



**GÖLETLERDE SU KALİTESİ VE İYİLEŞTİRME;
BEYTEPE GÖLETİ ÖRNEĞİ**

Fatma ÖZKAY

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fatma ÖZKAY

20/12/2024

GÖLETLERDE SU KALİTESİ VE İYİLEŞTİRME;
BEYTEPE GÖLETİ ÖRNEĞİ

(Doktora Tezi)

Fatma ÖZKAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2024

ÖZET

Yaşamın temel kaynağı suyun miktarının yanında kalitesi de sürdürülebilir yaşam için hayati önemdedir. Yağışlı dönemlerde suyun depolanmasında kullanılan yöntemlerden biri olan göletler, suyun kalitesinde bazı değişikliklere neden olabilmektedir. Bu değişiklikler kimi zaman göletin depolama alanında meydana gelen bazı değişikliklerden kimi zamanda gölet besleme havzasındaki değişikliklerden kaynaklanabilmektedir. Göletlerdeki suyun kalitesi sadece çevre ve canlı sağlığı açısından değil aynı zamanda göletten beklenen faydanın sağlanması açısından da önemlidir. Yapılan bu çalışmada, Türkiye Milli Botanik Bahçesi Müdürlüğü sorumluluğunda bulunan Beytepe Göletinin su kalitesinin iyileştirilmesi için kullanılabilecek farklı iyileştirme yöntemleri incelenmiştir. Çalışma ile Göleti besleyen ve kirleten unsurlar belirlenerek aylık olarak alınan örneklerde sıcaklık, pH, göl derinliği, iletkenlik, çözülmüş oksijen, organik madde, kimyasal oksijen ihtiyacı, nitrit, nitrat, amonyum, klorofil-a ve *fekal koliform*, *Escherichia coli* (E. coli) ve toplam koliform bakteri sayısı belirlenmiştir. Ayrıca toplam katyon ve anyon, SAR (Sodyum adsorbsiyon oranı) ve sulama suyu açısından kritik olan ağır metal (Cr, Cd, Co, Pb, Ni, Fe, Cu, Zn, Mn) konsantrasyonları da incelenmiştir. Ayrıca, izleme çalışmalarının yanı sıra laboratuvar şartlarında ilkbahar ve sonbahar aylarında göletten alınan kompozit numunelerde su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak farklı malzeme (hidrojen peroksit ve aktif karbon) ve dozlarda uygulamanın yanı sıra farklı havalandırma (kesikli ve sürekli) sistemleri de kullanılarak toplamda 13 farklı uygulama incelenmiştir. En iyi sonuçlar hidrojen peroksit uygulamasının 6 mg/l dozunda elde edilmiştir. Giderim verimleri KOİ %95,44; ÇO %100 ve klorofil-a %90 olarak gerçekleşmiştir.

Bilim Kodu : 90330
Anahtar Kelimeler : Su kalitesi, iyileştirme, aktif karbon, hidrojen peroksit.
Sayfa Adedi : 92
Danışman : Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL
İkinci Danışman : Doç. Dr. İsmail TAŞ

WATER QUALITY AND IMPROVEMENT IN PONDS;

BEYTEPE POND CASE STUDY

(Ph. D. Thesis)

Fatma ÖZKAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2024

ABSTRACT

The quality of water, which is the basic source of life, is as important as its quantity for sustainable life. Ponds, which are one of the methods used to store water during rainy periods, can cause some changes in the quality of water. These changes sometimes occur due to some changes in the storage area of the pond, and sometimes due to changes in the pond feeding basin. The quality of water in ponds is important not only for the environment and living beings but also for the expected benefit from the pond. In this study, different improvement methods that can be used to improve the water quality of Beytepe Pond, which is under the responsibility of Directorate of National Botanical Garden of Türkiye, were researched. With this study, the elements that feed and pollute the pond were determined and the temperature, pH, lake depth, conductivity, dissolved oxygen, organic matter, chemical oxygen demand, nitrite, nitrate, ammonium, chlorophyll-a and *fecal coliform*, *Escherichia coli* (E. coli) and total coliform bacteria counts were determined in the monthly samples. In addition, total cation and anion, SAR (Sodium adsorption ratio) and critical heavy metal concentrations (Cr, Cd, Co, Pb, Ni, Fe, Cu, Zn, Mn) in terms of irrigation water were also investigated. In addition to monitoring studies, in order to improve water quality in composite samples taken from the pond in spring and autumn months under laboratory conditions, different materials (hydrogen peroxide and activated carbon) and doses were used as well as different aeration (intermittent and continuous) systems, and a total of 13 different applications were investigated. The best results were obtained at a dose of 6 mg/l of hydrogen peroxide application. Removal efficiencies were 95.44% for COD, 100% for DO and 90% for chlorophyll-a.

Science Code : 90330

Key Words : Water quality, improvement, activated carbon, hydrogen peroxide

Page Number : 92

Supervisor : Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. İsmail TAŞ

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, tez konusunun belirlenmesi de dâhil olmak üzere tüm aşamalarda destekleri ile yanımda olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL'a II. danışman hocam Sayın Doç. Dr. İsmail TAŞ'a tez çalışmam esnasında tüm laboratuvar imkânlarını sunan bilimsel ve sosyal anlamda desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Gülçin AKCA'ya, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Tez İzleme Komitesinde bulunan Sayın Prof. Dr. Beril SALMAN AKIN ve Sayın Prof. Dr. Aydın AKBULUT'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Su örneklerinin alınmasında, denemenin kurulmasında laboratuvar çalışmalarında yardımda bulunan İnşaat Mühendisi Betül İBA ÇAKIR'a, Biyolog Tülay PEKMEZ'e Ziraat Mühendisleri Dr. Tuğba BULUT, Dr. Ceren YENİCİ ve Bekir KUTLU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında eşsiz manevi destekleri için sevgili arkadaşlarım Peyzaj Mimarı Dr. Merve YILDIZ ve Yasemin ÖZŞAHİN'e teşekkür eder saygılarımı sunarım. Tezin okumalarını titizlikle yapan Peyzaj Mimarı Dr. Ece GÖKOK'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasını TAGEM/TSKAD/A/22/A9/P3/5562 nolu proje ile destekleyen Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü'ne, çalışmanın yürütüldüğü Türkiye Milli Botanik Bahçesi Müdürlüğü'ne, su örneklerinin analizlerinin yapılmasında kurum imkânlarını sunan Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü yönetimine teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Doktora öğrenimim süresince büyük desteğini gördüğüm değerli arkadaşım Hakan ÖZKANDAN'a sonsuz hoşgörüsü için teşekkür ederim. Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi her şekilde desteklerini hissettiğim biricik aileme sonsuz şükranlarımı sunarım. Bu tez çalışmasını kızının yüksek tahsilli bir Cumhuriyet kadını olması için tüm imkânlarını seferber eden ama maalesef göremeden ebediyete yolculuk eden sevgili BABAM Salih ÖZKAY'a ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1. Materyal	15
3.2. Metot	19
3.2.1. Analiz yöntemleri	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. İzleme Çalışmaları	21
4.1.1. Elektriksel iletkenlik	22
4.1.2. pH	24
4.1.3. Çözünmüş oksijen	25
4.1.4. Klorofil-a	27
4.1.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı	29
4.1.6. Karbonat ve bikarbonat	31
4.1.7. Sülfat	33

	Sayfa
4.1.8. Klor	35
4.1.9. Kalsiyum	37
4.1.10. Magnezyum	38
4.1.11. Sodyum	40
4.1.12. Potasyum.....	41
4.1.13. Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)	43
4.1.14. Bor	44
4.1.15. Toplam sertlik	45
4.1.16. Nitrat	47
4.1.17. Nitrit	48
4.1.18. Organik madde	49
4.1.19. Ağır metaller	49
4.1.20. Toplam fosfor	54
4.1.21. Mikrobiyolojik parametreler	55
4.2. İyileştirme Çalışmaları	58
4.2.1. Kimyasal oksijen ihtiyacındaki değişim	58
4.2.2. Çözünmüş oksijen ihtiyacındaki değişim	63
4.2.3. Klorofil-a değerlerindeki değişim	65
4.2.4. pH değerlerindeki değişim	67
4.2.5. EC değerlerindeki değişim	69
4.2.6. Mikrobiyolojik parametrelerdeki değişim.....	70
4.3. Ekonomik Analiz	76
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR.....	83

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ	91
----------------	----

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Örnekleme noktaları	16
Çizelge 3.2. Uzun yıllar ortalama iklim verileri	16
Çizelge 4.1. Beytepe Göleti ağır metal analizleri (2022)	51
Çizelge 4.2. Gölet suyu ağır metal içeriklerinin değerlendirilmesi	53
Çizelge 4.3. Toplam fosfor (mg/l) değerleri	54
Çizelge 4.4. Beytepe Göleti toplam koliform bakteri sayıları	56
Çizelge 4.5. Beytepe Göleti <i>E. Coli</i> bakteri sayıları.....	56
Çizelge 4.6. Uygulamaların 10. günde KOİ içeriğinde meydana getirdiği değişiminin Varyans analiz sonuçları	60
Çizelge 4.7. Uygulamaların 10. günde KOİ içeriğinde meydana getirdiği değişiminin student t testi sonucu oluşan gruplar.....	60
Çizelge 4.8. Uygulamaların 20. günde KOİ içeriğinde meydana getirdiği değişiminin varyans analiz sonuçları	61
Çizelge 4.9. Uygulamaların 20. günde KOİ içeriğinde meydana getirdiği değişiminin student t testi sonucu oluşan gruplar.....	61
Çizelge 4.10. Uygulamaların klorofil-a içeriğinde meydana getirdiği değişiminin varyans analiz sonuçları	67
Çizelge 4.11. Uygulamaların klorofil-a içeriğinde meydana getirdiği değişiminin student t testi sonucu oluşan gruplar.....	67
Çizelge 4.12. Uygulamalar neticesinde toplam bakteri sayılarındaki değişim.....	73
Çizelge 4.13. Uygulamaların toplam bakteri sayısında meydana getirdiği değişiminin varyans analiz sonuçları	75
Çizelge 4.14. Uygulamaların toplam bakteri sayısında meydana getirdiği değişiminin student t testi sonucu oluşan gruplar	75
Çizelge 4.15. Atıksu arıtımında yaklaşık ilk yatırım maliyetleri	78

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Araştırma konuları	18
Şekil 4.1. Elektriksel iletkenlikteki değişim (2021).....	23
Şekil 4.2 Elektriksel iletkenlikteki değişim (2022).....	23
Şekil 4.3. pH değişimi (2021)	24
Şekil 4.4. pH değişimi (2022)	25
Şekil 4.5. Çözünmüş oksijen değerlerindeki değişim (2021)	26
Şekil 4.6. Çözünmüş oksijen değerlerindeki değişim (2022)	27
Şekil 4.7. Klorofil-a değerlerindeki değişim (2021).....	28
Şekil 4.8. Klorofil-a değerlerindeki değişim (2022).....	28
Şekil 4.9. Kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerindeki değişim (2021)	30
Şekil 4.10. Kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerindeki değişim (2022).....	30
Şekil 4.11. Karbonat konsantrasyonundaki değişim (2021)	31
Şekil 4.12. Bikarbonat konsantrasyonundaki değişim (2021)	32
Şekil 4.13. Karbonat konsantrasyonundaki değişim (2022)	32
Şekil 4.14. Bikarbonat konsantrasyonundaki değişim (2022)	33
Şekil 4.15. Sülfat konsantrasyonundaki değişim (2021)	34
Şekil 4.16. Sülfat konsantrasyonundaki değişim (2022)	35
Şekil 4.17. Klor konsantrasyonundaki değişim (2021).....	36
Şekil 4.18. Klor konsantrasyonundaki değişim (2022).....	36
Şekil 4.19. Kalsiyum konsantrasyonundaki değişim (2021)	37
Şekil 4.20. Kalsiyum konsantrasyonundaki değişim (2022)	38
Şekil 4.21. Magnezyum konsantrasyonundaki değişim (2021).....	39
Şekil 4.22. Magnezyum konsantrasyonundaki değişim (2022).....	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4.23. Sodyum konsantrasyonundaki değişim (2021)	40
Şekil 4.24. Sodyum konsantrasyonundaki değişim (2022).....	41
Şekil 4.25. Potasyum konsantrasyonundaki değişim (2021)	42
Şekil 4.26. Potasyum konsantrasyonundaki değişim (2022)	42
Şekil 4.27. Sodyum Absorpsiyon Oranındaki değişim (2021)	43
Şekil 4.28. Sodyum Absorpsiyon Oranındaki değişim (2022)	44
Şekil 4.29. Bor konsantrasyonundaki değişim (2021)	45
Şekil 4.30. Bor konsantrasyonundaki değişim (2022)	45
Şekil 4.31. Toplam Sertlikteki değişim (2021)	46
Şekil 4.32. Toplam Sertlikteki değişim (2022)	46
Şekil 4.33. Nitrat konsantrasyonundaki değişim (2022).....	48
Şekil 4.34. Nitrit konsantrasyonundaki değişim (2022)	48
Şekil 4.35. Organik madde konsantrasyonundaki değişim (2022)	49
Şekil 4.36. Cıva, krom ve kadmiyum değerlerindeki değişim (2022)	51
Şekil 4.37. Nikel ve bakır değerlerindeki değişim (2022)	51
Şekil 4.38. Çinko ve mangan değerlerindeki değişim (2022).....	51
Şekil 4.39. Demir ve alüminyum değerlerindeki değişim (2022).....	52
Şekil 4.40. Kurşun ve kobalt değerlerindeki değişim (2022)	52
Şekil 4.41 Arsenik değerlerindeki değişim (2022)	52
Şekil 4.42. Toplam Fosfor değişimi (2021)	55
Şekil 4.43. Toplam Fosfor değişimi (2022)	55
Şekil 4.44. Toplam koliform bakteri sayısı (2021)	57
Şekil 4.45. Toplam koliform bakteri sayısı (2022)	57
Şekil 4.46. <i>E. Coli</i> sayısı (2021)	57

Şekil	Sayfa
Şekil 4.47. <i>E. Coli</i> sayısı (2022)	57
Şekil 4.48. Sonbahar uygulamaları KOİ değerlerindeki değişim	62
Şekil 4.49. İlkbahar uygulamaları KOİ değerlerindeki değişim	63
Şekil 4.50. Sonbahar uygulamaları ÇO değerlerindeki değişim.....	65
Şekil 4.51. İlkbahar uygulamaları ÇO değerlerindeki değişim.....	66
Şekil 4.52. Sonbahar uygulamaları klorofil-a değerlerindeki değişim	68
Şekil 4.53. İlkbahar uygulamaları klorofil-a değerlerindeki değişim	68
Şekil 4.54. Sonbahar uygulamaları pH değerlerindeki değişim	69
Şekil 4.55. İlkbahar uygulamaları pH değerlerindeki değişim	70
Şekil 4.56. Sonbahar uygulamaları ECdeğerlerindeki değişim	71
Şekil 4.57. İlkbahar uygulamaları EC değerlerindeki değişim	71
Şekil 4.58. Toplam bakteri miktarlarındaki değişim	74
Şekil 4.59. Aktif karbon uygulamalarının mikrobiyal üreme üzerine etkileri	76
Şekil 4.60. Hidrojen peroksit uygulamalarının mikrobiyal üreme üzerine etkileri	77

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Çalışma yapılan göletten görünümeler	15
Resim 3.2. Örnekleme noktaları	16
Resim 4.1. Uygulama çalışmalarından görüntüler.....	59
Resim 4.2. Uygulama esnasında yapılan ölçümler	59
Resim 4.3. Mikrobiyolojik analizler için süzme işlemi	71
Resim 4.4. Mikroorganizma ekim ve inkübasyon işlemleri	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
$^{\circ}\text{C}$	Santigrad
μg	Mikrogram
$^{\circ}\text{K}$	Kelvin
Ca^{++}	Kalsiyum
CaCO_3	Kalsiyum karbonat
CO_3	Karbonat
EC	Elektriksel İletkenlik
g	Gram
H_2O_2	Hidrojen peroksit
ha	Hektar
HCO_3	Bikarbonat
K	Potasyum
l	Litre
m^3	Metreküp
me	Miliekivalan
mg	Miligram
Mg^{++}	Magnezyum
ml	Mililitre
Na_2SO_4	Sodyum sülfat
pH	Hidrojen potansiyeli
ppm	Milyonda bir
SO_4^{-}	Sülfat

Kısaltmalar**Açıklamalar****AK**

Aktif karbon

BOİ

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

ÇO

Çözünmüş oksijen

D

Difüzör

KOİ

Kimyasal Oksijen İhtiyacı

MK

Mekanik karıştırıcı

TMBB

Türkiye Milli Botanik Bahçesi

1. GİRİŞ

Su; mevcut yaşamın devamlılığı için en değerli ve vazgeçilemez doğal kaynaktır. Bütüncül bakış açısıyla en basitten en karmaşık yapıya kadar tüm canlı varlıkların yaşamsal aktivitelerinin devamlılığı yeterli, kaliteli ve ulaşılabilir su ile mümkün olabilmektedir. Teknolojik gelişmeler, artan sanayileşme, kırsal göçün fazlalığı kentsel yerleşimlerde nüfus artışına sebebiyet vermektedir. Nüfusa hizmet eden doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı sınırlanmakta ve çeşitli çevre sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu çevre sorunlarından en önemlilerinden bir tanesi de su kirliliğidir.

Su kaynaklarının yanlış kullanımı, antropojenik kirlilik etkenleri, deşarj limitleri gözetilmeden alıcı ortamlara verilen atıkların doğal kaynakların özümleme kapasitesini aşması gibi çeşitli sebeplerle sağlığa uygun temiz ve içilebilir su kaynakları giderek azalmaktadır. İnsan nüfusu ile doğru orantılı olarak artan su talebine karşılık kullanılabilir su kaynaklarının yetersizliği su kaynaklarının kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi çalışmalarını elzem kılmaktadır.

Endüstriyel faaliyetler, iklim değişikliği, evsel atıksular ve tarımsal faaliyetler su kaynakları üzerinde büyük bir kirlilik baskısı oluşturmaktadır. Göl, gölet ve baraj gibi durgun suların doğal karakteristikleri gereği, su sirkülasyonu oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle durgun sular fiziksel ve kimyasal kirlenmeye oldukça açık alanlar olup, yayılı ve noktasal kirlilik kaynaklarına maruz kalmaktadırlar. Akarsu, göl, gölet gibi tatlı su kaynaklarının hangi amaçla kullanılacağına belirlenebilmesi o kaynağın kalite ve miktarının bilinmesine bağlıdır. Bu nedenle su kaynağının periyodik olarak izlenmesi gerekmektedir. Göl ve göletler gibi durgun suların mikrobiyolojik aktivitesinin belirlenmesi hem sucul ekosistemin devamlılığı hem de halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Durgun suların barındırdığı patojen mikroorganizmaların miktarları ve uzaklaştırılma yöntemlerinin araştırılmasına yönelik bilimsel çalışmalar büyük ivme kazanmıştır.

