

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNGÖL İLİ YERÜSTÜ SU KAYNAKLARINDA NİTRAT
KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ VE KOMŞU İLLERLE
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HAYRULLAH KINAŞ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKİRAN

BİNGÖL- 2026

**BİNGÖL İLİ YERÜSTÜ SU KAYNAKLARINDA NİTRAT KİRLİLİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE KOMŞU İLLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN danışmanlığında, Hayrullah KINAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma 13/08/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. Alaaddin YÜKSEL	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. Ali Volkan BİLGİLİ	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Murat DENER
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın amacı, Bingöl ilindeki yerüstü su kaynaklarında nitrat kirliliğinin mevsimsel değişimini belirlemek, başlıca kirlilik kaynaklarını ortaya koymak ve çevresel etkilerini değerlendirmektir. Artan nüfus, yoğunlaşan tarımsal faaliyetler, bilinçsiz gübre kullanımı ve mevsimsel yağış-hidrolojik koşullar su kaynakları üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Özellikle tarımsal alanlardan yüzeysel akışla taşınan nitrat bileşikleri, yağışlı dönemlerde ve kar erimeleri sırasında önemli bir kirlilik unsuru hâline gelebilmektedir.

Araştırmada, Bingöl ilindeki akarsular, göletler ve diğer yerüstü su kaynaklarında nitrat kirliliğinin ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış dönemlerindeki değişimi incelenmiştir. Nitrat kirliliğinin tarımsal faaliyetler, gübre kullanımı, evsel atıklar ve hayvancılık faaliyetleriyle ilişkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca nitrat değişimlerinin su kalitesi, sucul ekosistemler, ötrofikasyon riski ve insan sağlığı üzerindeki olası etkileri ele alınmıştır.

Çalışmada, nitrat kirliliğinin azaltılması ve yerüstü su kaynaklarının korunmasına yönelik olarak çevre dostu tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, gübrelerin doğru zamanda ve uygun miktarda kullanılması ve düzenli su kalitesi izleme programlarının uygulanması önerilmiştir. Çalışmanın, Bingöl’de su kaynaklarının korunması, bölgesel çevre yönetimi ve tarımsal planlamaya katkı sağlaması; elde edilen sonuçların yerel yönetimler, araştırmacılar ve üreticiler için yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasının planlanması, yürütülmesi ve yazım sürecindeki değerli katkıları ve rehberliği için danışman hocam Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN’a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmaya katkı sağlayan tüm kişi ve kurumlara, ayrıca eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayrullah KINAŞ

Bingöl 2026

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Su Kirliliği	2
1.2. Tatlı Su Kaynaklarının Önemi ve Nitrat Kirliliği.....	3
1.3. Nitrat Kirliliği ve Türkiye’de Durum	4
1.4. Nitrat Kirliliğinin Genel Değerlendirilmesi	6
1.4.1. Nitrat Kirliliği ve Su Ekosistemleri	6
1.5. Nitratın Kaynakları.....	7
1.5.1. Doğada Azot Döngüsü.....	8
1.5.2. Su ve Toprak Kaynaklarının Korunması Bağlamında Nitrat.....	13
1.5.3. Su Kalitesi ve Nitrat Standardı	14
1.6. Çalışmanın Amacı	15
1.7. Bingöl İline Komşu Olan İllerde Yapılan Çalışmalar	17
2. KAYNAK ÖZETLERİ	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Materyal.....	33
3.1.1. İl Genel Özellikleri	44
3.1.2. Toprak Varlığı ve Bitkisel Üretimde Kullanma Durumu	44
3.1.3. Su Kaynakları Potansiyeli.....	45
3.2. Yöntem	45
3.2.1. Örneklem ve Taşıma Süreci	47
3.2.2. Analizler.....	47

3.2.3. Veri Analizi.....	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	54
4.1. Bulgular	54
4.1.1. Yüzey Suyu Analizleri.....	54
4.2. Tartışma.....	57
4.1.2. Mevsimsel Karşılaştırma	57
4.1.3. Mekânsal Karşılaştırma	59
4.1.4. Komşu illerle Nitrat Değerlerinin Karşılaştırılması.....	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
5.1. Sonuçlar.....	63
5.2. Öneriler.....	64
KAYNAKLAR	66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
AKM	: Askıda Katı Madde
Ark.	: Ve Arkadaşları (<i>Kaynak Gösterme Kısaltması</i>)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DPSIR	: Sürücü Güçler- Baskılar- Durum- Etki- Tepki (<i>Çevresel Analiz Çerçevesi</i>)
DSİ	: Devlet Su İşleri
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EC	: Elektriksel İletkenlik (<i>Electrical Conductivity</i>)
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TDK	: Türk Dil Kurumu
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
Vb.	: Ve Benzeri
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (<i>World Health Organization</i>)
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Fe	: Demir
Mn	: Manganez
NH ₄ ⁺	: Amonyum
NH ₄ ⁺ -N	: Amonyum Azotu
NO ₂ ⁻	: Nitrit
NO ₂ ⁻ -N	: Nitrit Azotu
NO ₃ ⁻	: Nitrat
NO ₃ ⁻ -N	: Nitrat Azotu
N	: Azot (Nitrogen)
Ni	: Nikel
P	: Fosfor

pH	: Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (<i>Asitlik/Bazlık Ölçüsü</i>)
Zn	: Çinko
ha ⁻¹	: Birim Hektar Başına
kg	: Kilogram
mg/L	: Miligram / Litre
ppm	: Milyonda Bir Kısım (<i>Parts Per Million - Konsantrasyon Birimi</i>)
‰	: Binde (<i>İzotop Analiz Birimi</i>)
mmhos/cm	: Mikromhos / Santimetre (<i>Elektriksel İletkenlik Birimi</i>)
mS/cm	: Mikrosiemens / Santimetre (<i>Elektriksel İletkenlik Birimi</i>)
°C	: Derece Santigrat (<i>Sıcaklık Birimi</i>)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Adaklı Horhor Deresi (İlkbahar Dönemi).....	35
Şekil 3.2. Adaklı Horhor Deresi (Sonbahar Dönemi)	35
Şekil 3.3. Kiğı Selenk Suyu, Peri Suyu (İlkbahar Dönemi).....	36
Şekil 3.4. Kiğı Selenk Suyu, Peri Suyu (Sonbahar Dönemi)	36
Şekil 3.5. Karlıova Ilıpınar Deresi (Sonbahar Dönemi).....	37
Şekil 3.6. Karlıova Ilıpınar Deresi (Kış Dönemi)	37
Şekil 3.7. Yedisu Elmalı Deresi (İlkbahar Dönemi 1)	38
Şekil 3.8. Yedisu Elmalı Deresi (İlkbahar Dönemi 2)	38
Şekil 3.9. Solhan Masalar Deresi (Sonbahar Dönemi)	39
Şekil 3.10. Çapakçur Deresi (Yaz Dönemi).....	39
Şekil 3.11. Genç Murat Nehri (Sonbahar Dönemi 1).....	40
Şekil 3.12. Genç Murat Nehri (Sonbahar Dönemi 2).....	40
Şekil 3.13. Gayt Deresi (Yaz Dönemi)	41
Şekil 3.14. Sancak Çimenli Deresi (Kış Dönemi).....	41
Şekil 3.15. Ekinyolu Deresi (Yaz Dönemi-1)	42
Şekil 3.16. Ekinyolu Deresi (Yaz Dönemi-2)	42
Şekil 3.17. Çalışmada su örneklerinin alındığı numune istasyonları	43
Şekil 3.18. Analizlerde kullanılacak Nitrat Tüptest 25 Kitleri.....	49
Şekil 3.19. Analizlerde kullanılacak Nitrat Tüptest 25 Kit Yöntemi	49
Şekil 3.20. Ayarlanabilir otomatik pipetle su numunesi kabından 0.7 ml suyun alınması	50
Şekil 3.21. Reaksiyon tüpüne 0.7 ml suyun eklenmesi.....	50
Şekil 3.22. Deney tüpüne 0,1 ml Nitrat reaktifinin eklenmesi.....	51
Şekil 3.23. Kimyasal işlemlerin bitirilip sonuç okunması için deney tüplerinin 10 dk bekletilmesi	51
Şekil 3.24. Deney tüplerinin spektrometre cihazında Nitrat ölçümünün yapılması-1 ..	52
Şekil 3.25. Deney tüplerinin spektrometre cihazında Nitrat ölçümünün yapılması-2 ..	52
Şekil 3.26. Numune alma noktasında pH metre ile oksijen değeri, sıcaklık ve pH ölçümünün yapılması.....	53

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Araştırmanın yürütüleceği numune alma noktaları	34
Tablo 4.1.	Sonbahar Dönemi Ekim Ayında Yapılan Analiz Sonuçları	55
Tablo 4.2.	Kış Dönemi Ocak Ayında Yapılan Analiz Sonuçları	56
Tablo 4.3.	İlkbahar Dönemi Nisan Ayında Yapılan Analiz Sonuçları	56
Tablo 4.4.	Yaz Dönemi Haziran Ayında Yapılan Analiz Sonuçları	57
Tablo 4.5.	Yapılan analizlerin varyans analiz tablosu	58
Tablo 4.6.	Mevsimlere göre nitrat analiz sonuçlarının karşılaştırılması	58
Tablo 4.7.	İstasyonlara göre nitrat analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	60

BİNGÖL İLİ YERÜSTÜ SU KAYNAKLARINDA NİTRAT KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ VE KOMŞU İLLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Bingöl ilindeki yerüstü su kaynaklarında nitrat kirliliğinin mevsimsel değişimini belirlemek ve bu değişimlerin olası nedenlerini değerlendirmektir. Mevsimsel iklim koşulları, yağış rejimi, sıcaklık değişimleri ve tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu yüzey sularındaki nitrat konsantrasyonlarını etkileyebilmektedir. Bu nedenle, nitrat düzeylerinin mevsimsel olarak belirlenmesi su kalitesinin korunması ve sürdürülebilir su yönetimi açısından önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında, Bingöl ilindeki farklı akarsularda belirlenen 10 örnekleme noktasından sonbahar (Ekim), kış (Ocak), ilkbahar (Nisan) ve yaz (Haziran) dönemlerinde üçer (3) numune alınarak toplam 120 numune analiz edilmiştir. Numunelerde nitrat konsantrasyonlarının yanı sıra su sıcaklığı, çözünmüş oksijen ve pH değerleri belirlenmiş ve değerlendirmelerde örnekleme noktalarının ortalama değerleri esas alınmıştır. Ortalama nitrat konsantrasyonları sonbaharda 0,15–3,0 mg/L, kışın 2,0–6,0 mg/L, ilkbaharda 2,0–5,0 mg/L ve yazın 1,0–3,0 mg/L arasında değişmiştir. Su sıcaklığı 7,9–19,5 °C, çözünmüş oksijen 6,36–9,65 mg/L ve pH 7,5–8,0 aralıklarında belirlenmiştir. Nitrat konsantrasyonlarının sonbaharda daha düşük, kış ve ilkbaharda ise daha yüksek olduğu görülmüştür. En düşük ortalama nitrat değeri Adaklı ilçesindeki Horhor Deresi'nde 0,15 mg/L, en yüksek değer ise Solhan ilçesindeki Masalar Deresi'nde 6,0 mg/L olarak ölçülmüştür.

Tüm numunelerde nitrat konsantrasyonlarının TS 266'da belirtilen 50 mg/L sınır değerinin oldukça altında kaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, incelenen akarsularda nitrat kaynaklı belirgin bir kirlilik baskısının bulunmadığı ve su kaynaklarının nitrat açısından genel olarak düşük kirlilik düzeyine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma sonuçlarının su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir su yönetimi çalışmalarına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su kirliliği, Nitrat kirliliği, Bingöl.

DETERMINATION OF NITRATE POLLUTION IN SURFACE WATER RESOURCES OF BİNGÖL PROVINCE AND COMPARISON WITH NEIGHBORING PROVINCES

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the seasonal variation of nitrate pollution in surface water resources in Bingöl Province and to evaluate its possible causes. Seasonal climatic conditions, precipitation regime, temperature variations, and the intensity of agricultural activities may affect nitrate concentrations in surface waters. Therefore, determining nitrate levels on a seasonal basis is important for the protection of water quality and sustainable water management.

Within the scope of the study, three samples were collected from each of 10 sampling points selected on different streams in Bingöl Province during autumn (October), winter (January), spring (April), and summer (June), resulting in a total of 120 samples. In addition to nitrate concentrations, water temperature, dissolved oxygen, and pH values were measured, and the mean values of the sampling points were evaluated. The mean nitrate concentrations ranged from 0.15–3.0 mg/L in autumn, 2.0–6.0 mg/L in winter, 2.0–5.0 mg/L in spring, and 1.0–3.0 mg/L in summer. Water temperature ranged from 7.9–19.5 °C, dissolved oxygen from 6.36–9.65 mg/L, and pH from 7.5–8.0. Nitrate concentrations were lower in autumn and relatively higher in winter and spring. The lowest mean nitrate concentration was measured as 0.15 mg/L in Horhor Stream in Adaklı district, while the highest was 6.0 mg/L in Masalar Stream in Solhan district.

All nitrate concentrations measured in the samples were considerably below the limit value of 50 mg/L specified in TS 266. Consequently, no significant nitrate-related pollution pressure was detected in the investigated streams, and the water resources were generally found to have low levels of nitrate pollution. The results of this study are expected to contribute to the protection of water resources and sustainable water management practices.

Keywords: Water pollution, Nitrate pollution, Bingöl.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde ve ülkemizde nüfus artış hızı, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı her geçen yıl daha da artırmaktadır. Artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla tarımsal üretimin genişletilmesi, su ve toprak gibi temel doğal kaynaklara olan bağımlılığı kaçınılmaz hâle getirmiştir. Modern tarım teknikleri, gelişen sanayi ve teknolojinin sağladığı olanaklarla birlikte üretim kapasitesini artırmakla birlikte, bu süreç doğal ekosistemlerde önemli çevresel etkiler yaratmaktadır. Özellikle kimyasal gübreler, pestisitler, yoğun sulama yöntemleri ve mekanizasyon, bir yandan tarımsal verimliliği artırırken diğer yandan toprak ve su ekosistemleri üzerinde baskı oluşturmaktadır.

Su ve toprak, yenilenebilirliği son derece sınırlı olan, ekosistemlerin işleyişi ile doğrudan ilişkili iki kritik doğal kaynaktır. Bu kaynaklar, insan yaşamının devamlılığı için temel unsurlar olup ekolojik, ekonomik ve sosyal açıdan büyük önem taşımaktadır. Buna rağmen günümüzde plansız kentleşme, sanayileşme, tarımsal faaliyetlerde aşırı kimyasal kullanımı ve yanlış arazi yönetimi gibi insan kaynaklı etkenler sonucunda hızla kirlenmekte ve niteliklerini kaybetmektedir. Toprak organik madde içeriğinin azalması, erozyonun artması, tuzluluk problemleri ve ağır metal birikimi gibi sorunlar; su kaynakları açısından ise nitrat, fosfat, ağır metal ve mikrobiyolojik kirlilik gibi tehditler giderek yaygınlaşmaktadır.

Tatlı su kaynaklarının kirlenmesi ve miktar olarak azalması, küresel ölçekte en kritik çevresel risklerden biri olarak değerlendirilmektedir. Nüfus artışı, iklim değişikliği, düzensiz yağış rejimleri, yer altı sularının aşırı çekilmesi ve suyun yanlış yönetimi, gelecekte su kıtlığı ihtimalini ciddi boyutlara taşımaktadır. Bu durum yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve halk sağlığı açısından da önemli sonuçlar doğurmaktadır. Su kirliliği, bulaşıcı hastalıkların yayılması, ekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin azalması, tarımsal verim kayıpları ve içme suyu kaynaklarının sürdürülebilirliğinin tehdit altına girmesi gibi çok boyutlu riskleri beraberinde getirmektedir.

Toprak ve su kirliliğinin giderek artması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerini doğrudan etkileyen bir durumdur. Bu nedenle doğal kaynakların korunması, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi, çevresel kirlilik kontrolü ve ekosistem sağlığının korunmasına yönelik politikaların uygulanması büyük önem taşımaktadır. Özellikle toplum düzeyinde çevresel farkındalığın artırılması, yerel yönetimlerin doğal kaynak yönetiminde etkin rol alması, bilimsel yöntemlerle izleme çalışmalarının yapılması ve karar vericilerin çevre odaklı planlama stratejilerini benimsemesi gerekmektedir.

Hızla artan nüfusun ve plansız insan faaliyetlerinin doğal kaynaklar üzerindeki baskısı, su ve toprak kirliliğini küresel bir çevre sorunu haline getirmiştir. Yaşanabilir bir dünya ve sürdürülebilir bir gelecek için su ve toprak kaynaklarının korunması, çevresel yönetim politikalarının geliştirilmesi ve bilimsel verilerle desteklenen sürdürülebilir uygulamaların yaygınlaştırılması kaçınılmaz bir gerekliliktir.

1.1. Su Kirliliği

Su, biyosferin sürdürülebilirliği açısından temel bileşenlerden biri olup tüm canlı organizmaların yaşam döngüsünde kritik bir rol üstlenmektedir. İçme, tarımsal üretim, endüstriyel faaliyetler ve ekolojik süreçlerin devamlılığı için vazgeçilmez olan su kaynakları, günümüzde artan beşerî baskılar nedeniyle giderek daha fazla tehdit altına girmektedir. Su kirliliği, suyun doğal fiziksel, kimyasal ve biyolojik niteliklerinin bozulmasına yol açan kirleticilerin su ortamına karışmasıyla meydana gelen çevresel bir degradasyon sürecidir. Bu değişim, yüzeysel suların (göller, nehirler, akarsular) yanı sıra yeraltı su rezervlerinde de önemli kalite kayıplarına neden olmaktadır.

Dünya genelinde su kaynaklarının kirlenme hızı, nüfus artışı, plansız kentleşme, endüstriyel üretimin genişlemesi ve yetersiz atık yönetimi gibi faktörlerin etkisiyle her geçen yıl artmaktadır. Suyun kirlenmesi yalnızca çevresel dengeyi bozmakla kalmamakta, aynı zamanda halk sağlığını tehdit eden ciddi riskler doğurmaktadır. Kirletici maddelerin su döngüsüne katılması, sucul ekosistemlerde habitat bozulmasına, biyolojik çeşitlilikte azalmaya ve ekosistem hizmetlerinin kesintiye uğramasına yol açmaktadır. Bu nedenle su kalitesinin korunması, sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi stratejilerinin en önemli bileşenlerinden biri olarak görülmektedir.

Su kirliliğinin en yaygın kaynaklarından biri, yoğun tarımsal faaliyetlerdir. Modern tarımda verimliliği artırma amacıyla kullanılan kimyasal gübreler ve tarımsal ilaçlar, yağışın ve sulama suyunun taşıyıcı etkisiyle su sistemlerine kolaylıkla ulaşabilmektedir. Tarımsal kaynaklı kirleticiler içinde nitrat, küresel ölçekte en yaygın ve en kritik kirleticiler unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir. Nitrat, bitki gelişimi için gerekli bir besin elementi olmakla birlikte, yanlış gübreleme teknikleri, aşırı gübre uygulamaları, yetersiz toprak yönetimi ve çevresel faktörler nedeniyle toprakta birikerek yeraltı ve yüzey sularına taşınabilmektedir.

