltisinde kolayca çözünerek bitki kök bölgesinden uzaklaşmasına ve çevresel kirliliğe yol açmasına neden olmaktadır.

Nitratın topraktan yıkanması, hem tarımsal verimlilik açısından bir kayıp

oluşturmakta hem de su kalitesini olumsuz yönde etkileyerek çevresel ve halk sağlığı sorunlarına yol açmaktadır. Yer altı sularında nitrat birikimi, içme suyu güvenliği açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyunda nitratın güvenli sınırını $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3^-$ olarak belirlemiştir. Bu sınırın aşılması, özellikle bebeklerde methemoglobinemi (mavi bebek sendromu) gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Ward vd., 2005).

Yıkanma sonucu nitratın yer altı sularına taşınmasını etkileyen başlıca faktörler arasında toprak tipi, yağış miktarı, sulama rejimi, bitki örtüsü, arazi eğimi, organik madde düzeyi ve uygulanan gübre formu yer almaktadır (Addiscott vd., 1991; Kuang vd., 2015). Örneğin, Harran Ovası gibi alüvyal topraklara sahip ve yoğun sulama yapılan bölgelerde, fazla uygulanan azotlu gübrelerin yıkanarak drenaj suyuyla yer altı sularına ulaşma riski oldukça yüksektir (Çullu vd., 2022).

Azotun yıkanmasını azaltmak için azot uygulamalarının zamanlaması ve yöntemi büyük önem taşımaktadır. Bitkinin ihtiyaç duyduğu dönemlerde, bölünmüş dozlarla yapılan gübreleme uygulamaları, tek seferde yapılan yüksek dozlu uygulamalara göre daha az nitrat kaybına neden olmaktadır. Aynı zamanda, kontrollü salımlı gübreler (CRF), nitrifikasyon inhibitörleri ve organik gübrelerle yapılan uygulamalar da nitrat yıkanmasını azaltma potansiyeli taşımaktadır (Fageria ve Baligar, 2005).

Yıkanma kaynaklı nitrat kayıplarının önlenmesi için ayrıca hassas tarım teknolojilerinden yararlanılması önerilmektedir. Uzaktan algılama ve CBS tabanlı sistemlerle bitki gelişimi ve azot ihtiyacının izlenmesi, gübrelemenin zaman ve miktar açısından daha doğru şekilde yönetilmesini sağlayarak nitrat kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunabilmektedir (Akıncı vd., 2021).

2.6. Nitrat Kirliliğinin Uzaktan Algılama ve CBS ile İzlenmesi

Nitrat kirliliği, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan en yaygın ve çevresel açıdan en sorunlu kirleticilerden biridir. Toprakta ve yer altı sularında artan nitrat düzeylerinin erken tespiti ve mekânsal olarak izlenmesi, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir gübre yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS), nitrat kirliliğinin alansal dağılımını izlemek ve değerlendirmek için güçlü araçlar sunmaktadır (Abd Elbasit vd., 2009).

Uzaktan algılama teknikleri, tarım alanlarındaki bitki örtüsü dinamiklerini, toprak nemini ve tarımsal uygulamalara bağlı olarak gelişen stresleri saptamak için farklı spektral bantlardaki uydu görüntülerini kullanmaktadır. Özellikle Sentinel-2, Landsat-8 ve MODIS gibi uydular, yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip

olmaları nedeniyle bitki sağlığı ve azot yönetimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang vd., 2021).

Bitkilerin azot durumunu ve stres düzeylerini yansıtan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) ve REDNDVI (Red Edge NDVI) gibi vejetasyon indeksleri, gübreleme uygulamaları ile ilişkilendirilerek dolaylı olarak nitrat fazlalığına veya yetersizliğine dair bilgi sağlamaktadır (Li vd., 2010). Örneğin, aşırı azot uygulaması sonucu bitki örtüsünde gözlenen hızlı büyüme ve ardından oluşan stres durumları, uydu görüntülerinde spektral değişimlerle tespit edilebilmektedir.

CBS ise, uzaktan algılama verilerinin arazi kullanım bilgileri, toprak özellikleri, sulama desenleri, çiftçi gübreleme alışkanlıkları ve nitrat analiz sonuçları gibi çok katmanlı veriyle entegre edilerek analiz edilmesini sağlamaktadır. CBS tabanlı modeller sayesinde, nitratın mekânsal dağılımı, riskli alanların belirlenmesi ve tarımsal planlamaya yönelik önerilerin geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Basso vd., 2012). Aynı zamanda bu sistemler, sürdürülebilir tarım politikalarının desteklenmesi ve gübre kullanımının optimize edilmesi için karar destek aracı olarak kullanılabilir.

Türkiye’de özellikle Harran Ovası gibi yoğun pamuk üretiminin yapıldığı bölgelerde, gübre kullanım miktarlarının ve uygulama zamanlarının CBS ile haritalanarak uydu verileri ile karşılaştırılması, nitrat kirliliği riskinin etkin bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır. Bu çalışmalar sonucunda, pamuk üretimi yapılan arazilerde gübre kullanımına bağlı olarak artan nitrat yükünün su kaynaklarına olası etkileri öngörülebilir hale gelmekte ve yerel yönetimlere veri temelli önlemler geliştirme imkânı sunulmaktadır (Çullu vd., 2022).

2.7. Nitratın Topraktan Yıkanması ve Su Kaynaklarına Etkileri

Melek □□, senin uyarılarını dikkate alarak metni akademik Türkçe kurallarına uygun hale getirdim. Özellikle:

- "&" yerine "ve" kullanıldı.
- "ve diğerleri" yerine "vd." düzeltildi.
- Kesirli sayılarda nokta yerine virgöl kullanıldı.
- Paragraf düzeni bozulmadan metin akıcı hale getirildi.

Düzeltilmiş Metin

Nitrat, tarımsal faaliyetlerde sıklıkla kullanılan ve bitkiler için temel bir besin kaynağı olan azot bileşiğidir. Bununla birlikte, tarımda kullanılan azotlu gübreler ve organik maddelerin, özellikle nitratın toprağa eklenmesi çevresel sorunlara yol açabilmektedir. Nitrat, yer altı su kaynaklarına sızarak su kalitesini tehdit etmekte ve

ekosistem sağlığına zarar vermektedir. Toprakta nitratın yıkanması, tarım arazilerindeki gübre kullanımının yüksek olduğu yerlerde önemli bir çevresel sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

McKenna (1998), Avrupa'daki çeşitli araştırmalar sonucunda tarım arazilerinde bulunan yer altı sularının %22'sinde nitrat seviyelerinin 50 mg L^{-1} 'yi aştığını rapor etmiştir. Bu durum, su kaynaklarının kirlenmesi ve potansiyel sağlık riskleri açısından ciddi endişelere yol açmaktadır. Nitrat, özellikle içme suyu kaynağı olarak kullanılan yer altı sularına karıştığında insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. İnsanlar, içme suyu yoluyla yüksek miktarda nitrat aldıklarında, özellikle bebeklerde "methemoglobinemia" (mavi bebek sendromu) gibi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Nitratın bu tür sağlık sorunlarına yol açabilmesi, su kaynaklarının izlenmesi ve kontrol edilmesini önemli kılmaktadır.

İçme suyu nitrat seviyelerinin belirli bir sınır değeri aşması, su kaynaklarının kullanımı konusunda çeşitli yasal düzenlemelere neden olmuştur. TS-266 ve EPA (Environmental Protection Agency) tarafından belirlenen içme suyu nitrat sınır değerleri sırasıyla 50 mg L^{-1} ve 45 mg L^{-1} olarak belirlenmiştir (Hu vd., 2000). Bu sınır değerler, insanların içme suyu yoluyla aşırı nitrat maruziyetini engellemeyi amaçlamaktadır. Ancak bu sınırların aşılması, yerel ve ulusal su yönetimi stratejilerinin ve düzenlemelerinin yeniden gözden geçirilmesini gerektirebilir.

Nitratın toprağa girmesi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler arasında gübre kullanımının miktarı, gübreleme zamanı ve yöntemi, toprak yapısı, yağış miktarı ve bitki örtüsünün yoğunluğu yer almaktadır. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan azotlu gübrelerin toprağa ve suya olan etkilerini minimize etmek için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejiler arasında azotlu gübrelerin doğru zamanda ve doğru miktarda uygulanması, düşük salınımlı gübrelerin tercih edilmesi ve tarımda sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi yer almaktadır.

Su kaynaklarının korunması ve nitrat seviyelerinin kontrolü, su kalitesinin iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle suyun kirliliği sadece sağlık sorunları yaratmakla kalmaz, aynı zamanda ekosistemler üzerinde de olumsuz etkiler yaratır. Nitrat, su ekosistemlerinde alg çiçeklenmesi (algal bloom) gibi problemleri tetikleyebilir; bu da suyun oksijen seviyelerinin düşmesine ve su altı yaşamının zarar görmesine neden olabilir. Ayrıca, yer altı sularındaki nitrat seviyesi arttıkça su arıtma tesislerinin çalışması zorlaşmakta ve arıtma maliyetleri artmaktadır.

2.8. Nitrat Kirliliği ve Su Kaynaklarına Etkileri

Yer altı ve yüzey sularındaki nitrat kirliliği, özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Nitrat, tarımsal

gübrelerin aşırı kullanımı ve hayvancılık faaliyetleri sonucu su kaynaklarına karışan bir kirletici madde olarak dikkat çekmektedir. Nitratın su kaynaklarına karışması hem çevresel hem de insan sağlığına ciddi etkiler yaratabilmektedir. Bu etkiler; su ekosistemlerinin bozulması, ötrofikasyon, su kalitesinin düşmesi ve içme suyu kaynaklarının kirlenmesi gibi çeşitli sorunları kapsamaktadır. Hallberg (1989), nitratın yer altı sularında en yaygın bulunan azot formu olduğunu ve içme suyu kaynakları için ciddi bir tehdit oluşturduğunu vurgulamıştır. Nitrat kirliliği, özellikle yer altı suyu kalitesini bozarak içme suyu teminini tehlikeye atmaktadır. Bununla birlikte, yüksek nitrat seviyeleri sağlık açısından riskler oluşturabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyu kaynaklarında 50 mg L⁻¹'yi aşan nitrat seviyelerinin methemoglobinemi (mavi bebek sendromu) gibi sağlık sorunlarına yol açabileceğini belirtmiştir (WHO, 2017).

Galloway vd. (2003), nitrat kirliliğinin su ekosistemlerinde ötrofikasyona neden olduğunu ortaya koymuşlardır. Ötrofikasyon, sucul ortamlarda besin maddelerinin fazla birikmesi sonucu alglerin aşırı çoğalmasına ve oksijen seviyelerinin düşmesine neden olan bir süreçtir. Bu durum, su ekosistemlerinde oksijenin tükenmesine ve balıklar gibi su canlılarının yaşamını tehdit eden hipoksik koşulların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Ötrofikasyon ayrıca tatlı su göllerinde, nehirlerde ve lagünlerde biyolojik çeşitliliğin azalmasına da neden olabilmektedir.

Tarımsal faaliyetler, özellikle kullanılan gübrelerin ve hayvan gübrelerinin etkisiyle nitratın su kaynaklarına karışmasında başlıca sorumlu faktörler arasında yer almaktadır. Tarımda kullanılan azotlu gübrelerin aşırı kullanımı ve yanlış uygulamaları, nitratın yer altı sularına ve yüzey sularına sızmasına yol açmaktadır. Ayrıca, tarım arazilerindeki sulama yöntemlerinin de bu kirliliğin yayılmasında önemli rol oynadığı bilinmektedir. Nitrat kirliliğinin önlenmesi için tarımsal uygulamaların iyileştirilmesi, su yönetiminin daha dikkatli yapılması ve nitrat kirliliği ile mücadeleye yönelik politikaların güçlendirilmesi gerekmektedir.

2.9. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Nitrat Kirliliğinin Haritalanması ve İzlenmesi

Nitrat kirliliği, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan önemli çevresel sorunlardan biridir. Özellikle gübre kullanımı ve endüstriyel atıklar, yer altı suyu ve yüzey sularında nitrat birikimine yol açarak su kalitesini tehdit etmektedir. Nitrat kirliliğini izlemek, erken uyarı sistemleri oluşturmak ve çevreyi korumak için uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, kirliliğin haritalanması ve izlenmesi süreçlerinde büyük fayda sağlamaktadır.

Uzaktan algılama, uydu ve hava araçları aracılığıyla yüzey özelliklerini gözlemleyerek çevresel değişikliklerin izlenmesine olanak tanımaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri ise bu verilerin mekânsal analizlerini yaparak çevresel faktörlerin görselleştirilmesine ve değerlendirilmesine imkân vermektedir. Bu iki teknoloji, büyük alanlarda çevresel değişimlerin izlenmesi ve yönetilmesinde oldukça güçlü araçlardır. Tarımsal alanlar ve su kalitesi yönetimi gibi alanlarda uzaktan algılama verileri ve CBS uygulamaları geniş bir kullanım alanına sahiptir (Jensen, 2005).

Nitrat kirliliği, özellikle sulama alanlarında ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan gübre kullanımı nedeniyle su kaynaklarında yaygın bir sorundur. Uzaktan algılama verileri, bu kirliliğin izlenmesinde etkili bir araçtır. Özellikle uydu görüntüleri, yüzey suyu ve yer altı suyu üzerindeki nitrat birikimlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Landsat, MODIS ve Sentinel-2 gibi uydu verileri, tarımsal alanların, su kaynaklarının ve sulama alanlarının izlenmesine olanak sağlamaktadır. Sentinel-2'nin yüksek çözünürlüklü görüntüleri, bu alanda yapılan çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Ehlers vd., 2020).