Türkiye Milli Botanik Bahçesi (TMBB) Müdürlüğü yerleşkesinde yer alan Beytepe Göleti; Tarım ve Orman Bakanlığı ve TMBB tarafından öncelikli olarak sulama amaçlı kullanılmaktadır. Bu fonksiyona ek olarak ekoloji ve peyzaj açısından da değerli bir kaynaktır. Ancak yaşanan küresel iklim değişkenlikleri ve artan kentleşme nedeniyle oluşan

düzensiz yağış rejimleri, Göleti besleyen kaynaklarda yaşanan sorunlar, evsel, endüstriyel ve tarımsal kaynaklı kirleticilerle doğrudan ya da yüzeysel akış yoluyla kirletilmeler neticesinde gölette kalitatif ve kantitatif değişiklikler gözlenmektedir. Göletin giderek sığlaşması dolayısıyla su hacmi azalmakta gölet tabanında biriken malzeme aynı zamanda dipten beslenme ile gölet suyunu kirleten bir özellik arz etmektedir. Gölet tüm tarım kampüsünün sulama suyunu karşılamasının yanı sıra rekreasyon amacıyla da kullanılmaktadır. Halk sağlığı açısından su kalitesinin belirlenmesi ve düzenli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Ayrıca göletin sürdürülebilir kullanımının sağlanması açısından da gölette bulunan suyun kalitesinin belirlenmesi göleti besleyen ve kirleten kaynakların tespiti ve su kalitesi iyileştirme yönteminin tayin edilmesi de önem arz etmektedir.

Ankara kenti ekolojik sisteminin korunmasına katkısından dolayı Beytepe Göletinin varlığı ve sürdürülebilirliği önem teşkil etmektedir. Gölet suyu, ABD tuzluluk laboratuvarı tuzluluk sınıflamasına (USSL, 1954) göre III. Sınıf su kategorisindedir. Klorofil-a değeri açısından ötrifiye olmuş durumdadır. Bu doktora tez çalışması ile Göleti besleyen ve kirleten unsurlar belirlenerek aylık olarak alınan örneklerde pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, organik madde, kimyasal oksijen ihtiyacı, nitrit, nitrat, klorofil-a ve *fekal koliform*, *Escherichia coli* (E. coli) ve toplam koliform bakteri sayısı belirlenmiştir. Ayrıca toplam katyon ve anyon analizleri yapılmış ve SAR (Sodyum adsorbsiyon oranı) değerleri de hesaplanmıştır. Sulama suyu açısından kritik olan ağır metal (Cr, Cd, Co, Pb, Ni, Fe, Cu, Zn, Mn) analiz sonuçları ise Devlet Su İşleri 5. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

İzleme çalışmasına paralel olarak, gölet su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak ayrıca bir çalışma daha yürütülmüştür. Bu çalışmada da laboratuvar ortamında hidrojen peroksit (H_2O_2) ve aktif karbon ile farklı iyileştirme yöntemleri (mekanik karıştırma, difüzörle havalandırma) kullanılarak kontrollü koşullarda gölet suyunun kalitesinin iyileştirilmesi araştırılmıştır. Çalışma sonbahar ve ilkbahar olmak üzere iki farklı mevsimde tekrarlanmıştır. Her iki mevsimde de yapılan uygulamaların etkisi ile kimyasal oksijen ihtiyacı, klorofil-a, çözünmüş oksijen değerlerinde iyileşmeler belirlenmiştir. Gölet suyunda bulunan zararlı mikroorganizma sayısında da gerileme sağlanmıştır. Yapılan uygulamaların gölet su kalitesinde önemli oranda iyileştirmeler sağlayacağı gözlemlenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yaşam standartlarının yükselmesine bağlı olarak Yerkürenin önlenemeyen nüfus artışını besleyen sanayi ve endüstri atıklarının sınırlı tatlı su kaynaklarını doğrudan veya dolaylı olarak kirletmesi sebebiyle içilebilir ve kullanılabilir su miktarında azalmalar ve su kalitesinde bozulmalar görülmektedir (M. Akın ve G. Akın, 2007).

2050 yılında nüfusu 9,1 milyara ulaşacak olan dünyanın küresel gıda talebini karşılamak için tarımsal üretimde %70'lik bir büyüme gerekmektedir. Tarımsal üretim için sulama suyu kalitesinin sürdürülebilirliği hayati önem taşımaktadır (Keating, Herrero, Carberry, Gardner, Cole, 2014). Tarımsal kullanımda su kalitesini incelemek için kullanılan temel kriterler, tuzluluk, sodyum ve alkalinite ile ilgili tehditleri tahmin etmek için EC, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve artık sodyum karbonatlarıdır (RSC) (Zaman, Shahid, Heng, 2018).

Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan gübre atıkları, pestisitler, tuzluluk, sanayi kaynaklı petrol ve türevleri, evsel orijinli organik maddeler, deterjanlar, bakteri ve virüsler gibi hastalık yapıcı canlılar sularda kirletici etki yapan unsurlar arasında yer almaktadırlar (Wang ve diğerleri, 2014).

Sucul ekosistemin devamlılığı içerisinde barındırdığı türlerin bileşimine, verimliliğine, bolluk durumlarına ve sucul türlerin fizyolojik özelliklerine bağlıdır. Bu devamlılık iyi su kalitesi varlığında mümkün olmaktadır. Göller ve göletler alıcı ortam özelliği göstermeleri ve su akışının süreklilik arz etmemesi nedeniyle çevre kirliliğinden birinci derecede etkilenirler. Bu kirlenme sadece su içinde yaşayan canlıları olumsuz etkilemekle kalmaz insan sağlığını da tehdit edebilir (Yılmaz, 2004).

Göllerde mevsimsel değişkenlikler, yüzeysel akış veya kirletici deşarjları ile sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen gibi su kalite parametrelerinde değişiklikler gözlenebilmektedir. Bu parametrelerdeki değişimler tür sayısında azalma veya artışlara sebep olur. Mesela kış ve ilkbahar mevsiminde su içerisinde nitrat, fosfor ve silikat iyonlarının artışına bağlı olarak diatomların çoğaldığı bilinmektedir. Buna karşılık yaz mevsiminde fosfat ve nitrat azaldığında yeşil alg ve desmidler artar (Tanyolaç, 2009).

Bilindiği gibi atık suların oksijen konsantrasyonları düşüktür. Diğer bir ifadeyle atık suların arıtılmasında tüm arıtma aşamalarında hem biyolojik hem de kimyasal oksijen ihtiyacının karşılanmasına çalışılır. Sulama suyu olarak kullanılacak atık suların oksijen bakımından zenginleştirilmesi bitki gelişimine önemli etkiler sağlamaktadır. Atık suyun sulama suyu olarak kullanıldığı yerlerde atık suyun oksijen konsantrasyonunu artırmaya yönelik olarak imkân varsa hidrojen peroksit uygulamasının yararlı ve yerinde bir uygulama olacağı söylenebilir. Özellikle yüzey ve yüzey altı damla sulama uygulamalarında söz konusu uygulamanın yapılması hem damlatıcıların tıkanmasının önlenmesinde hem de biyofilm oluşumunun önlenmesinde son derece yararlı olacaktır (Taş, Yıldırım, Özkay, Yeter ve Görgüşen, 2016).

Tüm dünyada kaliteli su tanımı sıklıkla renksiz, kokusuz, tatsız ve patojenik mikroorganizmaları barındırmayan su ile eşleşmektedir (Stella ve diğerleri, 2018). Su kaynaklarının verimli şekilde kullanılabilmesi için ilk olarak mevcut suyun miktarının ve kalitesinin bilinmesi gereklidir (Azaza, Ketata, Bouhlila, Gueddari ve Riberio, 2010).

Endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerinin nispeten daha düşük olduğu yakın geçmişte tatlı su kaynaklarının bol ve kolaylıkla temin edilebilir olması nedeniyle su kalitesi ile ilgili sorunlar sıklıkla ihmal edilmiştir. Lakin dünyanın birçok bölgesinde giderek artan çevre sorunları su kaynaklarını olumsuz etkilemiş bunun sonucu olarak da su kalitesiyle ilgili problemler su miktarından daha önemli hale gelmiştir (Shamsad ve Islam 2005, Balachandar, Sundararaj, Rutharvel Murthy, Kumaraswamy, 2010).

Suyun içerisinde *Escherichia coli* (E. coli) bakterisinin bulunması suyun fekal açıdan kirlendiğinin göstergesidir. Bu bakteriler dezenfeksiyona karşı dirençli olup farklı çevresel koşullarda uzun süre hayatlarını idame edebilirler. *E. coli* 100 ml sudaki koloni sayısı olarak ifade edilir (Gatta ve diğerleri, 2016).

Rekreatif amaçlı kullanılan Eskişehir-Sarısu-Mamuca Göleti'nin mevcut besin seviyesinin belirlenmesi amacı ile altı ay boyunca klorofil-a, fitoplankton sayısı ve kompozisyonu, zooplankton bolluğu gibi bazı su kalite parametreleri incelenmiştir. Gölet mezoötrofik-ötrofik özellik göstermektedir. Araştırma süresince *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae*, *Chrysophyceae*, *Cryptophyceae*, *Cyanophyceae* ve *Dinophyceae* sınıflarından toplam 31 fitoplankton türü teşhis edilmiştir. Fitoplankton sayısı $495 \cdot 10^3$ hücre/l ile $12\,808 \cdot 10^3$ hücre/l,

klorofil-a konsantrasyonu ise 1,12 ile 13,2 mg/m³ arasında değişmiştir. Gölette zooplankton kompozisyonu içinde Rotifera baskın olmuştur (Demir ve diğerleri, 2007).

Dereköy Göleti, Zonguldak Kilimli İlçesi Çatalağzı Beldesindeki termik santralin su ihtiyacını karşılamak için inşa edilmiş bir gölettir. Gölet 3,8 m derinliğinde olup 20 ha yüzey alanına sahiptir. Gölet ormanlık arazinin içerisinde yer almaktadır. Mart 2015'te başlayıp 12 ay boyunca üç farklı istasyondan su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde çözünmüş oksijen, tuzluluk, pH, sıcaklık, askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam sertlik, toplam amonyak azotu, nitrit ve nitrat analizleri yapılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri en yüksek 7,36 mg/l ile Haziran 2015'te 3. İstasyonda, en düşük ise Aralık 2016'da 1. İstasyon da 2,04 mg/l olarak ölçülmüştür. Ötrafikasyon sınır değerinin aşılmadığı gözlenmiştir. Ekolojik dengenin devamlılığı için su kalitesinin korunması ve periyodik olarak izlenmesi önem arz etmektedir (Mutlu ve Paruğ, 2018).

Uluabat Gölü'nün mikrobiyal varlığının mevsimsel değişiminin izlenmesi amacıyla 1 yıl süresince göl içerisinde seçilen 5 farklı noktadan su örnekleri alınmıştır. En yüksek toplam koliform bakteri sayısı Haziran ayında $9,6 \times 10^3$ EMS/100 ml, en düşük ise Nisan ayında $1,43 \times 10^2$ EMS/100 ml olarak belirlenmiştir. Çalışma neticesinde artan sıcaklık ve kirlilik yükünün (biyolojik oksijen ihtiyacı) toplam koliform bakteri sayısında artışa sebebiyet verdiği ve gölün mikrobiyal kalitesinin değişiminde büyük rol oynadığı belirlenmiştir (Elmacı ve diğerleri, 2008).

Coğrafi bilgi sistemi yazılımı kullanılarak İran'da bulunan Gorgan akiferindeki yeraltı suyunun hidrojeokimyasal karakterizasyonunu incelemek için 2020 yılında kuru ve yağışlı mevsimlerde 34 kuyudan toplam 68 örnek toplanmıştır. Örneklerde yapılan analizlerde ortalama değerler; pH 7,42, elektriksel iletkenlik 974,56 $\mu\text{S}/\text{cm}$, toplam çözünmüş katılar 584,72 mg/l, kalsiyum 105,56 mg/l, magnezyum 45,97 mg/l, bikarbonat 296,89 mg/l, toplam sertlik 391,11 mg/l, florür 0,33 mg/l, nitrat 9,4 mg/l sülfat 89,82 mg/l, klorür 75 mg/l, sodyum 30,55 mg/l ve potasyum 1,79 mg/l olarak tespit edilmiştir. Sodyum adsorpsiyon oranı, sulama için belirlenen <10 'luk izin verilen limitlerin altında kalarak 1,86 ile 8,66 arasında değişmiştir (Faraji ve Shahryari, 2024).

Kurtboğazı havzasını besleyen Akyar, Kavşakkaya ve Eğrekkaya alt havzalarındaki su kalitesinin belirlenmesi ve her bir alt havzanın ana havza üzerindeki etkilerinin ortaya

konması amacıyla yapılan bir çalışmada 12 ay süresince her ay su numuneleri alınarak analizler yapılmıştır. Değerlendirmeler su kalitesi açısından Eğrekkaya alt havzasının Kurtboğazi havzasına önemli ölçüde yük taşıdığını ortaya koymuştur. Bu yükler; BOİ amonyum, toplam fosfor, magnezyum, sodyum, karbonat, klorür, sülfat, bor ve arseniktir ve sırasıyla %47, %45, %54, %61, %51, %79, %49, %63, %38, %49 olarak bulunmuştur. Buna karşılık, genel olarak havzada ciddi bir su kalitesi sorunu bulunmamaktadır (Çalışkan 2018). Bu durum, su kalitesinin, havza içerisindeki farklı alt havzaların taşıdığı yüklerle ilişkilendirilen bir değerlendirme sürecine tabi tutulmasının, havza yönetiminde önemli bir rol oynayacağını göstermektedir. Bu tür analizlerin, su kaynaklarının korunması ve yönetimi için stratejik kararlar almak adına yararlı olacağı söylenebilir.

Beytepe Göleti su kalite parametrelerinin saptanması amacıyla bir yıllık mevsimsel (Temmuz 1998- Mayıs 1999 tarihleri arasında) bir izleme çalışması yapılmıştır. Göletten ve göleti besleyen Maslak Deresi'nin gölete girdiği yerden numuneler alınmıştır. Çözünmüş oksijenin en yüksek değeri 7,7 mg/l ile yaz mevsiminde, ortalama en düşük değeri ise 4,1 mg/l olarak kış mevsiminde saptanmıştır. Gölet suyuna ait en yüksek pH değeri sonbaharda 8,45 olarak belirlenmiştir. Toplam sertlik derecesi sert sular sınıfına girmektedir. Göletin sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH değerleri açısından balık (sazan ve tilapya) yetiştiriciliği için uygun olduğu vurgulanmıştır (Acu, 2000).

Korkmaz (2000) tarafından Beytepe Göleti'ndeki zooplanktonların (*Rotifera*'da *Ascomorpha* sp., *Cladocera*'da *Ceriodaphnia* sp., *Copepoda*'da *Cyclops* sp.) ortalama bollukları ve mevsimsel kompozisyonları araştırılmıştır. En yüksek ortalama bolluk değeri sonbahar mevsiminde *Rotifera*'da *Ascomorpha* sp. için $15,2 \pm 0,42$ adet/l *Cladocera*'da *Ceriodaphnia* sp. için $26,2 \pm 6,83$ adet/l ve *Copepoda* da *Cyclops* sp. için $9,2 \pm 2,03$ adet/l olarak tespit edilmiştir.

Beytepe Göleti'nde (Mayıs, Temmuz, Ağustos 1983 ve Mayıs, Haziran, Temmuz 1984) yakalanan 125 yabancı tip sazan balığının büyümesini incelemek amacıyla yapılan çalışmada göletten su örnekleri de alınmıştır. Su örneklerinde çözünmüş oksijen değeri, pH, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, sertlik, Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- , Cl^- , sülfat değerleri sırasıyla (7,5-8 mg/l; 7,9-8,7; 702,4-608,6 μ hos/cm; %0,01-0,03; 7,0; 22,04 mg/l; 3,65 mg/l, 103,7 mg/l, 110,1 mg/l ve 17,4 mg/l olarak ölçülmüştür. Sıcaklık Mayıs 1984'de 14°C, Ağustos'ta 24°C olarak saptanmıştır (Atalay, 1984).

Beytepe Göleti’nde Serbest Yaşayan Heterotrof *Flagellatların* Sistematığının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma kapsamında Mayıs 2004- Mayıs 2005 tarihleri arasında gölette en yüksek sıcaklık Haziran 2004’te 28 °C, en düşük sıcaklık Şubat 2005’te -3 °C olarak ölçülmüştür. Tuzluluk %0,015 olarak tespit edilmiştir. pH değerleri ise nötr olup mevsimlere bağlı bir fark gözlenmemiştir (Aydın 2005).

Beytepe Göleti su kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla Baykal EM1 etkin mikroorganizması kullanılmıştır. 10 litre hacminde kaplarda kapalı ve açık sistem uygulanarak iyileştirme çalışması yapılmıştır. EM 0,5, 1 ve 2 ml/l olmak üzere 3 doz şeklinde uygulanmıştır. Çalışma mevsimsel değişikliklerin etkisini gözlemlemek amacıyla sonbahar ve ilkbahar mevsiminde olmak üzere iki defa tekrarlanmıştır. Çalışma neticesinde her iki mevsimde de kimyasal oksijen, klorofil-a, çözülmüş oksijen değerlerinde iyileşme sağlanmıştır. Gölet suyunda bulunan zararlı mikroorganizma sayısında da gerileme mevcuttur. Çalışma neticesinde su kalitesinin 0,5 ml/l EM uygulaması ile herhangi bir havalandırma işlemi yapılmadan iyileştirileceği sonucuna varılmıştır (Özkay ve diğerleri, 2022).

Sucul ekosistemlerdeki fosfor yükünün kaynakları arasında evsel ve endüstriyel atıksuların alıcı ortamlara kontrolsüz deşarjı ve tarımsal alanlardan yüzeysel akışla gelen kirleticiler bulunmaktadır. Bu durum fosfor kirliliğinin artmasına ve su kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır (Balkaya, 2003; Zhang ve diğerleri, 2011). Göl ve göletler gibi durgun su kütlelerinde ötrofikasyonun kontrolü için mikroorganizmaların besin kaynağı olan azot, fosfor ve potasyum elementlerinin miktarının kontrol altında tutulması önemlidir.

Aktif karbon adsorbentini ifade etmek için kullanılan kimyasal bir formül bulunmamakla birlikte aktif karbonlar 3000 m²/g değerine kadar ulaşabilen geniş yüzey alanlı ve oldukça gelişmiş gözenek hacmine sahip karbonlu malzeme olarak tanımlanabilmektedir (Alslaibi, Abustan, Ahmad, Foul, 2012; Yahya, Al-Qodah, Zanariah Ngah, 2015). Aktif karbon yüzey kimyasının manipüle edilebilir özellikleri ve yüksek yüzey reaktivitesi gibi ayırt edici özellikleri nedeniyle çeşitli uygulamalarda kullanılan en popüler adsorbanlardan biridir (Vunain ve Biswick, 2019).