Nitratin su ortamlarına aşırı miktarda taşınması hem ekosistemler hem de insan sağlığı açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Yüksek nitrat içeriği, sucul sistemlerde ötrofikasyonu tetikleyerek alg patlamalarına, çözünmüş oksijen azalmasına ve ekosistem yapısının bozulmasına neden olabilmektedir. İnsan sağlığı açısından ise içme suyunda yükselen nitrat düzeyleri, özellikle bebeklerde methemoglobinemi riskini artırmakta ve uzun vadede çeşitli sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle nitrat kirliliğinin izlenmesi, su kaynaklarının korunmasında öncelikli çevresel izleme alanlarından biri hâline gelmiştir.

Su kaynaklarının kirlenmesi ve özellikle nitrat yükünün artması hem çevresel sürdürülebilirliği tehdit eden hem de halk sağlığını doğrudan etkileyen küresel bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorunla mücadele, bilimsel yöntemlerle yürütülen kapsamlı izleme çalışmaları, sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, çevre politikalarının güçlendirilmesi ve toplumun bilinçlendirilmesi gibi çok yönlü stratejileri gerektirmektedir. Su kaynaklarının korunması, yalnızca bugün yaşayan toplumların değil, gelecek nesillerin yaşam kalitesi açısından da hayati bir sorumluluk taşımaktadır.

1.2. Tatlı Su Kaynaklarının Önemi ve Nitrat Kirliliği

Tatlı su kaynakları; içme ve kullanma suyu sağlanması, tarımsal üretim, sanayi faaliyetleri ve doğal ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından hayati bir rol oynamaktadır. Ancak artan nüfus, hızlı kentleşme, iklim değişikliği ve özellikle yoğun tarımsal faaliyetler, bu kaynakların hem miktarını hem de kalitesini ciddi biçimde tehdit etmektedir (DSİ, 1972; Kara ve Çözlekçioğlu, 2004; Tomar, 2009; Demirci ve Tufaner, 2019).

Dünya genelinde tarımsal faaliyetlerde kullanılan azotlu gübrelerin yalnızca yaklaşık yarısı bitkiler tarafından doğrudan kullanılmakta, geri kalan kısmı ise toprağın organik azot havuzunda birikerek yıllar içinde mineralize olmakta ve bu süreç nitratın yer altı ve yüzey sularında birikimine yol açmaktadır (Bijay-Singh ve Craswell, 2021). Bu süreç, özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren tarımsal yoğunlaşmanın hız kazanmasıyla belirgin hale gelmiş, II. Dünya Savaşı sonrasında artan gübre kullanımı yeraltı sularında nitrat kirliliğini daha da hızlandırmıştır (Howden ve ark., 2011).

Nitratın çözünürlüğünün yüksek olması ve toprak profilinde kolay taşınabilirliği, onu yüzey ve yeraltı su sistemlerinde başlıca kirletici unsurlardan biri haline getirmiştir (Niu ve ark., 2021). Özellikle nehir sistemleri, karasal ortamda besin elementlerinin taşınımında kritik bir rol oynar ve bu sistemlerdeki nitrat birikimi, özellikle yarı kurak bölgelerde su kıtlığını daha da ağırlaştırmaktadır (Xue ve ark., 2016). 1970'lerden bu yana, azot yüklerinin baskın formu nitrat olmuş ve birçok akarsu sisteminde nitrat konsantrasyonu, Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği sınır olan 10 mg/L'nin yedi katına kadar çıkmıştır (Xue ve ark., 2016). Yüksek nitrat konsantrasyonları, toksik alg patlamaları, göl ve rezervuarlarda ötrofikasyon gibi çevresel sorunlara ve sucul yaşamın ciddi şekilde zarar görmesine neden olmaktadır (Xue ve ark., 2016).

Tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler, özellikle kontrolsüz ve aşırı uygulamalar sonucunda yüzey ve yeraltı sularına taşınarak önemli bir kirlilik kaynağı oluşturmaktadır. Bu kirliliğin en belirgin göstergelerinden biri olan nitrat (NO_3^-), toprakta ve suda yüksek hareketliliğe sahip olması nedeniyle kolayca taşınabilir; yağış veya sulama gibi su hareketleriyle yer altı ve yüzey sularına ulaşabilir (Kaplan ve ark., 1999; Sağlam ve Bellitürk, 2003; Demirci, 2019).

1.3. Nitrat Kirliliği ve Türkiye'de Durum

Yeraltı suları, özellikle kırsal bölgelerde içme ve kullanma suyu temini açısından büyük öneme sahiptir. Bu sular, yaygın dağılımları, genellikle yüksek kaliteye sahip olmaları ve düşük geliştirme maliyetleri nedeniyle tercih edilmektedir (DSİ, 1972). Ancak tarımda yoğun olarak kullanılan kimyasal gübreler, pestisitler ve hayvancılıktan kaynaklanan

organik atıkların kontrolsüz biçimde doğaya bırakılması, yeraltı sularında nitrat kirliliğine neden olmaktadır (Kaplan ve ark., 1999; Polat ve ark., 2007; Kahraman ve ark., 2016).

Türkiye’de özellikle karstik akiferlerin yaygın olduğu bölgelerde, suyun kayaçlarla kısa süreli teması nedeniyle doğal filtreleme kapasitesi düşüktür. Bu durum, nitrat gibi çözünür kirlleticilerin hızla yeraltı su sistemlerine taşınmasını kolaylaştırmaktadır (Polat ve ark., 2007). Harran Ovası’nda yapılan gözlemler, özellikle yağışlı kış aylarında nitrat seviyelerinde artış yaşandığını ortaya koymuştur (DSİ, 1972; DSİ, 2003; Kahraman ve ark., 2016).

Kumluca bölgesinde yürütülen araştırmalarda, nitrat konsantrasyonu ile elektriksel iletkenlik (EC) arasında pozitif bir korelasyon bulunmuş; bu durum suyun hem tuzluluk hem de nitrat yükü açısından kalitesinin bozulduğunu göstermiştir (Kaplan ve ark., 1999). Türkiye genelinde mevcut su kaynaklarının yaklaşık %76’sı tarımsal sulamada kullanılmakta olup, yanlış sulama teknikleri ve bilinçsiz gübreleme uygulamaları hem su miktarını hem de kalitesini olumsuz etkilemektedir (Tomar, 2009).

Türkiye’deki birçok bölgede, özellikle kırsal alanlarda, nitrat kirliliğine ilişkin sistematik izleme çalışmaları oldukça sınırlıdır. Örneğin Bingöl gibi yerleşimlerde içme ve sulama suyu kaynakları açısından düzenli kontrol ve analizler yeterli düzeyde yapılmamaktadır (Asoğlu ve ark., 2022). Bu eksiklik, kirlilik riskinin doğru yönetilememesine ve insan sağlığı açısından potansiyel tehlikelerin göz ardı edilmesine yol açmaktadır.

Tarımsal faaliyetlerde verimi artırmak amacıyla yapılan mekanizasyon, artan gübre kullanımı ve buna bağlı gelişen toprak erozyonu, yalnızca Türkiye’de değil, küresel ölçekte nitrat kirliliğini tetiklemektedir (Howden ve ark., 2011). Gelişmekte olan ülkelerde de benzer eğilimler görülmektedir; Doğu ve Güney Asya’da artan azotlu gübre kullanımı sonucu yeraltı ve yüzey sularındaki nitrat birikimi çevresel bir sorun haline gelmiştir (Bijay-Singh ve Craswell, 2021). Son yıllarda hızlı nüfus artışı, kentleşme ve endüstrileşmeye paralel olarak aşırı gübre kullanımı, tatlı su kaynaklarındaki nitrat konsantrasyonunun her yıl artmasına neden olmakta ve bu durum küresel ölçekte yaygın bir çevre sorununa dönüşmektedir (Niu ve ark., 2021).

Nitekim Çin’de yarı kurak bir havzada yapılan çalışmalarda, incelenen örneklerin %32,4’ünde içme suyu nitrat konsantrasyonunun sınır değerleri aştığı belirlenmiş ve bu durum, gelişmekte olan ülkelerdeki benzer eğilimleri yansıtmaktadır (Xue ve ark., 2016).

1.4. Nitrat Kirliliğinin Genel Değerlendirilmesi

1.4.1. Nitrat Kirliliği ve Su Ekosistemleri

Nitrat kirliliği hem insan sağlığı hem de sucul ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından ciddi bir çevresel tehdit oluşturmaktadır. Yüksek nitrat konsantrasyonları özellikle bebeklerde methemoglobinemi (mavi bebek hastalığı) gibi sağlık sorunlarına yol açabilirken, su ekosistemlerinde ötrofikasyon süreçlerini tetikleyerek çözünmüş oksijen seviyelerinin düşmesine neden olmaktadır (Freeze ve Cherry, 1979; Çiçek ve Ertan, 2012; Demirci ve Tufaner, 2019).

Bu bağlamda, Avrupa Birliği’nin Nitrat Direktifi ile Türkiye’deki içme suyu standartları, içme suyunda nitrat konsantrasyonunun 50 mg/L’yi aşmaması gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca çocuklar için önerilen güvenli sınır değer 15 mg/L’dir (Kaplan ve ark., 1999; Benzer ve Benzer, 2018).

Nitratin özellikle tarımsal alanlardan su kaynaklarına taşınması, göl, baraj ve deniz gibi durgun veya yarı durgun su kütlelerinde ötrofikasyona neden olmaktadır. Bu durum; çözünmüş oksijen miktarının azalması, alg patlamaları, balık ölümleri ve biyolojik çeşitliliğin kaybı gibi ciddi ekolojik sonuçlar doğurmaktadır (Howden ve ark., 2011; Bijay-Singh ve Craswell, 2021; Niu ve ark., 2021). Mercan resifleri ve balıkçılık gibi hassas sucul habitatlarda bu süreç, geri dönüşü zor tahribatlara yol açmaktadır.

Özellikle tarımsal baskının yoğun olduğu havzalarda, uzun süreli nitrat maruziyeti sucul sistemlerde kalıcı ekolojik bozulmalara neden olurken, insan sağlığı açısından da kronik zehirlenme riskini artırmaktadır (Xue ve ark., 2016). Bu nedenlerle nitrat kirliliği, yalnızca lokal bir sorun olarak değil, küresel ölçekte su yönetimi politikalarının öncelikli alanlarından biri olarak ele alınmalıdır.

1.5. Nitratın Kaynakları

Küresel Nitrat kirliliği hem yeraltı hem de yüzey sularında artan bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmakta ve kaynağının doğru belirlenmesi, etkili çözüm stratejileri açısından kritik önem taşımaktadır. Nitratın başlıca kaynakları arasında tarımsal faaliyetler, hayvansal atıklar, evsel ve endüstriyel atık sular, katı atık sahaları ve atmosferik çökelmeler yer almaktadır (Niu ve ark., 2021).

Özellikle 1940 sonrası dönemde tarımsal üretimde kullanılan inorganik gübre miktarında hızlı bir artış yaşanmıştır. Aynı zamanda hayvansal atıklar (gübre ve idrar) da önemli birer nitrat kaynağı olmayı sürdürmektedir. Örneğin, İngiltere’de 1980’lere kadar gübre kullanımı hektar başına 150 kg N seviyelerine ulaşmış, bu değer daha sonra 110 kg N ha⁻¹ civarına gerilemiştir (Howden ve ark., 2011).

Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, sulanan tarım alanları dünya tarımsal üretiminin %40’ını sağlamakta ve bu alanlarda kullanılan gübre miktarı ile buna bağlı nitrat sızıntısı, kuru tarım alanlarına göre çok daha yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Üstelik dünya genelinde kullanılan gübrelerin %42’si yalnızca Çin ve Hindistan tarafından tüketilmektedir (Bijay-Singh ve Craswell, 2021).

Tatlı su ortamlarındaki nitrat kirliliği, sadece gübre uygulamalarıyla sınırlı değildir. Arıtılmamış evsel atık sular, çöplüklerden sızan sıvılar ve bazı kimyasal maddelerin (örneğin petrol türevleri) sızıntıları da önemli katkı sağlayan kaynaklardır (Niu ve ark., 2021). Ayrıca, atmosferik azot bileşiklerinin yağış yoluyla su kaynaklarına taşınması da azımsanmayacak düzeyde bir girdidir (Xue ve ark., 2016).

Nitratın farklı kaynaklardan geldiği havzalarda, izotopik analiz yöntemleri sayesinde bu kaynaklar ayırt edilebilmektedir. Örneğin:

- Tarımsal gübreler : +0.0‰ ila +2.0‰
- Toprak organik maddesi : +2.0‰ ila +8.0‰
- Hayvansal atıklar : +8.0‰ ila +20.0‰ arası $\delta^{15}\text{N}$ izotop değerleri göstermektedir (Xue ve ark., 2016).

Nitrat kirliliğinin temel kaynakları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Tarımsal faaliyetler: Nitrat içeren gübrelerin yoğun ve kontrolsüz kullanımı
- Hayvansal atıklar: Organik gübrelerin açık alanda depolanması ve sızma yoluyla suya karışması
- Evsel ve endüstriyel deşarjlar: Arıtılmadan bırakılan atık sular
- Katı atık sahaları ve yapılaşma: Sızıntı sularının yeraltı suyu sistemlerine ulaşması
- Atmosferik çökme: Sanayi ve tarım kaynaklı azot bileşiklerinin yağışla taşınması

Türkiye özelinde ise, nitrat kirliliğinin en baskın kaynakları tarımsal gübreleme ve hayvancılık faaliyetleridir. Özellikle gübre yönetiminin yetersizliği ve denetimsiz hayvan atıklarının çevreye bırakılması, yeraltı sularının kirlenmesini hızlandırmaktadır (Ağca ve ark., 2018; Sarıkaya ve ark., 2022).

1.5.1. Doğada Azot Döngüsü

Azot, atmosferin yaklaşık %78'ini oluşturan ve tüm canlı organizmaların yaşam süreçlerinde temel rol oynayan bir elementtir. Proteinlerin, nükleik asitlerin ve diğer biyolojik moleküllerin yapısında yer alması nedeniyle canlıların büyümesi, gelişmesi ve metabolik faaliyetlerini sürdürebilmesi için vazgeçilmezdir. Ancak atmosferde bulunan moleküler azot (N_2), yüksek kimyasal kararlılığı nedeniyle bitkiler tarafından doğrudan kullanılamamaktadır. Bu nedenle azotun biyolojik olarak yararlanılabilir formlara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm ve dolaşım süreçlerinin tamamı “azot döngüsü” olarak adlandırılmaktadır.

Azot döngüsü, azotun atmosfer, toprak, su kaynakları ve canlı organizmalar arasında sürekli olarak hareket etmesini sağlayan karmaşık bir biyokimyasal süreçtir. Bu döngü sayesinde azot, canlılar tarafından kullanılabilir hale gelir ve ekosistemlerde madde döngüsünün sürdürülebilirliği sağlanır. Toprak verimliliğinin korunması, bitkisel üretimin devamlılığı ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi açısından azot döngüsü büyük önem taşımaktadır.

Azot döngüsünün ilk aşaması olan azot fiksasyonu sürecinde, atmosferdeki serbest azot gazı çeşitli mikroorganizmalar veya atmosferik olaylar aracılığıyla amonyak ve amonyum gibi bileşiklere dönüştürülür. Bunu izleyen nitrifikasyon aşamasında amonyum, önce nitrite ardından nitrata çevrilerek bitkiler tarafından alınabilecek forma ulaşır. Bitkiler bu azot bileşiklerini kullanarak amino asit, protein ve nükleik asit gibi temel biyomolekülleri sentezler. Hayvanlar ise ihtiyaç duydukları azotu bitkileri veya diğer hayvanları tüketerek elde eder. Organizmaların ölümü ya da atıklarının ayrışması sonucunda gerçekleşen amonifikasyon süreciyle organik azot tekrar amonyuma dönüştürülür. Son aşama olan denitrifikasyonda ise bazı bakteriler nitrata azot gazına çevirerek atmosfere geri kazandırır ve böylece döngü tamamlanır.

Bununla birlikte, insan faaliyetleri azot döngüsünün doğal işleyişini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Özellikle yoğun kimyasal gübre kullanımı, fosil yakıtların yakılması ve endüstriyel faaliyetler çevredeki reaktif azot miktarını artırarak ekolojik dengeyi bozabilmektedir. Azot döngüsündeki bu dengesizlikler su kaynaklarında ötrofikasyona, toprak asitlenmesine, hava kalitesinin bozulmasına ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca azot oksitlerin atmosfere salınması, iklim değişikliği ve asit yağmurları gibi küresel çevre sorunlarının ortaya çıkmasında da etkili olmaktadır.

Sonuç olarak, azot döngüsü ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından kritik bir biyolojik süreçtir. Bu döngünün korunması ve insan kaynaklı olumsuz etkilerin azaltılması, çevresel kalitenin sürdürülmesi, doğal kaynakların korunması ve gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, çevre dostu teknolojilerin kullanılması ve azot yönetimine yönelik bilinçli politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Azot döngüsünün işleyişi; azotun bağlanması, oksidasyonu, canlı dokularına aktarılması, organik maddelerin ayrıştırılması ve yeniden atmosfere kazandırılması gibi birbirini tamamlayan aşamalardan meydana gelmektedir.

1.5.1.1. Atmosferik Azotun Kullanılabilir Formlara Dönüştürülmesi: Azot Fiksasyonu

Azot döngüsünün başlangıç aşamasını oluşturan azot fiksasyonu, atmosferde gaz halinde bulunan ve kimyasal yapısı nedeniyle çoğu canlı tarafından doğrudan kullanılamayan azotun, biyolojik açıdan yararlanılabilir bileşiklere dönüştürülmesi sürecidir. Bu mekanizma, azotun ekosistemlere girişini sağlayarak canlıların büyüme ve gelişmeleri için gerekli olan azot kaynağının oluşmasına katkıda bulunur.

Azot fiksasyonu farklı yollarla gerçekleşebilmektedir. Bunlardan en yaygın olanı biyolojik fiksasyondur. Toprakta serbest yaşayan veya bitki kökleriyle ortak yaşam ilişkisi kuran bazı mikroorganizmalar, atmosferik azotu enzimatik reaksiyonlar aracılığıyla amonyak ve diğer azotlu bileşiklere dönüştürmektedir. Özellikle baklagillerle simbiyotik ilişki içerisinde bulunan bakteriler, tarımsal ekosistemlerde azotun doğal olarak toprağa kazandırılmasında önemli bir role sahiptir.

Atmosfer kaynaklı fiksasyon ise doğada meydana gelen yüksek enerjili olaylar sonucunda gerçekleşir. Yıldırım gibi elektriksel deşarjlar, azot ve oksijen gazlarının reaksiyona girmesine olanak tanıyarak çeşitli azot bileşiklerinin oluşmasına neden olur. Daha sonra bu bileşikler yağışlarla birlikte yeryüzüne taşınır ve toprağa karışarak bitkilerin kullanımına sunulur.

Bunun yanı sıra insan faaliyetleri de azotun kullanılabilir formlara dönüştürülmesinde etkili olmaktadır. Endüstriyel yöntemlerle gerçekleştirilen kimyasal süreçler sonucunda atmosferik azottan amonyak elde edilmekte, bu ürün ise özellikle tarımsal gübre üretiminde değerlendirilmektedir. Her ne kadar bu uygulamalar tarımsal üretkenliği artırsa da aşırı ve bilinçsiz kullanım durumunda doğal azot döngüsünün dengesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Sonuç olarak azot fiksasyonu, atmosfer ile biyosfer arasındaki azot transferini sağlayan temel süreçlerden biri olup, ekosistemlerin besin döngüsünün devamlılığı açısından vazgeçilmez bir işlev görmektedir.