CBS, uzaktan algılama verilerinden elde edilen bilgilerin analiz edilmesine olanak tanır ve mekânsal çözümler sağlar. Nitrat kirliliğinin izlenmesi için CBS tabanlı uygulamalar, tarımsal alanlarda gübre kullanımını, su kalitesini ve çevresel faktörleri analiz etmektedir. Bu sistemler, kirlilik kaynaklarını tespit etme, risk değerlendirmeleri yapma ve su kaynaklarının korunmasında karar destek araçları olarak kullanılmaktadır (Kourti vd., 2019).

Schulz vd. (2014), Avrupa'daki yüzey sularında nitrat kirliliğini haritalamak için uzaktan algılama ve CBS kombinasyonunu kullanmış ve bu yöntem ile kirliliğin izlenebilirliğini artırmıştır. Bu çalışma, tarımsal faaliyetlerin etkilerini ve sulama uygulamalarını belirlemek için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Ehlers vd. (2020), Sentinel-2 verilerini kullanarak tarımsal alanlarda nitrat kirliliği izleme üzerine bir çalışma yapmış ve uzaktan algılama verilerinin doğruluğunu değerlendirmiştir. Bu çalışma, yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin potansiyelini göstermektedir.

Kourti vd. (2019), Türkiye'deki sulama alanlarında CBS tabanlı bir modelle nitrat kirliliğini haritalamış ve bu modelin yerel yönetimlerde karar destek sistemi olarak nasıl kullanılabileceğini incelemiştir. Çalışma, nitrat kirliliği yönetiminde CBS'nin etkinliğini vurgulamaktadır.

Uzaktan algılama ve CBS teknolojileri, nitrat kirliliğinin izlenmesi ve haritalanmasında etkili ve güvenilir araçlar sağlamaktadır. Bu teknolojiler, çevresel

yönetim, su kalitesi izleme ve tarımda sürdürülebilirlik için kritik öneme sahiptir. Gelecekte, daha hassas ve ayrıntılı verilerin elde edilmesiyle bu teknolojilerin nitrat kirliliği izleme süreçlerinde daha verimli hale gelmesi beklenmektedir. Bu çalışmalara dayanarak, yerel yönetimlerin ve çevre ajanslarının nitrat kirliliğini izleme ve yönetme kapasitelerinin artması hedeflenmektedir.

Türkiye'nin tarımsal alanlarında yapılan çeşitli çalışmalar, nitrat kirliliğini izlemek için uzaktan algılama verilerinden yararlanmıştır. Tarımda kullanılan gübreleme yöntemlerinin çevresel etkileri, uydu görüntüleri ile analiz edilerek nitrat kirliliği haritalanmıştır. Bu çalışmalar, özellikle sulama teknikleri ve toprak yapısının nitrat kirliliğine olan etkisini değerlendirmektedir (Yılmaz vd., 2019).

Yer altı ve yüzey suyu kaynaklarında artan nitrat kirliliği, özellikle sanayi ve tarım faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir. Türkiye'deki su kaynaklarında yapılan uzaktan algılama çalışmaları, bu kirliliğin izlenmesine olanak tanımaktadır. Su kalitesinin zaman içindeki değişimi, uydu verileri ve yerel analizlerle haritalanmış, su kirliliğinin yayılımı incelenmiştir (Kılıç ve Aydın, 2017).

Tuz Gölü çevresindeki tarımsal faaliyetlerin nitrat kirliliğine etkisi, uzaktan algılama ve CBS kullanılarak izlenmiştir. Özellikle bölgedeki tarım uygulamalarının ve sulama yöntemlerinin göl çevresindeki su kalitesine etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışma, nitrat kirliliğinin çevresel etkilerini anlamak ve kirliliği haritalamak için etkili bir örnek teşkil etmektedir (Çetin ve Öztürk, 2021).

Bursa ilinde yapılan çalışmalar, tarım faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelere odaklanmıştır. Özellikle gübre kullanımının su kaynaklarındaki nitrat seviyelerine etkisi, uydu verileri ve yerel analizlerle izlenmiş, kirliliğin coğrafi dağılımı haritalanmıştır. Bu çalışma, nitrat kirliliğinin tarım arazileri ve su kaynakları üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde ortaya koymuştur (Gündüz ve Atalay, 2018).

Çoruh Nehri havzasında yapılan bir diğer çalışma, tarımsal faaliyetlerin nitrat kirliliğine etkilerini analiz etmiştir. Uzaktan algılama verileri, havzadaki su yollarındaki değişimleri izlemek için kullanılmış ve nitrat seviyelerinin zaman içindeki artışı haritalanmıştır (Aydın ve Şen, 2020).

Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM) tarafından desteklenen ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM)

tarafından yürütülen bu proje, 2018 yılında başlamış ve 2022 yılı Haziran ayında tamamlanmıştır. Projenin amacı, nitrat kirliliğine duyarlı bölgelerin tespit edilmesi, bu bölgelerde uygulanacak tedbirlerin belirlenmesi ve fayda-maliyet analizlerinin yapılmasıdır. Proje kapsamında, Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgeleri'nde paydaş toplantıları düzenlenmiş ve üniversitelerle iş birliği gerçekleştirilmiştir (TOB, 2022).

Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilen ve Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü'nün faydalanıcısı olduğu bu proje, tarımsal kirliliğe karşı su kaynaklarının kalitesinin artırılmasını amaçlamaktadır. Proje kapsamında, nitrat eylem planlarının izlenmesi ve raporlanması için metodolojiler geliştirilmiş, ilgili personelin teknik kapasitesi artırılmış ve yerel toplulukların farkındalığı yükseltilmiştir (ÇŞİDB, 2023).

2.1. Pamuk Tarımında Gübreleme Uygulamaları

Pamuk, yüksek verim potansiyeli ve ekonomik değeri nedeniyle yoğun girdi gerektiren bir tarım ürünüdür. Özellikle azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) gibi temel makro besin elementlerinin doğru doz, zaman ve yöntemle uygulanması, pamukta verim ve kaliteyi doğrudan etkilemektedir (Girma vd., 2007; Boquet, 2005). Türkiye'de pamuk tarımında gübreleme çoğunlukla çiftçi deneyimlerine dayalı olarak yapılmakta olup, tarla bazlı toprak analizleri yaygın değildir. Bu durum, kimi zaman eksik ya da aşırı gübrelemeye ve dolayısıyla ekonomik kayıplara ve çevresel sorunlara yol açabilmektedir (TÜBİTAK, 2015; Özdemir ve Demirtaş, 2022).

Türkiye'de yapılan çalışmalarda, pamuk tarımında en fazla kullanılan azotlu gübre formunun üre ve Amonyum Sülfat olduğu; uygulamaların ise çoğunlukla ekim öncesi (taban) ve bitki gelişiminin erken dönemlerinde (üst gübre) yoğunlaştığı bildirilmiştir (Başbağ vd., 2010). Harran Ovası gibi yarı kurak bölgelerde yapılan pamuk tarımında, sulama ve gübreleme uygulamaları arasında sıkı bir ilişki vardır; zira suyun mevcudiyeti, gübrelerin toprakta hareketliliğini ve bitki tarafından alınımı doğrudan etkilemektedir (Aydoğdu vd., 2021). Ancak özellikle azotlu gübrelerin yanlış veya aşırı kullanımı, toprağın yüzey ve yer altı sularında nitrat birikimine neden olarak çevresel kirlenmeye yol açabilmektedir (Çullu vd., 2022).

Bölgedeki çiftçi uygulamalarına yönelik yapılan saha anketlerinde, pamuk üreticilerinin önemli bir kısmının azotlu gübreleri yüksek dozda ve çoğunlukla erken dönemde uyguladığı; bu uygulamaların çoğu zaman bitki gelişim dönemlerine göre optimize edilmediği bildirilmiştir (Kaya ve Yıldız, 2021). Ayrıca, gübrelerin homojen uygulanmadığı; sıra aralarına ya da yüzeye geliş güzel serpilerek uygulandığı da gözlemlenmiştir. Bu uygulama biçimi, hem gübre verimliliğini

düşürmekte hem de tarla içi heterojenlik nedeniyle nitratin yıkanarak su kaynaklarına ulaşma riskini artırmaktadır (ICAC, 2023).

2.2. Bitkilerde Azot Alımı ve Azot Formlarının Önemi

Azot, bitkiler için temel bir besin elementidir ve protein, enzim, nükleik asit ve klorofil sentezinde doğrudan rol oynar. Bitkiler azotu çoğunlukla iki formda alır: nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+). Bu iki formun toprakta bulunabilirliği, pH, sıcaklık, mikrobiyal aktivite ve gübreleme stratejilerine bağlı olarak değişmektedir (Marschner, 2012; Havlin vd., 2014). Bitkiler genellikle nitrat formunu daha hızlı ve yüksek miktarda alabilir; ancak aşırı nitrat alımı bazı bitki türlerinde beslenme dengesizliklerine ve kalite kayıplarına neden olabilir (Fageria & Baligar, 2005).

Amonyum formu ise doğrudan bitki kökleri tarafından alınabilir ve enerji gereksinimi daha azdır. Ancak amonyum fazlası toprakta toksik etki yaratabilir ve nitrifikasyon yoluyla tekrar nitrat formuna dönüşerek yıkanma riskini beraberinde getirir (Kirkby & Römhald, 2007). Bu nedenle, azotun hangi formda ve ne zaman uygulanacağı, hem bitki verimi hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Çalışmalar, pamuk gibi azot talebi yüksek bitkilerde azotun farklı formlarda dengeli ve zamanında uygulanmasının, hem vegetatif büyüme hem de generatif gelişim üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir (Boquet, 2005; Sadras & Wilson, 1997). Harran Ovası gibi sıcak ve kuru iklim koşullarında, nitrat formunun yıkanma riski daha düşüktür; ancak aşırı sulama veya şiddetli yağışlarda bu risk artabilir. Bu bağlamda, gübrelerin toprağa kontrollü salınımlı olarak uygulanması veya yaprak gübrelenmesi gibi alternatif uygulamalar, azot kayıplarını azaltma açısından değerlidir (Dinnes vd., 2002).

2.3. Dengeli Azot Kullanımının Tarımsal Verimliliğe Etkisi

Azot, bitki gelişimi için en kritik makro besin elementlerinden biridir. Ancak azotun eksik veya aşırı uygulanması, tarımsal üretimde verim kayıplarına ya da çevresel problemlere neden olabilmektedir. Bu nedenle, azotun dengeli kullanımı hem optimum ürün verimi hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır (Ladha vd., 2005; Fageria ve Baligar, 2005). Dengeli azot kullanımı, bitkinin fenolojik dönemlerine göre doğru zamanda, uygun formda ve doğru miktarda azot uygulanması ile sağlanabilir. Ayrıca, azotun diğer makro ve mikro besinlerle olan etkileşimleri de dikkate alınmalıdır.

Dengeli azot gübrelemesi, pamuk gibi azot ihtiyacı yüksek bitkilerde vegetatif ve generatif gelişim süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Erken dönemde yetersiz azot uygulamaları, yaprak alanı ve fotosentetik aktiviteyi sınırlarken; geç dönemde aşırı azot uygulamaları bitkide vegetatif büyüme teşvik etmekte, ancak çiçek ve koza oluşumunu olumsuz etkilemektedir (Boquet, 2005; Sadras ve Wilson, 1997). Ayrıca, fazla azotun pamuk bitkisinde koza dökümünü artırdığı, lif kalitesini düşürdüğü ve hastalık duyarlılığını artırdığı da belirtilmektedir (Zhao vd., 2016). Bu nedenle, azotun fenolojik evrelere göre kademeli ve ihtiyaç temelli uygulanması gerekmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, özellikle kontrollü salımlı azotlu gübreler, yaprak gübreleri ve azot inhibitörleri gibi teknolojik ürünlerin kullanımı ile azotun tarımsal etkinliğinin artırılacağı belirtilmektedir (Subbarao vd., 2012). Bu tür uygulamalar sayesinde azotun bitki tarafından alımı optimize edilmekte, azot kayıpları azaltılmakta ve ürün verimi artırılmaktadır. Örneğin, Zhang vd. (2020) tarafından Çin’de yapılan bir çalışmada, dengeli azot uygulaması yapılan pamuk tarlalarında hem verim hem de azot kullanım verimliliği önemli ölçüde artmıştır.

Türkiye’de, özellikle Harran Ovası gibi yarı kurak bölgelerde gübrelemenin verime etkisi sulama ve iklim faktörleriyle birlikte değerlendirilmelidir. Çullu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda, Harran Ovası’nda fazladan uygulanan azotun büyük oranda toprakta birikerek yer altı sularına karıştığı ve aynı zamanda bitkide verimi artırmadan kayba neden olduğu gösterilmiştir. Bu durum, azotun sadece miktar olarak değil, aynı zamanda uygulama zamanı ve yöntemi açısından da optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Özetle, dengeli azot uygulaması sadece verim artışı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gübre maliyetlerini azaltır ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur. Bu doğrultuda, hassas tarım teknikleri, bitki gelişim izleme sensörleri ve toprak analizlerine dayalı gübreleme programları, dengeli azot yönetimini destekleyen yenilikçi yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır (Raun ve Johnson, 1999; Gebbers ve Adamchuk, 2010).