Aktif karbon endüstriyel faaliyetlerde kullanılmasının yanı sıra günlük yaşamda (sağlık, gıda vb.) farklı kullanım alanlarına sahiptir. İçme suyu arıtımında tat, koku, renk giderimi ve filtrasyon için kullanımı aktif karbonun bilinen en yaygın uygulamalarıdır (Özsin, 2011).

Klasik aktif çamur prosesi ile arıtılmış olan sentetik tekstil endüstrisine ait atık suyun ileri arıtımı için toz aktif karbon kullanılarak yapılan bir araştırmada atık suya litre başına 15 g olacak şekilde toz aktif karbon ilave edilmiş ve %88-98 aralığında KOİ giderimi sağlanmıştır (Yeh, Hung, Liu, Chiu, Thomas, 2002).

Aktif karbon, su ve atıksu arıtımı, gaz filtreleri ve sera gazlarının tutulumu gibi işlemlerde kullanılan çevre bilimlerinde pek çok uygulamaya sahip dikkat çekici bir malzemedir. Mikro gözenekli morfoloji, daha fazla yüzey alanı ve yüksek yüzey reaktivitesi değerleri gibi bazı belirgin özellikleri nedeniyle inorganik ve organik kirleticilerin dekontaminasyonu için iyi bilinen ve etkili bir emicidir (Ruiz, Ferrera-Lorenzo, Fuente, 2017).

İran'ın Meşhed kentindeki bir evsel atık su arıtma tesisinin atık suyundan, 70 mg/l olan kimyasal oksijen ihtiyacını gidermek amacıyla aktif karbon-aktif çamur (AC-AS) ve aktif çamur mikroalgleri (AS- Mikroalgler) olmak üzere iki proses kullanılarak çalışılmıştır. AC-AS prosesi için optimum deney koşulları (0,05 g/l AC ve 7 ml/l AS), 8 saat içinde %95'lik bir KOİ giderimi sağlanmıştır. AS-Mikroalg işleminde ise optimal deney koşulları altında (1 ml/l AS ve 7 ml/l mikroalg) 7 saatte %85'lik bir KOİ giderimi elde edilmiştir. AC-AS ve AS-Microalg sistemi için elde edilen tahmini ve deneysel giderme verimlilikleri sırasıyla (%91, %91) ve (%82, %86) olup 0,99 (AC-AS sistemi) ve 0,83 (AS-Mikroalg sistemi) belirleme katsayıları ile deneysel ve tahmin edilen değerler arasında mükemmel bir korelasyon da gözlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü deşarj standartlarına göre, AS-Microalg tarafından arıtılan atık su, tarım arazileri, golf sahası sulaması ve endüstriyel kullanımlar için uygulanabilir ve 30 mg /l'den daha düşük tipik bir KOİ değerine ulaşabilir. Ek olarak, AC-AS ile arıtılan atık su, yenilebilir mahsullerin sulanması, parkların ve okul bahçelerinin sulanması, bulaşık makineleri ve KOİ değeri 12 mg/l'den düşük olan tuvalet flaş tankları için kullanılabilir. (Zahmatkesh, Far ve Sillanpää, 2022)

Adsorpsiyon, atık su içerisindeki kirleticileri gidermek için ucuz, yeni, verimli ve kolay bir yöntemdir. Aktif karbon en çok kullanılan adsorbanlardan biridir. Uygun bir gözenek boyutu dağılımına, geniş özgül yüzey alanına ve yüksek yüzey reaktivitesine sahiptir (Beyan, Prabhu, Sissay ve Getahun, 2021).

Bununla birlikte, nispeten maliyetlidir ve yenilenmesi zordur. Bu, son yıllarda kirleticileri adsorbe etmek için yeni, düşük maliyetli ve verimli malzemelerin araştırılmasına yol

açmıştır. Çeşitli endüstriyel ve tarımsal atıklardan üretilen aktif karbonun kirleticileri uzaklaştırma potansiyelinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aktif karbonun hazırlanmasında pirinç kabuğu, mısır koçanı, muz kabukları, çiçek atıkları ve şeker kamışı küspesi, hindistan cevizi kabuğu, çay tesisi artıkları, antepfıstığı gibi çeşitli tarımsal yan ürünler kullanılmıştır (Boyrızlı ve diğerleri 2023; Özsin, 2011; Beyan, Prabhu, Sissay ve Getahun, 2021).

Köse ve Kıvanç (2011) yıkanıp kurutulan ve 40-100 mesh (yaklaşık 415-154 mikron) aralığında öğütülen yumurta kabuklarını 800°C’de 2 saat süreyle fırında kalsinasyon işlemine tabii tutarak aktif karbon elde etmişlerdir. Elde edilen aktif karbonun fosfor adsorplama kapasitesini incelemişlerdir. Temas süresinin fazlalığı, sıcaklığın azaltılması (25°C), adsorbent dozajının artırılması ve pH’ın artmasına (pH=10) paralel olarak adsorpsiyonun arttığı gözlemlenmiştir.

Bhargava ve Sheldarkar (1992) hint hurması kabuğundan çinko klorür kullanarak kimyasal aktivasyon yöntemiyle aktif karbon elde etmişlerdir. Başlangıç fosfat konsantrasyonu sabit tutularak ve değişen adsorbent dozlarıyla karıştırmalı ve kesikli reaktörlerde aktif karbonun fosfatı adsorplama kapasitesini araştırmışlardır. Çalışma neticesinde 4 g/l adsorbent dozunun en yüksek giderim yüzdesi sağladığını bildirmişlerdir.

Sudan fosfatın adsorpsiyonunu için lantan oksit (ACF-La) yüklü aktif karbon lifi kullanılan bir araştırmada ACF-La için optimum koşullar aktivasyon süresi için 2,5 saat ve aktivasyon sıcaklığı 650°C olarak tespit edilmiştir. Başlangıç fosfat konsantrasyonun 30 mg/l iken giderim verimi %97,6 olmuş ve bu da ACF-La’nın etkili bir adsorbent olabileceğini göstermiştir (Zhang ve diğerleri, 2011).

Granüler Aktif Karbon (GAK) kullanılarak sulu çözeltiden nikel (II) iyonunun giderilmesi olayına etki eden bazı parametrelerle birlikte adsorpsiyon izoterminin incelendiği bir çalışmada nikel iyonunun GAK adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uyduğu görülmektedir. Adsorpsiyon işleminde; pH, temas süresi, giriş konsantrasyonu ve ligantlar önemli parametreler olarak belirlenmiştir. Sistemin dengeye ulaşması optimum pH= 7 de ve 8 saatlik temas süresinde gerçekleşmiştir. Granüler aktif karbonun endüstriyel atıksulardaki ve sulu ortamlardaki nikel vb. ağır metallerin giderilmesinde başarı ile kullanılabileceği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Çokadar, İleri, Ateş ve İzgi, 2003).

Odun kömürü ve hindistan cevizi kabuğu kullanılarak üretilen aktif karbonla atıksudan krom (IV) iyonu gideriminin araştırıldığı bir çalışmada hindistan cevizi kabuğu ve odun kömürünün krom (IV) iyonu adsorpsiyonu için en uygun pH aralığını sırasıyla 3-4 ve 2 olarak belirlemişlerdir (Selomulya, Meeyoo ve Amal, 1999).

Avustralya çamı olarak da bilinen *Casurina equisetifolia* yaprakları H_2SO_4 , %25'lik $ZnCl_2$ ve fosfat tuzu (%10) ile farklı sıcaklıklarda aktive edilerek üretilen aktif karbonlar atıksudan krom (IV) adsorpsiyonunda kullanılmıştır. En iyi krom (VI) iyonu adsorpsiyonu pH 2,5-3,0 değerleri arasında, H_2SO_4 ve $ZnCl_2$ çözeltileri ile aktive edilerek üretilen aktif karbonlarla gerçekleşmiştir (Ranganathan, 2000).

Atık lastikler ve talaşın 1173 °K ve 923 °K sıcaklıklarda prolizinden üretilen aktif karbonlar ve ticari aktif karbon (F400) kullanılarak atıksudan krom (VI) iyonu adsorpsiyonunun incelendiği bir çalışmada atık lastik ve talaştan üretilen aktif karbonların krom (VI) iyonu adsorpsiyon kapasiteleri ticari karbona oranla oldukça yüksek bulunmuştur (Hamadi, Chena, Farid ve Lu, 2001).

Pirinç kabuğunun potasyum hidroksit (KOH) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak aktive edilmesi ile elde edilen gözenekli aktif karbonların yüzey alanları sırasıyla 3000-2500 m^2/g olarak belirlenmiştir. Atıksudan krom (VI) iyonu adsorpsiyon kapasitesinin aktif karbon gözenek çapı ve gözenek hacmi ile arttığı gözlemlenmiştir. Adsorplama kapasitesinin pH<5'te yüksek, pH>8'de ise ihmal edilebilir seviyede olduğu ortam sıcaklığı arttıkça arttığı bildirilmektedir (Guo ve arkadaşları 2002).

Hurma kabuğu atıklarından kimyasal aktivasyon yöntemi ile elde edilen düşük maliyetli aktif karbon ile atık sudan kimyasal oksijen ihtiyacı ve biyolojik oksijen ihtiyacının adsorpsiyonu incelenmiştir. Adsorpsiyon sürecini etkileyen karbon dozu, pH, temas süresi, çalkalama hızı ve sıcaklık gibi çeşitli parametreler analiz edilmiştir. Adsorpsiyon dengesine 25 °C'de 400 rpm çalkalama hızıyla pH 6,0'da 150 dakika sonra ulaşılmıştır. Sonuçlar, 100 ml çözeltide 0,1 g karbon dozajıyla BOİ için %95,4 ve KOİ için %92,8 giderim yüzdesinin elde edildiğini göstermiştir (Nayl ve diğerleri, 2017)

Hu ve arkadaşları hindistan cevizi kabuğundan elde ettikleri yüksek yüzey alanına sahip aktif karbonun, ticari aktif karbonlara oranla yüksek krom (VI) adsorpsiyonu kapasitesi

sağladığını ve adsorpsiyonda optimum $pH \approx 3$ olduğunu bildirmişlerdir. Mikro ve mezo gözenek yapısının adsorpsiyonda önemli rol oynadıklarını tespit etmişlerdir. Araştırmacılara göre mezo gözenekli karbonlarda rejenerasyon daha kolay olmaktadır. Bunun sebebi desorpsiyonun daha çok mezo gözenekliliğe bağlı olmasıdır (Hu, Lei, Li ve Ni, 2003)

Mohanty ve arkadaşları, *Combretaceae* familyasından *Terminali arjuna*'nın çinko klorür çözeltisi ile kimyasal aktivasyonundan elde ettikleri aktif karbonu krom (VI) iyonu adsorpsiyonunda kullanmışlardır. Numuneden (çinko klorür/*Terminali arjuna* = 3), 773 ⁰K sıcaklıkta 1 saat aktive edilerek 1260 m²/g yüzey alana sahip aktif karbon elde edilmiştir. Maksimum Cr (VI) adsorpsiyonu pH 1'de sağlanmış olup denge izoterm verileri Langmuir ve Freundlich modellerinin her ikisine de uymuştur (Mohanty, Jha, Meikap ve Biswas, 2005).

Hidrojen peroksit (H₂O₂) oksijen molekülleri arasında tek bağla oluşmuş en basit peroksit olarak bilinmektedir. Yükseltgen bir madde olan hidrojen peroksitin orijinal rengi mat mavi olup suyla tepkimeye girdiğinde şeffaf bir renk almaktadır. Atık su arıtma, tarımsal faaliyetler, su ürünleri yetiştiriciliği, tekstil ve kâğıt üretim sektörü, gıda endüstrisi gibi çok farklı alanlarda sterilizasyon ve ağartma gibi farklı amaçlarla güvenle kullanılabilir. Çevre dostu bir ürün olması tercih sebebidir.

Kimyasal oksidasyon prosesleri atık su arıtımı için en uygun teknikler olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle hidrojen peroksit, su ve oksijene ayrışan güçlü bir oksitleyicidir, bu da son işleme gerek olmayacağı anlamına gelir. Tek başına veya demir (Fe⁺⁺ veya Fe⁺⁺⁺), UV ışığı, ozon (O₃) gibi katalitik maddelerle birlikte kullanılabilir ve bu şekilde atık sudaki BOD₅/KOİ oranının azaltılmasına katkıda bulunur (El Brahmi ve Abderafi, 2021).

Taş ve diğerleri (2016) yaptıkları çalışmada Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunu farklı uygulamalardan (kontrol, aktif karbon arıtma, aktif karbon + hidrojen peroksit, ozon ve hidrojen peroksit) geçirdikten sonra elde ettikleri suyu domates için sulama suyu olarak kullanmışlardır. Oksijen konsantrasyonu tüm uygulamalarda 10 mg/l olarak elde edilmiştir. Oksijenle arıtılmış atık su, domatesin bazı morfolojik özellikleri üzerinde önemli olumlu etkilere sahiptir.

Azbar, Yonar ve Kestioğlu (2004), tekstil atıksularından kimyasal oksijen ihtiyacı ve renk gideriminde kimyasal arıtma ile ileri oksidasyon proseslerini karşılaştırmışlardır. İleri oksidasyon proseslerinde (O_3 , O_3/UV , H_2O_2/UV , $O_3/H_2O_2/UV$ ve Fe^{++}/H_2O_2), ortalama renk ve KOİ giderme verimleri sırasıyla %50 ve %60 olarak tespit edilmiştir. İleri oksidasyon yöntemlerinden $O_3/H_2O_2/UV$ kombinasyonu diğer ileri arıtma tekniklerine oranla %99 KOİ ve %96 renk giderme ile en iyi verimleri sağlamışlardır. Lakin Fe^{++}/H_2O_2 kombinasyonu %90'lar mertebesinde KOİ ve renk giderimi ile en ekonomik uygulama olarak belirlenmiştir. Tüm uygulamalar kimyasal arıtmayla karşılaştırıldığında ise çok iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Beltran, Rivas ve Gimeno (2005) yaptıkları çalışmada, fenol, pentaklorofenol ve penta nitrofenol gibi kirleticilerin farklı arıtma yöntemleriyle giderilmesini araştırmışlardır. Çalışmada uygulanan süreçler arasında fotokatalitik ozonlama, ozonlama, katalitik ozonlama, ozon fotolizi, fotokataliz ve fotoliz (UV ya da VUV) yer almıştır. Fotokatalitik ozonlama, %100 fenol, %90 pentaklorofenol ve %75 penta nitrofenol giderimi sağlamıştır. KOİ giderimi de benzer şekilde yüksek oranda gerçekleşmiştir. VUV ve VUV/ TiO_2 proseslerinde ise çok düşük giderim verimleri elde edilmiştir. Bu yöntemlerin etkinliği, fotokatalitik ozonlamaya kıyasla belirgin bir şekilde daha düşük kalmıştır. Fotokatalitik ozonlama, toplam organik karbon ve KOİ'yi daha az parçalayarak daha az mineralizasyon sağlasa da farklı oksidasyon proseslerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu da fotokatalitik ozonlamanın organik kirliliklerin giderilmesindeki etkinliğini doğrulamaktadır. Genel olarak, bu çalışma fotokatalitik ozonlamanın, özellikle fenol grubu kirleticilerin giderilmesinde çok etkili olduğunu, ancak diğer süreçlerin (VUV gibi) verimliliğinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca, farklı oksidasyon yöntemlerinin ara ürünler üzerindeki etkisinin de dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yonar, Kaplan Yonar, Kestioğlu ve Azbar (2005) tekstil endüstrisi arıtma tesisi çıkış sularındaki KOİ ve renk giderimini fotokimyasal oksidasyon prosesleri kullanarak kesikli reaktörde araştırmışlardır. En yüksek giderme verimi $O_3/H_2O_2/UV$ prosesi ile (en uygun pH değeri 3 ve en uygun H_2O_2 dozu 25 mg/l) KOİ ve renkte sırasıyla %97 ve %99 oranında belirlenmiştir. H_2O_2/UV , O_3/UV proseslerinin her ikisinde de giderme verimleri KOİ>%91 ve renk>%96'dır. Arıtma maliyetleri ise $O_3/H_2O_2/UV$ prosesinde 1,25 \$/m³, H_2O_2/UV prosesinde 4,56 \$/m³ olarak hesaplanmıştır.

İleri oksidasyon proseslerinden biri olan hidrojen peroksit oksidasyonu, arıtma tesislerindeki fazla çamurun en aza indirilmesi için umut verici bir teknoloji sunabilir. Klor ve hipoklorit gibi geleneksel inorganik oksitleyici ajanların aksine, hidrojen peroksit zararlı veya kirletici yan ürünler vermez. Tek yan ürünleri su ve oksijen olduğu için, aerobik organizmaların aktivitesini durduran ikincil bir fayda ile çözülmüş oksijen sağlar. Son araştırmalar, kokuları azaltmak ve patojenik organizmaları yok etmek için hidrojen peroksit kullanımına odaklanmıştır. Hidrojen peroksit tek başına veya bir UV ışığı, ozon ve Fe (II) gibi bir katalizör ile birlikte kullanılabilir. Hidrojen peroksit atık su arıtımında güçlü bir oksidatif kimyasaldır (Kima ve diğerleri, 2009).

Çifteler-Sakaryabaşı Balık Üretim ve Araştırma İstasyonundan sağlanan ortalama 17 g ağırlık ve 10 cm uzunluğundaki 226 adet gökkuşağı alası (*Salmo gairdneri irideus*) ile 5, 8, 10, 15, 20, 25 ve 30 adet balık bulunduran 7 adet kontrol ve deneme grubu oluşturulmuştur. Bu gruplar 10 litre hacimli polietilen torbalarda 6 saat süre ile tutulmuştur. Deneme grubu, 22-24 °C arasında sabit sıcaklıkta tutulmuş ve torbaların içerisine %30'luk hidrojen peroksit (1 damla/l) eklenmiştir. Uygulama sonunda 4-6 saat gibi kısa sürelerde canlı balık taşımacılığında oluşan stres ve organik maddenin neden olduğu ölümlerin, H₂O₂ ilavesi ile önlenebileceği ve Hidrojen peroksitin balık yetiştiriciliğinde kolaylık sağlayacağı belirlenmiştir (Timur, Baran ve Karahan, 1982).