1.5.1.2. Amonifikasyon Süreci

Amonifikasyon, ekosistemlerde organik maddeler içerisinde depolanmış olan azotun yeniden çevreye kazandırılmasını sağlayan temel biyokimyasal süreçlerden biridir. Canlı organizmaların yapısında bulunan proteinler, amino asitler ve nükleik asitler gibi azot içeren bileşikler, organizmaların yaşam döngülerinin sona ermesi veya metabolik atıklarının çevreye bırakılması sonucunda ayrışmaya başlar. Bu organik materyaller, toprakta ve diğer doğal ortamlarda bulunan ayrıştırıcı mikroorganizmalar tarafından parçalanmaktadır.

Söz konusu ayrışma faaliyetleri sırasında organik yapıdaki azot bileşikleri, mikroorganizmaların metabolik etkinlikleri sonucunda inorganik azot formlarına dönüştürülür. Bu dönüşümün temel ürünü amonyak olup, çevresel koşullara bağlı olarak amonyum iyonu (NH_4^+) şeklinde bulunur. Ortaya çıkan amonyum, hem bitkiler için doğrudan bir besin kaynağı oluşturmakta hem de azot döngüsünün sonraki basamaklarında yer alan mikrobiyal dönüşümlere katılmaktadır.

Amonifikasyon, ölü organizmalar ve biyolojik atıklar içerisinde bulunan azotun kaybolmasını önleyerek ekosistemdeki madde döngüsünün sürekliliğini sağlar. Bu yönüyle süreç, toprakların besin elementleri bakımından zenginleşmesine katkıda bulunurken aynı zamanda azotun canlı ve cansız çevre arasındaki dolaşımının devamlılığında kritik bir işlev üstlenmektedir.

1.5.1.3. Nitrifikasyon Süreci

Nitrifikasyon, azot döngüsünde amonyak ve amonyum bileşiklerinin oksidasyon yoluyla bitkiler tarafından daha kolay kullanılabilen nitrat formuna dönüştürülmesini sağlayan mikrobiyal bir süreçtir. Bu süreç, toprakta ve su ekosistemlerinde yaşayan özel bakterilerin faaliyetleri sonucunda gerçekleşmekte olup, azotun biyolojik yararlanıla bilirliğini artıran önemli bir aşamayı temsil etmektedir.

Nitrifikasyon iki ardışık reaksiyon basamağından oluşmaktadır. İlk aşamada amonyak veya amonyum bileşikleri, amonyak oksitleyici bakteriler tarafından nitrite dönüştürülür. Bu

dönüşüm sırasında azot bileşikleri enerji kaynağı olarak kullanılır ve nitrit ara ürün olarak ortaya çıkar. Ancak nitrit, birçok canlı için kararsız ve yüksek konsantrasyonlarda zararlı bir bileşik olduğundan çevrede uzun süre kalmaz.

İkinci aşamada ise nitrit, nitrit oksitleyici bakterilerin etkisiyle nitrat formuna dönüştürülür. Nitrat, toprak çözeltisinde kolay hareket edebilen ve bitki kökleri tarafından etkin biçimde alınabilen bir azot kaynağıdır. Bitkiler bu bileşiği kullanarak protein, enzim ve diğer yaşamsal organik moleküllerin sentezini gerçekleştirir.

Nitrifikasyon süreci, azotun ekosistem içerisindeki dolaşımında kritik bir role sahiptir. Amonyumun nitrat formuna dönüştürülmesi, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin maddelerine erişimini kolaylaştırırken aynı zamanda azotun farklı çevresel bileşenler arasında taşınmasına da katkı sağlamaktadır. Bu nedenle nitrifikasyon, toprak verimliliğinin sürdürülmesi ve ekolojik dengenin korunması açısından temel süreçlerden biri olarak kabul edilmektedir.

1.5.1.4. Denitrifikasyon

Denitrifikasyon, azot döngüsünün kapanış basamaklarından birini oluşturarak toprak ve su ortamlarında birikmiş nitratın yeniden atmosferik azot formuna dönüştürülmesini sağlayan biyolojik bir süreçtir. Bu dönüşüm, mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri aracılığıyla gerçekleşir ve azotun yeniden gaz fazına geçerek çevresel sistemden atmosfere geri dönmesine olanak tanır.

Söz konusu süreç, özellikle oksijenin sınırlı olduğu ya da hiç bulunmadığı ortamlarda etkinlik gösteren bazı bakteriyel türler tarafından yürütülmektedir. Bu mikroorganizmalar, enerji elde etmek için oksijen yerine nitratı elektron alıcısı olarak kullanır ve nitratı bir dizi indirgenme reaksiyonu sonucunda azot gazına (N_2) veya azot oksitlere dönüştürür. Bu gaz ürünler daha sonra atmosfere karışarak azot havuzuna yeniden dahil olur.

Denitrifikasyonun yoğun olarak gerçekleştiği alanlar arasında suyla doymuş topraklar, bataklık ekosistemleri ve oksijen difüzyonunun kısıtlı olduğu sediment tabakaları yer almaktadır. Bu süreç, çevredeki fazla nitrat birikimini azaltarak kimyasal dengenin

korunmasına katkı sağlar ve aynı zamanda azotun ekosistem içerisindeki dolaşımını tamamlayıcı bir rol üstlenir.

Genel olarak denitrifikasyon, azotun canlı ve cansız çevre arasındaki sürekli hareketini mümkün kılan temel mekanizmalardan biri olup, ekolojik sistemlerin dengesi açısından önemli bir düzenleyici işlev görmektedir.

1.5.2. Su ve Toprak Kaynaklarının Korunması Bağlamında Nitrat

Tarımda kullanılan azotlu gübrelerin aşırı ve kontrolsüz kullanımı hem su hem de toprak kaynaklarının kalitesini tehdit eden küresel bir çevre sorununa dönüşmüştür. Modern tarım sistemlerinde uygulanan azotlu gübrelerin %10 ila %30'u bitkiler tarafından kullanılmadan doğrudan kaybolmakta; bu kayıplar hem toprak verimliliğinde düşüşe hem de yeraltı ve yüzey sularında nitrat kirliliğine yol açmaktadır (Bijay-Singh ve Craswell, 2021).

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, doğrudan doğruya toprak ve su kaynaklarının korunmasına bağlıdır. Nitrat kirliliği, toprağın üretkenliğini azaltmakla kalmaz; aynı zamanda sucul yaşamı tehdit eden ötrofikasyon süreçlerini de tetikler. Özellikle azot ve fosfor gibi besin maddelerinin taşınımı, göl ve nehirlerde alg patlamalarına, çözünmüş oksijen seviyelerinde düşüşe ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır (Kara ve Çözlekçioğlu, 2004).

Nitratin topraktan yeraltı suyuna geçişi özellikle yağışlı dönemlerde daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu dönemde toprakta yeterli tutunma sağlanamadığı için nitrat iyonları kolaylıkla süzülerek akifer sistemlerine ulaşmaktadır. Bu nedenle gübreleme zamanlaması ve dozu, nitratin çevresel etkileri üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır (DSİ, 2003; Kahraman ve ark., 2016).

Araştırmalar, tarım alanlarında toprağa uygulanan azotun yalnızca kısa vadede değil, on yıllar boyunca sürebilecek şekilde yeraltı sularına taşınabileceğini göstermektedir. Bu durum, nitrat kirliliğinin yalnızca mevcut uygulamalara değil, geçmiş uygulamalara da bağlı olduğunu ortaya koymakta ve uzun vadeli yönetim stratejilerinin gerekliliğini vurgulamaktadır (Howden ve ark., 2011).

Nitrat kirliliğinin etkin şekilde kontrol altına alınabilmesi için kirlilik kaynaklarının doğru şekilde tespit edilmesi, hem koruyucu hem de iyileştirici önlemlerin başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Kaynağı doğru belirlenen nitrat yüklerinin yönetimi, su kalitesinin korunmasına ve tarımsal sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır (Niu ve ark., 2021).

1.5.3. Su Kalitesi ve Nitrat Standardı

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Avrupa Birliği ve Türkiye içme suyu yönetmelikleri, suda maksimum nitrat konsantrasyonu için 50 mg/L sınırını belirlemiştir. Bu sınırların aşılması, halk sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır (Kaplan ve ark., 1999; Benzer ve Benzer, 2018).

TS 266, (2005) Türkiye'de insani tüketim amaçlı suların kalite kriterlerini belirleyen temel standarttır. Standart, içme ve kullanma sularının insan sağlığı açısından güvenli olmasını sağlamak amacıyla fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve radyoaktif özelliklere ilişkin sınır değerler ve kontrol esasları tanımlamaktadır. TS 266 kapsamında suyun renk, koku, tat, bulanıklık ve pH gibi fiziksel özellikleri ile ağır metaller, nitrat, pestisitler ve diğer kimyasal kirleticilere yönelik parametreler düzenlenmektedir. Ayrıca, patojen mikroorganizmaların bulunmamasını esas alan mikrobiyolojik kriterler belirlenerek su kaynaklı hastalık risklerinin önlenmesi hedeflenmektedir. Standart, su kalitesinin izlenmesi, değerlendirilmesi ve sürdürülebilir şekilde korunmasına yönelik bir çerçeve sunmakta olup, Türkiye'de içme suyu kalite yönetiminin temel referans dokümanlarından biri olarak kabul edilmektedir. TS 266'nın uygulanması, halk sağlığının korunması, güvenilir su temininin sağlanması ve ulusal mevzuatın uluslararası standartlarla uyumlaştırılması açısından önemli bir role sahiptir. TS 266 standardı, insani tüketim amaçlı suların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalite kriterlerini tanımlamaktadır. Standartta göre içme suyunun pH değeri 6,5–9,5 aralığında olmalı; nitrat konsantrasyonu 50 mg/L'yi, arsenik ve kurşun konsantrasyonları ise sırasıyla 10 µg/L'yi aşmamalıdır. Mikrobiyolojik açıdan ise E. coli, enterokok ve koliform bakterilerin 100 mL su örneğinde bulunmaması gerekmektedir. Kriterler, suyun insan sağlığı açısından güvenliğinin değerlendirilmesinde temel göstergeler olarak kullanılmaktadır.

1.5.4. Yüzey Sularında Nitrat Takibinin Önemi

Nitrat kirliliğinin kontrolü ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için yüzey sularındaki nitrat seviyelerinin düzenli olarak izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda, periyodik su kalitesi izleme çalışmaları aracılığıyla kirlilik eğilimleri tespit edilerek erken müdahale sağlanabilir (Howden ve ark., 2011).

Yeraltı suyu sistemlerinde nitratin taşınım süresi onlarca yıla kadar uzayabildiğinden, geçmiş gübreleme uygulamalarının etkileri uzun vadede devam edebilir. Bu nedenle yalnızca güncel tarımsal faaliyetlerin değil, geçmiş uygulamaların da dikkate alındığı uzun vadeli planlamalara ihtiyaç vardır (Bijay-Singh ve Craswell, 2021).

Sürdürülebilir gübre yönetimi stratejileri ile birlikte, düzenli yüzey suyu izlemesi, su kaynaklarında biriken nitratin zaman içindeki değişimini ortaya koymak ve gerekli önlemleri zamanında almak için elzemdir. Bu durum özellikle yarı kurak bölgelerde, tarımsal ve kentsel faaliyetlerin etkisiyle nitrat birikiminin daha belirgin hale geldiği koşullarda daha da önem kazanmaktadır (Xue ve ark., 2016).

Nitratin izotop teknikleriyle izlenmesi, yalnızca kirliliğin düzeyini değil, aynı zamanda kaynak kökenini ve çevresel dönüşüm süreçlerini ortaya koymada etkili bir yöntemdir. Bu sayede, tarım kaynaklı mı yoksa evsel ya da endüstriyel kaynaklı mı olduğu ayırt edilebilmekte ve daha hedefe yönelik müdahaleler planlanabilmektedir (Niu ve ark., 2021).

Sonuç olarak, periyodik izleme, izotopik analizler ve entegre su yönetimi uygulamaları, yüzey ve yeraltı sularındaki nitrat kirliliğinin kontrol altına alınmasında temel araçlardır.

1.6. Çalışmanın Amacı

Su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi, çevresel izleme faaliyetleri ile koruma stratejilerinin yerel ölçekte elde edilen bilimsel veriler doğrultusunda şekillendirilmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda, nitrat kirliliğinin izlenmesi ve değerlendirilmesi, özellikle tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu Bingöl gibi

illerde çevresel yönetişimin önemli unsurlarından biri olarak görülmelidir. Sulak alanlar ve akarsu havzaları gibi hassas ekosistemlerde kirliliğin mekânsal dağılımının ortaya konulması, su kaynaklarının korunmasının yanı sıra ekosistem sağlığının sürdürülmesine de katkı sağlayacaktır (Çiçek ve Ertan, 2012; Demirci, 2019).

Bingöl ilinde, Göynük Çayı üzerinde inşa edilmiş ve tarımsal sulama amacıyla işletilen Göynük Sulama Regülatörünün su kalitesi değerlendirilmiş, ayrıca bu suyun sulama yapılan alanlarda yetiştirilen ve hayvan yemi olarak kullanılan yoncanın verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, regülatörden sulama kanalları aracılığıyla su alan yedi köyde (Beyaztoprak, Sarıçiçek, Çeltiksuyu, Yeniköy, Dik, Kumgeçit ve Büyüktekören) incelemeler yapılmış ve altı farklı noktada yonca (*Medicago sativa* L.) ekili alanlar belirlenmiştir. Vejetasyon dönemi boyunca gerçekleştirilen tüm biçimlerin ardından, bu alanlardan yeşil ot ve kuru ot verimleri kaydedilmiştir. Araştırma alanındaki belirlenen noktalardan 2017 yılının Ocak, Mayıs ve Eylül aylarında yüzey suyu örnekleri alınarak su kalitesinin belirlenmesine yönelik çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yonca bitkisinin ikinci çiçeklenme döneminde bitki örnekleri ile aynı alanlardan 0–30 cm derinlikten toprak örnekleri toplanmış ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Su örneklerinde pH, elektriksel iletkenlik (EC), Ca, Mg, HCO_3^- , Cl^- , sertlik (Ca+Mg), K, Na ve bazı ağır metallerin (Mn, Zn, Fe, Cu, Ni ve Co) analizleri yapılmıştır. Toprak örneklerinde pH, EC, K, Na, fosfor, organik madde, kireç, tuzluluk ve ağır metal (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni ve Cr) içerikleri belirlenirken; bitki örneklerinde ise azot (N), fosfor (P), sodyum (Na) ile Zn, Fe, Cu, Ni, Mn ve Cr düzeyleri analiz edilmiştir (Azak, 2019).

Bu araştırma, Bingöl il sınırları içerisinde bulunan yüzeysel su kaynaklarındaki nitrat kirliliği seviyelerinin mevsimsel etkilere göre ortaya konulmasını amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen ölçüm sonuçları mevsimsel olarak değerlendirilerek, nitrat kirliliğinin yıl içindeki değişim dinamikleri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda ise, sürdürülebilir su kaynakları yönetimine yönelik bilimsel temelli öneriler geliştirilmesi hedeflenmektedir.

1.7. Bingöl İline Komşu Olan İllerde Yapılan Çalışmalar

Topal ve Arslan Topal (2015), tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, Elazığ ilinin önemli yerüstü su kaynaklarından biri olan Murat Nehrinin su kalitesinin belirlenmesi amacıyla bazı fizikokimyasal parametreler incelenmiştir. Çalışmamızda materyal olarak kullanılan yerüstü su örnekleri Elazığ ili, Palu ilçesi, Palu köprüsü mevkiinden alınmıştır. Çalışmamızda kullanılan yerüstü su örneklerinde pH değeri ile NO_3^- -N konsantrasyonları tespit edilmiştir. pH değerleri 8-9 arasında ve nitrat azotu konsantrasyonları 1,3-1,9 mg/L arasında olmuştur. Elde edilen veriler Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)'nde verilen su kalite değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Murat Nehrinin su kalite sınıfı her bir parametre için belirlenmiştir. Genel olarak Murat Nehrinin su kalitesi sınıfı Sınıf-II olarak tespit edilmiştir.

Topal ve Arslan Topal (2015), tarafından yapılan çalışmada, Caro deresinin bazı fizikokimyasal parametreleri incelenmiştir. Caro deresi, Elazığ ilinin içme suyu ihtiyacının elde edileceği Hamzabey Barajının besleme kaynağıdır. Caro deresinden yüzeysel su numuneleri alınmış ve alınan numunelerin pH, sıcaklık, değerleri ile NO_3^- -N konsantrasyonları tespit edilmiştir. pH değerleri 7,9-8,3 arasında, sıcaklık değerleri 14,5-17,8 0C arasında, amonyum azotu konsantrasyonları 0,06-0,08 mg/L arasında ve nitrat azotu konsantrasyonları 1,3-2,1 mg/L arasında olmuştur. Elde edilen veriler Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği (YSKYY)'nde verilen su kalite değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Caro deresinin su kalite sınıfı Sınıf-I olarak belirlenmiştir.

Gökçen ve Atasever (2019), tarafından gerçekleştirilen araştırmada ise Erzurum ilindeki çeşme ve şebeke suları mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından incelenmiştir. Araştırma kapsamında su numunelerinde pH değerlerinin 6,65–8,33 arasında değiştiği ve ortalama pH değerinin 7,31 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen pH değerlerinin tüketiciler açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu ifade edilmiştir. Erzurum il ve ilçe merkezlerinden alınan su numunelerinde nitrat değerlerinin 9,60–26,85 mg/L arasında değiştiği ve ortalama nitrat değerinin 17,44 mg/L olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, Erzurum merkezde bulunan toplam 12 halk çeşmesinin 6'sında (%50) nitrat değerlerinin 50,17–145,84 mg/L arasında değiştiği ve ortalama 95,88 mg/L düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Bu çeşmelerde tespit edilen nitrat değerlerinin yönetmelikte

belirtilen değerlere uygun olmadığı bildirilmiştir. Çalışmada incelenen suların ortalama pH ve nitrat değerleri sırasıyla 7,31 ve 26,39 mg/L olarak belirlenmiştir.

Arslan Topal E. I. (2020), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Tunceli Uzunçayır Barajından mansaplanan yerüstü sularının su kalitesi belirlendi. Su kalitesinin belirlenmesinin amacı, barajlardan mansaplanan su kütlesinin hangi amaçla kullanılıp kullanılamayacağını değerlendirmesidir. Bu çalışmada, yerüstü su örnekleri 2019 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında alındı ve elde edilen veriler Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde (YSKY) verilen su kalite değerleriyle mukayese edildi. Analiz sonuçlarına göre pH değerleri 7,92-8,01 arasında değerler aldı ve su kalite sınıfı Sınıf-1 olarak belirlendi. Sıcaklık değerleri 17,2-23,1 °C arasında değişkenlik gösterdi. Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{--N}$) konsantrasyonları 0,91-1,26 mg/L arasında tespit edildi ve buna göre su kalite sınıfı Sınıf-1 olarak belirlendi. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) konsantrasyonları ise 17,3-25,1 mg/L arasında değerler aldığı belirlendi. Sonuç olarak, Uzunçayır Barajından mansaplanan yerüstü sularının pH, sıcaklık, $\text{NO}_3\text{--N}$, BOİ5 konsantrasyonları açısından Sınıf-1 kalitesinde, KOİ açısından ise Sınıf-2 kalitesinde olduğu tespit edildi.