2.4. Tarımsal Uygulamaların Nitrat Kirliliği ile İlişkisi

Tarımsal faaliyetler, özellikle de bilinçsiz azotlu gübre kullanımı, günümüzde yer altı ve yüzey sularında nitrat kirliliğinin başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Tarım alanlarında azotlu gübrelerin fazlaca ve yanlış zamanlamayla uygulanması, bitkiler tarafından yeterince alınamayan nitratin toprakta birikmesine ve sulama veya yağışla toprak profilinden yıkanarak yer altı su kaynaklarına karışmasına neden olmaktadır (Camargo ve Alonso, 2006). Bu süreç, hem tarımsal

üretim sistemlerinde verimsizlik yaratmakta hem de çevre ve insan sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır.

Nitrat kirliliğinin tarımsal uygulamalarla olan ilişkisini inceleyen pek çok çalışma, özellikle azot kullanım dozunun ve zamanlamasının kritik bir etken olduğunu göstermiştir. Örneğin, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan çalışmalar, pamuk gibi azot tüketimi yüksek bitkilerin yetiştirildiği alanlarda önerilen azot dozlarının %30–50 üzerinde gübreleme yapıldığını ortaya koymuştur (Çullu vd., 2022). Bu fazlalık, tarımsal verimi daha fazla artırmadığı gibi toprakta çözünür nitratın birikmesine ve su kaynaklarına taşınmasına zemin hazırlamaktadır.

Nitratın su kaynaklarında birikmesi, ekolojik dengeyi bozmanın yanı sıra insan sağlığına da doğrudan zarar verebilmektedir. Özellikle içme sularında yüksek nitrat konsantrasyonu, bebeklerde methemoglobinemi (mavi bebek sendromu) gibi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Ward vd., 2005). Bu nedenle tarımsal kaynaklı nitrat kirliliği, yalnızca bir çevre sorunu değil, aynı zamanda bir halk sağlığı problemi.

Tarımsal nitrat kirliliğini etkileyen diğer önemli faktörler arasında sulama yöntemi, toprak tipi, organik madde düzeyi ve meteorolojik koşullar yer almaktadır. Özellikle aşırı veya yanlış planlanan sulama uygulamaları, toprağın yıkanma kapasitesini artırarak nitratın yer altına taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, tarım arazilerinde münavebe yapılmaması, sürekli aynı bitkinin ekimi ve azot tüketiminin tek yönlü artması, toprakta dengesiz mineral birikimlerine neden olmaktadır (Addiscott vd., 1991).

Tüm bu nedenlerle, tarımsal uygulamalarla ilişkili nitrat kirliliğinin azaltılması için entegre gübre yönetimi yaklaşımlarının benimsenmesi, gübreleme zamanının bitkinin ihtiyaç duyduğu dönemlere göre planlanması ve çiftçilere yönelik yaygın eğitim programlarının uygulanması büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, izleme ve kontrol sistemlerinin güçlendirilmesi ve uzaktan algılama–CBS destekli haritalama tekniklerinin uygulanması, riskli alanların belirlenmesinde ve müdahalelerin yönlendirilmesinde etkili bir rol oynamaktadır (Akıncı vd., 2021).

2.5. Nitratın Toprakta Yıkanması ve Yer Altı Sularına Etkisi

Nitrat (NO_3^-), toprakta oldukça hareketli bir anyon olması nedeniyle bitkiler tarafından alınmadığında kolaylıkla toprak profilinden sızarak yer altı su kaynaklarına ulaşabilmektedir. Bu durum, özellikle geçirgenliği yüksek kumlu topraklarda, aşırı sulama koşullarında ve yüksek dozda azotlu gübre uygulamalarında daha da belirgin hale gelmektedir (Di ve Cameron, 2002). Topraktaki nitrat, kanyonlara göre daha zayıf tutunma özelliklerine sahip olduğundan yıkanma

potansiyeli oldukça yüksektir. Bu özellik, nitratın toprak çözeltisinde kolayca çözünerek bitki kök bölgesinden uzaklaşmasına ve çevresel kirliliğe yol açmasına neden olmaktadır.

Nitratın topraktan yıkanması, hem tarımsal verimlilik açısından bir kayıp oluşturmakta hem de su kalitesini olumsuz yönde etkileyerek çevresel ve halk sağlığı sorunlarına yol açmaktadır. Yer altı sularında nitrat birikimi, içme suyu güvenliği açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyunda nitratın güvenli sınırını $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3^-$ olarak belirlemiştir. Bu sınırın aşılması, özellikle bebeklerde methemoglobinemi (mavi bebek sendromu) gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Ward vd., 2005).

Yıkanma sonucu nitratın yer altı sularına taşınmasını etkileyen başlıca faktörler arasında toprak tipi, yağış miktarı, sulama rejimi, bitki örtüsü, arazi eğimi, organik madde düzeyi ve uygulanan gübre formu yer almaktadır (Addiscott vd., 1991; Kuang vd., 2015). Örneğin, Harran Ovası gibi alüvyal topraklara sahip ve yoğun sulama yapılan bölgelerde, fazla uygulanan azotlu gübrelerin yıkanarak drenaj suyuyla yer altı sularına ulaşma riski oldukça yüksektir (Çullu vd., 2022).

Azotun yıkanmasını azaltmak için azot uygulamalarının zamanlaması ve yöntemi büyük önem taşımaktadır. Bitkinin ihtiyaç duyduğu dönemlerde, bölünmüş dozlarla yapılan gübreleme uygulamaları, tek seferde yapılan yüksek dozlu uygulamalara göre daha az nitrat kaybına neden olmaktadır. Aynı zamanda, kontrollü salımlı gübreler (CRF), nitrifikasyon inhibitörleri ve organik gübrelerle yapılan uygulamalar da nitrat yıkanmasını azaltma potansiyeli taşımaktadır (Fageria ve Baligar, 2005).

Yıkanma kaynaklı nitrat kayıplarının önlenmesi için ayrıca hassas tarım teknolojilerinden yararlanılması önerilmektedir. Uzaktan algılama ve CBS tabanlı sistemlerle bitki gelişimi ve azot ihtiyacının izlenmesi, gübrelemenin zaman ve miktar açısından daha doğru şekilde yönetilmesini sağlayarak nitrat kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunabilmektedir (Akıncı vd., 2021).

2.6. Nitrat Kirliliğinin Uzaktan Algılama ve CBS ile İzlenmesi

Nitrat kirliliği, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan en yaygın ve çevresel açıdan en sorunlu kirleticilerden biridir. Toprakta ve yer altı sularında artan nitrat düzeylerinin erken tespiti ve mekânsal olarak izlenmesi, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir gübre yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, uzaktan algılama (remote sensing) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS), nitrat kirliliğinin alansal dağılımını izlemek ve değerlendirmek için güçlü araçlar sunmaktadır (Abd Elbasit vd., 2009).

Uzaktan algılama teknikleri, tarım alanlarındaki bitki örtüsü dinamiklerini, toprak nemini ve tarımsal uygulamalara bağlı olarak gelişen stresleri saptamak için farklı spektral bantlardaki uydu görüntülerini kullanmaktadır. Özellikle Sentinel-2, Landsat-8 ve MODIS gibi uydular, yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip olmaları nedeniyle bitki sağlığı ve azot yönetimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang vd., 2021).

Bitkilerin azot durumunu ve stres düzeylerini yansıtan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) ve REDNDVI (Red Edge NDVI) gibi vejetasyon indeksleri, gübreleme uygulamaları ile ilişkilendirilerek dolaylı olarak nitrat fazlalığına veya yetersizliğine dair bilgi sağlamaktadır (Li vd., 2010). Örneğin, aşırı azot uygulaması sonucu bitki örtüsünde gözlenen hızlı büyüme ve ardından oluşan stres durumları, uydu görüntülerinde spektral değişimlerle tespit edilebilmektedir.

CBS ise, uzaktan algılama verilerinin arazi kullanım bilgileri, toprak özellikleri, sulama desenleri, çiftçi gübreleme alışkanlıkları ve nitrat analiz sonuçları gibi çok katmanlı veriyle entegre edilerek analiz edilmesini sağlamaktadır. CBS tabanlı modeller sayesinde, nitratın mekânsal dağılımı, riskli alanların belirlenmesi ve tarımsal planlamaya yönelik önerilerin geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Basso vd., 2012). Aynı zamanda bu sistemler, sürdürülebilir tarım politikalarının desteklenmesi ve gübre kullanımının optimize edilmesi için karar destek aracı olarak kullanılabilir.

Türkiye’de özellikle Harran Ovası gibi yoğun pamuk üretiminin yapıldığı bölgelerde, gübre kullanım miktarlarının ve uygulama zamanlarının CBS ile haritalanarak uydu verileri ile karşılaştırılması, nitrat kirliliği riskinin etkin bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır. Bu çalışmalar sonucunda, pamuk üretimi yapılan arazilerde gübre kullanımına bağlı olarak artan nitrat yükünün su kaynaklarına olası etkileri öngörülebilir hale gelmekte ve yerel yönetimlere veri temelli önlemler geliştirme imkânı sunulmaktadır (Çullu vd., 2022).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

Bu tez çalışması, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Şanlıurfa ili sınırları içerisinde, 482.134–519.143 doğu boylamları ve 4.113.490–4.058.960 kuzey enlemleri arasında konumlanan Harran Ovası'nda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Harran Ovası, doğuda Tektek Dağları, batıda Fatik Platosu, kuzeyde Germuş Dağları ve güneyde Suriye sınırı ile çevrilidir. Ova, derin ve alüvyal toprak yapısı sayesinde tarımsal üretim açısından yüksek potansiyele sahiptir. Bölge, Türkiye'nin en önemli pamuk üretim alanlarından biri olarak bilinmektedir.

Bu çalışmada, Harran Ovası'ndaki pamuk üretim alanlarında üreticilerin gübre kullanım alışkanlıklarının mekânsal dağılımı ve bu uygulamaların nitrat kirliliğine etkisi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknikleriyle analiz edilmiştir. Anket uygulamaları, Şanlıurfa'nın Akçakale, Bozova, Eyyübiye, Haliliye, Harran, Hilvan, Karaköprü, Siverek, Suruç ve Viranşehir ilçelerine bağlı toplam 198 köyde, 193 üreticiyle yüz yüze görüşme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ancak mekânsal analizler ve CBS uygulamaları Harran Ovası özelinde yürütülmüş olup, elde edilen bulgular yalnızca bu bölgeye yönelik değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma Alanının Konumu

3.2. Harran Ovası İklim ve Toprak Özellikleri

Harran Ovası, Güneydoğu Anadolu Platosu'nun güney ucunda yer alan, graben tipi jeomorfolojik bir yapıya sahip bir ovadır. Ovanın oluşumu, Neotektonik dönemdeki tektonik hareketlerin etkisiyle şekillenmiştir. Bu süreçte ova bölgesi çökerken, çevresindeki Tektek ve Fatik platoları horst yapıları oluşturmuştur (Doğan, 2008; Şen, 2012).

Yüzey toprağı, çevredeki Fırat kireçtaşı formasyonlarından erozyonla taşınan malzemelerin birikmesiyle oluşmuş alüvyonlardan meydana gelmektedir. Bu alüvyon tabakasının kalınlığı 60–200 cm arasında değişmekte olup, toprakların bitki kök gelişimi, su tutma kapasitesi ve işlenebilirlik açısından yüksek tarımsal uygunluk göstermesine neden olmaktadır (Yıldırım vd., 2015). Jeolojik yapı, hem toprakların fiziksel özelliklerini hem de yeraltı su hareketlerini etkileyerek tarım uygulamalarının planlanmasında belirleyici rol oynamaktadır.

3.3. Harran Ovası'nın Jeolojik Özellikleri

Harran Ovası, Güneydoğu Anadolu Platosu'nun güney ucunda yer alan, graben tipi jeomorfolojik bir yapıya sahip bir ovadır. Ovanın oluşumu, Neotektonik dönemdeki tektonik hareketlerin etkisiyle şekillenmiştir. Bu süreçte ova bölgesi çökerken, çevresindeki Tektek ve Fatik platoları horst yapıları oluşturmuştur (Doğan, 2008; Şen, 2012).

Yüzey toprağı, çevredeki Fırat kireçtaşı formasyonlarından erozyonla taşınan malzemelerin birikmesiyle oluşmuş alüvyonlardan meydana gelmektedir. Bu alüvyon tabakasının kalınlığı 60–200 cm arasında değişmekte olup, toprakların bitki kök gelişimi, su tutma kapasitesi ve işlenebilirlik açısından yüksek tarımsal uygunluk göstermesine neden olmaktadır (Yıldırım vd., 2015). Jeolojik yapı, hem toprakların fiziksel özelliklerini hem de yeraltı su hareketlerini etkileyerek tarım uygulamalarının planlanmasında belirleyici rol oynamaktadır.

3.4. Uydu Görüntüsü Analizi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Uygulamaları

Çalışmada pamuk ekili alanların tespiti amacıyla Sentinel-2 uydusunun 2024 yılına ait Ağustos ayı multispektral görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler, 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip B3 (yeşil), B4 (kırmızı) ve B8 (yakın kızılötesi) bantlarından elde edilmiştir. Bu bantlar, bitki örtüsünün yoğunluğunu ve sağlığını değerlendirmek amacıyla normalize edilmiş fark vejetasyon indeksi (NDVI) oluşturulmasında kullanılmıştır.