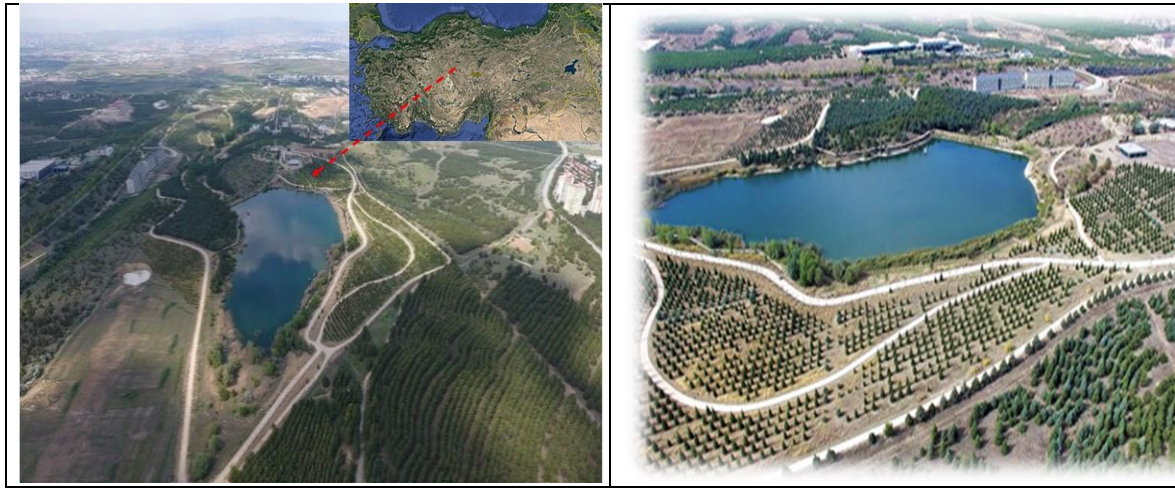
Tokşen, Gamsız ve Nemli (2006) yaptıkları çalışmada, *Benedenia sciaenae* adlı parazitin granyöz balığı (*Argyrosomus regius*) üzerindeki enfestasyonunun tedavisinde hidrojen peroksit (H₂O₂) kullanımının etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmada, başlangıçta 20 adet balık seçilerek anestezi edilmiştir ve balıkların derisinde 1544 adet parazit sayılmıştır. Tedavi denemeleri için 300 ppm hidrojen peroksit dozunda bir çözeltinin, 15 dakika süreyle balıklara uygulanması sağlanmıştır. Tedavi sonrası tank içinde 1517 adet ölü *B. sciaenae* paraziti tespit edilmiştir. Balıklar tekrar anestezi edilerek deri üzerinde yapılan parazit taramasında ise hiçbir parazite rastlanmamıştır. Deneme 21°C sıcaklık ve 40 ppt tuzluluk koşullarında gerçekleştirilmiş olup, balıklarda herhangi bir toksikasyon belirtisi gözlemlenmemiştir. Bu durumda hidrojen peroksidin parazitlere karşı %98,25 oranında bir etkinlik sağladığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma hidrojen peroksidin *Benedenia sciaenae* enfestasyonuna karşı yüksek verimli ve toksik olmayan bir tedavi yöntemi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Balta (2020) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki üç farklı balık çiftliğinde hastalıklı balıklardan alınan deri ve solungaç epitelinden kazıma örnekleri mikroskobik olarak incelenmiştir. Bu incelemede, her balık başına solungaçlarda 3-8 adet ve deride 1-15 adet *Gyrodactylus spp.* parazitinin bulunduğu tespit edilmiştir. Enfestasyonun tedavi edilmesi için çeşitli kimyasal maddeler kullanılmıştır. Bunlar arasında formaldehit, kloramin-T, formaldehit+kloramin-T, potasyum permanganat, hidrojen peroksit ve tuz yer almıştır. Çalışmada, özellikle tuz ve hidrojen peroksit uygulamalarının Karadeniz alabalığı üzerindeki *Gyrodactylus spp.* enfestasyonunun tedavisinde etkili olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, hidrojen peroksitin ve tuzun, balık çiftliklerinde görülen parazit enfestasyonlarıyla mücadelede kullanılabilecek etkili tedavi seçenekleri olduğunu göstermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

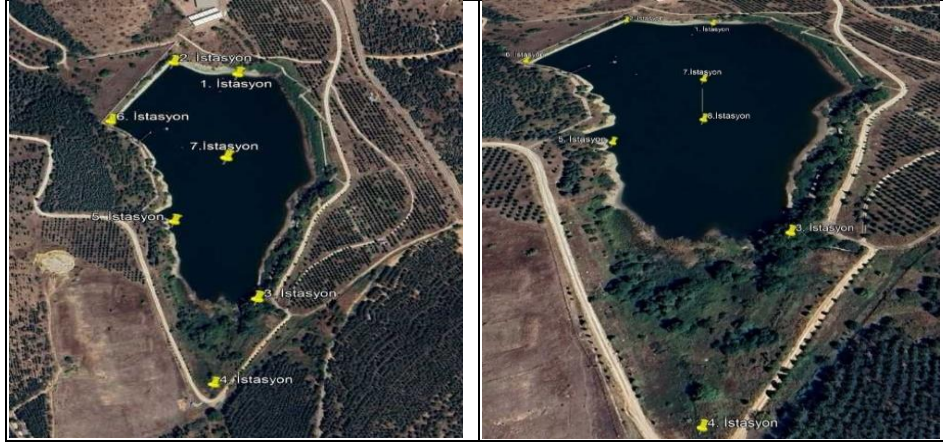
3.1. Materyal

Ankara'nın 15 km batısında Türkiye Milli Botanik Bahçesi sınırları içerisinde yer alan ve sulama-rekreasyon amaçlı olarak 1964 yılında mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilmiş olan Beytepe Gölü 39°53' N, 32°45' E konumunda yer almaktadır. İnşa edildiğinde 10,36 ha yüzey alanına sahiptir (Resim 3.1). Gölün Planlanan hacmi 697 157 m³ olup fiili depolaması 597 157 m³'tür. Mayıs 2021 tarihi itibarıyla fiili depolaması 350 000 m³ kotu 969 metredir. Göl inşa edildiğinde yağışlar, yüzey akış ve Maslak Deresi tarafından beslenmektedir. 2003 yılında ASKİ tarafından gölete yağmur suyu kolektörü bağlanmıştır. Hali hazırda gölet sadece ilkbahar yağışları, sızıntı suları ve yağmur suyu kolektöründen gelen su ile beslenmektedir. Beytepe Gölü'nün en derin yeri savak kısmında 16 m olarak planlanmış olup, 15.10.2018 tarihi itibarıyla en derin savak kısmı 10 m'dir. Gölün dip yapısının temizlenmesi amacıyla DSİ 9. Bölge Müdürlüğünden temin edilen 300 adet "*Ctenopharyngodon idella*", 04.08.2019 tarihinde gölete bırakılmıştır.



Resim 3.1. Çalışma yapılan göletten görünüm

Gölün çevresi ormanlık alan ile çevrilidir. Göl ötrofik olup, ötrofikasyon zamanla daha da artmıştır. Göl'deki ötrofikasyon ve bataklık oluşumuna etki eden faktörlerin başında yağıştan kaynaklı sel suları ile göle taşınan farklı orijinli materyaller ve yerleşim alanları ve sanayi kuruluşlarından yüzey akış ile gölete gelen suyun taşıdığı atık maddelerdir. Göl üzerinde 8 adet örnekleme noktası seçilmiştir (Resim 3.2).



Resim 3.2. Örnekleme noktaları

Çizelge 3.1. Örnekleme noktaları

İstasyon No	Açıklama
1.	İskele
2.	Sol Dip Savak
3.	Yağmur suyu kanalı
4.	Sağ Giriş
5.	İskele Karşısı
6.	Sağ Dip Savak
7.	Orta nokta yüzey
8.	Orta nokta dip

Çalışma alanı uzun yıllar (20 yıl) ortalama iklim verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Etimesgut Havalimanı) Çizelge 3,2’de sunulmuştur. Ortalama sıcaklık değeri 11,9 °C, ortalama güneşlenme süresi 6,8 saat, yıllık ortalama toplam yağış miktarı 391,9 mm’dir.

Çizelge 3.2. Uzun yıllar ortalama iklim verileri (2002-2022)

Aylar	Sıcaklık _{Ort} (°C)	Sıcaklık _{Mak} (°C)	Sıcaklık _{Min} (°C)	Güneşlenme S. (saat)	Yağış (mm)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	0,1	4,1	-3,2	2,6	40,2	16,6	-24,9
Şubat	1,6	6,4	-2,3	3,8	35,1	21,3	-24,2
Mart	5,7	11,4	0,6	5,1	39,1	27,8	-19,2
Nisan	11,2	17,3	5,3	6,6	42,5	31,6	-7,2
Mayıs	16	22,3	9,6	8,5	51,5	34,4	-1,6
Haziran	19,9	26,6	12,9	10	34,4	37	3,8
Temmuz	23,3	30,2	15,8	11,3	14,3	41	4,5
Ağustos	23,3	30,4	15,9	10,7	12,7	40,4	5,5
Eylül	18,8	25,9	11,7	9,2	18,0	37,7	-1,5
Ekim	13,1	19,9	7	6,7	27,7	33,3	-9,8
Kasım	7,2	13	2,5	4,5	31,5	24,7	-17,5
Aralık	2,4	6,4	-0,8	2,5	44,9	20,4	-24,2
Yıllık	11,9	17,8	6,3	6,8	391,9	41	-24,9

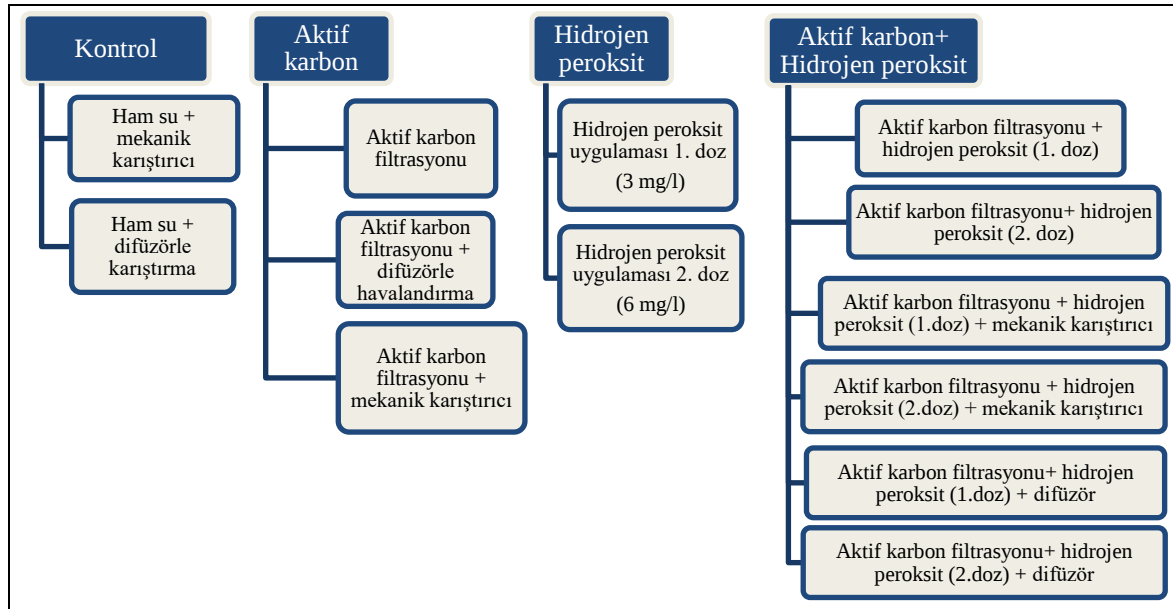
Çalışmada su kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılan materyaller hidrojen peroksit (H_2O_2) ve aktif karbondur. Araştırmada analitik saflıkta (%30'luk) H_2O_2 kullanılmıştır. Hidrojen peroksit, oksijen molekülleri arasında tek bağla oluşmuş basit bir peroksit olup, güçlü bir oksitleyici ajan olarak bilinir. Oksitleme gücü, hidrojen peroksidin gıda güvenliği ve dezenfeksiyon gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmasının temel nedeni olup çeşitli sanitasyon işlemleri gerçekleştirmek için etkili, güvenli ve çevre dostu bir kimyasal bileşiktir. Hidrojen peroksidin yaygın kullanım konsantrasyonları %3 ile %90 arasında değişmektedir. Antimikrobiyal özellikleri, güçlü oksitleyici gücünden kaynaklanmaktadır. Hidrojen peroksit, gıda endüstrisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), hidrojen peroksidi "genelde güvenli olarak kabul edilen" (Generally Recognized As Safe -GRAS) bir madde olarak sınıflandırmaktadır. Bu, hidrojen peroksidin gıda ürünlerinde güvenle kullanılabileceğini gösterir. Örneğin, hidrojen peroksit, mikotoksinlerin önlenmesi ve pestisit kalıntılarının giderilmesi amacıyla birçok gıda ürününde ve üretim süreçlerinde kullanılmaktadır (Atar, Akbaş ve Ayvaz, 2019).

Çalışma kapsamında kullanılan aktif karbon, özellikle yüksek iç yüzey alanı ve büyük gözenek hacmi sayesinde endüstride etkin bir adsorban olarak kullanılmaktadır. Bu özellikleri sayesinde aktif karbon, su arıtımı, organik kirliliklerin giderilmesi ve çeşitli kimyasal işlemlerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Gözenek hacmi genellikle $0,2 \text{ cm}^3/\text{g}$ 'dan büyük olup, iç yüzey alanı ise $400 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dan fazladır. Bu yüksek yüzey alanı, karbonun adsorban olarak etkili olmasını sağlar. Gözenek çapı, 3 angstromdan birkaç bin angstroma kadar değişebilmektedir. Aktif karbon, farklı hammaddelerden üretilen bir materyaldir. Laboratuvar ölçeğinde çok sayıda malzemeden aktif karbon üretilirse de ticari amaçlı üretim genellikle turba, linyit, kömür, ağaç ve hindistan cevizi gibi hammaddelerle yapılmaktadır. Aktif karbon hem çevresel hem de endüstriyel süreçlerde önemli bir bileşen olup, çeşitli kirlleticilerin giderilmesinde etkili bir araç olarak kabul edilmektedir (Orbak, 2009).

Çalışmada kullanılan granül aktif karbon filtre, özellikle sıvıların arıtılması ve kirleticilerin giderilmesinde oldukça etkili bir malzemedir. Granül aktif karbon, klor, bulanıklık, organik maddeler, koku ve partiküllerin ayrıştırılmasında kullanılır. Çok geniş yüzey alanına sahip olup, bu alan genellikle $1000-1500 \text{ m}^2/\text{g}$ arasında değişmektedir. Bu özellik, aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesini artırır ve yüksek verimlilikle kirleticilerin giderilmesini sağlar. %80-%90 verimlilikle çalışarak çok yüksek koku tutma kapasitesine ve arıtma etkinliğine

sahiptir. Aktif karbon, mini karbon tanecikleri şeklinde granüller halinde bulunur ve bu tanecikler, suyun etkin bir şekilde temizlenmesini sağlar. Evsel tip ve endüstriyel tip ters osmoz üniteleri öncesi son filtre olarak, suyun içindeki kirleticilerin temizlenmesinde etkin rol oynar. UV dezenfeksiyon üniteleri öncesi, suyu mikroorganizmalar ve kirleticilerden arandıran bir son güvenlik filtresi olarak kullanılır.

Laboratuvar ortamında hidrojen peroksit (H_2O_2) ve aktif karbonla aerobik koşullarda sabit su miktarı ile denemeler yapılmıştır. Oksijenlendirme işlemi atmosferden havalandırma (mekanik karıştırma) ve difüzörle havalandırma uygulamaları şeklinde yapılmıştır. Laboratuvar denemelerinde kullanılan gölet suyu tüm göleti temsil edecek şekilde kompozit (farklı noktalar ve derinliklerden alınan suyun karıştırılması neticesinde oluşturulan) numune olarak alınmıştır. TS ISO 5667-4'te (TSE, 2019) kompozit numunenin ortalama değer vermesinden dolayı anlık numuneye tercih edilmektedir. Çalışmada kontrol uygulamalarının yanı sıra 3 ana konu ve bunların kombinasyonları ve farklı dozları olmak üzere toplam 13 konu iki farklı mevsimde (sonbahar ve ilkbahar) göletten alınan su numunelerinde ayrı ayrı incelenmiştir (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Araştırma Konuları

3.2. Metot

Gölet suyundaki kirletici konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla göl içinde seçilen 6 örnekleme noktasında (giriş, orta ve sulama savaklarının bulunduğu çıkıştan) yüzey ve tabandan 12 aylık su örnekleri alınmıştır. Örnekleme noktaları TS ISO 5667-4 (TSE, 2019) Doğal ve insan yapımı göllerden numune alma rehberine göre belirlenmiştir. Rehberde “yüzey alanı 500 hektardan küçük alanlar için en az 2 noktadan, yüzey alanı 500 hektardan büyük alanlar için en az 5 noktadan örnek alınması uygundur. Derinliği 10 metreden büyük ise yüzeyden (0,5 metre), ortadan ve dipten olmak üzere üç noktadan alınması gerekmektedir. Derinlik 10 metreden az ise yüzey (0,5 metre) ve dip olmak üzere iki noktadan alınmalıdır” kuralı bulunmaktadır. Bu nedenle söz konusu kurallar dikkate alınarak göletten su örnekleme yapılmıştır.

Aylık olarak alınan örneklerde sıcaklık, pH, göl derinliği, iletkenlik, çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, nitrit, nitrat, klorofil-a ve toplam katyon ve anyon, SAR (Sodyum adsorbsiyon oranı) ve sulama suyu açısından kritik olan ağır metal analizleri yapılmıştır. *Fekal koliform*, *Escherichia coli* (*E. coli*) ve toplam koliform bakteri sayısı ise 3 aylık dönemleri kapsayacak şekilde mevsimsel olarak belirlenmiştir.

Laboratuvar çalışmalarında Gölet suyu ile toplam 13 uygulama, 3 tekrar olmak üzere 15 litrelik 39 akvaryumda aynı anda çalışılmıştır (2021 ve 2022 yıllarında sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde olmak üzere iki defa). Hidrojen peroksit uygulamaları 3 ve 6 mg/l olarak uygulanmıştır. Aktif karbon uygulaması granüler aktif karbon filtreden geçirilmek suretiyle yapılmıştır. Karıştırıcı ve difüzör uygulamalarında önce hızlı daha sonra yavaş karıştırma yapılmış olup 120 rpm hızda 5 dakika 30 rpm hızda ise 30 dakika bekleme süreleri uygulanmıştır. Çalışma 20 gün sürmüş olup, sıcaklık ve ışık gibi diğer parametreler sabit tutulmuştur.

Deneme süresince her parametre için başlangıç değerleri ölçülmüştür. Devam eden süreçte her parametre için farklı zaman aralıklarında ölçümler yapılmıştır. Deneme sonunda tüm parametreler için analizler yapılmıştır.

3.2.1. Analiz yöntemleri

Gölet suyu kalitesini belirlemek amacıyla alınan örneklerde sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik (EC 25°C) AZ 86021 DO Metre Ölçer cihazı ile yerinde ölçülmüştür. Göl derinliği (m), secchi disk ile ölçülmüştür. Klorofil-a konsantrasyonu: GF/C filtre kâğıdından süzülen suyun aseton ile ekstraksiyonundan sonra 630, 645, 665 nm dalga boylarında absorpsiyonları okunarak spektrofotometrik olarak ölçülmüştür.

Toplam koliform (TK) bakteri sayısı çoklu tüp yöntemi ile (Clesceri, Greenberg ve Eaton, 1998) Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Temel Bilimler, Tıbbi Mikrobiyoloji laboratuvarında belirlenmiştir.