Kaya ve Şen (2022), tarafından Kabaklı Göleti (Diyarbakır) suyunun su kalitesi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, Kasım 2021–Ağustos 2022 tarihleri arasında Diyarbakır ili Sur ilçesinde yer alan ve sulama amacıyla kullanılan Kabaklı Göleti'nden mevsimsel olarak su numuneleri alınarak fiziko-kimyasal özellikleri incelenmiştir. Arazi ölçümlerinde ortalama çözünmüş oksijen değerinin 9,4 mg/L, su sıcaklığının 21,8 °C ve pH değerinin 8,58 olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar analizleri sonucunda ise ortalama NO_3^- değerinin 4,98 mg/L olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kapsamında belirlenen kalite sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir.

Kutlu ve Çetindağ (2025), Nitrat (NO_3^-), içme sularında yaygın olarak bulunan ve hem eksik hem de aşırı maruziyet durumunda halk sağlığı açısından önemli riskler oluşturabilen bileşiklerdir. Bu çalışma, Tunceli ilindeki 18 istasyondan 2021 yılında alınan içme suyu örneklerinde florür ve nitrat düzeylerini belirlemekte ve dört yaş grubuna (bebekler, çocuklar, ergenler ve yetişkinler) yönelik kansere yol açmayan (non-carcinogenic) sağlık risklerini değerlendirmektedir. Nitrat seviyeleri ise 0.45–64,38 mg L^{-1} aralığında değişmiş,

bazı kırsal istasyonlarda WHO limitlerinin aşıldığı görülmüştür. Nitrat için bebek ve çocuklarda $HQ > 1$ değerleri elde edilmiş ve bu durum hassas gruplarda potansiyel sağlık riski ortaya koymuştur. Sonuçlar, Tunceli’de içme suyu kalitesinin mekânsal değişkenlik gösterdiğini ve özellikle nitrat kaynaklı riskler için yaşa özgü izleme programları ile su kaynaklarının korunmasına yönelik stratejilerin önemini vurgulamaktadır.

Atabey E. (2026), Muş ili Mercimekkale’de bir çeşmede nitrat derişimi 63 mg/l ölçülmüştür (Muş İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2024) Türkiye ve Avrupa Birliği (AB) standartlarına göre suda nitrat derişimi 50 mg/l'dir. Bu değer, insan sağlığı için risk oluşturmayan üst sınırı ifade eder. Özellikle bebekler için bu sınırın altındaki değerler (örn. 25 mg/L) daha güvenli kabul edilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yerüstü sularında nitrat kirliliği üzerine gerçekleştirilen önceki akademik çalışmalar arasında aşağıda özetlenen araştırmalar öne çıkmaktadır.

Güler ve Çobanoğlu (1994), çevre sağlığı ve hijyen çerçevesinde su kaynaklarının insan sağlığı üzerindeki etkilerini ele almış, içme ve kullanma sularında görülen kirlilik kaynaklarını ayrıntılı biçimde değerlendirmiştir. Çalışmada, evsel atıklar, tarımsal uygulamalar ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirleticilerin yerüstü ve yeraltı su kaynakları üzerindeki etkileri kapsamlı olarak açıklanmıştır. Nitrat ve nitritin, insan ve hayvan kaynaklı atıkların neden olduğu önemli kirleticiler arasında yer aldığı, özellikle bebeklerde methemoglobinemi gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabileceği belirtilmiştir. Araştırmacılar, kuyu sularında görülen nitrat birikiminin çoğu zaman fosseptik çukurlarından sızan kirleticilerle ilişkili olduğunu ifade etmiş ve bu riski azaltmak amacıyla kuyu ağızlarının yer seviyesinden yeterli yükseklikte inşa edilmesi ve çimento bariyerlerle sızıntılara karşı korunması gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca, suyun görünüşte temiz ve berrak olmasının güvenli olduğu anlamına gelmediği belirtilerek, düzenli kimyasal ve bakteriyolojik analizlerin yapılmasının gerekliliğine dikkat çekilmiştir. Eserde, su arıtma tesislerinin kurulmasının tek başına yeterli olmadığı, bu tesislerin etkin ve sürekli şekilde işletilmesinin de su güvenliği açısından büyük önem taşıdığı ifade edilmiştir. Bu doğrultuda, su kaynaklarının korunmasına yönelik yapısal tedbirlerin yanı sıra toplumun bilinçlendirilmesine yönelik halk sağlığı eğitimlerinin de eş zamanlı olarak yürütülmesi gerektiği savunulmuştur.

Kaplan ve ark. (1999), Kumluca yöresindeki kuyu sularının nitrat (NO_3^-) içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında bölgedeki 20 farklı kuyudan alınan su örneklerinde elektriksel iletkenlik (EC), nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) parametreleri analiz edilmiştir. Ayrıca toplam inorganik azot düzeyi ($[\text{NO}_3-\text{N}] + [\text{NH}_4-\text{N}]$) ile nitrat azotunun toplam azot içindeki oranı ($\%\text{NO}_3-\text{N}$) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, nitrat konsantrasyonlarının 2,46–164,91 mg/L, amonyum değerlerinin 2,35–7,22 mg/L, toplam inorganik azot miktarının 2,84–40,02 mg/L ve elektriksel iletkenlik değerlerinin

548–1643 $\mu\text{mhos/cm}$ aralığında deđiřtiđi belirlenmiřtir. İncelenen kuyuların yaklařık yarısında, ime suyu iin kabul edilen 45 mg/L nitrat sınır deđerinin ařıldıđı tespit edilmiřtir. Arařtırma bulguları, blgede nemli dzeyde nitrat kirliliđi bulunduđunu ortaya koymuřtur. alıřmada ayrıca, zorunlu durumlarda ime suyu olarak elektriksel iletkenliđi daha dřk olan kuyu sularının tercih edilmesinin grece daha gvenli bir seenek olabileceđi ifade edilmiřtir.

Kara ve mlekiođlu (2002), tarafından gerekleřtirilen arařtırmada, Karaay'ın su kalitesinin ve kirlilik dzeyinin belirlenmesi amalanmıřtır. alıřma kapsamında, Ekim 2001 ile Nisan 2002 tarihleri arasında belirlenen  farklı rnekleme noktasından dzenli aralıklarla su numuneleri toplanmıřtır. Alınan rneklere pH, elektriksel iletkenlik, znmř oksijen, nitrit, nitrat, amonyum ve fosfat gibi temel fizikokimyasal parametreler analiz edilmiř, ayrıca su ekosisteminin biyolojik durumunu deđerlendirmek amaıyla makroinvertebrat organizmaların dađılımı incelenmiřtir. Arařtırma sonuları, Karaay'ın nemli lde kirlilik baskısına maruz kaldıđını ve bu durumun zellikle sucul organizmalar zerinde olumsuz etkiler oluřturduđunu ortaya koymuřtur. Fizikokimyasal analizlerden elde edilen veriler ile biyolojik gzlemlerin birlikte deđerlendirilmesi, akarsuyun ekolojik durumunun daha kapsamlı biimde belirlenmesine olanak sađlamıřtır. alıřma bulguları, su kalitesinin izlenmesi ve kirliliđin ekosistem zerindeki etkilerinin ortaya konulmasında biyolojik ve kimyasal gstergelerin birlikte kullanılmasının etkili ve gvenilir bir yaklařım olduđunu gstermektedir.

Sađlam ve Bellitrk (2003), su kaynaklarının kirlenmesine yol aan etkenleri ve bu kirliliđin toprak zellikleri zerindeki etkilerini deđerlendirmiřtir. alıřmada, zellikle kentsel ve endstriyel kaynaklı atık suların yeterli dzeyde arıtılmadan alıcı ortamlara bırakılması ile tarımsal faaliyetlerde verim artıřı amaıyla ařırı ve bilinsiz řekilde kullanılan gbreler ve kimyasal maddelerin yzey ve yeraltı sularına karıřmasının, su kirliliđinin temel nedenleri arasında bulunduđu belirtilmiřtir. Arařtırmacılar, kalite kaybına uđramıř veya kirlenmiř suların sulama amaıyla kullanılmasının, topraktaki bitki besin elementleri arasındaki dođal dengeyi bozduđunu ve bunun sonucunda toprak verimliliđinin olumsuz ynde etkilendiđini ifade etmiřtir. Elde edilen bulgular, su kirliliđinin yalnızca su kaynaklarını tehdit eden bir evre sorunu olmadıđını, aynı zamanda toprak kalitesi ve tarımsal retkenlik zerinde de nemli sonular dođurduđunu gstermektedir. Bu ynyle

çalışma, su kaynaklarının korunmasının sürdürülebilir tarımsal üretim açısından taşıdığı öneme dikkat çekmektedir.

Polat ve ark. (2006), tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Nif Dağı çevresindeki karstik akifer sistemlerinde yeraltı suyu nitrat kirliliğinin mevsimsel değişimi incelenmiştir. Çalışma kapsamında, 25 kuyu ve 34 pınardan oluşan toplam 59 örnekleme noktasından Nisan 2006 (ıslak dönem) ve Eylül 2006 (kurak dönem) dönemlerinde su örnekleri toplanmıştır. Elde edilen nitrat analiz sonuçları hem zamansal hem de mekânsal açıdan değerlendirilmiş ve bu doğrultuda nitrat konsantrasyonlarının dağılımını gösteren haritalar üretilmiştir. Bulgular, Nif Dağı'nın batı kesiminde her iki mevsimde de 50 mg/L sınır değerini aşan nitrat konsantrasyonlarının bulunduğunu ortaya koymuştur. Araştırma sonuçları, nitrat kirliliğinin bölgesel olarak homojen bir dağılım göstermediğini ve mevsimsel değişimlere rağmen bazı alanlarda yüksek seviyelerin devam ettiğini göstermiştir. Ayrıca, yaz döneminde beklenen seyrelme etkisinin yeterince gerçekleşmediği belirlenmiştir. Çalışma, bölgedeki nitrat kirliliğinin hidrojeolojik koşullar ve mevsimsel faktörlerin birlikte etkisiyle şekillenen karmaşık bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Polat ve ark. (2007), Nif Dağı çevresindeki karstik akifer sistemlerinde yeraltı suyu nitrat konsantrasyonlarının TS 266 içme suyu standardı kapsamında belirlenen 50 mg/L sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, bazı örnekleme noktalarında nitrat seviyelerinin 294 mg/L gibi oldukça yüksek değerlere ulaştığı rapor edilmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle tarımsal gübreleme uygulamaları ve kanalizasyon sızıntıları gibi antropojenik kaynakların, karstik hidrojeolojik yapılarda kirleticilerin hızlı ve geniş alana yayılımını artırdığını göstermektedir. Bu durum, karstik akiferlerin kirliliğe karşı yüksek hassasiyet taşıdığını ve yeraltı suyu kalitesinin korunmasında insan kaynaklı baskıların kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Tomar (2009), toprak ve su kaynaklarının korunmasında sürdürülebilir havza yönetimi yaklaşımının kritik bir rol üstlendiğini vurgulamıştır. Çalışmada, zabıta veya su polisi gibi denetim odaklı koruma yöntemlerinin tek başına yeterli olmadığı, doğal kaynakların etkin biçimde korunabilmesi için kapsamlı ve uzun vadeli havza yönetim planlarının uygulanması gerektiği ifade edilmiştir. Araştırmada ayrıca, Toprak Kirliliğinin Kontrolü

Yönetmeliği'nin (2005) toprak kirliliğine neden olan faaliyetler ve tehlikeli maddelerin denetimi açısından çeşitli eksiklikler içerdiği belirtilmiştir. Bu doğrultuda, Avrupa Birliği Çevre Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen Toprak Koruma Stratejisi çalışmaları dikkate alınarak mevcut düzenlemelerin güncellenmesinin gerekli olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışmada, Türkiye'de su ve toprak kaynaklarının korunmasına yönelik hukuki ve kurumsal yapının yeterince etkin olmadığı, mevcut sistemdeki karmaşıklığın kaynak yönetimini olumsuz etkilediği belirtilmiş ve bu alanda daha somut strateji ve politikaların geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bunun yanında, havza yönetiminde kurumlar arasındaki koordinasyon eksikliği ile toplumun karar alma süreçlerine yeterince dahil edilememesinin, kaynakların verimli kullanımını engellediği ve sürdürülebilir yönetim anlayışının hayata geçirilmesini zorlaştırdığı ifade edilmiştir. Tomar, etkili bir havza yönetiminin ancak katılımcı bir yaklaşımla mümkün olacağını savunmuş; bu amaçla görev ve sorumlulukların açık şekilde tanımlandığı, kurulların işleyişini düzenleyen ve katılım mekanizmalarını güçlendiren yeni yasal düzenlemelerin oluşturulması gerektiğini belirtmiştir.

Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan nitrat kirliliği, özellikle yeraltı su kaynaklarında birikerek içme suyu kalitesini olumsuz etkilemekte ve insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Nitratin insan vücuduna alınmasının temel yolu içme suyu olup, yüksek konsantrasyonlara maruz kalınması özellikle hassas bireylerde sağlık açısından ciddi tehlikeler yaratabilmektedir (Howden et al. 2011).

Sönmez ve Demir (2011), tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan nitrat kirliliğinin nedenlerini ve çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada, özellikle bilinçsiz ve aşırı gübre kullanımının tarım topraklarında yüksek düzeyde nitrat birikimine yol açtığı belirtilmiştir. Bu birikimin yalnızca bitkisel üretim süreçlerini etkilemekle kalmadığı, aynı zamanda sulama sularındaki nitrat konsantrasyonlarını artırarak ekosistemler ve insan sağlığı açısından çeşitli riskler oluşturduğu vurgulanmıştır. Araştırmacılar, tarımsal kaynaklı kirliliğin nedenleri arasında bitkisel ve endüstriyel tarım atıklarının yanı sıra, yoğun gübre kullanımına bağlı olarak gelişen tuzluluk sorunları, ağır metal birikimleri ve su ortamlarında meydana gelen ötrofikasyon süreçlerinin de bulunduğunu ifade etmiştir. Elde edilen bulgular, tarımsal faaliyetlerin nitrat kirliliği üzerindeki önemli etkilerini ortaya

koyarken, bu kirliliğin azaltılması ve kontrol altına alınabilmesi için uygun yönetim stratejilerinin ve çözüm yaklaşımlarının geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Çiçek ve Ertan (2012), tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Köprüçay Nehri'nin su kalitesi fiziksel ve kimyasal parametreler temelinde değerlendirilmiştir. Çalışma, Şubat 2008 ile Ocak 2009 tarihleri arasında bir yıllık süreyi kapsayacak şekilde yürütülmüş ve nehrin kaynağından Akdeniz'e ulaştığı bölgeye kadar uzanan yedi farklı örnekleme istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen, bulanıklık, klorür, bikarbonat, nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$), amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$), ortofosfat, sülfat, toplam sertlik, kalsiyum ve magnezyum gibi su kalite göstergeleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre nitrat konsantrasyonları yıl boyunca 0,00 ile 1,37 mg/L arasında değişim göstermiş ve ortalama değer 0,42 mg/L olarak belirlenmiştir. Nitrat düzeylerinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) tarafından belirlenen sınır değerlerin altında bulunması, Köprüçay Nehri'nin genel olarak I. sınıf su kalitesi özellikleri taşıdığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, nehrin Akdeniz'e döküldüğü kesimde bazı parametrelerde dönemsel yükselmeler gözlenmiş ve bu durumun çevresel koşullar ile insan faaliyetlerinden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, akarsu sistemlerinde bölgesel ve mevsimsel etkilerin su kalitesi üzerinde belirleyici rol oynayabildiğini göstermekte; bu nedenle su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi için düzenli izleme çalışmalarının önemini vurgulamaktadır.

Süenal ve Erşahin (2012), Türkiye'de tarımsal faaliyetlerin yeraltı suyu nitrat kirliliği üzerindeki etkisini konu alan araştırmalar değerlendirilmiş ve sorunun yaygın nedenleri ile olası çözüm yaklaşımları ele alınmıştır. İncelemelerde, yeraltı sularında çoğunlukla nitrat (NO_3^-) formunda bulunan azotun, özellikle yanlış gübreleme teknikleri ve uygunsuz sulama uygulamaları nedeniyle toprak profilinin alt katmanlarına taşınarak su kaynaklarına karıştığı belirtilmiştir. Buna ek olarak, evsel ve hayvansal atıkların yanı sıra endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirleticilerin de nitrat yükünü artırdığı ifade edilmiştir. Ancak endüstriyel kaynaklı kirliliğin genellikle yerel ve sınırlı alanlarda etkili olduğu, buna karşılık tarımsal kökenli kirlenmenin daha geniş coğrafyalara yayılarak kontrol edilmesini zorlaştırdığı vurgulanmıştır. Araştırmacılar, Türkiye genelinde nitrat kirliliğinin önemli bir

çevresel sorun oluşturduğunu ortaya koymuş ve bu sorunun azaltılmasına yönelik koruyucu ve önleyici stratejilerin geliştirilmesinin gerekliliğini vurgulamışlardır.

Gemici ve arkadaşları (2015) tarafından yürütülen çalışmada, Bartın ilindeki çeşitli köylerde bulunan dokuz kuyu suyunun nitrat, nitrit, pH ve elektriksel iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Araştırma, Aralık 2014 ile Mart 2015 tarihleri arasında dört ayrı örnekleme döneminde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, nitrat konsantrasyonlarının 6,00–32,00 mg/L arasında değiştiğini ve ortalama değerin 13,24 mg/L olduğunu ortaya koymuştur. Nitrit konsantrasyonunun ortalama değeri ise 0,04 mg/L olarak belirlenmiştir. Ölçülen parametrelerde gözlenen değişimlerin, kuyuların yer aldığı bölgelerin jeomorfolojik özellikleri ve çevresel faktörlerle ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen tüm değerlerin, Türk Standardları Enstitüsü ve World Health Organization tarafından belirlenen sınır değerler içerisinde kaldığı saptanmış, bu nedenle Bartın'daki kuyu sularının insan sağlığı açısından herhangi bir risk oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte araştırmacılar, gelecekte nitrat ve nitrit kaynaklı kirliliğin artış gösterebileceğine dikkat çekerek su kaynaklarının düzenli olarak izlenmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Ayrıca, gübre kullanımının denetlenmesi ve azot düzeyleri farklılık gösteren kuyular için uygun gübreleme programlarının geliştirilmesi önerilmiştir.