Görüntüler, kontrollü (supervised) sınıflandırma yöntemi ile işlenmiştir. Sınıflandırma işlemi öncesinde pamuk ekili alanları temsil eden arazilerde GPS (Germin marka cihaz) ile yer doğrulama çalışmaları yapılmıştır. NDVI değerlerine göre yapılan eşikleme ile pamuk alanlarının sınıflandırma doğruluğu artırılmıştır.

Mekânsal analizler ArcGIS Pro (v.3.0) yazılımı ile yürütülmüş; sınıflandırılan alanlar vektör formatına dönüştürülerek toplam pamuk ekili alan hesaplanmıştır. Anket verilerinden elde edilen taban ve üst gübre uygulama miktarları koordinat bilgileriyle ilişkilendirilmiş ve CBS ortamına entegre edilmiştir. Entegre edilen yer kontrol bilgileri kullanılarak uydu görüntülerinde kontrollü sınıflandırma yapılmış, pamuk bitkisi dağılım alanları belirlenmiş ve genel dağılım haritalanmıştır.

3.5. Gübreleme Alışkanlıklarının Belirlenmesine Yönelik Anket Çalışması

Harran Ovası'ndaki çiftçilerin gübreleme alışkanlıklarını değerlendirmek üzere yapılandırılmış bir anket formu hazırlanmış ve 193 üreticiye yüz yüze görüşme yöntemiyle uygulanmıştır. Anket, Şanlıurfa'nın pamuk üretimi açısından yoğun olan 198 köyünü kapsamış ve her çiftçiye ait arazi koordinatları GPS ile alınarak CBS ortamında kullanılmak üzere kaydedilmiştir (Şekil 3.2).

Anket formunda; taban gübresi türü ve uygulama zamanı, üst gübreleme periyotları, kullanılan gübre miktarları, tercih edilen azotlu gübre çeşitleri (örneğin üre, Amonyum Nitrat, Amonyum Sülfat) ve çiftçilerin bu kararları verirken dayandıkları bilgi kaynakları sorgulanmıştır. Bu bilgiler, gübre kullanım desenlerini anlamaya ve nitrat birikimi ile ilişkili mekânsal varyasyonu açıklamaya yönelik olarak analiz edilmiştir.



Şekil 3.2. Çiftçilerle yapılan anket çalışması

Çizelge 3.1. Pamuk Gübreleme Alışkanlıklarını Belirlemeye Yönelik Anket Formu

Gübre Kullanım Alışkanlığı Çiftçi Anketi

Dekara pamuk veriminiz (.....kg)

Pamukta taban gübresi kullanım alışkanlığınız nedir?

- Taban gübresi olarak 20-20 kullanırım kg/da
kullanırım
- Taban gübresi olarak 18-46 (DAP)..... kg/da
kullanırım
- Taban gübresi olarak hayvan gübresikg/da
kullanırım
- Taban gübresi olarak organo mineral gübrekg/da
kullanırım
- Üst gübre olarak amonyum nitratkg/da
kullanırım
- Üst gübre olarak %26 nitrat
.....kg/da kullanırım
- Üst gübre olarak üre
.....kg/da kullanırım

Çizelge 3.1'deki sorular, pamuk eken çiftçilere sorularak pamuk üretimi için kullandıkları taban ve üst gübre miktarı, zamanı ve çeşidi temin edilmiştir. Her bir arazi ziyareti ve çiftçi anket verileri GPS koordinatlı olarak toplanarak excel dosyası oluşturulmuştur.

3.6. Nitrat Analizi İçin Toprak Örnekleme ve Laboratuvar Yöntemi

Toprak örnekleme çalışmaları, pamuk ekimi yapılan parsellerden GPS cihazı kullanılarak alınmıştır. Örnekleme, 0–30 cm derinlikten, zig-zag yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve her parselden beş alt örnek alınarak kompozit hale getirilmiştir. Alınan örnekler hızlı bir şekilde laboratuvara ulaştırılmış ve analiz öncesinde 4 °C'de soğuk zincirde muhafaza edilmiştir.

Laboratuvarda, örnekler hava kuruda kurutulmuş ve 0,5 mm göz açıklığına

sahip elekten geçirilmiştir. Nitrat tayini için Yang vd. (1998) yöntemine göre analizler yapılmıştır. Her 10 g toprak örneği, 50 ml saf su ile 150 rpm’de bir saat çalkalanmış ve ardından süzöntü elde edilmiştir.

Süzüntüden alınan 1 ml örneğe, 0,5 ml TRI çözeltisi (1 g sodyum salisilat, 0,2 g NaCl, 0,1 g amonyum sülfamat, 0,049 g NaOH, 100 ml saf su) eklenmiş ve karışım 200 °C’de buharlaştırılmıştır. Daha sonra sırasıyla 1 ml sülfürik asit, 5 ml NaOH ve 5 ml saf su ilavesiyle çözelti hazırlanmış; absorbans değeri 410 nm dalga boyunda spektrofotometre ile ölçülmüştür (Şekil 3.5).



Şekil 3.3. Nitrat tayini için toprak örneği alımı



Şekil 3.4. Toprak örneklerinin kurutulması



Şekil 3.5. Toprak Örneklerinden Nitrat Tayini

4. BULGULAR

4.1. Harran Ovası'nda Pamuk Tarımının Çevresel Etkileri

Şanlıurfa ili, Türkiye'nin pamuk üretiminde öncü konumda yer almakta olup, ülke genelindeki pamuk üretiminin yaklaşık %40'ını karşılamaktadır. Bu üretimin önemli bir bölümü Harran Ovası'nda yoğunlaşmıştır. Harran Ovası, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında sulamaya açılmasından bu yana pamuk tarımında büyük bir üretim potansiyeline sahip olmuş, yıllar içinde tarım yapılan alanların büyük bir kısmında pamuk ekimi gerçekleştirilmiştir. Ancak yoğun pamuk tarımı beraberinde çeşitli çevresel sorunları da getirmiştir. Özellikle üretim verimini artırmak amacıyla uygulanan geleneksel gübreleme yöntemleri, gübre miktarlarının kontrolsüz bir şekilde artmasına ve azotlu gübrelerin aşırı kullanımına neden olmuştur. Bu durum yalnızca tarımsal verimlilik sorunları ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda yeraltı su kaynaklarında nitrat birikimine yol açarak ciddi düzeyde kirlilik oluşturmaktadır. Nitrat kirliliği, özellikle içme suyuna karışması durumunda halk sağlığını tehdit eden önemli bir çevresel ve toplumsal problem haline gelmektedir.

Bu araştırmanın temel amacı, Harran Ovası'nda pamuk tarımı yapan çiftçilerin gübre kullanım alışkanlıklarını belirlemek ve bu alışkanlıkların nitrat kirliliği üzerindeki etkilerini alansal olarak analiz etmektir. Bu kapsamda, ovayı temsilen farklı köy ve üretici gruplarından seçilen 913 çiftçi ile yüz yüze anket çalışmaları yapılmıştır. Anketler aracılığıyla çiftçilerin kullandıkları gübre türleri, uygulama miktarları, zamanlamaları ve sulama ile ilişkili davranışları detaylı bir şekilde kayıt altına alınmıştır.

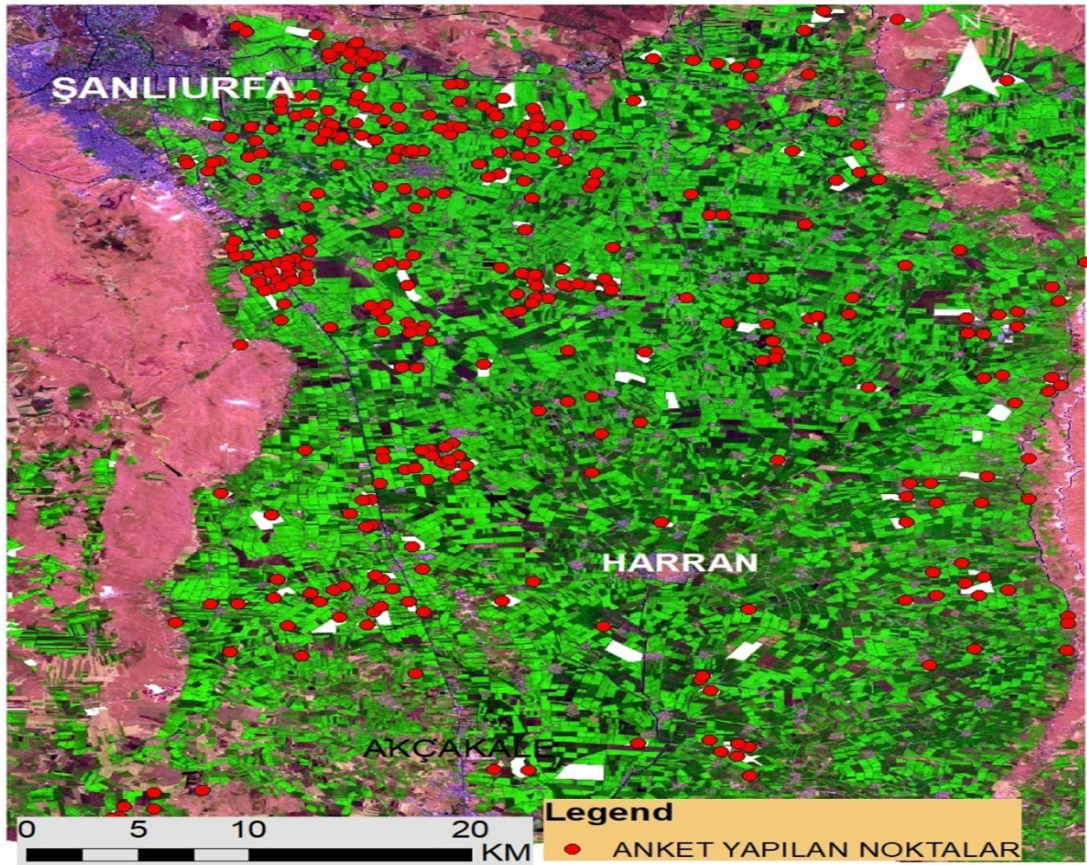
Elde edilen veriler doğrultusunda, yanlış ve aşırı gübre kullanımının yoğunlaştığı alanlar tespit edilmiştir. Bu tarımsal uygulamaların mekânsal etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla 2024 yılı Ağustos ayına ait yüksek çözünürlüklü (Sentinel-2, 10x10 m çözünürlük) uydu görüntüsü kullanılarak pamuk ekili parseller tespit edilmiş ve bu alanlar Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında haritalanmıştır. Uzaktan algılama teknikleri sayesinde, gübreleme davranışlarının pamuk alanlarındaki dağılımı ile yeraltı su kaynaklarındaki potansiyel nitrat kirliliği riski arasında mekânsal bir ilişki kurulmuştur.

Araştırma sonuçları, geleneksel gübre kullanım pratiklerinin bölgedeki çevresel sürdürülebilirliği tehdit ettiğini ortaya koyarken, hassas tarım uygulamaları ve eğitim programlarının önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Ayrıca bu çalışma, Harran Ovası'nda nitrat kirliliğinin azaltılması için politika yapıcılar ve yerel yönetimler açısından da önemli bir veri altyapısı sunmaktadır.

4.2. Harran Ovası'nda Pamuk Üretiminde Gübre Kullanım Alışkanlıklarının Belirlenmesi

Harran Ovası'nda çiftçilerin gübre kullanım alışkanlıklarını belirlemek amacıyla 2024 pamuk üretim sezonunda toplam 913 çiftçi ile anket yapılmıştır. Anket çalışmaları GPS cihazı kullanılarak koordinatlı biçimde gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler 2024 yılı Ağustos ayına ait uydu görüntüsü üzerine çakıştırılmıştır (Şekil 4.1).

Anket sonuçlarının değerlendirilmesiyle, söz konusu 913 çiftçinin taban ve üst gübre kullanım alışkanlıkları ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.



Şekil 4.1. Gübre Alışkanlıklarının Belirlenmesi İçin Anket Yapılan Noktalar

4.3. Pamuk Ekili Alanların Uydu Verileri Kullanılarak Haritalanması

Şanlıurfa ilinde pamuk ekimi Nisan ayının ortalarında başlamakta ve Mayıs ayının ilk haftasına kadar devam etmektedir. Pamuk bitkisi çıkışları, toprak yüzeyini kaplaması ve uydu görüntüleri ile daha net algılanması Ağustos ayına karşılık geldiğinden, çalışma için 2024 yılı Ağustos ayı Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Sentinel-2 görüntüsünde kullanılan Band 3, Band 4 ve Band 8

kombinasyonlarının çözünürlüklerinin 10 m olması nedeniyle pamuk ekili parsellerin önemli bir kısmı algılanabilmektedir.