Kimyasal analizler Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü laboratuvarlarında yapılmıştır. Sodyum ve Potasyum (me/l): Flamefotometre kullanılarak okunmuştur (TS 4530, Richards, 1954). Magnezyum (me/l): TS 8196, TS 4474, TS EN ISO 6059. Kalsiyum (me/l): EDTA Titrimetrik Metot ile yapılmıştır (TSE 8196). Karbonat ve bikarbonat (me/l): Titrimetrik Metot ile yapılmıştır (TS 8489). Klor (me/l): Kromat indikatörü yanında gümüş nitrat ile titrasyon (mohr metodu) ile ölçülmüştür (TS 4164). Sülfat, (me/l): Richards, 1954'e göre yapılmıştır. Bor (mg/l), Spektrofotometre ile okunmuştur. (TS 3661). Nitrat (NO_3), Nitrit (NO_2), (mg/l): İyon Kromatografi ile ölçülmüştür. Organik Madde: TS 6288, TS EN ISO 8467'e göre belirlenmiştir.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l): KOİ test kitleri kullanılmış olup 1 ml numune test kitine alınarak 150 °C'de 2 saat inkübe edilmiş ve fotometre yöntemi ile tayin edilmiştir.

Ağır metal analizleri Devlet Su İşleri 5. Bölge Müdürlüğü Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü tarafından yapılan analiz sonuçlarından alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İzleme Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında göletin su kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi için seçilen örnekleme noktalarından alınan su numunelerinde elektriksel iletkenlik, pH, çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, klorofil-a, anyon ve katyonlar, toplam koliform, toplam *E-coli* ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Gölet sadece yağışlar ve yüzeysel akışla beslenmektedir. Fakat örnekleme noktası olarak seçilen 3 nolu istasyon yağmur suyunu toplamasının yanı sıra Göleti besleyen havzada yer alan Hacettepe Üniversitesi'nden gelen yüzeysel akışı da taşımaktadır. 2021 yılı Ocak ayında Hacettepe Üniversitesi yerleşkesinin atık suyunu toplayan ve ileten kanalizasyon sisteminde bir sorun meydana gelmiş ve bu kanalizasyon suları gölete ulaşarak gölet suyuna karışmıştır. 2021 yılı Ocak-Mayıs aylarında çözülmüş oksijen, KOİ ve klorofil-a parametreleri gerekli cihazların temin edilememesi nedeniyle ölçülememiştir. Dört nolu istasyonda Mayıs ve Ekim ayları arasında akış olmadığından örnekleme yapılamamıştır.

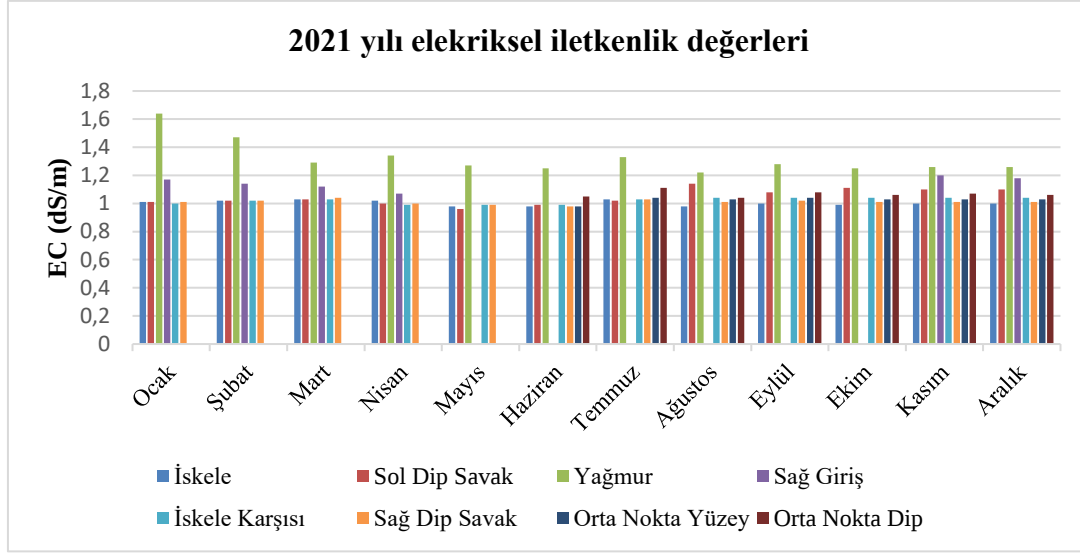
2022 yılı Ocak ve Şubat aylarında sıcaklıkların düşmesi sebebiyle göletin kıyı kesimlerinde donma olduğu gözlemlenmiştir. Ocak ayında gölet besleme alanı içerisindeki kar örtüsü kamyonlarla taşınarak iskelenin olduğu alandan göle kar suyu ile besleme yapılmıştır. Göletin en derin noktası Ocak ayında 8 metre Mart ayında ise 10 metre olarak ölçülmüştür. 7 Mart 2022 tarihinde yapılan gözlemlerde Hacettepe Üniversitesi sınırından bölgeye akış tespit edilmiştir. Yapılan gözlemlerde suyun kar erimelerinden kaynaklanan yüzey akışı olduğu saptanmıştır. Daha sonra akışın olduğu noktadan yağmur kanalına bağlantı oluşturulmuştur. Yağmur kanalının bulunduğu alan kepçeyle düzenlenmiştir. Bu esnada yolda oluşan tahribattan dolayı gölete bir miktar çamur akışı da meydana gelmiştir. Nisan ve Mayıs aylarında göletin en derin noktası 10,5 metre olarak ölçülmüştür. Ağustos ayında yapılan ölçümde derinlik 9,5 metre olarak belirlenmiştir. Sulama nedeniyle su azalmıştır fakat bir önceki yıla kıyasla daha fazla miktarda su olduğu gözlemlenmiştir. Gölette bulanıklık fazla olup görüş mesafesinin 50 cm'den daha az olduğu saptanmıştır. Yaz döneminde sağ sahildeki girişte (4 nolu istasyon) akış tespit edilmemiştir. Eylül ayında yapılan ölçümlerde ise göletin en derin yeri 7,5 m olarak ölçülmüştür. Ağustos ayında

yerleşke yeşil alanlarının sulanması amacıyla göletten büyük miktarlarda su çekimi yapıldığı da gözlemlenmiştir.

2 Eylül 2022 tarihinde yapılan gözlemlerde Hacettepe Üniversitesi sınırında yağmur suyu kanalından gölete su akışı tespit edilmiştir. Ayrıca, 5 Eylül 2022 tarihinde Ankara Su Kanalizasyon İdaresi kanalizasyon hattında patlama meydana gelmiş ancak yapılan müdahaleler sayesinde kanalizasyon sularının gölete ulaşması engellenmiştir. 18 Ekim 2022 tarihinde yapılan gözlemlerde ise Gölette belirgin bir su kirliliği tespit edilmiştir. Su kirliliğinin kaynağı olarak Ocak 2021 tarihinde olduğu gibi Hacettepe Üniversitesi Yerleşkesinin kanalizasyon problemi kaynaklı olduğu saptanmıştır. Kanalizasyonun bulunduğu noktadan yağmur suyu girişine bir kanal oluştuğu ve bu kanal vasıtasıyla kanalizasyon suyunun gölete ulaştırıldığı belirlenmiştir. Kanalizasyon suyunun karışmasından sonra gölet suyunda ve Gölet çevresinde baskın bir kanalizasyon kokusu meydana gelmiştir. Bulanıklık seviyesinin 20-25 cm'ye kadar düştüğü, gölet yüzeyinin siyaha yakın bir renk aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, göletteki balıkların bir bölümünün de öldüğü tespit edilmiştir. Su içerisinde yosunlaşma ve biyofilm tabakalarının oluştuğu da belirlenmiştir. Karışımın meydana geldiği yol boyunca kanalizasyon artıkları tespit edilmiştir. Gölet suyunda yapılan ölçümlerde pH 4,06; Elektriksel iletkenlik 1,014 dS/m; Çözünmüş oksijen 4,5 mg/l olarak ölçülmüştür. Mevcut durumda Gölet suyu ile herhangi bir şekilde temas edilmemesi, yerleşke peyzaj alanlarında sulama suyu da dâhil herhangi bir amaçla kullanılmaması gerektiği sorumlu idare ve ilgililere bildirilmiştir.

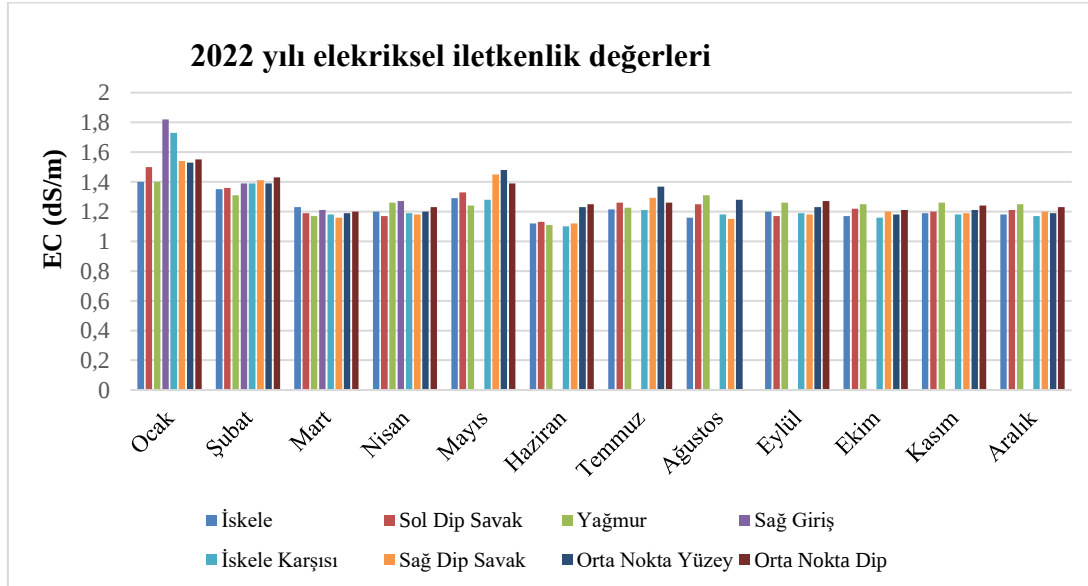
4.1.1. Elektriksel iletkenlik

Suların çözünmüş iyon konsantrasyonunu en iyi gösteren parametre olan EC değerinin 2021 yılında ölçülen en düşük değeri 0,96 dS/m ile Mayıs ayında sol sahil şeridinde, en yüksek Ocak ayında 1,64 dS/m ile yağmur kanalında ölçülmüştür. Bu istasyon yağmur suyunu toplamasının yanı sıra Göleti besleyen havzada yer alan Hacettepe Üniversitesinden gelen yüzeysel akışla da beslenmektedir. Ocak ayında yerleşkenin atık suyunu toplayan ve ileten kanalizasyon sisteminde meydana gelen problem nedeniyle gölete kanalizasyon suyu karışmıştır. Sonraki aylarda EC değerleri azalmış ve en düşük Ağustos ayında 1,2 dS/m olarak ölçülmüştür. 2021 yılında göletteki elektriksel iletkenlik değerlerinin değişimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Elektriksel iletkenlikteki değişim (2021)

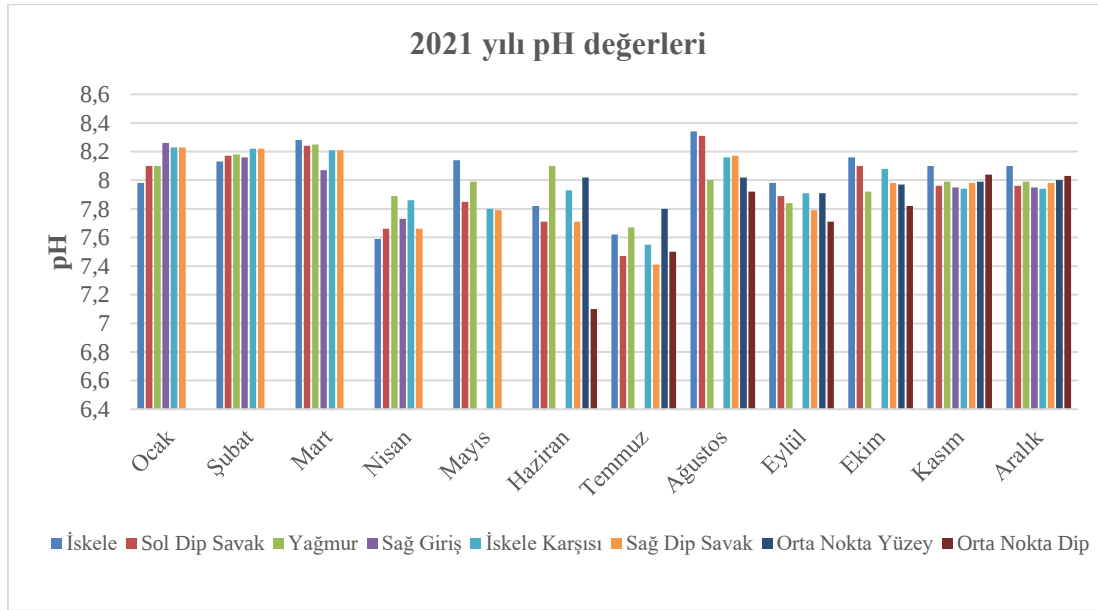
2022 yılının aylar itibariyle EC değerlerindeki değişimi Şekil 4.2’de sunulmuştur. En düşük EC değeri Haziran ayında iskele karşısındaki ölçüm noktasında 1,10 dS/m ve en yüksek ise Ocak ayında sağ giriş ölçüm noktasında 1,82 dS/m olarak ölçülmüştür. Gölet suyu elektriksel iletkenlik açısından ABD tuzluluk laboratuvarı sınıflamasına (USSS, 1954) göre her iki yılda da III. sınıf sulama suyu kalitesinde olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Elektriksel iletkenlikteki değişim (2022)

4.1.2. pH

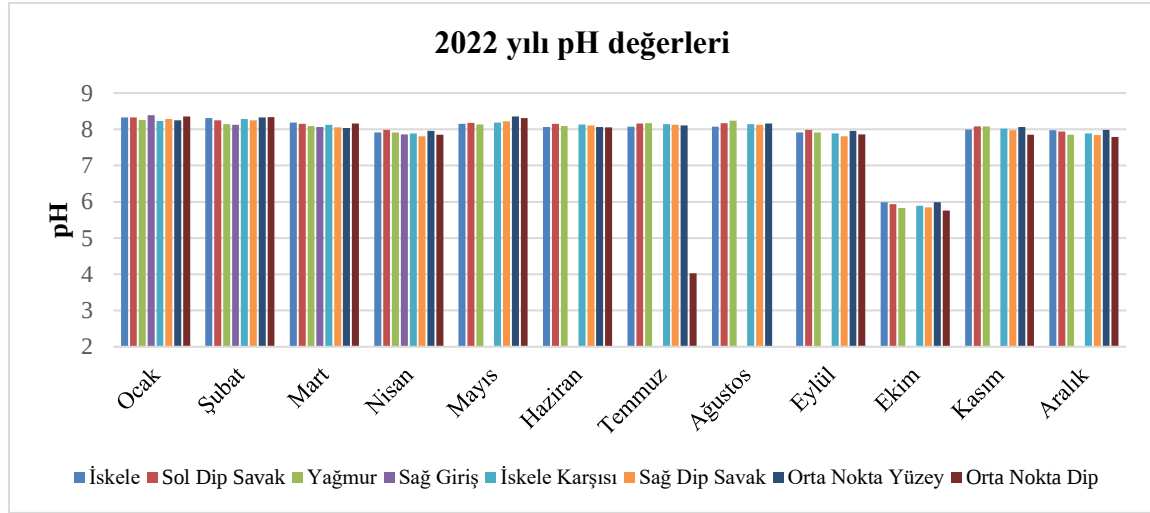
Su kalitesi analizlerinde yaygın bir şekilde ölçülen parametrelerden biri olan pH, bir çözeltinin ne kadar asidik veya alkali olduğunun standart ölçüsüdür. Sucul ekosistem canlıları yaşamsal faaliyetlerinin devamlılığı için su kütlelerinin pH'ının belirli bir aralıkta olmasına ihtiyaç duyarlar. Her organizmanın ideal bir pH'ı olmasına rağmen, çoğu su organizması 6,5 – 8,0 pH'ı tercih eder. İçme suyunun pH'ı genellikle bir sağlık sorunu değildir. Bununla birlikte, asidik su, sıhhi tesisat sistemlerinden metalleri sızdırabilir ve bu da sağlık sorunlarına neden olabilir (Green ve Herron, 2003). Bir su kaynağının pH değeri sıcaklık ve biyolojik olaylara bağlı olarak günlük, aylık ve mevsimsel olarak değişim gösterebilir (Cole ve Weihe, 2015). 2021 ve 2022 yılları içerisinde göletten alınan numunelerde aylık pH ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen pH değerlerinin aylık değişimleri 2021 yılı Şekil 4.3'de ve 2022 yılı ise Şekil 4.4'de gösterilmiştir. 2021 yılında pH değerleri en düşük 7,1 ile Haziran ayında orta noktada göl tabanında, en yüksek Ağustos ayında sol sahil şeridinde 8,34 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.3. pH değişimi (2021)

2022 yılı en düşük 4,03 ile Temmuz ayında orta noktada göl tabanında, en yüksek Ocak ayında sağ girişte 8,39 olarak ölçülmüştür. Sularda, bir kural olmamakla birlikte düşük pH değerleri genellikle havalandırmanın sınırlı olduğu bataklıklarda, yüksek pH değerleri ise akarsularda görülür. Su kütlesi içindeki çok sayıda biyolojik ve kimyasal süreçleri

etkilemesinden dolayı pH, su kalitesi değerlendirmesinde önemli bir değişkendir (Chapman, 1996). Gölet suyu pH değerleri Ekim ayında kanalizasyon karışması neticesinde tüm noktalarda 6'dan küçük olarak ölçülmüştür. Yukarıda da bahsi geçtiği üzere gölette balık ölümleri gözlemlenmiştir.