Kahraman ve ark. (2016), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Harran Ovası'ndaki serbest akiferlerde yaz ve kış dönemlerine bağlı nitrat kirliliğinin değişimi incelenmiştir. Çalışma kapsamında 2014–2015 yılları arasında ovayı temsil eden 20 farklı kuyudan mevsimsel örneklemeler yapılmış ve nitrat düzeyleri değerlendirilmiştir. Buna ek olarak, saha ölçümleri ile su sıcaklığı, pH ve elektriksel iletkenlik (EC) parametreleri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre nitrat konsantrasyonlarının 20–317 mg/L, sıcaklık değerlerinin 13,2–22,9 °C, pH'nın 6,85–7,7 ve EC değerlerinin 484–2450 µS/cm aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, TS 266 içme suyu standardı ile World Health Organization ve European Union tarafından belirlenen 50 mg/L nitrat sınır değerinin birçok örnekte aşıldığı belirlenmiştir. Çalışma, bölgede yoğun tarımsal faaliyetler, yetersiz drenaj altyapısı ve kontrolsüz atık yönetimi uygulamalarının yeraltı suyu ortamında önemli düzeyde nitrat birikimine yol açtığını ortaya koymuştur.

Ağca ve ark. (2017), Amik Ovası'nda gerçekleştirilen çalışmada, yüzey sularının özelliklerini ortaya koymayı ve bu suları içme ile sulama suyu kalitesi açısından değerlendirmeyi amaçlamıştır. Araştırma kapsamında, 2017 yılı haziran ayında ovadaki farklı yüzey suyu kaynaklarını temsil eden 56 noktadan su örnekleri toplanmıştır. Numunelerde sıcaklık (T), toplam tuz konsantrasyonu (TT), amonyum (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), fosfor (P), çözülmüş oksijen (DO) ve çeşitli ağır metallerin (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) analizleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey sularına ait parametrelerin genel dağılım özelliklerini ortaya koymak amacıyla tanımlayıcı istatistikler ve korelasyon analizlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ortalama sıcaklık, toplam tuz konsantrasyonu, çözülmüş oksijen, NO_3^- , NH_4^+ , P, Cu, Mn, Ni ve Pb değerleri sırasıyla 23,8 °C, %0,20, 12,09 mg L⁻¹, 4,13 mg L⁻¹, 1,69 mg L⁻¹, 140,07 µg L⁻¹, 6,75 µg L⁻¹, 18,42 µg L⁻¹, 1,84 µg L⁻¹ ve 4,43 µg L⁻¹ olarak belirlenmiştir. İncelenen 56 su örneğinin 52'sinde sıcaklık değerlerinin, kaliteli sular için kabul edilen 25 °C üst sınırına yaklaştığı veya bu sınırı aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca 13 örnekte çözülmüş oksijen miktarının, kaliteli sular için öngörülen 8 mg L⁻¹ alt sınırının altında olduğu belirlenmiştir. Araştırmada ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının ve fosfor düzeylerinin tüm örneklerde içme ve sulama suları için izin verilen maksimum değerlerin altında kaldığı saptanmıştır. Korelasyon analizleri sonucunda ise NO_3^- ile Cu ve Pb arasında, NH_4^+ ile P ve Mn arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü ilişkiler olduğu ortaya konulmuştur ($P < 0,01$).

Yetiş ve ark. (2018), tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Balıklı Göl Havzası su kaynaklarında nitrat ve nitrit düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Nisan 2014 ile Ocak 2015 tarihleri arasında havza içerisinde yer alan sekiz farklı örnekleme noktasından mevsimsel olarak su numuneleri toplanmıştır (Yetiş ve ark., 2015). Toplanan su örneklerinde nitrat ve nitrit analizleri spektrofotometrik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiş; nitrat konsantrasyonlarının 1,52–15,9 mg/L, nitrit konsantrasyonlarının ise 0,014–0,203 mg/L aralığında değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda alansal dağılım haritaları oluşturulmuş ve sonuçlar hem ulusal hem de uluslararası su kalite standartları çerçevesinde değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, havzadaki olası nitrat ve nitrit kirliliğinin mekânsal olarak ortaya konulması ve bu kirleticilerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik bilimsel veri sağlanmasıdır.

Benzer ve Benzer (2018), tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Kütahya ilinde yer alan yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarında nitrat düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapay sinir ağları (YSA) yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmada, Tarım İl Müdürlüğü tarafından 2012–2013 yılları arasında 23 yeraltı suyu ve 10 yüzey suyu istasyonundan elde edilen toplam 245 nitrat ölçüm verisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yeraltı sularındaki nitrat konsantrasyonlarının 0,01–190,63 mg/L, yüzey sularında ise 0,01–10,20 mg/L aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama değerlerin yeraltı sularında 16,09 mg/L, yüzey sularında ise 2,51 mg/L olduğu tespit edilmiştir. Bazı örneklerde nitrat seviyelerinin ulusal ve uluslararası kalite standartlarının üzerine çıktığı görülmüştür. Bu veriler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağı modeli, nitrat konsantrasyonlarının gelecekteki değişimini tahmin etmeye yönelik bir öngörü sağlamıştır. Model sonuçlarına göre 2023 yılı için ortalama nitrat değerleri yeraltı sularında 15,6 mg/L, yüzey sularında ise 2,1 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çalışma, yapay sinir ağlarının su kalitesinin izlenmesi ve kirlilik düzeylerinin tahmin edilmesinde etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Morkoyunlu, Yüce ve arkadaşları (2018) tarafından, Kocaeli'nde tarımsal sulamada kullanılan kuyu sularındaki nitrat düzeylerini belirlemek amacıyla Mart 2008–Eylül 2016 dönemini kapsayan uzun süreli bir araştırma yürütülmüştür. Çalışmada, beş farklı istasyondan mevsimsel olarak alınan su örneklerinde nitrat konsantrasyonları ölçülmüş ve elde edilen veriler Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Sonuçlar, istasyonlara göre nitrat konsantrasyonlarının 0,01–31,7 mg/L arasında değiştiğini, ortalama değerlerin ise 1,65–14,55 mg/L aralığında olduğunu göstermiştir. En yüksek nitrat seviyeleri beşinci istasyonda belirlenmiş olmakla birlikte, hiçbir örnekte nitrat için kritik sınır değer olan 50 mg/L aşılmamıştır. Araştırmacılar, nitrat düzeylerindeki değişimin bölgenin coğrafi ve jeolojik özellikleri, kuyu derinliği, tarımsal uygulamalar ve çevresel koşullardan kaynaklanabileceğini ifade etmiş; sürdürülebilir su yönetimi açısından düzenli izleme çalışmalarının ve koruyucu önlemlerin gerekliliğini vurgulamışlardır.

Demirci (2019), tarafından yürütülen araştırmada, Işıklı-Gökgöl Sulak Alanları ile Çivril-Baklan Alt Havzası kapsamındaki yerüstü ve yeraltı su kaynaklarında nitrat, nitrit ve klorür kirliliği değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında toplam 21 farklı örnekleme noktasından su numuneleri toplanmış ve bu örneklerde elektriksel iletkenlik (EC), nitrat, nitrit ve klorür

parametreleri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, bölgedeki su kaynaklarının tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan yayılı ve noktasal kirlilik baskısı altında olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmada ayrıca yeraltı ve yüzey suları arasındaki hidrolojik etkileşimler incelenmiş, kirlilik yüklerinin mekânsal dağılımı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Surfer yazılımı kullanılarak haritalandırılmıştır. Nitrat analizleri Kadmiyum indirgeme yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup, elde edilen veriler DPSIR (Sürücü Güçler–Baskılar–Durum–Etki–Tepki) yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda potansiyel kirlilik kaynakları, riskli alanlar ve gelecekte oluşabilecek çevresel tehditler belirlenmiştir. Çalışma, özellikle tarımsal ve yerleşim baskısının yoğun olduğu sulak alanlarda nitrat kirliliğinin mekânsal dağılımının ortaya konulmasının çevresel yönetim açısından kritik önem taşıdığını vurgulamaktadır.

Demirci ve Tufaner tarafından (2019), Adıyaman özelinde yürütülen araştırmada, bölgenin yüzey ve yeraltı su kaynakları bakımından zengin olmasına karşın, bu kaynakların su kalitesinde belirgin bir düşüş yaşandığı ortaya konulmuştur. Çalışmada, tarımsal sulama faaliyetlerinin sınırlı düzeyde yürütülmesinin başlıca nedenleri arasında su kalitesindeki bozulmalar ile altyapı yetersizlikleri gösterilmiştir. Araştırmacılar, nüfus artışı, hızlı kentleşme, kontrolsüz sanayileşme ve yoğun tarımsal faaliyetlerin su kaynakları üzerindeki kirlilik baskısını artırdığını ifade etmişlerdir. Adıyaman’da içme suyu ihtiyacının büyük ölçüde kaynak sularından karşılandığı belirtilmiş, ancak su temininde mevsimsel değişimler ile kaynakların kapasite açısından yetersiz kalmasının önemli bir sorun oluşturduğu vurgulanmıştır. Ayrıca içme ve kullanma suyu temin sistemlerinde mevcut yapısal eksikliklerin bulunduğu ve gelecekteki su ihtiyacını karşılamak için alternatif su temin projelerinin geliştirilmesinin zorunlu olduğu belirtilmiştir. Elde edilen bulgular, yüzey suyu kaynaklarının yalnızca mevcut kalite durumları açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik ve yeterlilik boyutlarıyla da düzenli olarak izlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Ceyhan Nehri Havzası’ndaki su kaynaklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri, Faktör Analizi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında havzada bulunan çeşitli barajlar, göller ve akarsulardan seçilen 36 farklı örnekleme noktasından su numuneleri toplanmıştır. Bu numunelerde kalsiyum (Ca), klorür (Cl), renk, elektriksel iletkenlik (EC), florür (F), çözülmüş alüminyum (M-Al), magnezyum (Mg), mangan (Mn),

sodyum (Na), amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$), ortofosfat (o-PO_4), partikül alüminyum (p-Al), pH, sıcaklık (T), toplam çözünmüş madde (TDS) ve toplam sertlik (TH) olmak üzere toplam 18 parametre analiz edilmiştir. Faktör analizinin uygulanabilirliğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen ön testlerde Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) değeri 0,60 olarak hesaplanmış, Bartlett Küresellik Testi sonucu ise 883,50 ($p<0,001$) bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar, veri setinin faktör analizi için uygun olduğunu göstermiştir. Analiz sonucunda incelenen 18 değişkenin beş temel faktör altında toplandığı belirlenmiştir. Bu beş faktör, toplam varyansın %87,44'ünü açıklamıştır. Birinci faktör; EC, TDS, Ca, M-Al ve TH parametrelerinden oluşurken, ikinci faktör $\text{NH}_4\text{-N}$, pH, o-PO_4 ve Mg değişkenlerini içermiştir. Üçüncü faktörde F, Mn, Na, Cl ve $\text{NO}_2\text{-N}$; dördüncü faktörde $\text{NO}_3\text{-N}$ ve renk; beşinci faktörde ise sıcaklık (T) ile p-Al yer almıştır. Faktör skorları kullanılarak su kaynaklarının göreceli konumları ve özellikleri değerlendirilmiş, buna bağlı olarak sınıflandırmalar yapılmıştır. En yüksek faktör skorları sırasıyla birinci faktörde Sacir Suyu–Fırat Nehri (Kilis), ikinci faktörde Sinnap Suyu–Seve Barajı (Kilis), üçüncü faktörde Akdere–Hancağz Dipsavak (Gaziantep), dördüncü faktörde Peynirdere Regülatörü (Kahramanmaraş) ve beşinci faktörde Hurman Çayı–Karakuz Barajı'nda (Kahramanmaraş) belirlenmiştir. Sonuç olarak, faktör analizinin havzadaki su kaynaklarının içerdiği bileşenler bakımından sınıflandırılmasında ve karakterizasyonunda etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur (Demirkıran ve Çelik, 2021).

Akarçay üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, Gümüş (2021) su kalitesini değerlendirmek amacıyla sanayi, tarım ve evsel faaliyetlerden kaynaklanan kirlilik baskısı altındaki akarsuya ait çeşitli fizikokimyasal ve ağır metal parametrelerini incelemiştir. Araştırma kapsamında, Nisan 2019–Mart 2020 döneminde belirlenen üç örnekleme istasyonundan mevsimsel olarak su numuneleri alınmıştır. Toplanan örneklerde sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen, klorür, sülfat, nitrat azotu, amonyum azotu, nitrit azotu, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), toplam fosfat ve klorofil-a gibi su kalite göstergelerinin yanı sıra mangan (Mn), nikel (Ni), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) gibi ağır metallerin konsantrasyonları da analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, nitrat azotu konsantrasyonunun ortalama 3,83 mg/L olduğunu ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) kriterlerine göre I. sınıf su kalitesi kapsamında değerlendirildiğini göstermiştir. Buna karşılık nitrit ve amonyum azotu düzeyleri IV. sınıf su kalitesi kategorisinde yer

almıştır. Bu bulgular, akarsudaki azot kirliliğinin büyük ölçüde evsel ve endüstriyel kaynaklı girdilerden etkilendiğini, tarımsal faaliyetlerin ise nitrat yükü üzerindeki etkisinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada ayrıca çözünmüş oksijen seviyelerinin düşük, KOİ değerlerinin ise yüksek olduğu belirlenmiş ve bu durum akarsu ekosistemindeki oksijen dengesinin olumsuz yönde etkilendiğine işaret etmiştir. İncelenen tüm parametreler birlikte değerlendirildiğinde, Akarçay'ın genel su kalitesinin SKKY sınıflandırmasına göre çoğunlukla III. ve IV. sınıf arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sulama suyu açısından yapılan değerlendirmelerde ise iletkenlik ve potansiyel tuzluluk bakımından bazı risklerin bulunduğu, bu durumun tarımsal üretimde verim kayıplarına neden olabileceği belirtilmiştir. Araştırma sonucunda, havza genelinde modern sulama uygulamalarının yaygınlaştırılması, evsel ve endüstriyel atıkların etkin biçimde arıtılması ile tarımsal gübre ve pestisit kullanımının denetim altına alınmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Bijay-Singh ve Craswell (2021), nitratın en bilinen olumsuz etkilerinden birinin, özellikle 6 aydan küçük bebeklerde görülen Methemoglobinemi (mavi bebek hastalığı) olduğunu belirtmiştir. Bu durum, hemoglobinin oksijen taşıma kapasitesini azaltarak yaşamı tehdit edebilen hipoksiye yol açabilmektedir. Yetişkinlerde ise nitrat maruziyetinin özellikle bağışıklık sistemi ve sindirim sistemi üzerinde çeşitli olumsuz etkiler oluşturabileceği ifade edilmektedir.

Niu ve arkadaşları (2021), bazı epidemiyolojik araştırmaların, içme suyunda uzun süreli yüksek nitrat maruziyetinin özellikle Özofagus kanseri ve Mide kanseri gibi sindirim sistemi kanserleri ile ilişkili olabileceğini ortaya koyduğunu bildirmiştir. Bu ilişkinin, nitratın organizma içerisinde nitrite dönüşmesi ve devamında kanserojen özellik gösterebilen N-nitroso bileşikler oluşumuyla bağlantılı olduğu ifade edilmektedir.

Asoğlu ve arkadaşları (2022), Şanlıurfa kırsalında içme suyu amacıyla kullanılan yeraltı sularındaki nitrat kirliliğini araştırmış ve bu sorunun giderilmesinde iyon değişimi yönteminin etkinliğini değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında, özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak sürdürüldüğü Harran Ovası çevresindeki kuyu sularında, içme suları için belirlenen 50 mg/L nitrat sınır değerinin üzerinde konsantrasyonlar tespit edilmiştir. Araştırmada, kırsal alanlarda kullanım potansiyeli yüksek olan iyon değiştirici

reçinelerden yararlanılarak pilot ölçekli bir kolon sistemi geliştirilmiş ve sistemin performansı test edilmiştir. Yapılan denemelerde, giriş suyundaki 125 mg/L düzeyindeki nitrat konsantrasyonunun yaklaşık 12 mg/L seviyesine kadar düşürülebildiği ve 4,3 günlük işletme süresi boyunca etkili bir arıtım sağlandığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, iyon değişimi temelli sistemin nitrat gideriminde başarılı ve uygulanabilir bir alternatif sunduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, araştırmacılar sistemin ilk kurulum ve işletme maliyetlerinin kırsal bölgelerde uygulanmasını sınırlandırabilecek önemli bir unsur olduğuna dikkat çekmiştir.

Akay Sarıkaya ve arkadaşları (2022), Kırıkkale ilinde faaliyet gösteren ruminant hayvancılık işletmelerinde kullanılan içme sularındaki nitrat, nitrit ve amonyum düzeylerini belirlemek amacıyla bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında, toplam 59 büyükbaş hayvancılık işletmesinden alınan su örnekleri iyon kromatografisi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre nitrat, incelenen tüm örneklerde (%100) tespit edilmiş ve ortalama konsantrasyonu $42,35 \pm 38,87$ ppm olarak belirlenmiştir. Nitrit değerlerinin ise yalnızca 2 örnekte (%3,39) 0,5 ppm sınır değerinin üzerinde olduğu, ortalama nitrit düzeyinin $1,64 \pm 1,61$ ppm olduğu saptanmıştır. Amonyum konsantrasyonları değerlendirildiğinde, 3 örneğin (%5,08) 0,5 ppm sınır değerini aştığı ve bu örneklerde ortalama amonyum düzeyinin $22,86 \pm 12,38$ ppm olduğu belirlenmiştir. Nitrat açısından yapılan değerlendirmede, örneklerin 19'unda (%32,20) insan tüketimi için kabul edilen 50 ppm sınır değerinin aşıldığı, 7 örnekte (%11,86) hayvanlar için önerilen 100 ppm seviyesinin üzerinde sonuçlar elde edildiği ve 5 örnekte (%8,47) ise hayvanlarda kronik toksisite riski oluşturabilecek 125 ppm sınırının aşıldığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar, hayvan sağlığının korunması ve işletmelerde sürdürülebilir üretim verimliliğinin sağlanabilmesi için hayvancılık işletmelerinde kullanılan içme sularının düzenli aralıklarla analiz edilmesi ve su kalitesinin sürekli olarak izlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

İçme suyunda nitrat kaynaklı sağlık risklerinin önlenmesi amacıyla World Health Organization tarafından nitrat için maksimum sınır değer 50 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, içme suyu kaynaklarındaki nitrat konsantrasyonlarının düzenli olarak izlenmesi ve sınır değerlerin aşılmamasının sağlanması, çevresel sürdürülebilirlik ve halk sağlığının korunması açısından kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (WHO, 2022).