Bu araştırmadaki anket çalışması tüm Şanlıurfa ili için yapılmış, ancak değerlendirme Harran Ovası için gerçekleştirilmiştir. Harran Ovası'nda taban ve üst gübre alışkanlıklarını belirlemek amacıyla Şekil 4.1'deki noktalardan alınan pamuk ekili parsel verileri kullanılarak pamuk ve mısır ekili alanların kontrollü sınıflandırması yapılmıştır (Şekil 4.2). Harran Ovası'nda Ağustos ayında yaygın bitkiler pamuk ve II. ürün mısır olduğundan, haritalama bu ürünler için gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.2.A'daki ham uydu görüntüsü kullanılarak elde edilen B görüntüsünde toplam pamuk ekili alanlar ve diğer arazi kullanım alanları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Harran Ovası 2024 yılı Ağustos görüntüsünde yapılan kontrollü sınıflandırma sonucu farklı arazi kullanım dağılımları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Veriler, ovadaki baskın tarımsal faaliyet alanının pamuk üretimi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Pamuk, hem birinci ürün olarak hem de bazı bölgelerde II. ürün olarak üretim deseninde yer almakta ve bölgenin temel ekonomik tarım ürünlerinden biri konumundadır.

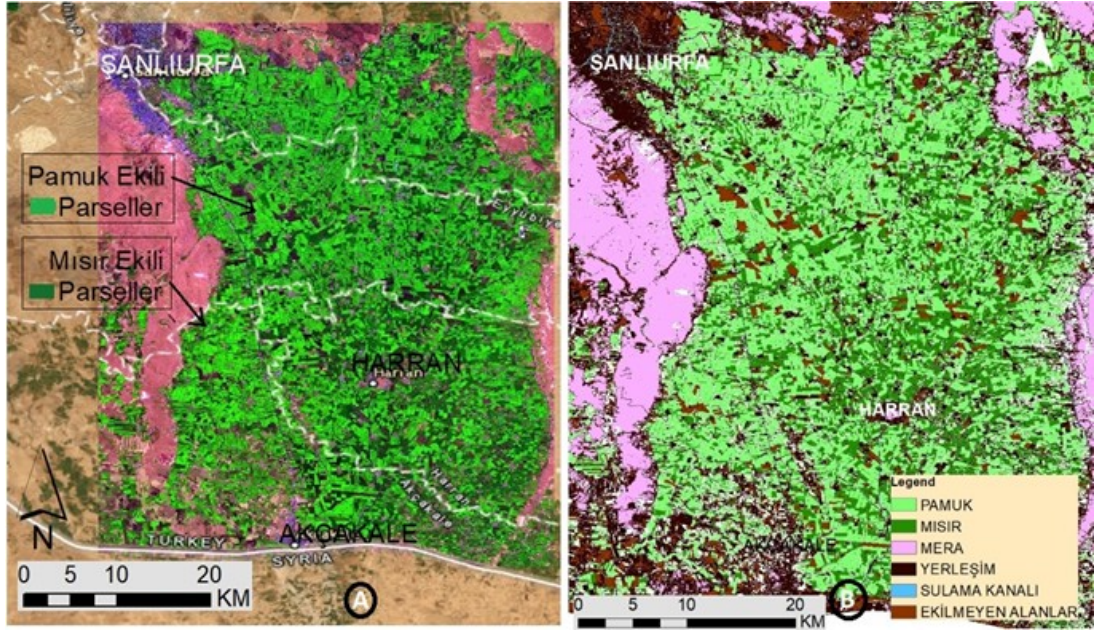
Ağustos ayı uydu görüntüleri üzerinden yapılan analizlerde buğday ekim alanları doğrudan tespit edilememiştir. Bunun temel nedeni, buğdayın hasat döneminin Haziran ayı başında tamamlanması ve Ağustos ayında tarlaların boş ya da ikinci ürün ekimi için hazırlanıyor olmasıdır. Ancak Harran Ovası'nda buğday da yaygın olarak yetiştirilen önemli bir ürün olup, mısır genellikle buğday hasadının ardından ikinci ürün olarak aynı arazilerde ekilmektedir. Bu nedenle II. ürün mısır alanları ile buğday üretim alanlarının büyük ölçüde örtüştüğü değerlendirilmektedir.

Bölgedeki tarımsal faaliyetlerin çevresel etkileri bağlamında en dikkat çeken unsur, pamuk üretiminde kullanılan yüksek dozda azotlu gübrelerdir. Özellikle yanlış zamanda ve aşırı miktarda yapılan azotlu gübreleme uygulamaları, sulama ile yeraltı sularına sızarak nitrat kirliliği riskini artırmaktadır. Yapılan analizler, ovadaki su kaynaklarında gözlenen nitrat kirliliğinde pamuk tarımının başlıca etken olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, buğday ve II. ürün mısır üretiminde de azotlu gübre kullanımı yaygın olduğundan, bu ürünlerin de kirliliğe dolaylı katkı sağladığı düşünülmektedir.

Bu bağlamda, Harran Ovası'ndaki baskın ürün olan pamuk bitkisi, nitrat kirliliğine etkisi açısından kritik bir rol oynamakta olup, bu araştırmada özellikle pamuk üretiminde uygulanan gübreleme pratikleri detaylı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, ovada pamuk üretimi yapan çiftçilerin gübre kullanım alışkanlıklarını belirlemeye yönelik gerçekleştirilen anket çalışmaları aracılığıyla, önerilenin üzerinde azotlu gübre kullanımının yaygın olduğu belirlenmiştir. Bu veriler, ovadaki

aşırı azot kullanımının niceliksel boyutunu ortaya koymakta ve nitrat kirliliği ile doğrudan ilişkisini güçlendirmektedir.

Bununla birlikte, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerinin kullanımı, ürün deseninin belirlenmesinde yüksek doğruluk ve zaman kazancı sağlamaktadır. Bu teknolojiler sayesinde pamuk ekili alanlar hızlı ve güvenilir bir şekilde haritalanabilmekte, böylece gübre kullanım miktarları alansal olarak daha doğru tahmin edilebilmektedir. Bu durum, hem mevcut gübreleme pratiklerinin mekânsal düzeyde analizine olanak tanımakta hem de aşırı gübre kullanımına karşı alınabilecek önlemlerin daha etkin planlanmasını mümkün kılmaktadır. Sürdürülebilir tarım uygulamaları çerçevesinde, pamuk üretiminde azotlu gübre kullanımının zamanlaması ve miktarının yeniden gözden geçirilmesi büyük önem arz etmekte olup, bu süreçte uzaktan algılama ve CBS verilerinin kullanılması karar destek mekanizmalarının güçlendirilmesine önemli katkılar sunmaktadır.



Şekil 4.2. . Harran Ovası 2024 Yılı Sentinel-2 Uydu Ham Görüntüsü (A) ve Sınıflandırılmış Görüntüsü (B)

Çizelge 4.1. . Harran Ovası ve Çevresinin Uydu Görüntüsü Analizi Arazi Kullanımı Dağılımı

ARAZİ KULLANIMI	ALAN (HA)
PAMUK	101345
MERA	50141
YERLEŞİM	35507
SULAMA KANALI	1299
MISIR	36417
ANIZ	8248
EKİL MEMİŞ ALAN	4888
TOPLAM	237845

4.4. Pamuk Üretim Alanlarında Kullanılan Gübre Türleri ve Çiftçi Alışkanlıkları

Anket çalışması Şanlıurfa iline bağlı yaygın olarak pamuk üretimi yapılan Akçakale, Bozova, Eyyübiye, Haliliye, Harran, Hilvan, Karaköprü, Siverek, Suruç, Viranşehir ilçelerinde yürütülmüş, pamuk üretimi ve gübre kullanımı değerlendirilmesi Harran Ovası için yapılmıştır.

Şanlıurfa ilinde pamuk üretimi yapılan 69.674 dekar alandan ve 913 çiftçiden elde edilen veriler, bölgedeki gübre kullanım eğilimlerini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, çiftçilerin taban ve üst gübre tercihlerinde belirgin bir alışkanlık geliştirdiğini göstermektedir.

4.4.1. Taban gübre tercihleri

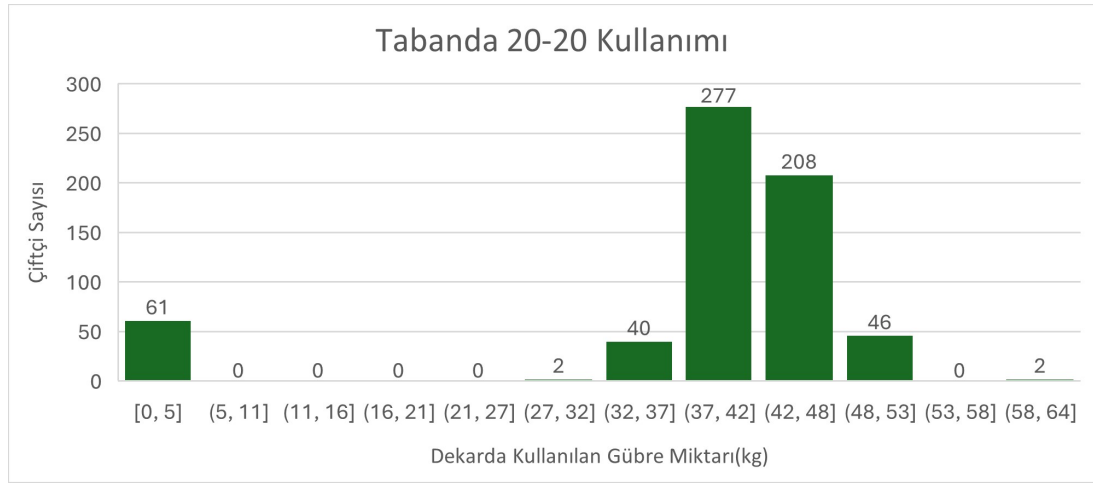
Arazi anket verilerine göre, Şanlıurfa pamuk üretim alanlarında en yaygın olarak tercih edilen taban gübre türü 20-20-0 (azot–fosfor–potasyum içeren kompoze gübre) olmuştur. Özellikle 40 kg/da dozunda 290 üretici ve 45 kg/da dozunda 211 üretici tarafından kullanıldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, eşit oranlarda azot ve fosfor içeren bu gübre formülasyonunun, pamuk tarımı için bölgedeki üreticiler tarafından standart bir taban gübre tercihi olarak benimsendiğini ortaya koymaktadır (Şekil 4.3).

20-20-0 gübresine alternatif olarak tercih edilen bir diğer taban gübre türü ise DAP (Diamonyum Fosfat; 18-46-0) gübresidir. Anket sonuçlarına göre bu gübre özellikle 30 kg/da (119 üretici) ve 35 kg/da (54 üretici) dozlarında uygulanmıştır. DAP gübresinin özellikle fosfor içeriği yüksek olması, pamuk bitkisinin kök gelişimi ve erken gelişme dönemlerinde fosfor ihtiyacını karşılamada tercih edilmesine neden olmaktadır (Güneş ve vd., 2019). Daha az sayıda üretici ise 25 kg (46 kişi), 20 kg (21

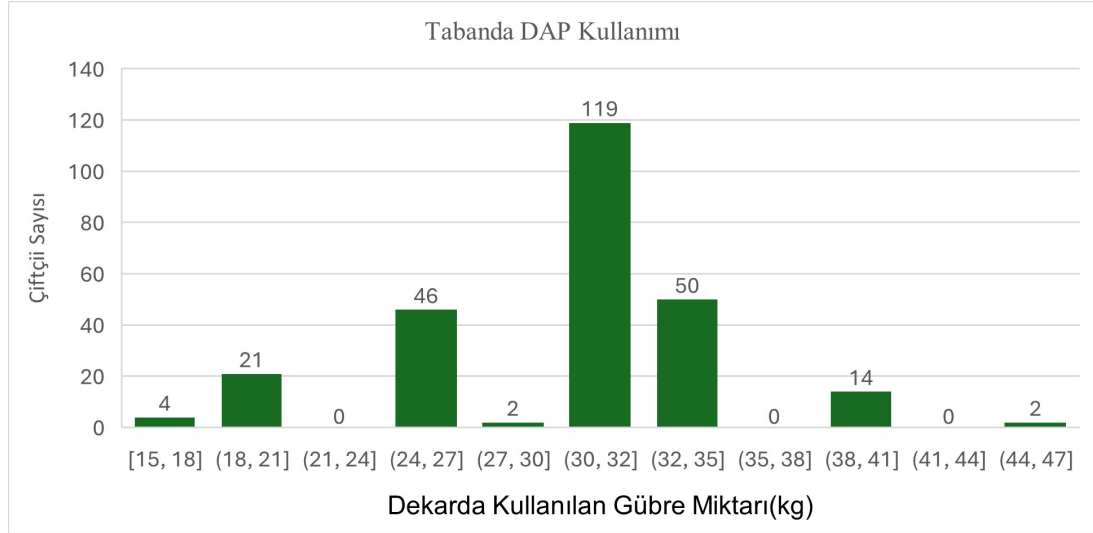
kişi), 40 kg (15 kişi), 15 kg (4 kişi), 27 kg (2 kişi) ve 45 kg/da (2 kişi) dozlarında DAP kullanmıştır (Şekil 4.4).

Buna karşın, organomineral gübre kullanımı oldukça sınırlı kalmış, sadece 4 üretici tarafından 40 kg/da dozunda uygulanmıştır. Bu durum, organik içerikli gübrelerin bölgede henüz yaygınlaşmadığını, çiftçilerin halen kimyasal tabanlı gübreleri tercih ettiğini göstermektedir. Oysa organik ve organomineral gübrelerin toprak mikrobiyal aktivitesine, karbon içeriğine ve uzun vadeli toprak sağlığına katkı sağladığı bilinmektedir (Kadioğlu ve Demirtaş, 2020; Lal, 2022).