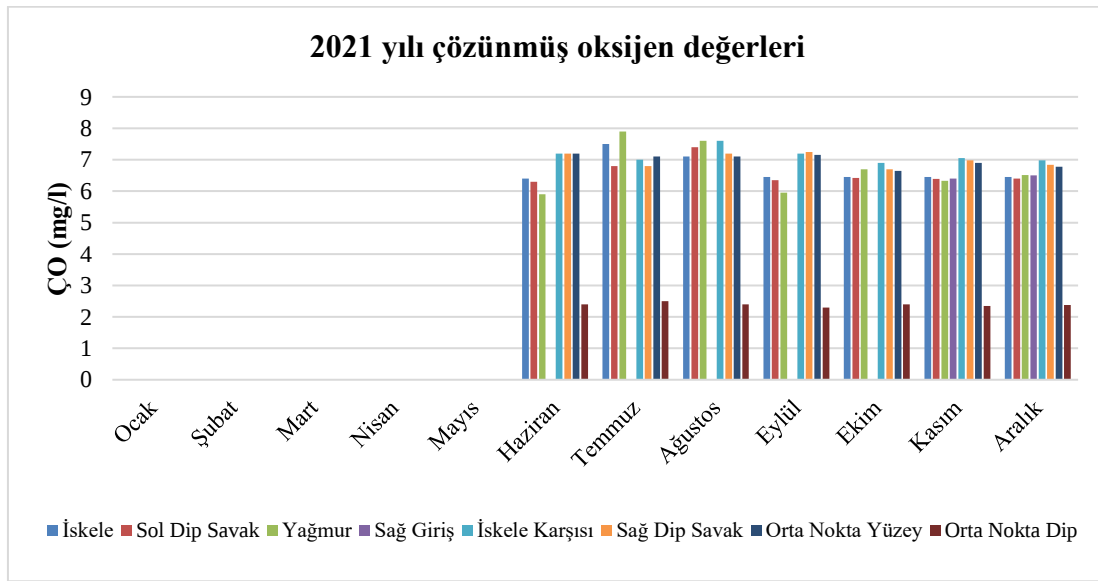


Şekil 4.4. pH değişim (2022)

4.1.3. Çözünmüş oksijen değerlerindeki değişimler

Su kalitesi değişiminin izlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden biri çözünmüş oksijendir. Sucul ekosistemin dengede olup olmadığının göstergesi olan oksijen miktarı; su sıcaklığına, atmosferdeki oksijenin kısmî basıncına, sudaki mikroorganizmalara bağlıdır. Ayrıca suyun mineral kapsamı gibi fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal aktivitelerde çözünmüş oksijenin yeterliliği ile ilişkilidir (Svobodova, 1993; Ibanez, Hernandez-Esparza, Doria-Serrano, Fregoso-Infante ve Singh, 2010). Sucul ekosistemin devamlılığı için yaşamsal öneme sahip olan çözünmüş oksijen, aynı zamanda sudaki birçok tepkimenin gerçekleşmesinde önemli rol oynar. Çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki değişiklikler, su kütlesindeki biyolojik ve kimyasal süreçleri etkileyebilir. Oksijen konsantrasyonundaki önemli azalmalar neticesinde yüksek BOİ değerleri gözlenebilir bu da organik atıkların fazlaca olduğunun göstergesidir. Doğal sularda sucul hayatın devam edebilmesi için en az 5 mg/l çözünmüş oksijen miktarının gerekliliği bildirilmektedir (Bremond ve Vuichard, 1973; Fitri ve diğerleri, 2020).

2021 yılı aylar itibarıyla çözünmüş oksijenin değerindeki değişim Şekil 4.5’de ve 2022 yılı ölçüm sonuçları ise Şekil 4.6’da gösterilmiştir. 2021 yılında ÇO en düşük değeri Eylül ayında orta nokta göl dibinde 2,30 mg/l en yüksek değer ise Temmuz ayında yağmur kanalında 7,90 mg/l olarak ölçülmüştür. Ortalama değer ise 6,65-7,18 mg/l arasında değişkenlik göstermiştir. Gölün orta noktasında dipten alınan örneklerde çözünmüş oksijen değeri 5 mg/l değerinin altında kalmaktadır. Bunun nedeni göl tabanında yıllar içerisinde biriken sedimentin çamur oluşumuna neden olması ve orada oksijensiz bir ortamın oluşması olabilir.

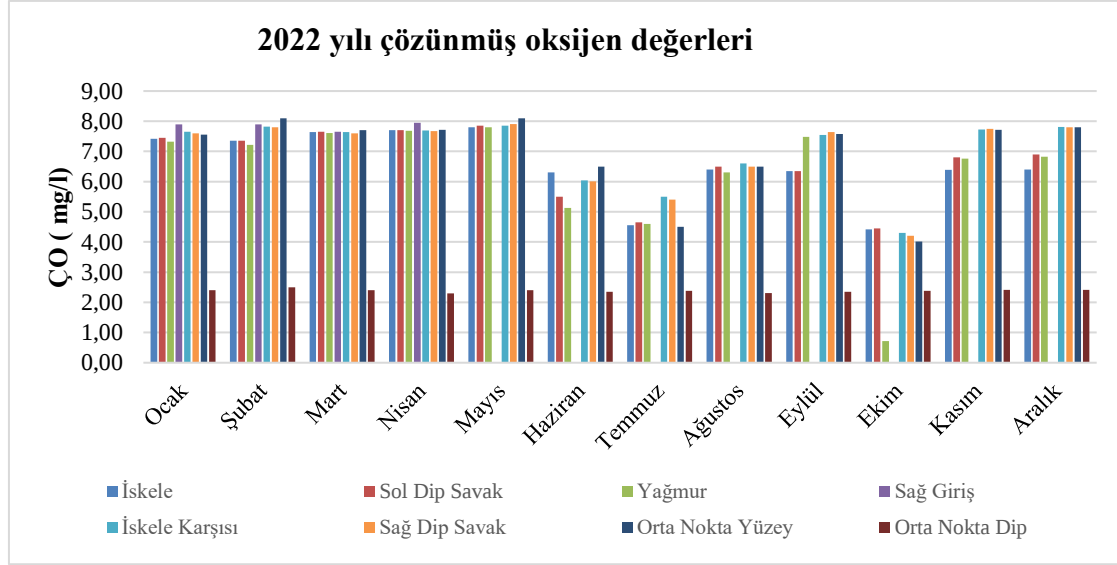


Şekil 4.5. Çözünmüş oksijen değerlerindeki değişim (2021)

Gölet suyu 2022 yılı en düşük ÇO değeri Ekim ayında yağmur kanalında 0,72 mg/l en yüksek değeri ise Şubat ayında orta nokta yüzeyde 8,10 mg/l olarak ölçülmüştür. Ekim ayında gerçekleşen kanalizasyon karışımı, çözünmüş oksijen değerlerinde ani bir düşüşe sebebiyet vermiştir.

Çözünmüş oksijen, suyun oksijen kapasitesini ve biyolojik yaşam için gerekli oksijenin mevcudiyetini gösterir. Suya fazla besin maddesi eklenmesi (özellikle fosfor ve azot), alglerin hızla çoğalmasına yol açar. Algler öldükçe, organik maddeler mikroorganizmalar tarafından parçalanır ve bu süreç oksijen tüketir. Bu da suyun çözünmüş oksijen seviyesinin düşmesine neden olur. Düşük çözünmüş oksijen, ötrifikasyonun bir göstergesi olabilir, çünkü alglerin aşırı büyümesi oksijen tükenmesine neden olur (Krenkel ve Novotny, 1980; Coffin, Connolly ve Harris, 1993; Chapman, 1996; Mesner ve Geiger, 2010).

Oksijen derişiminin doğal ya da insan faaliyetleri sonucu aşırı düştüğü durumlarda oksijensiz koşullar gelişmekte ve canlı yaşamını tehdit eden en önemli unsurların başında gelmektedir. Çalışma alanı gölette de düşen çözünmüş oksijen değeri, toplu balık ölümlerinin meydana gelmesine de neden olmuştur.

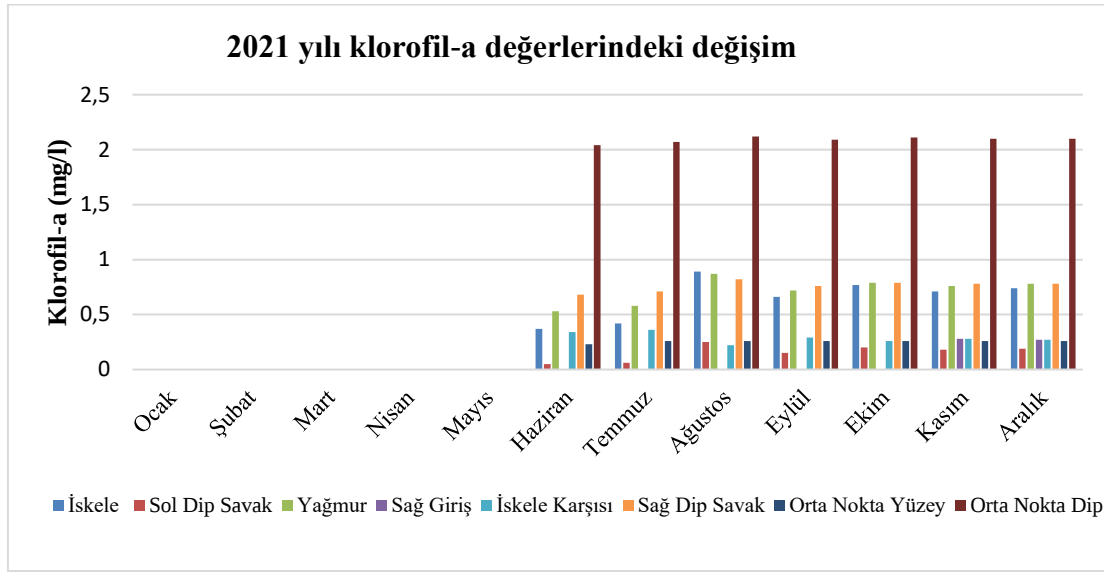


Şekil 4.6. Çözünmüş oksijen değeriindeki değişim (2022)

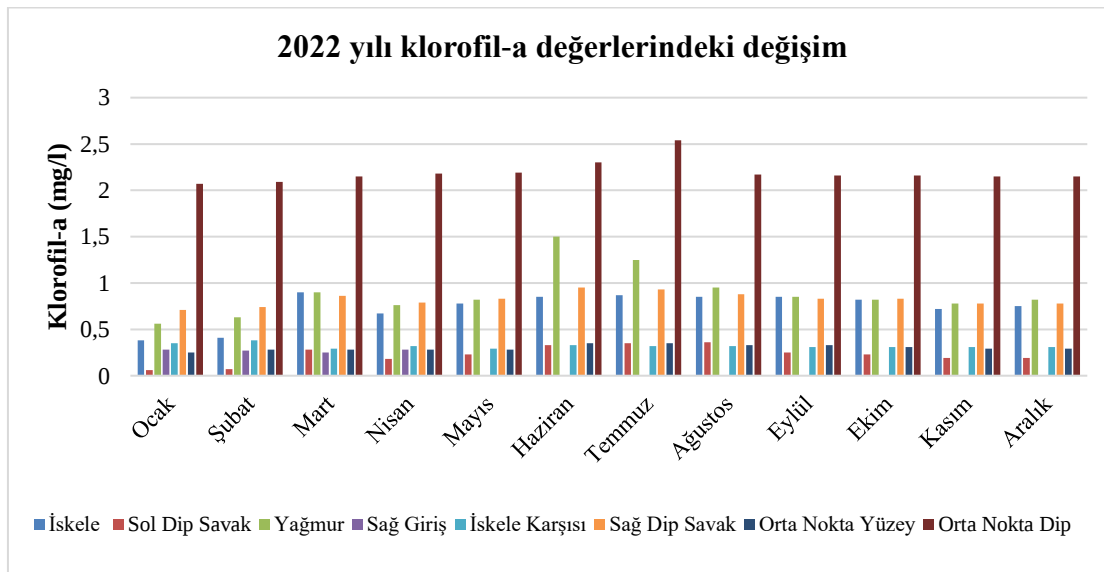
4.1.4. Klorofil-a

Göl, gölet ve baraj rezervuarlarında suyun faydalı kullanımını ve sucul yaşamın devamlılığını sınırlandıran önemli bir tehdit unsuru ötrofikasyon olayıdır. Ötrofikasyon kontrolü ve seviyesinin belirlenmesi için azot, fosfor ve bulanıklık parametrelerinin yanı sıra klorofil-a değeri de önemli bir değişkendir. Ayrıca fitoplankton yoğunluğunun belirlenmesinde de en sık kullanılan parametrelerden biri klorofil-a pigmentidir. Fitoplankton ve dolayısıyla klorofil-a yoğunlaşmaları aynı zamanda su kaynağının evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklar ile kirletildiğinin belirteci olarak kullanılmaktadır (Silvino ve Barbosa, 2015; Tarı ve Olğün Kıyak, 2024). 2021 yılı boyunca göletten alınan numunelerde klorofil-a değeri tayin edilmiştir. Klorofil-a analizinde spektrofotometrik yöntem kullanılmıştır. Klorofil-a değeriindeki 2021 yılındaki değişim Şekil 4.7’de ve 2022 yılındaki değişim ise Şekil 4.8’de gösterilmiştir. 2021 yılında en düşük klorofil-a değeri Haziran ayında 2 nolu örnekleme noktasında (sol dip savak) 0,054 mg/l, en yüksek değeri ise Ağustos ayında Gölet’in orta noktasında dipten alınan örnekte 2,118 mg/l olarak ölçülmüştür.

2022 yılı gözlemlerinde ise en düşük klorofil-a değeri Ocak ayında 2 nolu örnekte (sol dip savak) 0,06 mg/l, en yüksek değer Temmuz ayında Gölet'in orta noktasında dipten alınan örnekte 2,54 mg/l olarak ölçülmüştür. Gölet klorofil-a değeri açısından ötrofikasyon sınır değerlerini aşmaktadır. Her iki yılda da klorofil-a değerleri yaz mevsiminde daha yüksek ölçülmüştür bunun sebebi yaz sulamaları nedeniyle su miktarının azalması ve güneşlenme zamanının uzun olmasıdır. Özellikle kanalizasyon karışımı nedeniyle gölet dibinde uzun süreli havasız ortam oluşması da etkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.7. Klorofil-a değerlerindeki değişim (2021)



Şekil 4.8. Klorofil-a değerlerindeki değişim (2022)

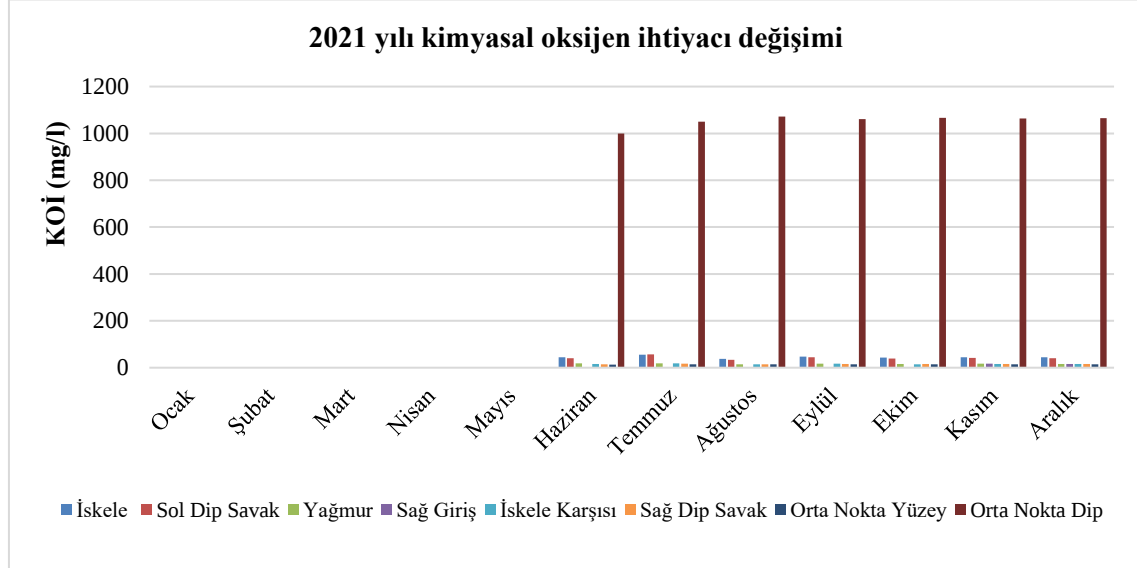
4.1.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı

Sularda yükseltgenme yoluyla elektron değiştirebilen maddelerin kimyasal yolla oksitlenmeleri için gerekli oksijen miktarı kimyasal oksijen ihtiyacı olarak tanımlanmaktadır. Evsel ve endüstriyel atıklarla kirlenmiş suların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biri kimyasal oksijen ihtiyacıdır (Alam, 2015; Vyrides ve Stuckey, 2009; Geerdink, Van Den Hurk ve Epema, 2017). Ayrıca kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), atık suda organik kirleticilerin varlığını değerlendirmek için önemli bir parametre göstergesidir. Yüksek KOİ seviyelerine sahip sular; çevre ve endüstriyel faaliyetler üzerinde zararlı etkilere sahip olabilir. Sonuç olarak KOİ seviyelerini azaltmak atık su arıtımı, alıcı ortama deşarj veya yeniden kullanımdan önce önemli hale gelmektedir. KOİ azaltımı için organik kirleticilerin adsorban olarak bilinen katı bir malzemenin yüzeyine bağlandığı adsorpsiyon yöntemi umut verici bir yaklaşım sunar (Raji, Mirbagheri, Ye ve Dutta, 2021).

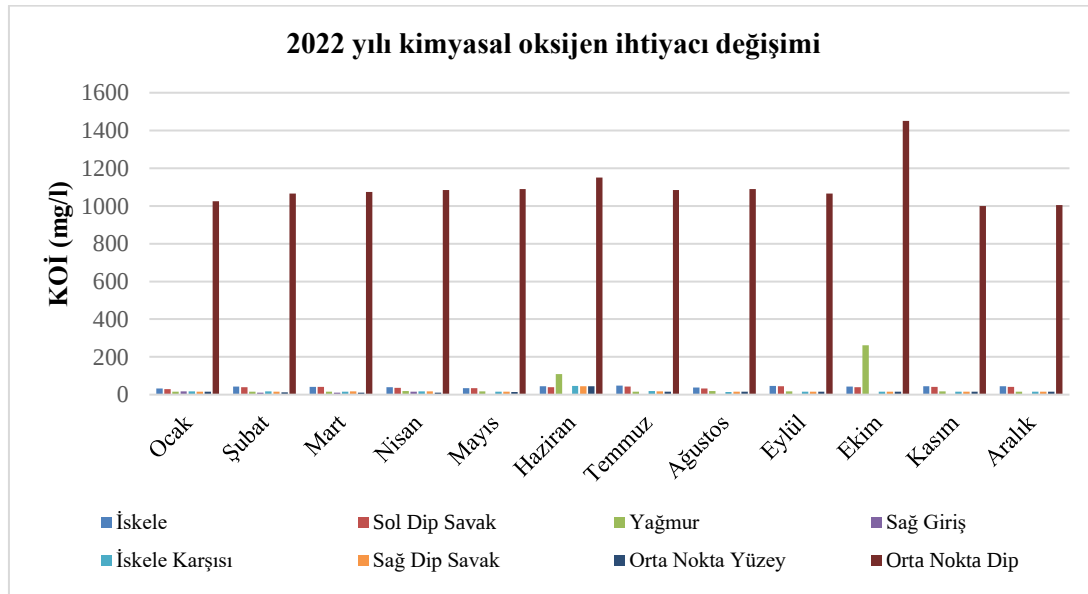
Kimyasal oksijen ihtiyacı değeri ne kadar yüksekse, suyun içinde organik madde ve kirleticilerin yoğunluğu da o kadar fazladır. KOİ değeri yüksek olan bir su, daha fazla kirletici içeren ve oksijen tüketen bir suyu işaret eder. KOİ daha geniş bir organik madde yelpazesini kapsar ve kimyasal oksidasyon süreci ile ölçülürken, BOİ yalnızca biyolojik ayrışabilir maddeleri ve biyolojik oksidasyon sürecini dikkate alır. Bu yüzden KOİ genellikle daha yüksek bir oksijen ihtiyacı gösterir, çünkü biyolojik olarak ayrışmayan organik maddeler de oksitlenir (Trivedy ve Goel, 1984; Samsunlu, 2005; Burke, Singh ve Theodore, 2005; Hur ve Cho, 2012).