Güzel ve Mutlu (2023), tarafından Gümüşsuyu Göleti üzerinde gerçekleştirilen araştırmada, göletin fiziksel ve kimyasal su kalitesinin belirlenmesi amacıyla Nisan 2018–Mart 2019 dönemini kapsayan bir yıllık süreçte dört farklı istasyondan aylık su örneklemeleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-), amonyum (NH_4^+), elektriksel iletkenlik, askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), fosfat, sülfat, klorür, sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi çok sayıda su kalite parametresi analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, Gümüşsuyu Gölet’inin genel su kalitesinin Yüzey Suları Kalitesi Yönetmeliği’ne göre I. sınıf su özelliği taşıdığını göstermiştir. Bununla birlikte fosfat konsantrasyonları açısından II. sınıf su kategorisinde yer aldığı, toplam sertlik bakımından ise “çok sert su” sınıfına girdiği belirlenmiştir. Nitrat ve nitrit değerlerinin düşük seviyelerde seyretmesi, gölette belirgin bir azot kaynaklı kirliliğin henüz oluşmadığını ortaya koymuştur. Buna karşın, göletin çevresel baskı altında olduğu ve bu baskının artması durumunda ekosistem açısından risk oluşturabileceği ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda, mevcut su kalitesinin sulama, evsel kullanım ve sucul ekosistem açısından uygun olduğu; ancak içme suyu olarak kullanılabilmesi için ek mikrobiyolojik analizlerin gerekli olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, su kalitesinin korunması amacıyla düzenli izleme yapılması ve çevresel baskı faktörlerinin kontrol altına alınması gerektiği vurgulanmıştır. Nitrat kirliliği ile ilgili olarak insan ve çevre sağlığı, su kirliliği ve yeraltı sularında nitrat kirliliği üzerine gerçekleştirilen önceki akademik çalışmalar arasında aşağıda özetlenen araştırmalar öne çıkmaktadır.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bingöl ili, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup, genel olarak dağlık ve engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Bu topografik yapı, tarıma elverişli alanların sınırlı olmasına neden olmakta ve bölgede yürütülen tarımsal faaliyetlerin kapsamını ve yoğunluğunu önemli ölçüde etkilemektedir. Sert karasal iklim koşullarının hâkim olduğu il genelinde, tarımsal üretim çoğunlukla yılın belirli dönemlerinde ve sınırlı alanlarda gerçekleştirilmektedir. Bu durum, tarımsal kaynaklı besin elementi yüklerinin yüzey sularına taşınma potansiyelini de görece azaltmaktadır.

Bingöl'ün sanayi açısından gelişmemiş bir yapıya sahip olması, il sınırları içerisinde organize sanayi bölgelerinin bulunmaması ve nüfus yoğunluğunun düşük olması, antropojenik baskıların sınırlı kalmasına yol açmaktadır. Bu sosyo-ekonomik ve çevresel özellikler, yüzeysel tarımsal sularda nitrat başta olmak üzere besin elementi kirliliğinin diğer bölgelere kıyasla daha düşük seviyelerde seyretmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, tarımsal faaliyetlerin yerel ölçekte yoğunlaştığı alanlarda gübre kullanımı ve yüzey akışı gibi etkenler, dönemsel olarak su kalitesi üzerinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle, yüzey sularında nitrat kirliliğinin izlenmesi hem ekosistem sağlığı hem de sürdürülebilir su kaynakları yönetimi açısından önem arz etmektedir.

Toplanan su örnekleri, uygun muhafaza koşulları altında laboratuvara taşınarak analiz edilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında, nitrat düzeyi analiz edilerek yüzey sularındaki kirlilik oranı ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Elde edilen veriler düzenli olarak kayıt altına alınmış, istasyonlar ve mevsimler arasındaki farklılıklar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu analizler sayesinde, Bingöl ilindeki yerüstü tarımsal sularda nitrat kirliliğinin düzeyi, zamansal değişimi ve potansiyel kirlilik eğilimleri ortaya konulmuştur. Bu araştırma, Bingöl iline bağlı Merkez ilçede 4 adet ve Genç, Solhan, Karlıova, Adaklı, Kığı, Yedisu ilçelerinde de 6 adet olmak üzere toplam 10 farklı su numunesi alma noktasından (Tablo 3.1) mevsimsel olarak 3 adet numune alınarak nitrat analizleri

gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda sonbahar döneminde (Ekim) 30, kış döneminde (Ocak) 30, ilkbahar döneminde (Nisan) 30 ve yaz döneminde (Haziran) 30 olmak üzere toplam 120 numune analiz edilmiştir. Elde edilen veriler kayıt altına alınarak nitrat konsantrasyonlarının yanı sıra su sıcaklığı, çözünmüş oksijen ve pH parametrelerinin zamansal değişimleri değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, her örnekleme noktasında gerçekleştirilen ölçümlerin ortalama değerleri esas alınmıştır.

Tablo 3.1. Araştırmanın yürütüleceği numune alma noktaları

1	Horhor Deresi / Adaklı (Şekil 3.1)	6	Çapakçur Deresi / Merkez (Şekil 3.6)
2	Selenk (Peri Suyu) / Kiğı (Şekil 3.2)	7	Murat Nehri / Genç (Şekil 3.7)
3	Ilıpınar Deresi / Karlıova (Şekil 3.3)	8	Gayt Deresi / Merkez (Şekil 3.8)
4	Elmalı Deresi / Yedisu (Şekil 3.4)	9	Çimenli Deresi / Merkez (Şekil 3.9)
5	Masalar Deresi / Solhan (Şekil 3.5)	10	Ekinyolu Deresi / Merkez (Şekil 3.10)

Araştırmada kullanılan başlıca ölçüm ve analiz ekipmanları aşağıda verilmiştir:

- Arazide su numunelerinin alındığı noktalarda oksijen oranı, sıcaklık ve pH ölçümleri yapılacak. pH ölçümleri, su örneklerinin asitlik veya bazlık durumunu belirlemek amacıyla taşınabilir **dijital multimetre (Hach HQ40D)** ile gerçekleştirilmiştir. Kalibre edilmiş taşınabilir veya laboratuvar tipi pH metre cihazları kullanılacak, ölçüm öncesi cihaz kalibrasyonu standart çözeltilerle yapılmıştır.
- Nitrat (NO_3^-) analizleri, **spektrofotometre (NANOCOLOR VIS)** ile yapılacaktır. Bu cihaz, su örneklerinde bulunan nitrat iyonlarının ışık absorpsiyonuna dayalı olarak kantitatif analizine olanak tanır. Spektrofotometrik analiz, doğruluk ve hassasiyet açısından yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir.
- Numuneleri analiz yapılincaya kadar fiziksel ve kimyasal özelliklerini korumak için uygun sıcaklıkta bekletmek için soğutucu **buzdolabı (Icepeak)** kullanılmıştır.

Tüm cihazların bakım, kalibrasyon ve ölçüm prosedürleri, üretici firmaların teknik dokümanlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca analizlerde kullanılan reaktif ve standart çözeltiler, laboratuvar ortamında güvenlik kurallarına riayet edilerek hazırlanmıştır.



Şekil 3.1. Adaklı Horhor Deresi (İlkbahar Dönemi)



Şekil 3.2. Adaklı Horhor Deresi (Sonbahar Dönemi)



Şekil 3.3. Kiğı Selenk Suyu, Peri Suyu (İlkbahar Dönemi)



Şekil 3.4. Kiğı Selenk Suyu, Peri Suyu (Sonbahar Dönemi)



Şekil 3.5. Karlıova Ilıpınar Deresi (Sonbahar Dönemi)



Şekil 3.6. Karlıova Ilıpınar Deresi (Kış Dönemi)



Şekil 3.7. Yedisu Elmalı Deresi (İlkbahar Dönemi 1)



Şekil 3.8. Yedisu Elmalı Deresi (İlkbahar Dönemi 2)



Şekil 3.9. Solhan Masalar Deresi (Sonbahar Dönemi)



Şekil 3.10. Çapakçur Deresi (Yaz Dönemi)



Şekil 3.11. Genç Murat Nehri (Sonbahar Dönemi 1)



Şekil 3.12. Genç Murat Nehri (Sonbahar Dönemi 2)



Şekil 3.13. Gayt Deresi (Yaz Dönemi)



Şekil 3.14. Sancak Çimenli Deresi (Kış Dönemi)



Şekil 3.15. Ekinyolu Deresi (Yaz Dönemi-1)



Şekil 3.16. Ekinyolu Deresi (Yaz Dönemi-2)



Şekil 3.17 Çalışmada su örneklerinin alındığı numune istasyonları

Araştırma kapsamında numune toplama çalışmalarının gerçekleştirildiği tüm istasyonlar, çalışma alanının mekânsal özelliklerini ve örnekleme noktalarının coğrafi dağılımını bütüncül bir şekilde ortaya koymak amacıyla tek bir harita üzerinde gösterilmiştir. Hazırlanan harita, istasyonların birbirlerine göre konumlarını, çalışma alanı içerisindeki dağılım desenlerini ve örnekleme faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bölgelerin genel görünümünü sunarak araştırmanın mekânsal çerçevesinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, örnekleme istasyonlarının konumlarının tek bir haritada bir araya getirilmesi, elde edilen bulguların coğrafi bağlamda değerlendirilmesine ve istasyonlar arasındaki olası mekânsal ilişkilerin yorumlanmasına olanak tanımaktadır.

3.1.1. İl Genel Özellikleri

Bingöl ili, Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda yer almakta olup, coğrafi olarak 39°25' ile 40°30' kuzey enlemleri ve 38°10' ile 41°35' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Anonim, 2021). İl, doğuda Erzurum, batıda Elazığ, güneyde Diyarbakır, güneydoğuda Muş illeri ile çevrilidir. Bingöl, 8.130 km²'lik bir yüzölçümüne sahip olup, ortalama yükseltisi 1.200 m civarındadır. Bingöl'ün yüzey şekilleri büyük ölçüde dağlık olup, il alanının %75'ini dağlar ve yüksek platolar kaplamaktadır. İlin en yüksek noktası, 3.258 m ile Bingöl Dağı'dır (Anonim, 2020).

Bingöl'ün önemli dağları arasında Bingöl Dağı (3.258 m), Arıcak Dağı (2.729 m) ve Yedisu Dağı (2.380 m) yer almaktadır. Ayrıca, ilin önemli vadileri arasında Solhan, Genç ve Karlıova vadileri sayılabilir. Bingöl'ün ovaları ise genellikle sınırlı olup, en bilinen ovaları arasında Karlıova Ovası ve Genç Ovası bulunmaktadır.

Bingöl, biyofiziksel açıdan oldukça çeşitli özelliklere sahip olup, bu durum il sınırlarında farklı tarımsal faaliyetlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. İlin farklı topografik yapısı ve iklim çeşitliliği, farklı agro-ekolojik alt bölgelerin oluşmasına neden olmuştur. Bingöl ili, tarımsal üretim, hayvancılık ve orman ürünleri bakımından önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle il, biyolojik çeşitlilik ve tarım açısından oldukça zengin bir yapıya sahiptir.

3.1.2. Toprak Varlığı ve Bitkisel Üretimde Kullanma Durumu

Bingöl ili toprak varlığı açısından çeşitlilik gösteren bir yapıya sahiptir. Bingöl'de I. sınıf arazilerin toplam alanı 45.321 ha, II. sınıf arazilerin 38.672 ha, III. sınıf arazilerin 25.504 ha, IV. sınıf arazilerin 21.970 ha, V. sınıf arazilerin 2.813 ha, VI. sınıf arazilerin 90.875 ha, VII. sınıf arazilerin 126.743 ha ve VIII. sınıf arazilerin ise 4.557 ha olduğu belirtilmektedir. Bingöl ilinde bu alanların büyük bir kısmında kuru tarım yapılırken, sulama imkanları sınırlı olduğundan sulu tarım yapılan alanlar oldukça dardır. Özellikle I. ve II. sınıf arazilerde buğday, arpa gibi tahıl ürünleri yetiştirilmektedir. Diğer taraftan, daha az verimli olan III. sınıf ve IV. sınıf arazilerde de hayvancılık ve mera kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bingöl ilinde, arazi kullanımının genellikle dağlık ve engebeli alanlarda çayır, otlak ve meralar şeklinde olduğu gözlemlenmektedir.

3.1.3. Su Kaynakları Potansiyeli

Bingöl ili, zengin hidrolojik yapısı ile öne çıkan Doğu Anadolu illerinden biridir. İl sınırları içerisinde yer alan akarsular, göller ve yer altı su kaynakları; ekosistem sürekliliği, tarımsal üretim ve içme-kullanma suyu temini açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

İlin başlıca akarsuyu olan Murat Nehri, Doğu Anadolu Bölgesi'nin önemli akarsu sistemlerinden biri olup, Bingöl sınırları içerisinde geniş bir drenaj ağına sahiptir. Murat Nehri, bölgedeki yerleşim alanlarının su ihtiyacının karşılanmasında ve özellikle tarımsal sulamada kritik bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, Solhan Çayı ve Adaklı Çayı ilin diğer önemli yüzey suyu kaynakları arasında yer almakta olup, yerel ölçekte sulama faaliyetlerine katkı sağlamaktadır.

İlde bulunan göller arasında Gerindal Gölü, Sülüklü Göl, Göltepesi Gölü dikkat çekmekte; ayrıca çeşitli baraj ve göletler hem sulama amaçlı su depolama hem de hidroelektrik enerji üretimi açısından değerlendirilmektedir.

Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre, Bingöl ilinin toplam su potansiyeli yalnızca yüzey suları ile sınırlı olmayıp, yer altı su kaynakları ile de desteklenmektedir. Bu bağlamda, ilin hidrolojik kapasitesi; akarsular, göller ve yer altı sularının bütüncül etkileşimi ile şekillenmektedir. Ancak, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi büyük önem arz etmektedir. Özellikle yer altı su seviyelerinin düzenli izlenmesi, su kullanım verimliliğinin artırılması ve aşırı tüketimin önlenmesi, bölgedeki su varlığının uzun vadede korunabilmesi açısından kritik gereklilikler arasında yer almaktadır.

3.2. Yöntem

Bu araştırma kapsamında Bingöl iline bağlı Merkez ilçede 4 adet (Çapakçur Deresi, Gayt Deresi, Çimenli Deresi, Ekinyolu Deresi) ve Genç, Solhan, Karlıova, Adaklı, Kiğı, Yedisu ilçelerinde de 6 adet (Horhor Deresi / Adaklı, Selenk (Peri Suyu) / Kiğı, Ilıpınar Deresi / Karlıova, Elmalı Deresi / Yedisu, Masalar Deresi / Solhan, Murat Nehri / Genç) olmak üzere toplam 10 farklı su numunesi alma noktasından mevsimsel olarak 3 adet numune alınarak nitrat analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda sonbahar döneminde (Ekim) 30,

kış döneminde (Ocak) 30, ilkbahar döneminde (Nisan) 30 ve yaz döneminde (Haziran) 30 olmak üzere toplam 120 numune analiz edilmiştir. Bingöl'ün hidrolojik yapısı, farklı akarsu havzalarından beslenen çeşitli yüzeysel su sistemlerini içermekte olup, bölgenin iklimsel özellikleri, tarımsal faaliyet yoğunluğu ve topografik çeşitliliği nitrat kirliliğinin mevsimsel dağılımını etkileyebilecek önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle çalışmanın dört mevsimi kapsayacak şekilde tasarlanması, nitrat konsantrasyonlarının yıl içerisindeki doğal ve antropojenik süreçlere bağlı olarak nasıl bir değişim sergilediğinin kapsamlı biçimde ortaya konmasına olanak sağlamıştır.

Araştırma kapsamında örnekleme periyotları yıl boyunca üçer aylık aralıklarla planlanmış olup ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış dönemlerini temsil eden dört ayrı örnekleme döngüsü oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, özellikle yağış rejimindeki değişiklikler, tarım sezonları, yüzey akış miktarı, kar erimesi gibi hidrometeorolojik süreçlerin nitrat dinamiği üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi mümkün kılmıştır. Her örnekleme döneminde toplanacak su numuneleri, mevsimsel faktörlerin nitrat taşınımı ve dönüşümü üzerindeki etkilerini daha doğru bir şekilde yorumlamak için titizlikle analiz edilmiştir.

Yüzey suyu örnekleme noktalarının belirlenmesinde hidrografik havzaların temsiliyeti temel kriter olarak ele alınmıştır. Her bir örnekleme istasyonu, farklı su toplama havzalarını, akarsu kollarını ve hidrodinamik özellikleri yansıtacak şekilde seçilmiş; böylece bölgedeki su kaynaklarının çeşitliliği metodolojik olarak araştırmaya yansıtılmıştır. İstasyon seçiminde yalnızca fiziki coğrafya parametreleri değil, aynı zamanda insan faaliyetlerinin su kalitesine olası etkileri de dikkate alınmıştır. Bu kapsamda örnekleme alanlarının belirlenmesinde:

- Tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu ve gübre kullanım pratikleri,
- Yerleşim alanlarına ve kırsal yerleşimlere olan mesafe,
- Atık deşarj potansiyeli taşıyan noktaların yakınlığı,
- Arazi kullanım türleri (mera, tarım alanı, ormanlık bölge vb.),
- Akış yönü ve suyun kirleticilerle etkileşim olasılığı gibi çevresel ve antropojenik faktörler değerlendirilmiştir.

Bu kapsamlı örnekleme stratejisi sayesinde, nitrat kirliliğinin mekânsal ve zamansal dağılımı bilimsel açıdan güvenilir bir şekilde ortaya konulmuştur. Elde edilen veriler yalnızca mevcut nitrat düzeylerini belirlemekle kalmayacak, aynı zamanda bölgedeki su kaynaklarının mevsimsel duyarlılıklarını, tarımsal faaliyetlerin etkisini ve olası kirlilik kaynaklarını değerlendirmek için önemli bir temel oluşturmuştur.

3.2.1. Örnekleme ve Taşıma Süreci

Su numuneleri, analiz sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla, sterilizasyonu sağlanmış ve analiz koşullarına uygun özellikteki numune kapları kullanıldı. Akarsu ortamlarından numune alınması sırasında, numunenin temin edildiği bölgede hayvansal atıklar, canlı organizmalar veya bitkisel artıkların bulunmamasına özellikle dikkat edilmiştir. Numune alma işlemi, durgun su bölgelerinden kaçınılarak, suyun doğal akışının devam ettiği noktalardan gerçekleştirilmiştir. Numune alımından önce, kullanılacak numune kapları, alınacak su ile üç veya dört kez çalkalanarak kap iç yüzeyinin ortam suyuna uyum sağlaması temin edilmiştir. Meteorolojik koşulların olumsuz olduğu, özellikle yağışlı dönemlerde ve suyun bulanıklık seviyesinin arttığı durumlarda numune alma işlemi yapılmamıştır. Toplanan su numuneleri, analiz sürecine kadar fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin korunabilmesi amacıyla soğuk zincir altında muhafaza edilerek ve yaklaşık 4 °C sıcaklıkta laboratuvara ulaştırılmıştır. Numunelerin laboratuvara ulaştırılana kadar geçen süreçte uygun çevresel koşullarda korunması sağlanmıştır. Analitik verilerin güvenilirliğini artırmak ve olası hataları en aza indirmek amacıyla, her bir su numunesi alma istasyonundan eş zamanlı olarak iki ayrı numune alınmıştır.

3.2.2. Analizler

Bingöl ilinde sulama amacıyla kullanılan yüzey suyu kaynaklarından alınan örneklerde, temel fiziksel (sıcaklık) ve kimyasal (nitrat, pH, oksijen oranı) su kalite parametreleri değerlendirilmiştir. Nitrat (NO_3^-), değerleri laboratuvar ortamında spektrofotometrik yöntemle analiz edilmiştir. Tüm analizler, Tarım İl Müdürlüğü Laboratuvarı'nda ulusal ve uluslararası standartlara (TS266, SKKY, WHO, FAO) uygun şekilde yürütülmüştür.