Genel olarak değerlendirildiğinde, pamuk üretiminde azot ve fosfor ağırlıklı gübre tercihlerinin öne çıktığı, ancak potasyum içerikli gübrelerin kullanımının ihmal edildiği gözlemlenmiştir. Bu durum, potasyum eksikliğine bağlı kalite ve verim kayıplarının uzun vadede artabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 4.3. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında taban gübresi olarak kullanılan 20-20-0 gübre çeşidi ve miktarı



Şekil 4.4. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında taban gübresi olarak kullanılan DAP (Diamonyum Fosfat) gübre çeşidi ve miktarı

4.4.2. Üst Gübre Kullanım Alışkanlıkları

Üst gübre tercihlerinde ikinci sırada yer alan CAN gübresi (Kalsiyum Amonyum Nitrat) ise daha sınırlı düzeyde kullanılmaktadır (Şekil 4.6). En sık tercih edilen doz 25 kg olup, bu miktarı 36 üretici uygulamıştır. Bunu 20 kg (27 üretici) ve 30 kg (14 üretici) takip etmektedir. Daha az sayıda üretici 35–40 kg arası dozlar uygulamış, birkaç üretici ise 23 kg ve 27 kg gibi ara değerleri tercih etmiştir. Bu veriler, CAN gübresinin kullanımının üreye göre oldukça düşük olduğunu göstermekte ve azot ihtiyacını karşılamada üreticilerin CAN yerine büyük oranda üreye yöneldiğini ortaya koymaktadır.

4.4.2.1. Üre (%46 N)

Araştırmada elde edilen verilere göre, üre gübresi, Şanlıurfa'daki pamuk üreticileri tarafından açık ara en çok tercih edilen üst gübre çeşidi olmuştur. Özellikle yüksek azot içeriği sayesinde bitkinin gelişme dönemindeki azot ihtiyacını karşılamak amacıyla tercih edildiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.5).

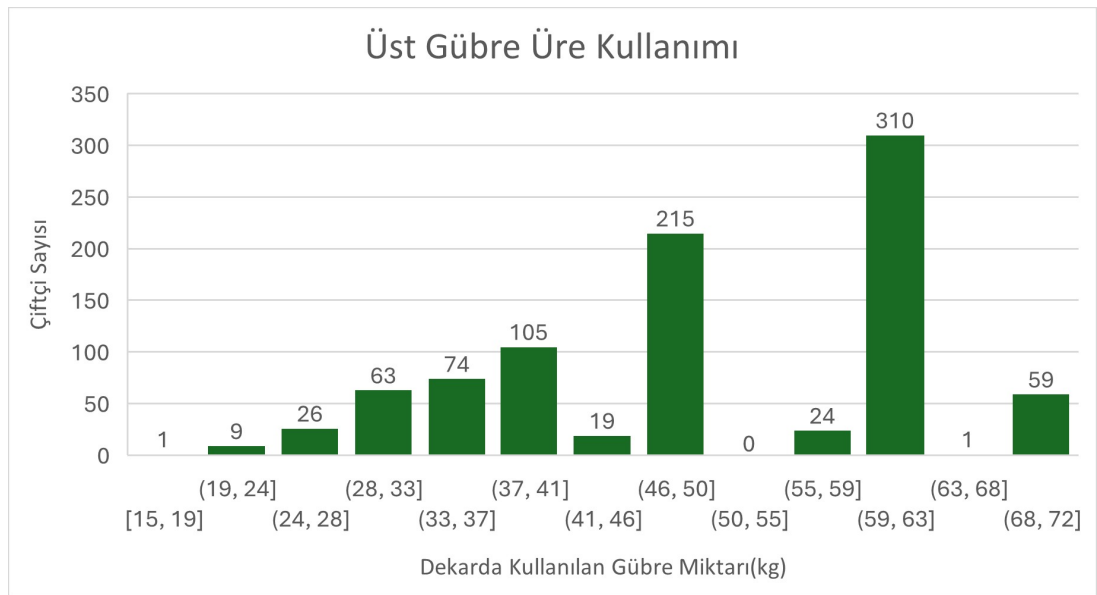
En yaygın kullanım dozları şu şekildedir:

- 308 üretici 60 kg,
- 215 üretici 50 kg,
- 105 üretici 40 kg,
- 70 üretici 35 kg,
- 63 üretici 30 kg dozunda kullanmıştır.

Bunun dışında daha az sayıda üretici; 70 kg (59 kişi), 55 kg (24 kişi), 45 kg

(19 kişi), 25 kg (22 kişi), 20 kg (8 kişi) ve nadiren 62 kg, 65 kg, 15 kg, 23 kg, 28 kg gibi ara dozlarda uygulama yapmıştır. Bu geniş doz aralığı, çiftçilerin kendi tecrübelerine ve beklentilerine göre farklı oranlarda gübreleme yaptıklarını göstermektedir. Ancak yaygın olarak 50–60 kg düzeyindeki uygulamalar, potansiyel olarak aşırı azot kullanımına işaret etmektedir.

Çalışma verileri, Şanlıurfa pamuk üretim alanlarında azotlu gübrelerin (üre, CAN, AS) yoğun şekilde kullanıldığını göstermektedir. Özellikle üre gübresi gibi yüksek oranda azot içeren gübrelerin, 60 kg/da'ya kadar çıkan dozlarda kullanılması dikkat çekicidir (Anonim, 2023).

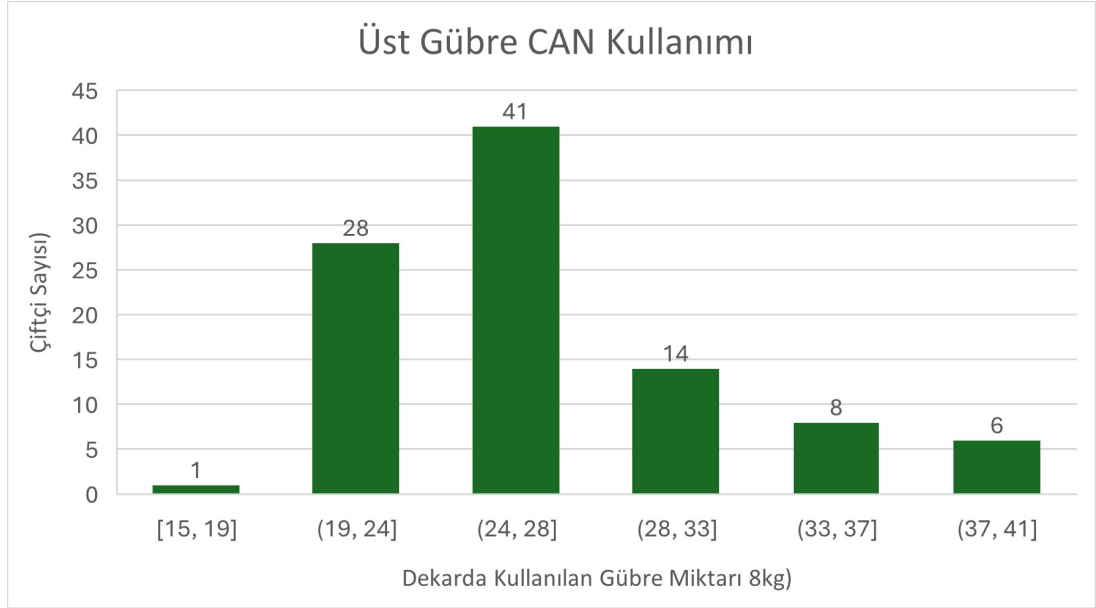


Şekil 4.5. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında üst gübre olarak kullanılan Üre gübre çeşidi ve miktarı

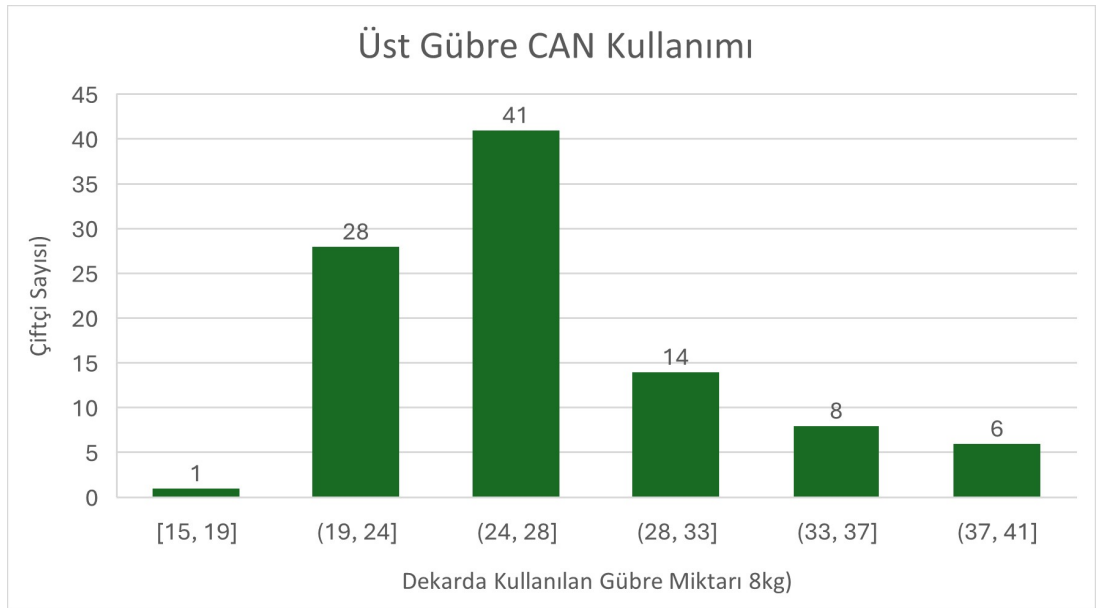
4.4.2.2. CAN %26 (Kalsiyum Amonyum Nitrat)

Üst gübre tercihlerinde ikinci sırada yer alan CAN gübresi (Kalsiyum Amonyum Nitrat) ise daha sınırlı düzeyde kullanılmaktadır (Şekil 4.6).

En sık tercih edilen doz 25 kg olup, bu miktarı 36 üretici uygulamıştır. Bunu 20 kg (27 üretici) ve 30 kg (14 üretici) takip etmektedir. Daha az sayıda üretici 35–40 kg arası dozlar uygulamış, birkaç üretici ise ara değerleri (23 kg, 27 kg) tercih etmiştir. Bu veriler, CAN gübresinin kullanımının üreye göre oldukça düşük olduğunu göstermekte, azot ihtiyacını karşılamada üreticilerin CAN yerine büyük oranda üreye yöneldiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.6. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında üst gübre olarak kullanılan CAN %26 (Kalsiyum Amonyum Nitrat) gübre çeşidi ve miktarı



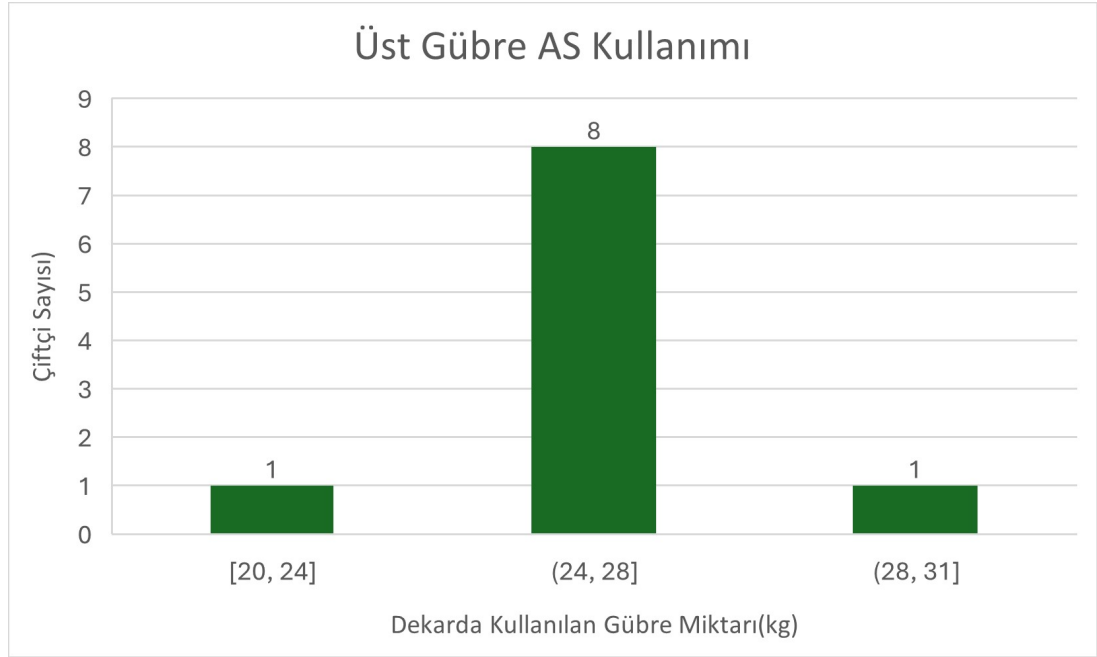
Şekil 4.7. Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında üst gübre olarak kullanılan CAN %26 (Kalsiyum Amonyum Nitrat) gübre çeşidi ve miktarı

4.4.2.3. AS %21 (Amonyum Sülfat)

Üst gübreler arasında en az tercih edilen gübre türü AS %21 (Amonyum Sülfat) olmuştur. Bu gübreyi sadece 10 üretici kullanmıştır (Şekil 4.7)

Bunlardan 8'i 25 kg, 1'i 20 kg, 1'i ise 30 kg dozunda uygulama yapmıştır. Bu

düşük oran, hem bu gübre türünün kullanım alışkanlıkları içinde yer bulamadığını hem de üreticilerin alternatif azot kaynaklarına yöneldiğini göstermektedir.