Su ve atıksu örneklerinde kirliliğin derecesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli test parametresi KOİ'dir. Aylar itibarıyla KOİ değerindeki değişim 2021 yılı için Şekil 4.9'da ve 2022 yılı için de Şekil 4.10'da gösterilmiştir. 2021 yılının Mayıs ve Ekim ayları arasında Sağ Giriş noktasında akış olmadığından örnekleme yapılamamıştır. Planlanan 6 örnekleme noktasına ilaveten Haziran ayı itibarıyla göletin orta noktasından yüzey ve dipten örnekleme yapılmıştır. 2021 yılında en düşük KOİ değeri Haziran ayında orta nokta yüzeyden alınan su örneğinde 13 mg/l ve en yüksek ise Ağustos ayında orta nokta dipte 1072 mg/l olarak ölçülmüştür. Gölet tabanında bulunan çamurun KOİ değeri 6980 mg/l olarak ölçülmüştür. Gölet KOİ değeri açısından ötrofikasyon sınır değerlerini oldukça fazla aştığı belirlenmiştir. 2022 yılı KOİ ölçümlerinde en düşük değeri Şubat ve Mart aylarında sırasıyla

sağ giriş ve orta nokta yüzeyden alınan su örneklerinde 10 mg/l olarak tespit edilmiş, en yüksek ise Ekim ayında orta nokta dipte 1450 mg/l olarak ölçülmüştür.



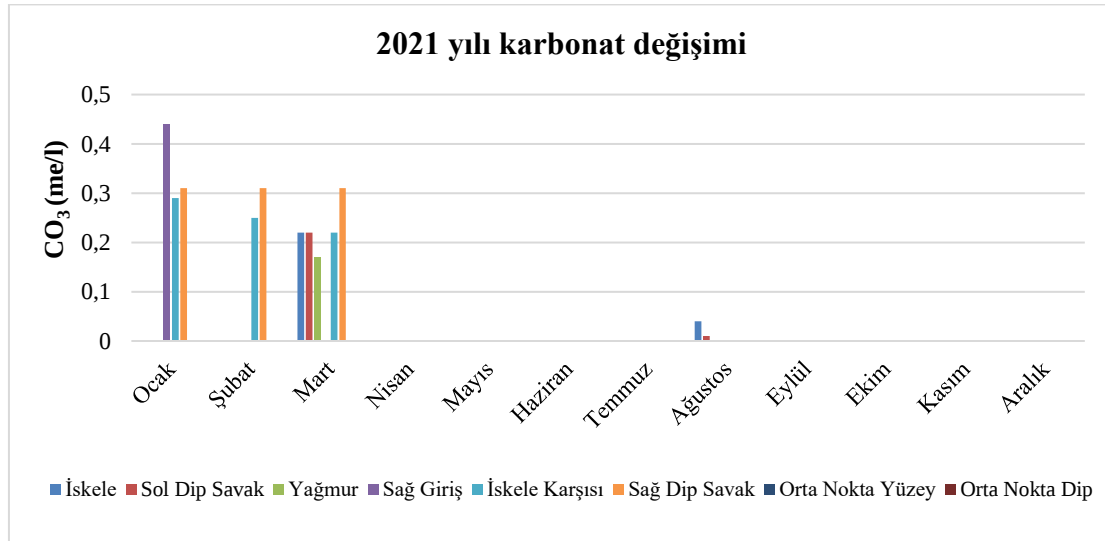
Şekil 4.9. Kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerindeki değişim (2021)



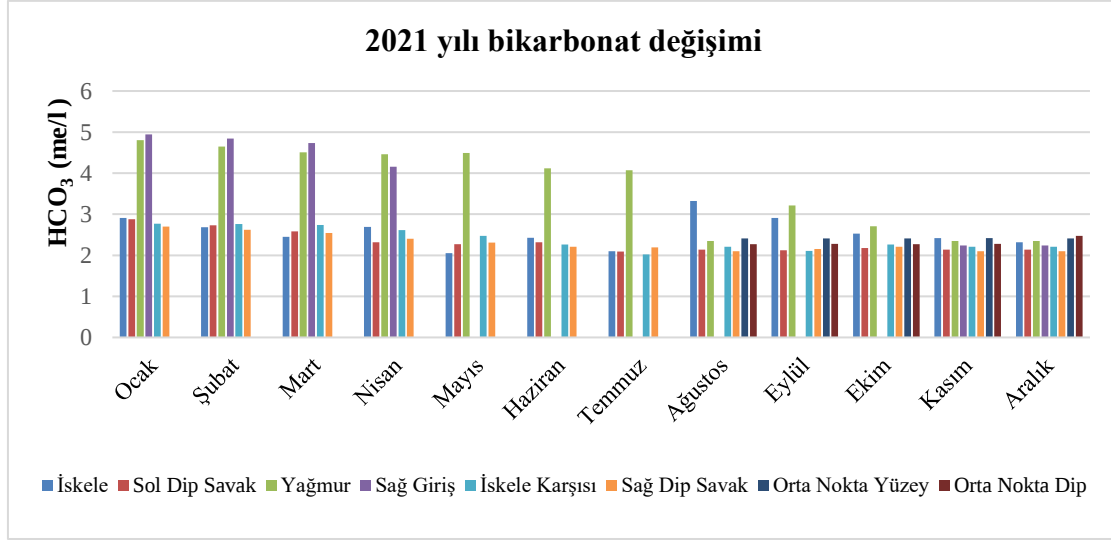
Şekil 4.10. Kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerindeki değişim (2022)

4.1.6. Karbonat ve bikarbonat

Sucul ortamların asitlik-alkalilik düzeyine bağlı olarak karbonat ve bikarbonatlar doğal sularda yaygın olarak bulunan iyonlardır. Doğal sularda normal pH aralığında karbonat miktarı bikarbonata göre çok düşüktür. Suyun pH değeri 8,2'nin üzerine çıktığı zaman karbonat iyonu konsantrasyonu artmaya başlar. Yeraltı suları ise daha alkali olabilir ve 10 mg/l'ye kadar CO_3^{--} konsantrasyonları içerebilir. Yüzey sularındaki HCO_3^- konsantrasyonları genellikle <500 mg/l ve daha yaygın olarak <25 mg/l'dir (Chapman, 1996). 2021 yılı aylık karbonat değişimleri Şekil 4.11 ve bikarbonat değişimleri ise Şekil 4.12'de gösterilmiştir. 2021 yılında en yüksek karbonat değeri Ocak ayında sağ girişte 0,44 me/l (26,4 mg/l), en düşük ise Ağustos sol dip savakta 0,01 me/l (0,6 mg/l) olarak ölçülmüştür. 2021 yılında Nisan-Aralık ayları arasında Ağustos ayı hariç olmak üzere ($\text{pH} < 8,2$) karbonat iyonu tespit edilememiştir. 2021 yılında en düşük bikarbonat değeri Temmuz ayında 2,02 me/l (123,22 mg/l) olarak iskele karşısındaki örnekleme noktasında ve en yüksek değer ise Ocak ayında 4,94 me/l (301,34 mg/l) olarak sağ girişte örnekleme noktasından alınan numunede ölçülmüştür (Şekil 4.12).

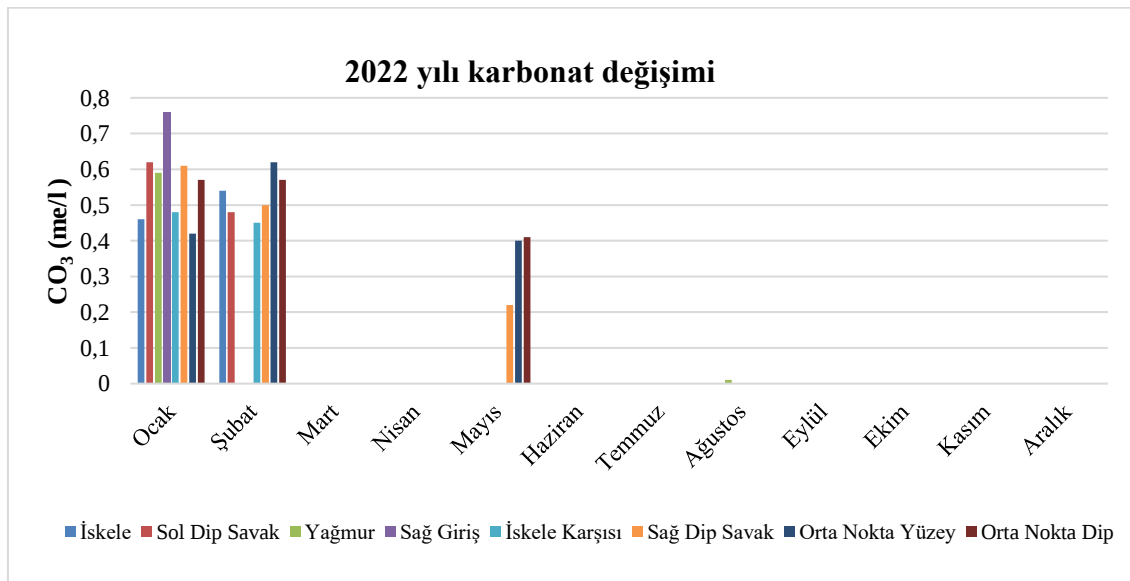


Şekil 4.11. Karbonat konsantrasyonundaki değişim (2021)

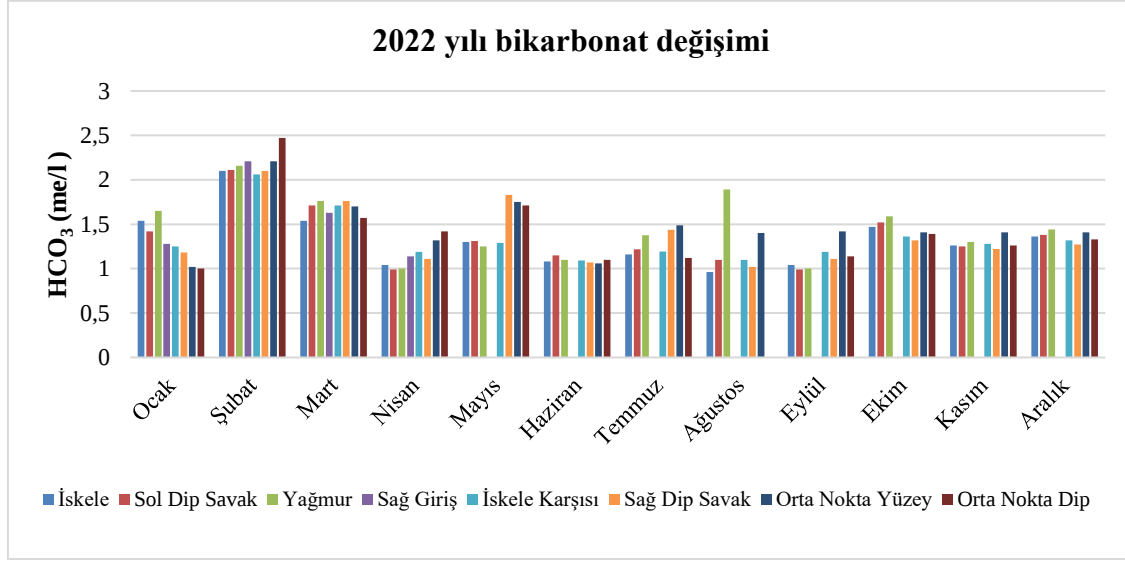


Şekil 4.12. Bikarbonat konsantrasyonundaki değişim (2021)

Gölet suyunun 2022 yılı karbonat ve bikarbonat değerindeki değişimi sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir. En yüksek karbonat değeri sağ giriş örnekleme noktasında Ocak ayında 0,76 me/l (45,6 mg/l) ve en düşük ise Mayıs ayında sağ dip savakta 0,22 me/l (13,2 mg/l) olarak ölçülmüştür. En düşük bikarbonat değeri ise 0,96 me/l (58,56 mg/l) olarak iskele örnekleme noktasında Ağustos ayında, en yüksek değer ise Şubat ayında 2,47 me/l (150,67 mg/l) olarak orta nokta dip örnekleme noktasında ölçülmüştür. 2021 yılında olduğu gibi en düşük konsantrasyon yaz mevsiminde en yüksek konsantrasyon ise kış mevsiminde gözlenmiştir.



Şekil 4.13. Karbonat konsantrasyonundaki değişim (2022)



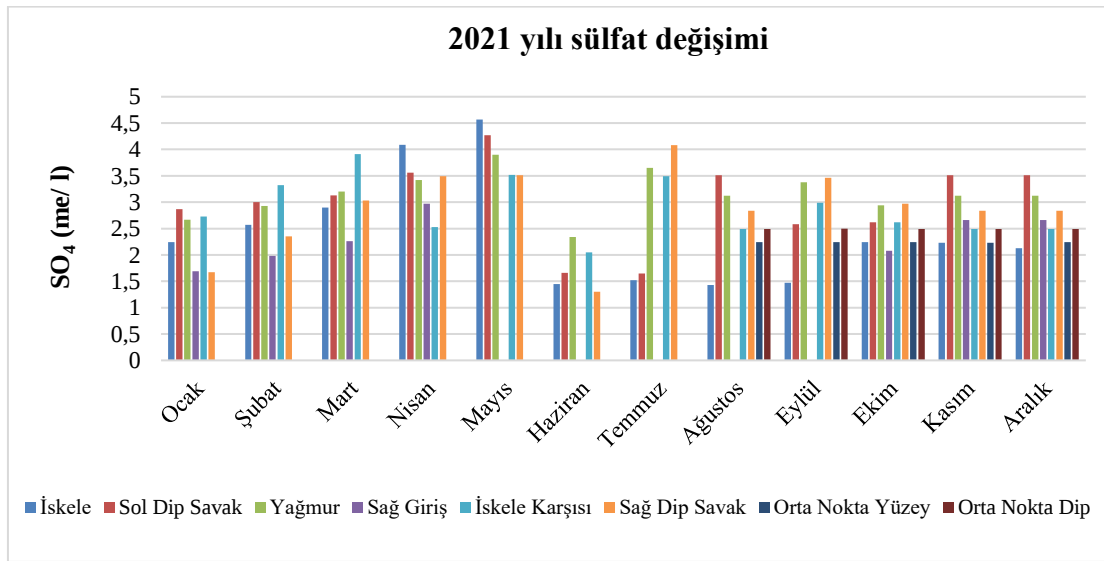
Şekil 4.14. Bikarbonat konsantrasyonundaki değişim (2022)

4.1.7. Sülfat

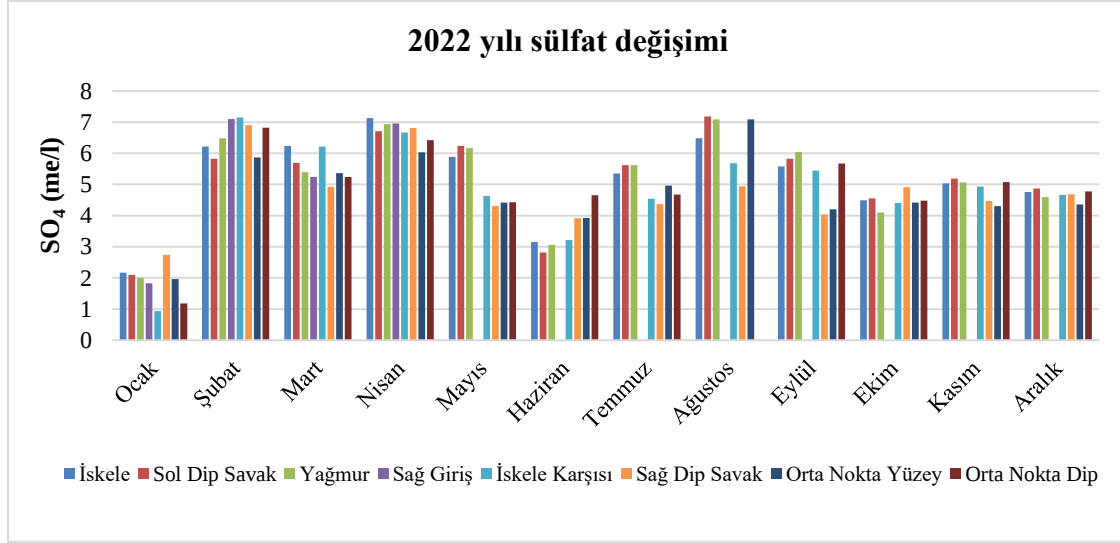
Çözünür, iki değerlikli bir anyon (SO_4^{2-}) olan sülfat, elementel kükürt, sülfür mineralleri veya organik kükürdün oksidasyonundan üretilir. Sülfat, dünyadaki kükürt bolluğu nedeniyle çevrede her yerde bulunur. Doğal sulardaki sülfatlar ağır metal sülfürlerinin çoğu kez atmosferik olayların etkisiyle kısmen oksitlenerek suda çözünmesinden oluşmaktadır (Clarkson, Fontenot ve Yu, 2005).

Biyolojik verimin artması için doğal su kaynaklarında sülfatın olması gereklidir. Ancak sülfür döngüsü de azot döngüsü gibi biyolojik aktivitelerden çabuk etkilenir. Sülfür aerobik şartlarda, sülfata okside olur ve bu olay sülfürün zararlı bir form olan hidrojen sülfite dönüşmesini engeller. Sülfatlar ve sülfürik asit ürünleri gübre, kimyasal madde, boya, cam, plastik, sabun, tekstil, mantar öldürücü, böcek öldürücü ve kusturucu üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca madencilik, odun hamuru, metal ve kaplama endüstrilerinde, kanalizasyon arıtımında ve deri işlemede kullanılırlar. Alüminyum sülfat (şap), içme suyunun arıtımında çökeltme ajanı olarak kullanılır. Bakır sülfat, ham ve kamu su kaynaklarındaki alglerin kontrolü için kullanılmıştır. ABD Çevre Koruma Ajansı'nın Sucul Bilgi Alma Sistemi, Tehlikeli Maddeler Veri Bankası ve bilimsel literatürlere göre sülfat için bildirilen kronik toksisite etki seviyeleri 361 ila 1488 mg/l arasında değişmektedir 1. Akut toksisite eşiğinin 450 mg/l olduğu varsayılmaktadır (Clarkson, Fontenot ve Yu, 2005).