3.2.2.1. Nitrat (NO_3^-) Analizi (Tüp Test Yöntemi, Tüptest®25 test kiti) ve Analizde Dikkat Edilen hususlar

Bu yöntemde, sulu numunelerdeki nitrat (NO_3^-) konsantrasyonu kantitatif olarak belirlenmiştir. Ölçüm Aralığı: 2 – 111 mg/L NO_3^- ve 0.5 – 25 mg/L NO_3^- -N

Kullanılan Malzemeler: Numune çözeltisi, NO_3^- reaktifi, Tüp test kiti (Tüptest®) (Şekil 3.11), Pipet veya dozaj ekipmanı, Kronometre, Temizleme bezi veya kâğıdı

Deney Prosedürü şu aşamalardan oluşmuştur:

1. Numune Hazırlığı: Analiz edilecek sıvı numuneden 0.7 mL alınarak reaksiyon tüpüne aktarılır (Şekil 3.12).
2. Reaktif İlavesi: Numune üzerine 1 mL NO_3^- reaktifi eklenir (Şekil 3.12).
3. Karıştırma: Tüp kapatılarak homojen bir karışım elde edilinceye kadar dikkatlice çalkalanır.
4. İnkübasyon Süresi: Karışım oda sıcaklığında 10 dakika süreyle bekletilir (Şekil 3.13).
5. Tüp Temizliği: Ölçüm öncesinde tüpün dış yüzeyi, optik hataları önlemek amacıyla temiz bir bezle silinir.
6. Sonuçların Okunması: Oluşan renk değişimi uygun ölçüm cihazı veya karşılaştırma yöntemi ile değerlendirilerek nitrat konsantrasyonu (ppm) belirlenir (Şekil 3.14).



Şekil 3.18. Analizlerde kullanılacak Nitrat Tüptest 25 Kitleri



Şekil 3.19. Analizlerde kullanılacak Nitrat Tüptest 25 Kit Yöntemi



Şekil 3.20. Ayarlanabilir otomatik pipetle su numunesi kabından 0.7 ml suyun alınması



Şekil 3.21. Reaksiyon tüpüne 0.7 ml suyun eklenmesi



Şekil 3.22. Deney tüpüne 0,1 ml Nitrat reaktifinin eklenmesi



Şekil 3.23. Kimyasal işlemlerin bitirilip sonuç okunması için deney tüplerinin 10 dk bekletilmesi



Şekil 3.24. Deney tüplerinin spektrometre cihazında Nitrat ölçümünün yapılması-1



Şekil 3.25. Deney tüplerinin spektrometre cihazında Nitrat ölçümünün yapılması-2

3.2.2.2. pH, Oksijen ve Sıcaklık Değerlerinin Ölçümü

Arazi çalışmaları sırasında, su kalitesinin temel fizikokimyasal parametrelerini belirlemek amacıyla her bir örnekleme noktasında yerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Numunelerin laboratuvar ortamına taşınması sırasında meydana gelebilecek fiziksel ve kimyasal değişimlerin önüne geçmek amacıyla pH, sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerleri örnek alımını takiben anında belirlenmiştir. Ölçümler, saha koşullarına uygun olarak kalibrasyonu yapılmış taşınabilir **dijital multimetre (Hach HQ40D)** ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.26). pH ölçümleri su ortamının asidik veya bazik karakterini değerlendirmek amacıyla yapılırken, sıcaklık ölçümleri sucul sistemlerde biyolojik ve kimyasal süreçleri etkileyen önemli bir çevresel değişken olarak dikkate alınmıştır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonları ise su ortamının oksijenlenme durumu ile biyolojik faaliyetlerin değerlendirilmesinde temel bir gösterge olarak kullanılmıştır. Tüm ölçümler, uluslararası standart yöntemlere uygun şekilde ve örnekleme noktalarındaki mevcut çevresel koşulları temsil edecek biçimde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.26. Numune alma noktasında pH metre ile oksijen değeri, sıcaklık ve pH ölçümünün yapılması

3.2.3. Veri Analizi

Elde edilen sonuçlar MSTAT-C ve JUMP istatistik paket programları ile değerlendirildikten sonra uygulama ve zamanları arasında görülen istatistiki farklılıklar LSD testi ile ortaya konmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

Araştırma, su kalitesine ilişkin parametrelerin mevsimsel değişkenlikten nasıl etkilendiğini ortaya koymak amacıyla kurgulanmış ve analiz süreci sonbahar mevsiminden başlatılmıştır. Mevsimsel temsiliyetin sağlanabilmesi için sonbahar dönemi içerisinde ekim ayı referans zaman dilimi olarak seçilmiştir. Bu tercih, hem meteorolojik koşulların nispeten dengeli seyretmesi hem de yaz dönemi sonrası oluşabilecek değişimlerin izlenebilmesine olanak tanınması açısından önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında, daha önce literatür taraması, ön gözlemler ve saha uygunluk kriterleri doğrultusunda belirlenmiş olan örnekleme noktalarında sistematik numune alımı gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sürecinde veri güvenilirliğini artırmak ve olası ölçüm hatalarını minimize etmek amacıyla her bir noktadan çift numune (duplikat örnek) alınmıştır. Bu yaklaşım, elde edilen verilerin tekrarlanabilirliğini test etme ve istatistiksel analizlerde daha sağlam sonuçlara ulaşma açısından önemli bir metodolojik tercih olarak değerlendirilmiştir.

4.1.1. Yüzey Suyu Analizleri

Saha çalışmaları sırasında, su kalitesinin temel fiziksel ve kimyasal parametrelerinden olan sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen değerleri, numune alım anında ve yerinde ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sahada gerçekleştirilmesi, özellikle çözünmüş oksijen gibi çevresel koşullara hızlı tepki veren parametrelerde zaman kaybından kaynaklanabilecek değişimlerin önüne geçilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Ölçümlerde uygun şekilde kalibre edilmiş taşınabilir cihazlar kullanılmış ve her ölçüm öncesinde cihazların doğruluğu kontrol edilmiştir.

Nitrat (NO_3^-) konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla alınan numuneler ise, analiz öncesinde kimyasal değişime uğramalarını engelleyecek uygun muhafaza koşullarında

saklanmıştır. Numunelerin korunması sürecinde sıcaklık kontrolü sağlanmış ve gerekli durumlarda koruyucu reaktifler kullanılmıştır. Ardından, numuneler laboratuvar ortamına taşınarak standart analiz yöntemlerine uygun biçimde incelenmiştir. Laboratuvar analizlerinde, ilgili ulusal ve uluslararası standartlara (örneğin APHA, ISO vb.) uygun prosedürler izlenmiş, ölçümlerin doğruluğu ve hassasiyeti kalite kontrol uygulamaları ile güvence altına alınmıştır.

Elde edilen tüm ölçüm sonuçları sistematik bir şekilde kayıt altına alınmış ve veri seti oluşturulmuştur. Bu veriler, mevsimsel değişimlerin su kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek, parametreler arasındaki ilişkileri ortaya koymak ve çalışmanın ilerleyen aşamalarında gerçekleştirilecek istatistiksel analizlere temel oluşturmak amacıyla düzenlenmiştir. Böylece araştırmanın metodolojik altyapısı güçlendirilmiş ve elde edilen bulguların bilimsel geçerliliği artırılmıştır.

Elde edilen sonbahar dönemine ait veriler Tablo 4.1’de, kış dönemine ait veriler Tablo 4.2’de, ilkbahar dönemine ait veriler Tablo 4.3.’te ve yaz dönemine ait veriler Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.1. Sonbahar Dönemi Ekim Ayında Yapılan Analiz Sonuçları (Nitrat, ppm, g/ml)

İstasyon Adı	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Sıcaklık	Oksijen Değeri	pH	Numunenin Alındığı Tarih
Çapakçur Deresi	0,1	0,3	0,2	14,9	8,85	7,8	06.10.2025
Ekinyolu Deresi	1,0	2,0	1,5	11,9	9,65	7,6	08.10.2025
Çimenli Deresi	2,0	2,0	2,0	15,1	7,45	7,6	13.10.2025
Gayt Deresi	2,0	3,0	2,5	13,5	9,65	7,7	08.10.2025
Murat Nehri/ Genç	3,0	3,0	3,0	16,0	8,56	7,6	06.10.2025
Masalar Deresi / Solhan	2,0	1,0	1,5	15,4	9,23	7,8	15.10.2025
Ilıpınar Deresi / Karlıova	1,0	2,0	1,5	13,4	8,55	7,7	23.10.2025
Selenk (Peri Suyu) / Kığı	1,0	2,0	1,5	14,7	9,10	7,8	27.10.2025
Horhor Deresi / Adaklı	0,1	0,2	0,15	19,5	6,36	7,8	27.10.2025
Elmalı Deresi / Yedisu	1,0	1,0	1,0	13,4	8,43	7,7	23.10.2025

Tablo 4.2. Kış Dönemi Ocak Ayında Yapılan Analiz Sonuçları (Nitrat, ppm, g/ml)

İstasyon Adı	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Sıcaklık	Oksijen Değeri	pH	Numunenin Alındığı Tarih
Çapakçur Deresi	3,0	2,0	2,5	16,5	7,47	7,8	05.01.2026
Ekinyolu Deresi	3,0	2,0	2,5	11,2	9,49	7,8	07.01.2026
Çimenli Deresi	4,0	3,0	3,5	9,2	8,60	7,6	10.01.2026
Gayt Deresi	4,0	3,0	3,5	10,6	9,43	7,5	07.01.2026
Murat Nehri/ Genç	5,0	5,0	5,0	15,4	7,08	7,6	08.01.2026
Masalar Deresi / Solhan	6,0	6,0	6,0	19,4	9,38	7,6	12.01.2026
Ilıpınar Deresi / Karlıova	4,0	4,0	4,0	11,5	7,90	7,8	14.01.2026
Selenk (Peri Suyu) / Kiğı	2,0	2,0	2,0	11,4	8,81	7,8	22.01.2026
Horhor Deresi / Adaklı	3,0	3,0	3,0	10,9	9,13	7,6	22.01.2026
Elmalı Deresi / Yedisu	4,0	4,0	4,0	10,9	8,29	7,6	14.01.2026

Tablo 4.3. İlkbahar Dönemi Nisan Ayında Yapılan Analiz Sonuçları (Nitrat, ppm, g/ml)

İstasyon Adı	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Sıcaklık	Oksijen Değeri	pH	Numunenin Alındığı Tarih
Çapakçur Deresi	2,0	3,0	2,5	17,0	7,40	7,8	07.04.2026
Ekinyolu Deresi	3,0	3,0	3,0	12,0	9,50	7,8	07.04.2026
Çimenli Deresi	4,0	2,0	3,0	11,3	8,70	7,7	09.04.2026
Gayt Deresi	2,0	2,0	2,0	11,0	9,48	7,6	07.04.2026
Murat Nehri/ Genç	3,0	2,0	2,5	18,0	7,0	7,6	14.04.2026
Masalar Deresi / Solhan	3,0	3,0	3,0	18,0	8,78	7,6	17.04.2026
Ilıpınar Deresi / Karlıova	5,0	5,0	5,0	11,6	8,0	7,8	29.04.2026
Selenk (Peri Suyu) / Kiğı	4,0	1,0	2,5	7,9	8,8	7,8	20.04.2026
Horhor Deresi / Adaklı	5,0	4,0	4,5	7,9	8,5	7,6	20.04.2026
Elmalı Deresi / Yedisu	5,0	5,0	5,0	11,0	8,30	7,5	29.04.2026

Tablo 4.4. Yaz Dönemi Haziran Ayında Yapılan Analiz Sonuçları (Nitrat, ppm, g/ml)

İstasyon Adı	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Sıcaklık	Oksijen Değeri	pH	Numunenin Alındığı Tarih
Çapakçur Deresi	1,0	2,0	1,5	13,6	9,12	7,7	03.06.2026
Ekinyolu Deresi	2,0	2,0	2,0	12,7	8,86	8,0	12.06.2026
Çimenli Deresi	2,0	1,0	1,5	16,5	8,26	7,6	15.06.2026
Gayt Deresi	2,0	2,0	2,0	14,9	7,86	7,8	12.06.2026
Murat Nehri/ Genç	4,0	2,0	3,0	16,3	8,39	7,6	03.06.2026
Masalar Deresi / Solhan	/ 1,0	1,0	1,0	13,2	9,41	7,8	12.06.2026
Ilıpınar Deresi / Karlıova	/ 2,0	2,0	2,0	13,4	8,33	7,7	10.06.2026
Selenk (Peri Suyu) / Kiğı	1,0	1,0	1,0	14,9	8,84	7,9	09.06.2026
Horhor Deresi / Adaklı	/ 1,0	1,0	1,0	12,9	9,04	7,7	09.06.2026
Elmalı Deresi / Yedisu	1,0	2,0	1,5	13,9	8,35	7,8	10.06.2026

4.2. Tartışma

4.1.2. Mevsimsel Karşılaştırma

Bu çalışma kapsamında Bingöl ilindeki akarsulardan elde edilen su örneklerine ait analiz verileri, mevsimsel değişimler temel alınarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış dönemlerine ait ölçüm sonuçları incelenmiş; nitrat konsantrasyonlarında gözlenen değişimler mevsimsel yağış rejimi, tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu ve yüzey suyu–yeraltı suyu etkileşimi çerçevesinde yorumlanmıştır. Mevsimler arası karşılaştırmalar, nitrat konsantrasyonlarında meydana gelen artış ve azalış eğilimlerinin belirlenmesi, bu eğilimlerin olası kaynaklarla ilişkilendirilmesi ve Bingöl iline özgü mevsimsel su kalitesi dinamiklerinin ortaya konulması amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bulgular, Bingöl ilindeki akarsularda nitrat konsantrasyonlarının kış ve ilkbahar dönemlerinde daha yüksek, yaz ve sonbahar dönemlerinde ise daha düşük seviyelerde

olduğunu göstermiştir. Bu durumun, bölgedeki hayvancılık faaliyetlerinin mevsimsel özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kış aylarında olumsuz hava koşulları nedeniyle hayvanların uzun süre kapalı alanlarda barındırılması, hayvansal atık miktarının belirli alanlarda yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Biriken gübrelerin yağışlar ve yüzeysel akış yoluyla toprağa ve su kaynaklarına taşınması, nitrat konsantrasyonlarının artmasına katkı sağlayabilmektedir. Buna karşılık, yaz ve sonbahar dönemlerinde hayvanların meralarda otlatılması nedeniyle hayvansal atıkların daha geniş alanlara yayılması ve su kaynaklarına doğrudan taşınımının azalması, nitrat seviyelerinin daha düşük olmasına neden olmaktadır.

Elde edilen sonuçlar, bölgedeki su kaynaklarının yönetiminde mevsimsel etkilerin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymakta olup, nitrat kirliliği açısından risk taşıyan dönemlerin belirlenmesi ve uygun koruma önlemlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir bilimsel altyapı sunmaktadır.

Farklı mevsimlerde ve farklı istasyonlardan alınan numuneleri nitrat içeriklerinin varyans analizi sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir. Buna göre mevsimler, istasyonlar bunlar arasındaki interaksiyon önemli çıkmıştır. Farklı mevsimlerde alınan örneklerdeki nitrat içeriğinin varyans analizi ve karşılaştırmalar sonucundaki veriler Tablo 4.6'da verilmiştir. Buna göre, iki farklı grup belirlenmiş olup, kış ve ilkbahar verileri yüksek ve aynı grupta yer almıştır. Yaz ve sonbahar verileri ise düşük ve aynı grupta yer almıştır.

Tablo 4.5. Yapılan analizlerin varyans analiz tablosu

Source	N	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Mevsim	3	3	108.07256	179.8399	<.0001*
Istasyon	9	9	34.27519	19.0121	<.0001*
Mevsim*Istasyon	27	27	71.58056	13.2350	<.0001*

Tablo 4.6. Mevsimlere göre nitrat analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Mevsim	Least Squares Mean
Kış	A
İlkbahar	A
Yaz	B
Sonbahar	B

4.1.3. Mekânsal Karşılaştırma

Su numune alma istasyonlarının mekânsal dağılımı ve çevresel özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, Karlıova (Ilıpınar), Yedisu (Elmalı), Kiğı (Selenk), Adaklı (Horhor) ve Solhan (Masalar) derelerinin Bingöl ilinin kuzey kesiminde yer aldığı görülmektedir. Bu bölgeler, genel olarak dağlık ve engebeli topoğrafik özelliklere sahip olup yerleşime elverişli alanların sınırlı olması nedeniyle nüfus yoğunluğu düşüktür. Söz konusu ilçelerde temel geçim kaynaklarından biri hayvancılık olmakla birlikte, seyrek nüfus ve engebeli arazi koşulları nedeniyle hayvancılık faaliyetlerinin yoğunluğu da sınırlı düzeydedir. Buna bağlı olarak, insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirletici baskının görece düşük olduğu değerlendirilmektedir.

Bingöl ilinin kuzey kesiminde engebeli ve dağlık alanlar geniş bir yer kaplamakta, tarım arazileri ise oldukça sınırlı bir alan oluşturmaktadır. Ayrıca, bölgedeki iklim koşullarının tarımsal faaliyetler açısından elverişsiz olması, tarımsal üretimin düşük düzeyde gerçekleşmesine neden olmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin ve yoğun hayvancılığın sınırlı olması, özellikle azotlu gübre kullanımı ve hayvansal atıklardan kaynaklanabilecek nitrat girdilerinin düşük düzeyde kalmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, söz konusu bölgelerde yüzeysel su kaynaklarının nitrat kaynaklı kirlenme potansiyelinin genel olarak düşük olduğu değerlendirilmektedir. Diğer su numune alma istasyonları incelendiğinde ise Ekinyolu, Gayt, Çimenli ve Çapakçur dereleri ile Murat Nehri'nin Bingöl ilinin daha güney kesimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölgeler, kuzey kesimlere kıyasla daha düz ve yerleşime elverişli topoğrafik özelliklere sahiptir. Bu durum, yerleşim alanlarının ve buna bağlı olarak nüfus yoğunluğunun artmasına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla, evsel ve kentsel faaliyetlerden kaynaklanan kirlenme potansiyelinin bu bölgelerde daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Bunun yanı sıra, topoğrafyanın daha düz ve ulaşılabilir olması, mera kullanımı ile büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık faaliyetlerinin daha yoğun şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Güney kesimlerde tarımsal alanların kuzey bölgelere göre daha geniş yer kaplaması da tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirletici yükün artmasına neden olabilecek önemli bir faktördür. Özellikle gübre kullanımı, hayvansal atıkların kontrolsüz bir şekilde çevreye bırakılması ve yüzeysel akış yoluyla kirleticilerin su kaynaklarına

taşınması, nitrat açısından potansiyel bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, Ekinyolu, Gayt, Çimenli ve Çapakçur dereleri ile Murat Nehri çevresindeki su kaynaklarının, kuzey kesimlerdeki istasyonlara kıyasla tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan kirlilik açısından daha yüksek bir potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, Bingöl ilindeki su numune alma istasyonlarının nitrat kirliliği açısından değerlendirilmesinde topoğrafya, nüfus yoğunluğu, yerleşim alanlarının dağılımı, tarımsal faaliyetlerin yaygınlığı ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğunluğu belirleyici faktörler olarak öne çıkmaktadır. Kuzey kesimlerdeki dağlık ve engebeli topoğrafya, düşük nüfus yoğunluğu ve sınırlı tarımsal faaliyetler nedeniyle nitrat kirliliği potansiyelinin daha düşük olduğu; güney kesimlerde ise daha elverişli topoğrafik koşullar, yüksek yerleşim yoğunluğu, tarımsal faaliyetler ve hayvancılığın yaygınlığı nedeniyle bu potansiyelin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu bölgelerin düzenli olarak izlenmesi, mevcut su kalitesinin korunması ve gelecekte ortaya çıkabilecek olası kirlilik eğilimlerinin erken dönemde tespit edilmesi açısından önem taşımaktadır.