Şekil 4.8. . Şanlıurfa Pamuk üretim alanlarında üst gübre olarak kullanılan AS%21 (Amonyum Sülfat) gübre çeşidi ve miktarı

4.5. Üst Gübre Tercihlerinin Değerlendirilmesi

Üst gübre olarak açık ara en çok tercih edilen gübre Üre (46% N) olmuştur. En yaygın kullanım dozları 60 kg (308 kişi) ve 50 kg (215 kişi) olarak dikkat çekmektedir. Bu, pamuk bitkisinin azot ihtiyacının karşılanmasında çiftçilerin büyük ölçüde üreye yöneldiğini göstermektedir (Yıldırım ve Polat, 2018).

Diğer üst gübreler olan CAN %26 ve AS %21 ise görece daha az tercih edilmiştir. CAN %26'yı 36 kişi 25 kg, 27 kişi ise 20 kg olarak kullanmıştır. AS %21 ise yalnızca 10 kişi tarafından kullanılmıştır.

Bu verilerden çıkarılabilecek temel sonuç, çiftçilerin gübre seçiminde klasik alışkanlıklarını sürdürdükleri, az sayıda çeşide yöneldikleri ve özellikle azotlu gübre kullanımında yüksek miktarlara ulaştıklarıdır. Bu durum çiftçilerin, genellikle yüksek verim beklentisiyle gübre kullanımını maksimize etme eğiliminde olduklarını göstermektedir (Öztürk ve Karaman, 2022).

4.6. Çiftçi Gübre Uygulamalarında Pamuk Ekim Öncesi Alınan Toprak Örneklerinde Nitrat Değerlendirmesi

Bu çalışma kapsamında, 913 çiftçi ile yapılan anket çalışmasından elde edilen veriler analiz edilmiştir. Ankete katılan çiftçilerin toplamda 69.673 dekar pamuk üretim alanı bulunmaktadır.

Bu çalışmada Harran Ovası'ndaki pamuk alanlarını temsil etmek üzere toplam 60 parselden pamuk ekim öncesi toprak örnekleri alınarak nitrat analizleri yapılmıştır. 60 toprak örneğinde yapılan nitrat analizinde en yüksek nitrat değeri 105 ppm (26,25 kg/da) ve en düşük nitrat değeri 4 ppm (1 kg/da) ve ortalama dekara nitrat değeri 18,7 ppm olmuştur. Bu ortalama değer dekara dönüştürüldüğünde pamuk ekim öncesi toprakta ortalama 4,67 kg/da N bulunduğu anlaşılmaktadır.

Geleneksel olarak çiftçilerin kullandığı ortalama değer olarak alınan 20-20-0 taban gübresinden dekara 5,4 kg, DAP (18-46) gübresinden 5,85 kg ve üst gübre olarak kullanılan üre gübresinden 19,78 kg N gelmektedir. Taban gübresi ve üre gübresinden toplam dekara verilen N gübre ortalaması 34,43 kg'dır. Nitrat analizi sonucu pamuk ekim öncesi de toprakta mevcut olan 4,67 kg eklenince pamuk bitişi için ortalama olarak araziye 39,1 kg/da azot verildiği anlaşılmaktadır.

Harran Ovası'nda pamuk tarımı için azot gübrelemesi üzerine yapılan araştırmalar, verimliliği artırmak ve azotun çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla optimum doz aralıklarının belirlenmesine odaklanmıştır. Bu kapsamda GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından yürütülen bir çalışmada (GAPTAEM, 2012), pamuk bitkisine uygulanan farklı azot dozlarının (0, 8, 12, 16, 20 ve 24 kg/da) etkileri incelenmiş ve en yüksek verimin 16 kg/da azot uygulamasında elde edildiği belirlenmiştir. Aynı çalışmada, 20 kg/da ve üzerindeki dozlarda verimin artmadığı, buna karşılık bitki gelişiminde dengesizlik, aşırı yeşil aksam oluşumu ve tarak dökümü gibi olumsuzlukların görüldüğü rapor edilmiştir. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi tarafından yapılan benzer bir çalışmada da pamukta verim ve kalite açısından optimum azot miktarının 15–18 kg/da aralığında olduğu, azotun iki veya üç aşamalı olarak verilmesinin (ekim öncesi, çiçeklenme öncesi ve koza oluşumu başında) bu etkiyi artırdığı vurgulanmıştır (Öztürk ve vd., 2014). Ayrıca Şanlıurfa Tarım İl Müdürlüğü'nün yayınladığı gübreleme önerilerine göre, Harran Ovası'nın iklim ve toprak koşullarında pamuk için önerilen azot miktarı dekara 15–20 kg arasında değişmektedir ve bu miktarın toprak analizine dayalı olarak belirlenmesi gerektiği ifade edilmektedir (Şanlıurfa Tarım İl Müdürlüğü, 2018). Bu bulgular, aşırı azot kullanımının verim artışı sağlamadığı gibi kaliteyi de olumsuz etkileyebileceğini ve çevresel riskleri artırabileceğini ortaya koymaktadır.

Tarımda kullanılan azotlu gübrelerin yalnızca belirli bir kısmı bitkiler tarafından etkin şekilde kullanılabilen; geri kalan önemli bir oranı ise çeşitli çevresel süreçlerle kaybolmaktadır. Literatüre göre, tahıl üretiminde uygulanan azotun %20 ila %50'si denitrifikasyon, volatilizasyon (gaz kaybı) ve yeraltı sularına yıkanma gibi yollarla kaybolmaktadır (Kalaycı, 2010). Benzer şekilde, dünya genelindeki araştırmalar, uygulanan azotlu gübrenin ortalama %50'sinin bitkiler tarafından alındığını, geri kalanının çevresel sistemlere karıştığını göstermektedir (Zhang vd., 2023). Pamuk bitkisi özelinde, azot yönetimi oldukça önemlidir. Pamuk, toplam azot ihtiyacının %50'sinden fazlasını ilk çiçeklenme döneminden sonra alır, bu da azot yönetimini daha karmaşık hale getirir (Nutrien-Economics, 2020). Üre gübresi kullanıldığında, eğer toprakla karıştırılmaz veya yağışla yıkanmazsa, ilk iki hafta içinde toplam azotun %60'ına kadar kayıp yaşanabilir (Nutrien-Economics, 2020). Bu durum, azotlu gübrelerin hem tarımsal verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından dikkatle yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.6.1. Nitrat Okumaları ile Gübre Kullanım Miktarlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Harran Ovası'nda pamuk üretimi yapılan 69.673 dekarlık alanda çiftçiler tarafından uygulanan azotlu gübreleme miktarları, pamuk bitkisinin optimum azot ihtiyacı ve azot kayıplarına ilişkin literatür verileri dikkate alındığında, yeraltı sularında nitrat kirliliği riski ciddi boyutlardadır. Yapılan anket çalışmasında 913 çiftçiye ait toplam pamuk üretim alanı belirlenmiş, bu alanlara uygulanan gübreleme verileri değerlendirilmiştir.

Toplam 60 pamuk parselinden alınan toprak örneklerinde yapılan nitrat analizleri sonucunda en yüksek değer 105 ppm (26,25 kg/da), en düşük değer 4 ppm (1 kg/da) ve ortalama değer 18,7 ppm bulunmuştur. Bu ortalama değer dekara çevrildiğinde, pamuk ekim öncesi toprakta mevcut ortalama azot miktarının 4,67 kg/da olduğu anlaşılmaktadır.

Çiftçilerin geleneksel olarak kullandığı gübreleme miktarlarına bakıldığında, taban gübresi olarak 20-20-0'dan 5,4 kg/da, DAP (18-46) gübresinden 5,85 kg/da ve üst gübre olarak üre gübresinden 19,78 kg/da azot uygulandığı görülmektedir. Bu değerler toplamda dekara 34,43 kg/da azot uygulandığını göstermektedir. Toprakta doğal olarak bulunan 4,67 kg/da azot da eklendiğinde, toplam azot miktarı ortalama 39,1 kg/da'ya ulaşmaktadır.

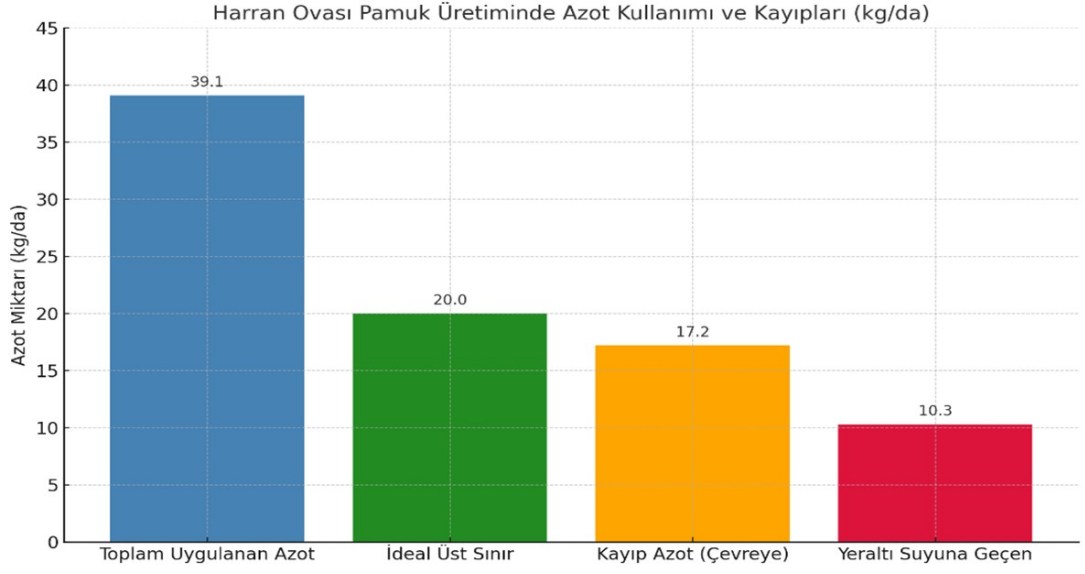
GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü (GAPTAEM, 2012) tarafından yapılan bir araştırmada pamuk bitkisine uygulanan farklı azot dozlarının (0, 8, 12, 16, 20 ve 24 kg/da) verim üzerine etkileri incelenmiş ve en yüksek verimin 16 kg/da azot

uygulamasıyla elde edildiği belirlenmiştir. Aynı çalışmada 20 kg/da ve üzerindeki uygulamalarda verimin artmadığı, bunun yerine bitki gelişiminde dengesizlik, aşırı yeşil aksam oluşumu ve tarak dökümü gibi olumsuz etkilerin ortaya çıktığı rapor edilmiştir. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi tarafından yapılan başka bir çalışmada ise pamukta verim ve kalite açısından optimum azot miktarının 15–18 kg/da aralığında olduğu ve bu azotun iki veya üç aşamada (ekim öncesi, çiçeklenme öncesi, koza oluşumu başı) verilmesinin etkili olduğu vurgulanmıştır (Öztürk ve vd., 2014). Şanlıurfa Tarım İl Müdürlüğü (2018) ise pamuk için önerilen azot miktarının dekara 15–20 kg arasında değiştiğini, bu miktarın mutlaka toprak analizine dayalı olarak belirlenmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Bu bilgiler ışığında, çiftçilerin uyguladığı ortalama azot miktarının önerilen üst sınır olan 20 kg/da'nın yaklaşık %72 üzerinde olduğu görülmektedir. Bu aşırı azot uygulamasının hem ekonomik hem de çevresel açıdan olumsuz etkileri vardır. Literatüre göre, tarımda kullanılan azotlu gübrelerin sadece %50 kadarı bitkiler tarafından etkin şekilde kullanılabilen, geri kalan kısmı ise denitrifikasyon, volatilizasyon (gaz kaybı) ve yeraltı sularına yıkanma gibi yollarla kaybolmaktadır (Kalaycı, 2010; Zhang ve vd., 2023).

Üre gübresi kullanımı özelinde, eğer gübre toprakla karıştırılmaz ya da sulama ile yıkanmazsa, ilk iki hafta içinde uygulanan azotun %60'ına kadar kayıp yaşanabilmektedir (Nutrien-Economics, 2020). Pamuk bitkisi ise toplam azot ihtiyacının yarısından fazlasını çiçeklenme döneminden sonra aldığı için azotun doğru zamanda verilmesi büyük önem taşımaktadır.