Farklı istasyonlardan alınan örneklerdeki nitrat içeriğinin varyans analizi sonucundaki karşılaştırmalı veriler Tablo 4.7’de verilmiştir. Buna göre, 5 farklı grup belirlenmiş olup, Murat ve Ilıpınar örnekleri en yüksek grubu (A), Masalar ve Elmalı istasyonları AB grubunu, Gayt ve Çimenli istasyonları BC grubunu, Ekinyolu ve Horhor dereleri CD grubunu, Selenk ve Çapakçur derleri ise D grubunu oluşturmuştur.

Tablo 4.7. İstasyonlara göre nitrat analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Istasyon	Least Squares Mean			
Murat	A			3.3750000
Ilıpınar Deresi	A			3.1250000
Masalar	A	B		2.8750000
Elmalı	A	B		2.8750000
Gayt		B	C	2.5000000
Cimenli		B	C	2.5000000
Ekinyolu			C D	2.2500000
Horhor			C D	2.1625000
Selenk			D	1.7500000
Çapakçur			D	1.6750000

4.1.4. Komşu İllerle Nitrat Değerlerinin Karşılaştırılması

Topal ve Arslan Topal (2015), tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, Elazığ ilinin önemli yerüstü su kaynaklarından biri olan Murat Nehrinin su kalitesinin belirlenmesi amacıyla bazı fizikokimyasal parametreler incelenmiştir. pH değerleri: 8-9 arasında ve nitrat azotu konsantrasyonları: 1,3-1,9 mg/L arasında olmuştur.

Topal ve Arslan Topal (2015), tarafından yapılan çalışmada, Elazığ Caro deresinin bazı fizikokimyasal parametreleri incelenmiştir. pH değerleri 7,9-8,3 arasında, sıcaklık değerleri 14,5-17,8 °C arasında, ve nitrat azotu konsantrasyonları 1,3-2,1 mg/L arasında olmuştur.

Gökçen ve Atasever (2019), tarafından gerçekleştirilen araştırmada Erzurum ilindeki çeşme ve şebeke suları mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından incelenmiştir. Araştırma kapsamında su numunelerinde pH değerlerinin 6,65–8,33 arasında değiştiği ve ortalama pH değerinin 7,31 olduğu belirlenmiştir. Erzurum il ve ilçe merkezlerinden alınan su numunelerinde nitrat değerlerinin 9,60–26,85 mg/L arasında değiştiği ve ortalama nitrat değerinin 17,44 mg/L olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, Erzurum merkezde bulunan toplam 12 halk çeşmesinin 6'sında (%50) nitrat değerlerinin 50,17–145,84 mg/L arasında değiştiği ve ortalama 95,88 mg/L düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada incelenen suların ortalama pH ve nitrat değerleri sırasıyla 7,31 ve 26,39 mg/L olarak belirlenmiştir.

Arslan Topal E. I. (2020), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Tunceli Uzunçayır Barajından mansaplanan yerüstü sularının su kalitesi belirlendi. Analiz sonuçlarına göre pH değerleri 7,92-8,01 arasında değerler aldı. Sıcaklık değerleri 17,2-23,1 °C arasında değişkenlik gösterdi. Nitrat azotu (NO₃⁻-N) konsantrasyonları 0,91-1,26 mg/L arasında tespit edildi ve buna göre su kalite sınıfı Sınıf-1 olarak belirlendi. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) konsantrasyonları ise 17,3-25,1 mg/L arasında değerler aldığı belirlendi.

Kaya ve Şen (2022), tarafından Kabaklı Göleti (Diyarbakır) suyunun su kalitesi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışma gerçekleştirildi. Arazi ölçümlerinde ortalama çözünmüş oksijen değerinin 9,4 mg/L, su sıcaklığının 21,8 °C ve pH değerinin 8,58 olduğu

belirlenmiştir. Laboratuvar analizleri sonucunda ise ortalama NO_3^- değerinin 4,98 mg/L olduğu tespit edilmiştir.

Kutlu ve Çetindağ (2025), tarafından Tunceli ilindeki 18 istasyondan 2021 yılında alınan içme suyu örneklerinde nitrat düzeylerini belirlemek amacıyla çalışma gerçekleştirildi. Nitrat seviyelerinin 0.45–64,38 mg L⁻¹ aralığında değişmiş, bazı kırsal istasyonlarda WHO limitlerinin aşıldığı görülmüştür.

Atabey E. (2026), Muş ili Mercimekkale’de bir çeşmede nitrat derişimi 63 mg/l ölçülmüştür (Muş İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2024).

Bu çalışma kapsamında Bingöl ilinde 10 farklı numune noktasından, her noktadan üçer numune alınmak suretiyle toplam 120 numune üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, sonbahar döneminde (Ekim) nitrat değerleri 0,15–3,0 mg/L, kış döneminde (Ocak) 2,0–6,0 mg/L, ilkbahar döneminde (Nisan) 2,0–5,0 mg/L ve yaz döneminde (Haziran) ise 1,0–3,0 mg/L arasında değişiklik göstermiştir.

Tüm analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, Bingöl ilindeki yüzey sularında belirlenen nitrat konsantrasyonlarının genel olarak çevre illerde tespit edilen değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçların çevre illerdeki benzer çalışmalarla genel olarak uyumlu olduğu ve Bingöl ilindeki yüzey sularının nitrat seviyeleri açısından önemli bir farklılık göstermediği sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Bingöl ilinin farklı bölgelerinde belirlenen 10 örnekleme istasyonundan, sonbahar (Ekim), kış (Ocak), ilkbahar (Nisan) ve yaz (Haziran) olmak üzere yılın dört farklı döneminde çift numune alınmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen veriler kayıt altına alınarak zamansal değişimler değerlendirilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde her örnekleme noktasına ait ölçümlerin ortalama değerleri esas alınmıştır.

Ortalama nitrat konsantrasyonları incelendiğinde, en düşük değerin Adaklı ilçesinde bulunan Horhor Deresi'nde 0,15 mg/L, en yüksek değerin ise Solhan ilçesinde bulunan Masalar Deresi'nde 6,0 mg/L olduğu belirlenmiştir. Nitrat kirliliğine ilişkin yürürlükteki mevzuata göre, nitrat konsantrasyonunun TS 266 standardında belirtilen 50 mg/L sınır değerini aşması durumunda su kütlesi kirli olarak değerlendirilmekte ve hassas bölge kapsamında ele alınmaktadır. Bu çalışmada analiz edilen tüm örneklerde nitrat konsantrasyonlarının 50 mg/L sınır değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, incelenen akarsuların nitrat kirliliği açısından genel olarak temiz su karakteristiği gösterdiği ve önemli bir nitrat kirliliği baskısı altında olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Mevsimsel değişimler incelendiğinde, nitrat kirliliğinin kış ve ilkbahar dönemlerinde arttığı, yaz ve sonbahar dönemlerinde ise azaldığı belirlenmiştir. Bu durumun temel nedeninin, kış aylarında olumsuz iklim koşulları nedeniyle hayvancılık faaliyetlerinin kapalı alanlarda yürütülmesi ve bu süreçte oluşan hayvansal atıkların toprak ve yüzey sularına daha yoğun şekilde karışması olduğu düşünülmektedir. Yaz ve sonbahar dönemlerinde ise hayvanların meralarda otlatılması sonucunda hayvansal gübre daha geniş alanlara yayılmakta, böylece yüzey sularına ulaşan kirletici yük azalmakta ve nitrat kirliliği daha düşük seviyelerde seyretmektedir.

5.2. Öneriler

Bingöl ilindeki akarsularda mevcut nitrat seviyeleri mevzuat sınır değerlerinin altında olmasına rağmen, gelecekte oluşabilecek kirlilik risklerinin önlenmesi amacıyla koruyucu ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda öncelikle il genelinde nitrat kirliliğinin düzenli olarak takip edilebilmesi için kapsamlı bir nitrat izleme ağı oluşturulmalıdır. Oluşturulacak izleme ağı sayesinde akarsuların farklı noktalarındaki nitrat konsantrasyonları belirli aralıklarla ölçülerek zamansal ve mekânsal değişimler takip edilebilir. Böylece olası kirlilik kaynakları erken dönemde tespit edilerek gerekli önlemlerin alınması mümkün olacaktır.

Nitrat kirliliği açısından risk taşıyan bölgelerin belirlenmesi ve bu alanların sürekli izlenmesi gerekmektedir. Özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yürütüldüğü alanlar, hayvancılık işletmelerinin bulunduğu bölgeler ve yerleşim alanlarına yakın akarsu kesimleri öncelikli izleme noktaları olarak değerlendirilmelidir. Düzenli izleme çalışmaları sayesinde nitrat konsantrasyonlarında meydana gelebilecek artışlar erken dönemde belirlenebilecek ve kirliliğin yayılması engellenebilecektir.

Nitrat kirliliğinin kontrol altına alınabilmesi için ilgili kurumlar tarafından düzenli denetim faaliyetleri yürütülmelidir. Tarımsal alanlarda kullanılan kimyasal ve organik gübrelerin miktarı, uygulama zamanı ve uygulama yöntemleri bilimsel esaslara göre belirlenmelidir. Bilinçsiz ve aşırı gübre kullanımının önüne geçilmesi amacıyla çiftçilere eğitimler verilerek iyi tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması sağlanmalıdır. Gübreleme işlemlerinin bitkinin ihtiyaç duyduğu miktarlarda yapılması, fazla nitratın yağışlar ve yüzeysel akış yoluyla akarsulara taşınmasını önemli ölçüde azaltacaktır.

Hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan nitrat kirliliğinin azaltılması amacıyla işletmelerde uygun kapasiteye sahip hayvansal gübre depolama sistemleri kurulmalıdır. Hayvansal atıkların açık alanlarda kontrolsüz şekilde biriktirilmesi, yağışlarla birlikte azotlu bileşiklerin yüzey ve yeraltı sularına taşınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle gübrelerin sızdırmaz özellikteki depolama alanlarında muhafaza edilmesi ve çevreye zarar vermeyecek yöntemlerle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hayvansal gbrelerin tarım alanlarına uygulanması da kontroll bir Őekilde gerĖekleŐtirilmelidir. Gbre uygulamaları, toprağın fiziksel ve kimyasal zellikleri ile bitkilerin besin ihtiyacı dikkate alınarak planlanmalıdır. zellikle yoğun yağış beklenen dnemlerde gbre uygulamalarından kaĖınılmalı, gbrelerin yzey akışı yoluyla akarsulara taşınmasının nne geĖilmelidir. Ayrıca hayvansal atıkların doğrudan dere, ćay ve diğerk yzey suyu kaynaklarına bırakılması kesinlikle engellenmelidir. Bu tr uygulamalar su kalitesinin bozulmasına, ekosistem sağığının olumsuz etkilenmesine ve uzun vadede nitrat kirliliğinin artmasına neden olmaktadır.

Akarsu koruma aćısından dikkat edilmesi gereken bir diğerk husus ise hayvancılık iŐletmelerinin konumlandırılmasıdır. Yeni kurulacak iŐletmelerin akarsu yataklarına, dere kenarlarına ve taşkın alanlarına yakın blgelerde inŐa edilmemesi gerekmektedir. Mevcut iŐletmelerde ise akarsu ile iŐletme arasında koruyucu tampon blgeler oluŐturulmalıdır. Bitkisel tampon kuŐaklar, yzeyssel akışla taşınan besin maddelerinin tutulmasına katkı sağılayarak nitratın akarsulara ulaŐmasını nemli lćde azaltabilmektedir.

Sonuç olarak, Bingl ilindeki akarsuların nitrat kirliliğinden korunabilmesi ićin dzenli izleme programlarının uygulanması, tarımsal gbre kullanımının kontrol altına alınması, hayvansal atık ynetiminin iyileŐtirilmesi ve akarsu koruma alanlarının oluŐturulması gerekmektedir. Bu nlemlerin etkin bir Őekilde uygulanması, hem su kaynaklarının srdrlebilir kullanımına katkı sağılayacak hem de blgedeki su ekosistemlerinin gelecekte karŐılaŐabileceğı kirlilik baskılarının nlenmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

Ağca, N., Doğan, K. ve Karanlık, S. (2018). Amik Ovasındaki yüzey sularında amonyum, nitrat, fosfor ve ağır metal kirliliğinin belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(2), 197–203.

Anonim. (2020). *Bingöl İli Dağlar ve Yükseklik Verileri*. Bingöl İl Çevre ve Orman Müdürlüğü. <https://bingol.tarimorman.gov.tr/>

Anonim. (2021). *Bingöl İli Coğrafi ve Biyofiziksel Özellikleri*. Bingöl İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. <https://www.bingol.ktb.gov.tr/>

Arslan Topal, E. I. (2020). Tunceli Uzunçayır Barajı Mansap Tarafında Su Kalitesinin Araştırılması ve İzlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 596-605.

Asoğlu, M., Cuci, Y. ve Dilekoğlu, M. F. (2022). Şanlıurfa ili kırsalında içme suyu kaynaklarındaki nitrat kirlenmesinin iyon değişimi metodu ile arıtılabilirliğinin araştırılması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(17), 420–430.

Atabey, E. (2026), Muş İçme Suyu ve Tarımı Diyadin Altın Madeni İşletmesiyle Risk Altında

Azak, N. (2019). *Bingöl ili Göynük Suyunun Kalitesinin Belirlenmesi ve Yonca Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi.

Benzer, R. (2018). Yeraltısuyu ve yüzey sularının nitrat kirliliği tahmini: Kütahya örneği. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 279–287.

Bijay-Singh and Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: An increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences*, 3(4), 518.

Chen, J., Wu, H. and Qian, H. (2016). Groundwater nitrate contamination and associated health risk for the rural communities in an agricultural area of Ningxia, Northwest China. *Exposure and Health*, 349–359.

Çiçek, N. L. ve Ertan, Ö. O. (2012). Köprüçay Nehri (Antalya)'nın fiziko-kimyasal özelliklerine göre su kalitesinin belirlenmesi. *Ekoloji*, 21(84), 54–65.

Demirci, A. (2019). *Işıklı-Gökgöl (Denizli-Çivril) sulak alanları ve civarındaki yüzey ve yeraltı sularında klorür, nitrat ve nitrit kirliliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demirci, Y. ve Tufaner, F. (2019). Adıyaman’da su kaynaklarının durumu, su kalitesi ve su kirliliği hedeflerinin belirlenmesi. *1. Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi*, Cilt 2, 259–264.

Demirkıran, A. R. ve Çelik, Ş. (2021). Ceyhan Havzasındaki suların bazı özelliklerinin faktör analizi ile incelenmesi. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 8(3), 567–575.

DSİ. (1972). *Harran Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu*. DSİ Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, S. 49

DSİ. (2003). *Harran Ovasında Tuzluluk ve Drenaj Problemi*. Özet Rapor, DSİ XV. Bölge Müdürlüğü, Şanlıurfa, 10 s.

Freeze, R. A. and Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 604 pp., U.S.A.

Gemici, B. T., Yücedağ, C., Karakoç, E. ve Algur, D. (2015). Kuyu suyunda bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi: Bartın örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 18–23.

Gökçen H, Atasever M: Erzurum Bölgesindeki İçme Sularının Kalitesinin Belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg.*, 14(2): 159-169, 2019. DOI: 10.17094/ataunivbd.482765

Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. (1994). Su kirliliği. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, 12(1), 1–11.

Gümüş, N. E. (2021). Akarçay Akarsuyu (Afyonkarahisar) su kalitesi ve ağır metal kirliliği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(1), 120–127.

Güzel, A. E. ve Mutlu, E. (2023). Su kalitesi ve kirliliğinin iyonik bileşen içeriği tespiti ile değerlendirilmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 8(4), 707–713.

Hill, A. R. (1996). Nitrate removal in stream riparian zones. *Journal of Environmental Quality*, 25, 743–755.

Howden, N. J., Burt, T. P., Worrall, F., Mathias, S. and Whelan, M. J. (2011). Nitrate pollution in intensively farmed regions: What are the prospects for sustaining high-quality groundwater? *Water Resources Research*, 47(6).

Kabaklı Göleti, Su kalitesi, Diyarbakır-Türkiye, Kabaklı Göleti, Su kalitesi, Diyarbakır-Türkiye, Kabaklı Pond, Water Quality, Diyarbakır-Turkey (*Ahi Evran Üni. Z.F. Dergisi*, 2022).

Kaplan, M., Sönmez, S. ve Tokmak, S. (1999). Antalya-Kumluca yöresi kuyu sularının nitrat içerikleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(3), 1–9.

Kara, C. ve Çömlekçioğlu, U. (2004). Karaçay (Kahramanmaraş)’ın kirliliğinin biyolojik ve fiziko-kimyasal parametrelerle incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 1–7.

Kutlu, B. ve Çetindağ S. (2025). The Health Effects of Fluoride and Nitrate in Drinking Water in Tunceli (Türkiye). <https://dergipark.org.tr/tr/pub/memba>

Topal, M., ve Arslan Topal E. I. (2015). / *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 4(1), 43-53.

Topal, M., ve Arslan Topal E. I. (2016). / *International Symposium of Water and Wastewater Management* October Malatya, 26-28.

Niu, C., Zhai, T., Zhang, Q., Wang, H. and Xiao, L. (2021). Research advances in the analysis of nitrate pollution sources in a freshwater environment using $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ and $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(22), 11805.

Polat, R., Elçi, A., Şimşek, C. ve Gündüz, O. (2007). İzmir-Nif Dağı çevresindeki yeraltı suyu nitrat kirliliği boyutunun mevsimsel değerlendirilmesi. *7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji*, İzmir, 482–489.

Sağlam, M. T. ve Bellitürk, K. (2003). Su kirliliği ve toprak üzerindeki etkisi. *Alatarım*, 2(1), 46–49.

Sarıkaya, H. A., Yıldırım, E. ve Baydan, E. (2022). Kırıkkale ilinde ruminant işletmelerinden alınan sularda nitrat, nitrit ve amonyum seviyelerinin belirlenmesi. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 5(2), 62–67.

Süenal, S. ve Erşahin, S. (2012). Türkiye’de tarımsal kaynaklı yeraltı suyu nitrat kirliliği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 5(2), 116–118.

Tomar, A. (2009). Toprak ve su kirliliği ve su havzalarının korunması. *TMMOB İzmir Kent Sempozyumu*, 333–345.

Türk Standardları Enstitüsü (TSE). (2005, güncel revizyonları ile). *TS 266: Sular – İnsani Tüketim Amaçlı Sular*. Ankara: TSE.

World Health Organization (WHO). (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda*. Geneva: WHO.

Xue, Y., Song, J., Zhang, Y., Kong, F., Wen, M. and Zhang, G. (2016). Nitrate pollution and preliminary source identification of surface water in a semi-arid river basin, using isotopic and hydrochemical approaches. *Water*, 8(8), 328.

Yetiş, R., Atasoy, A. D., Yetiş, A. D. ve Yeşilnacar, M. İ. (2018). Balıklıgöl havzası su kaynaklarının nitrat ve nitrit seviyelerinin belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1), 47–54.

Yüce, A. M., Özel, İ. ve Aktaş, M. (2017). Tarımsal kaynaklı nitrat kirliliğine karşı suların korunması: Kocaeli örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(1), 49–58.