Harran Ovası'nda toplam pamuk üretim alanı olan 69.673 dekada, çiftçiler tarafından uygulanan ortalama 34,43 kg/da azotlu gübrenin %50'si çevreye karışmakta, bunun %60'ı da nitrat formunda yeraltı sularına geçmektedir. Bu hesaba göre, toplamda yaklaşık 1.198 ton azot çevreye kaybolmakta ve bunun yaklaşık 719 tonluk kısmı nitrat olarak yeraltı suyuna karışmaktadır. Bu durum, özellikle sulama amaçlı yeraltı suyu kullanımının yaygın olduğu bölgede içme suyu kirliliği ve ötrofikasyon gibi ciddi çevresel sorunlara neden olabilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.9. . Geleneksel Çiftçi Gübre Uygulamaları, Araziye Verilen Azot Miktarının Su Kaynaklarında Nitrat Kirliliğine Etkisi

5. TARTIŞMA

Elde edilen bulgular, Harran Ovası'nda pamuk üretiminde azotlu gübre kullanımının hem çevresel hem ekonomik hem de iklimsel açıdan sürdürülebilirlik ilkeleriyle çeliştiğini göstermektedir. Bilimsel araştırmalar, pamukta 20 kg/da üzerindeki azot uygulamalarının verimi artırmadığını, aksine bitki gelişiminde bozulmalara, tarak dökümüne ve lif kalitesinde düşüşe neden olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, pamuk bitkisinin azot ihtiyacının önemli bir bölümünü çiçeklenme döneminden sonra karşıladığı dikkate alındığında, gübrelemenin yalnızca miktarı değil, zamanlaması da kritik öneme sahiptir.

Uygulanan azotlu gübrelerin yalnızca yaklaşık %50'si bitkiler tarafından alınmakta, geri kalanı volatilizasyon, denitrifikasyon ve yeraltı sularına yıkanma yoluyla çevreye karışmaktadır. Harran Ovası'nda toplam 69,673 dekarlık pamuk alanı dikkate alındığında, bu alanlara uygulanan fazla azotun %50'sine karşılık gelen yaklaşık 1,198 ton azot çevreye karışmakta ve bunun %60'ı (yaklaşık 719 ton) nitrat formunda yeraltı sularına ulaşmaktadır. Bu durum, başta içme suyu olmak üzere, yeraltı su kaynaklarında ciddi nitrat birikimi ve kirliliği riski oluşturmaktadır.

Aşırı azot kullanımı yalnızca su kirliliğine değil, aynı zamanda iklim değişikliğine de katkı sağlamaktadır. Fazla azot, özellikle denitrifikasyon süreci ile güçlü bir sera gazı olan diazot monoksit (N_2O) salımına yol açmaktadır. N_2O , karbondioksite kıyasla yaklaşık 298 kat daha güçlü bir küresel ısınma potansiyeline sahiptir ve tarımsal faaliyetler, bu gazın atmosfere salımında önemli bir kaynak durumundadır. Harran Ovası gibi gübre kullanımının yüksek olduğu tarım bölgelerinde, bu durum sera gazı emisyonlarının kontrolü açısından da önemli bir tehdit oluşturmaktadır.

Gereğinden fazla azotlu gübre kullanımı aynı zamanda ekonomik israfa yol açmaktadır. Bilimsel verilere dayanmayan uygulamalar, çiftçilerin girdi maliyetlerini artırmakta; ancak bu artış verim ve kaliteye yansımadığından dolayı ekonomik kayıp anlamına gelmektedir. Dekar başına yaklaşık 19 kg fazla azotun uygulandığı varsayılırsa, bu fazladan uygulama hem doğaya zarar vermekte hem de çiftçinin gelirinde düşüşe neden olmaktadır. Türkiye'de azotlu gübrenin piyasa fiyatı dikkate alındığında, yalnızca Harran Ovası'nda yılda milyonlarca TL'lik gübre israfı gerçekleştiği öngörülebilir.

6. SONUÇLAR

Sonuç olarak, Harran Ovası'nda pamuk üretiminde uygulanan gübreleme yöntemleri hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik açısından ciddi sorunlar barındırmaktadır. Azot kullanımının miktarı ve zamanlamasının bilimsel veriler doğrultusunda düzenlenmesi, toprak analizlerinin yaygınlaştırılması ve çiftçilere yönelik eğitim çalışmalarının artırılması hem su kaynaklarının korunması hem de iklim değişikliğiyle mücadele açısından zorunlu hale gelmiştir. Bu doğrultuda sürdürülebilir gübre yönetimi politikalarının geliştirilmesi, hem bölgesel hem de küresel ölçekte olumlu etkiler sağlayacaktır.

Pamuk üretiminde azotlu gübre uygulamaları, toprak analizi sonuçlarına dayalı olarak planlanmalıdır. Tarım il ve ilçe müdürlükleri, her sezon öncesinde çiftçilere bölgeye özgü gübreleme rehberleri sunmalı ve bu rehberlerde azot kullanımında önerilen sınırların altını çizmelidir. Gübrelemenin zamanlaması, bölünmüş doz uygulamaları ve sulama ile entegrasyonu gibi teknik konularda farkındalık artırılmalıdır.

Sulama kuyuları çevresinde nitrat izleme istasyonları kurulmalı; pamuk gibi yoğun gübre kullanılan ürünler için "Nitrat Hassas Alanlar" belirlenmeli ve bu alanlarda özel yönetim kuralları uygulanmalıdır. Tarım politikaları yalnızca gıda güvenliğini değil, sera gazı emisyonlarını azaltmayı da hedeflemelidir. Tarımsal sera gazı envanterleri güncellenmeli ve Harran Ovası gibi yüksek riskli bölgeler için karbon ayak izi hesaplamaları yapılmalıdır.

Gübre kullanımını dengeleyen teşvik sistemleri (örneğin analizle gübre desteği, verimle ilişkilendirilmiş girdi sübvansiyonu) geliştirilmelidir. Toprak analizine dayalı gübre kullanımını zorunlu kılan mevzuatlar oluşturulmalı; gübre satış noktalarının kayıt sistemine entegre edilmesi ve izlenebilirliği sağlanmalıdır. Uzaktan algılama ve hassas tarım teknolojileriyle toprak verimliliği, nem ve bitki gelişimi gibi değişkenler izlenebilir hâle gelmiştir. Bu teknolojilere çiftçilerin erişimini kolaylaştırmak amacıyla kamu destekli dijital tarım danışmanlık hizmetleri yaygınlaştırılmalıdır.

7. ÖNERİLER

Çalışmada tespit edilen azotlu gübre uygulama miktarları, önerilen düzeyin %72 üzerinde olup, bu durum hem verimlilik açısından fayda sağlamamakta hem de çevreye zarar vermektedir. Bu nedenle pamuk üretiminde azotlu gübre uygulamaları, toprak analizi sonuçlarına dayalı olarak planlanmalıdır. Tarım il ve ilçe müdürlükleri, her sezon öncesinde çiftçilere bölgeye özgü gübreleme rehberleri sunmalı ve bu rehberlerde azot kullanımında önerilen sınırların altını çizmelidir.

Pamuk bitkisinin azot ihtiyacının büyük kısmını çiçeklenme sonrası karşıladığı göz önüne alındığında, azotun doğru zamanlarda verilmesi verim ve kaliteyi artıracaktır. Bu bağlamda, çiftçilere yönelik yayım çalışmaları aracılığıyla gübrelemenin zamanlaması, bölünmüş doz uygulamaları ve azotlu gübrelerin sulama ile entegrasyonu gibi teknik konularda farkındalık artırılmalıdır.

Fazla azot uygulamasının %60'a varan oranlarda nitrat olarak yeraltı sularına ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum içme suyu kaynakları ve tarımsal sulama sistemleri açısından ciddi risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, sulama kuyuları çevresinde nitrat izleme istasyonları kurulmalı; pamuk gibi yoğun gübre kullanılan ürünler için "Nitrat Hassas Alanlar" belirlenmeli ve bu alanlarda özel yönetim kuralları uygulanmalıdır.

Aşırı azot kullanımı sonucu atmosfere salınan diazot monoksit (N₂O), küresel ısınmayı hızlandıran güçlü bir sera gazıdır. Bu nedenle, tarım politikaları yalnızca gıda güvenliğini değil, sera gazı emisyonlarını azaltmayı da hedeflemelidir. Tarımsal sera gazı envanterleri güncellenmeli ve Harran Ovası gibi yüksek riskli bölgeler için karbon ayak izi hesaplamaları yapılmalıdır.

Gereğinden fazla azot kullanımı, çiftçiler için doğrudan ekonomik kayba yol açmaktadır. Her dekar için fazladan uygulanan yaklaşık 19 kg azotun maliyeti yüksek düzeyde olup, ülke genelinde büyük miktarda kaynak israfına neden olmaktadır. Bu nedenle, gübre kullanımını dengeleyen teşvik sistemleri (örneğin analizle gübre desteği, verimle ilişkilendirilmiş girdi sübvansiyonu) geliştirilmelidir.

Gübreleme uygulamalarının kontrolsüz yapılması, uzun vadede hem üretim hem çevre kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle, toprak analizine dayalı gübre kullanımını zorunlu kılan mevzuatlar geliştirilmelidir. Ayrıca, gübre satış noktalarının kayıt sistemine entegre edilmesi ve izlenebilirliğinin sağlanması da bu denetimin bir parçası olmalıdır.

Toprak verimliliği, nem ve bitki gelişimi gibi değişkenler, uzaktan algılama ve hassas tarım teknolojileriyle izlenebilir hâle gelmiştir. Bu teknolojiler, fazla gübre kullanımının önüne geçilmesinde önemli bir araç olabilir. Çiftçilerin bu sistemlere erişimini kolaylaştırmak amacıyla kamu destekli dijital tarım danışmanlık hizmetleri yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Asođlu, M., Cuci, Y., & Dilekođlu, M. F. (2022). Şanlıurfa ili kırsalında içme suyu kaynaklarındaki nitrat kirlenmesinin iyon değişimi metodu ile artırılabilirliğinin araŐtırılması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(17), 420–430. <https://doi.org/10.54365/adyumbd.1091520>
- Berberođlu, S., Alphan, H., & Yılmaz, K. T. (2003). A remote sensing approach for detecting agricultural encroachment on the Eastern Mediterranean coastal dunes of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 135–144.
- Bouwman, A. F., Boumans, L. J. M., & Batjes, N. H. (2002). Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4), 1080. <https://doi.org/10.1029/2001GB001812>
- Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E., Lancelot, C., & Likens, G. E. (2009). Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus. *Science*, 323(5917), 1014–1015. <https://doi.org/10.1126/science.1167755>
- Cui, Z., Chen, X., Zhang, F., Miao, Y., Li, J., Shi, L., ... Chen, F. (2013). Improving nitrogen use efficiency through better management in cereal crops. *Field Crops Research*, 147, 29–39.
- Davidson, E. A. (2009). The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860. *Nature Geoscience*, 2, 659–662. <https://doi.org/10.1038/ngeo608>
- Ehlers, M., Roux, E., Borrelli, P., Panagos, P., & Ballabio, C. (2020). Monitoring agricultural pollution using Sentinel-2 imagery: A case study in southern Europe. *Remote Sensing*, 12(3), 432–447.
- FAO. (2019). *Fertilizer and nutrient management guidelines for sustainable agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2006). *Fertilizer use by crop*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2016). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B., & Cosby, B. J. (2003). The nitrogen cascade. *BioScience*, 53(4), 341–356.
- GAPTAEM. (2012). *Pamukta azotlu gübreleme denemesi sonuçları raporu*. GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Hatipođlu, S. (2021). Tarım kaynaklı nitrat kirliliği ve sağlık üzerine etkileri. *Su ve Toprak Dergisi*, 10(2), 45–52.
- IPCC. (2019). *2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge

University Press.

- Jensen, J. R. (2005). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Prentice Hall.
- Kalaycı, M. (2010). *Gübreleme teknikleri ve toprak verimliliği*. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları.
- Kalaycı, M. (2010). Türkiye’de tahıl üretiminde azotlu gübre kullanımı ve azot kayıplarının azaltılması. *Bahri Dağdaş Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 1, 8–16.
- Karaaslan, A., & Alpaslan, N. (2017). Azotlu gübrelerin su ekosistemlerine etkisi: Ötrofikasyon. *Çevre ve Su Dergisi*, 5(2), 55–64.
- Küçük, N. (2015). Pamuğun dünyası, küresel aktörler ve politikalar. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 2(4), 60–85.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (2000). *Remote sensing and image interpretation* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Nutrien-Economics. (2020). *Nitrogen use efficiency in cotton: Strategies for reducing losses and improving yield*. Nutrien Ag Solutions Technical Bulletin.
- Nutrien-Economics. (2020). *The importance of nitrogen timing in cotton production*. <https://nutrien-economics.com>
- OECD. (2013). *Water and agriculture: Sustainability, markets and policies*. OECD Publishing.
- Öztürk, M., Yılmaz, H., & Şahin, S. (2014). Harran Ovası’nda pamuk tarımında gübre kullanım alışkanlıkları. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(2), 145–152.
- Robertson, G. P., & Vitousek, P. M. (2009). Nitrogen in agriculture: Balancing the scale. *Science*, 324(5934), 1519–1520.
- Spalding, R. F., & Exner, M. E. (1993). Occurrence of nitrate in groundwater – A review. *Journal of Environmental Quality*, 22(3), 392–402.
- Şanlıurfa Tarım İl Müdürlüğü. (2018). *Pamuk gübreleme rehberi* (Yayın No: 118).
- TAGEM. (2022). *Sürdürülebilir tarım uygulamaları için gübre yönetimi rehberi*. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Schlesinger, W. H., & Tilman, D. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications*, 7(3), 737–750.
- Yıldırım, M., & Polat, T. (2018). Pamukta gübreleme stratejileri ve verim ilişkisi. *Harran Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(3), 49–58.
- Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2023). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(3), 194–206.

<https://doi.org/10.1038/s43017-023-00396-4>

Zhang, Y., Liu, S., Yu, C., Wang, J., Li, H., & Chen, X. (2023). Excess nitrogen use in agriculture and its environmental implications. *Environmental Pollution*, 316, 120547. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120547>