Beytepe Göleti Sülfat iyonu konsantrasyonundaki değişimler 2021 yılı Şekil 4.15’de ve 2022 yılı ise Şekil 4.16’da gösterilmiştir. 2021 yılında en düşük değer 1,3 me/l (62,4 mg/l) olarak sağ dip savak örnekleme noktasında Haziran, Kasım ve Aralık aylarında ölçülmüştür. En yüksek değer ise Mayıs ayında 4,57 me/l (219,36 mg/l) olarak yine aynı örnekleme noktasında ölçülmüştür. Gölet suyu 2022 yılı en düşük değer 0,94 me/l (45,12 mg/l) olarak iskele karşısı Ocak ayında, en yüksek değer ise Ağustos ayında 7,18 me/l (344,64 mg/l) olarak sol dip savakta ölçülmüştür. Su ortamlarında evsel, endüstriyel ve tarımsal atık deşarjları SO_4^{2-} artışına neden olmaktadır. Suların 250 mg/l’den fazla SO_4^{2-} içermesi önemli bir kirlilik göstergesidir. Beytepe Göleti sülfat konsantrasyonu bakımından 2021 yılında standart kirlilik değerlerinin altında kalmakla birlikte 2022 yılında Türk Standartları Enstitüsü İnsani Tüketim Amaçlı Sular Tebliği’ne göre ise müsaade edilen 250 mg/l sınır değerini aşmaktadır.



Şekil 4.15. Sülfat konsantrasyonundaki değişim (2021)

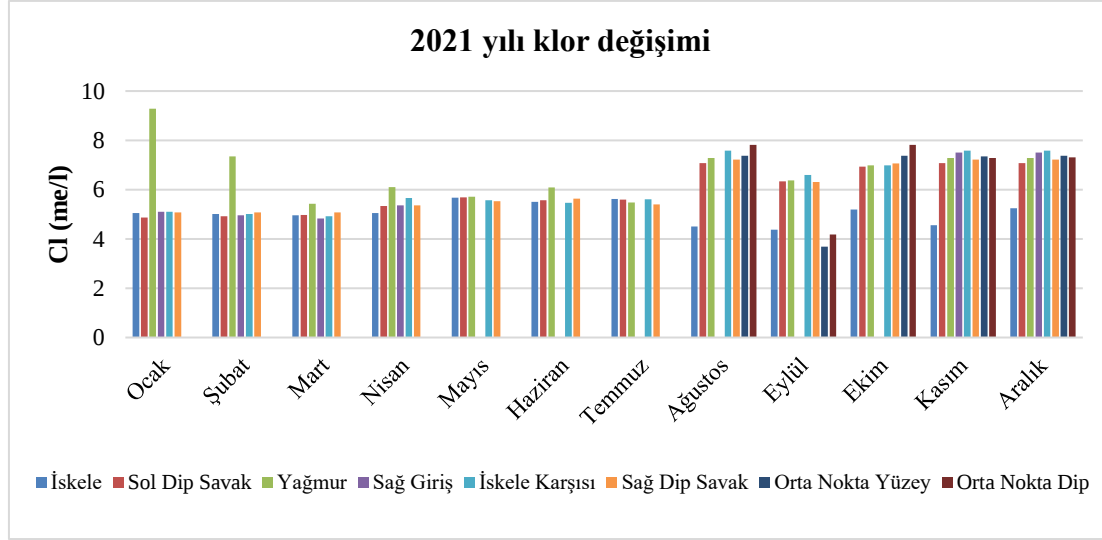


Şekil 4.16. Sülfat konsantrasyonundaki değişim (2022)

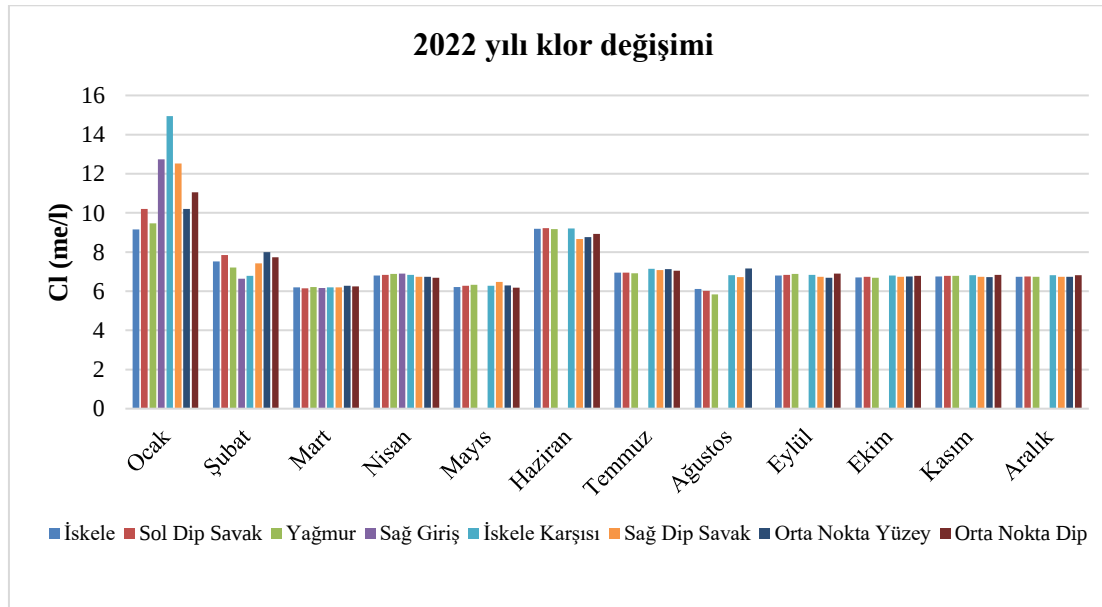
4.1.8. Klor

Çeşitli amaçlar için kullanılan su kalitesinin belirlenmesindeki önemli parametrelerden biri de Klorür iyonudur. Neredeyse tüm doğal sular çeşitli konsantrasyonlarda klorür içerir. Cl⁻ iyonu doğal sularda 100 mg/l'ye kadar bulunabilir. Doğal sudaki serbest klorun stabilitesi çok düşüktür çünkü güçlü bir oksitleyici ajandır ve inorganik bileşikleri hızla oksitler. Klor, yalnızca çok düşük bir pH'ta (<2) bir element olarak kalır, yüksek pH'da ise hızla hipokloröz aside dönüşür. (Chanda ve Mehendale, 2005; Green ve Herron, 2003). Klor iyonları su ortamlarına bazı kayaçların aşınması şeklinde doğal olarak karışmalarının yanı sıra insani faaliyetler neticesinde oluşan evsel ve endüstriyel atık sular, tarımsal alanlardan gelen drenaj suları gibi kaynaklardan da karışırlar. Genellikle nitrat veya amonyumla birlikte yüksek konsantrasyonlarda klorür, suyun evsel atıklarla kirlendiğini gösterir (Chapman, 1996). Sulama amaçlı kullanılacak suyun klor konsantrasyonunun fazlalığı özellikle hassas bitkiler için toksik etki yapabilir (Munsuz ve Ünver, 1995). Aynı zamanda Klor dioksit organik bileşikleri oksitler, ancak inorganik bileşiklerden daha yavaştır. Klor, her türlü su yaşamı için oldukça toksiktir; Biyoakümülyasyon veya biyokonsantrasyon potansiyeli yoktur (Chanda ve Mehendale, 2005). Klorür iyonu konsantrasyonundaki değişimler 2021 yılı için Şekil 4.17'de ve 2022 yılı içinde Şekil 4.18'de gösterilmiştir. 2021 yılının en düşük değer 4,18 me/l (142,639 mg/l) olarak orta nokta dip örnekleme noktasında Eylül ayında ölçülmüştür. En yüksek değer ise Ocak ayında 9,29 me/l (329,795 mg/l) yağmur suyu giriş örnekleme noktasında ölçülmüştür. Gölet suyu 2022 yılı en düşük değer 4,46 me/l (158,33

mg/l) olarak göl tabanı örnekleme noktasından Temmuz ayında ölçülmüştür. En yüksek değer ise Ocak ayında 14,94 me/l (530,37 mg/l) iskele karşısı örnekleme noktasından ölçülmüştür. Klorür iyonu konsantrasyonu 2022 yılında 2021 yılına oranla artış gösterdiği belirlenmiştir.



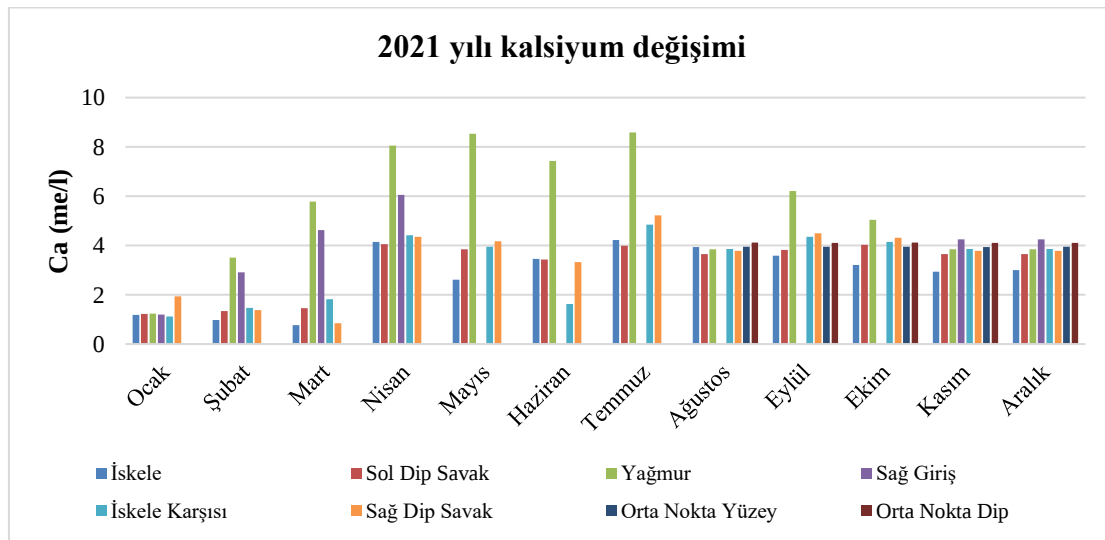
Şekil 4.17. Klor konsantrasyonundaki değişim (2021)



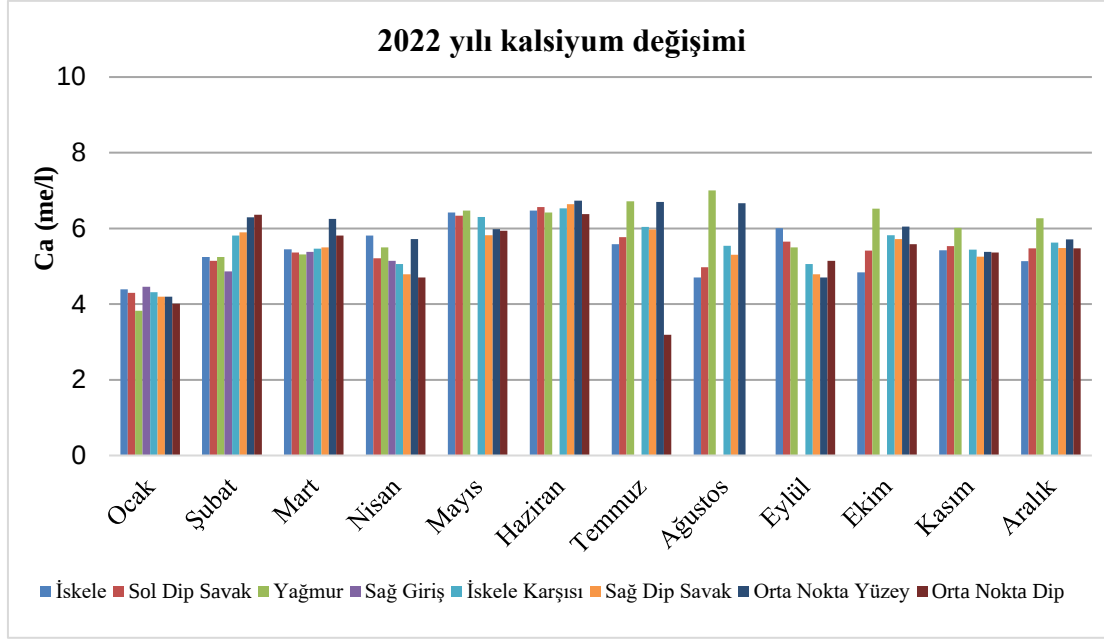
Şekil 4.18. Klor konsantrasyonundaki değişim (2022)

4.1.9. Kalsiyum

Doğal sularda bulunan kalsiyum (Ca^{++}), genellikle inorganik toprak ürünlerinden kaynaklanır ve bu iyonlar, topraktan çözünerek veya toprakla birlikte akarak göllere ve akarsulara taşınır. Kalsiyum, suyun sertliğini oluşturan başlıca elementlerden biridir ve bu nedenle suyun sertlik düzeyini belirleyen önemli bir bileşiktir. Su kaynaklarındaki Ca^{++} konsantrasyonları, genellikle 15 mg/l'den daha azdır. Ancak, karbonat bakımından zengin kayalar bulunan bölgelerde, kalsiyum konsantrasyonu 30-100 mg/l seviyelerine kadar çıkabilir. Kalsiyum, içme suyu, kullanma suyu ve sulama sularında genellikle bir kirlilik ajanı olarak kabul edilmez (Chapman, 1996; Sander, Berghult, Broo, Johansson ve Hedberg, 1996). Aksine kalsiyum suların kalitesi açısından genellikle olumlu bir bileşen olarak değerlendirilir. Özellikle, sınırlı kalsiyum konsantrasyonları, suyun asidik özelliklerini dengeleyerek suyun pH seviyesini stabilize etmeye yardımcı olabilir ve ayrıca borulardaki korozyonu azaltarak boru hatlarının ömrünü uzatabilir. Gölet sularının kalsiyum konsantrasyonlarındaki değişim 2021 yılı için Şekil 4.19'da ve 2022 yılı içinde Şekil 4.20'de gösterilmiştir. 2021 yılında en düşük kalsiyum değer 0,77 me/l (15,4 mg/l) olarak iskelede örnekleme noktasında Mart ayında ölçülmüştür. En yüksek değer ise Temmuz ayında 8,59 me/l (171,8 mg/l) yağmur suyu giriş örnekleme noktasında ölçülmüştür. Gölet suyu 2022 yılı en düşük değer 3,19 me/l (63,8 mg/l) olarak göl tabanı örnekleme noktasında Temmuz ayında ölçülmüştür. En yüksek değer ise Ağustos ayında 7,01 me/l (140,2 mg/l) yağmur suyu girişi örnekleme noktasında ölçülmüştür.



Şekil 4.19. Kalsiyum konsantrasyonundaki değişim (2021)



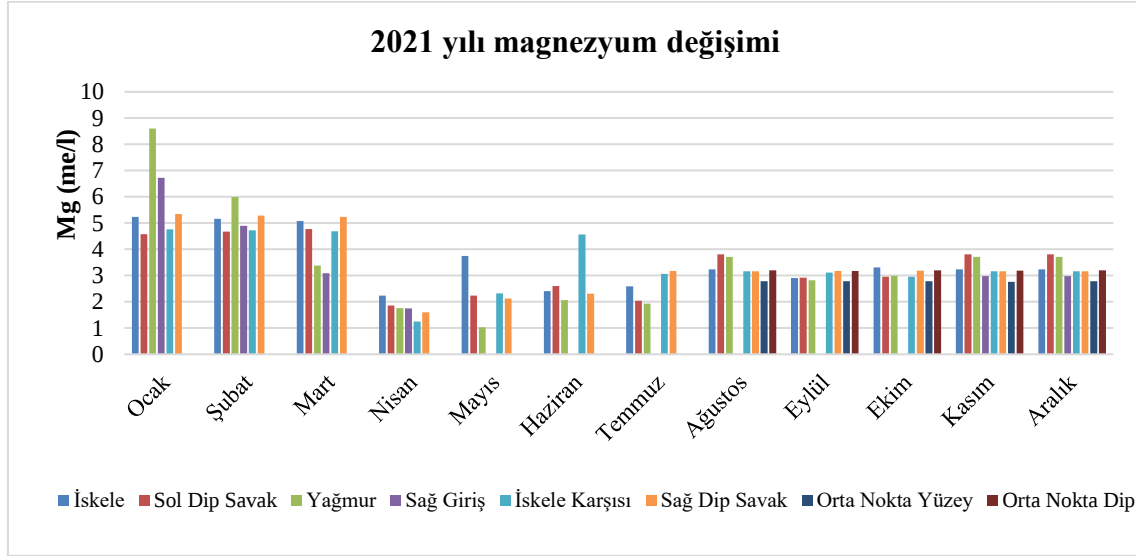
Şekil 4.20. Kalsiyum konsantrasyonundaki değişim (2022)

4.1.10. Magnezyum

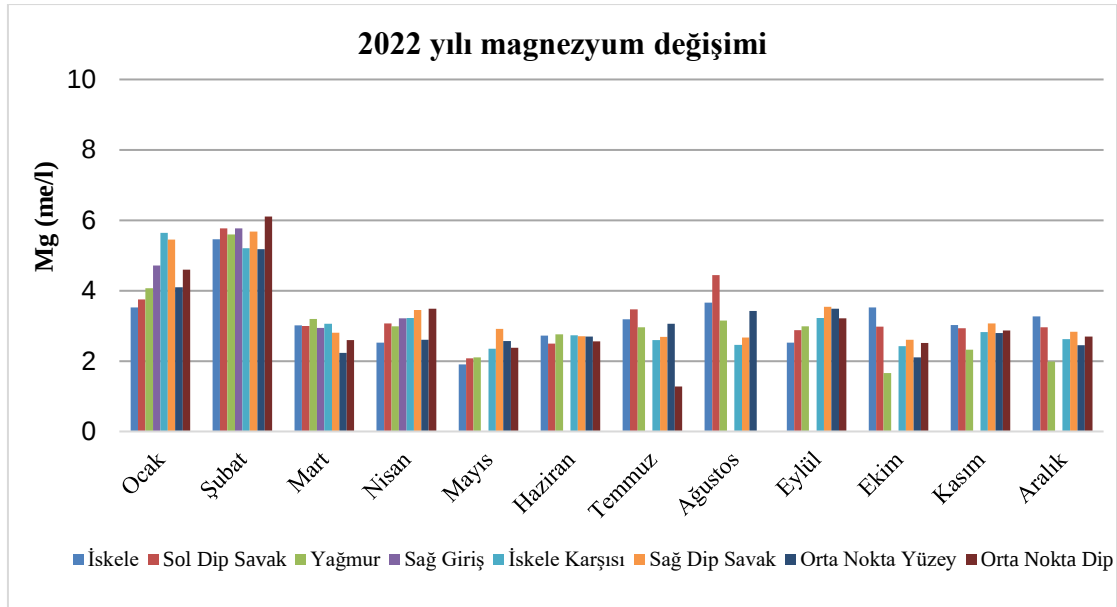
Magnezyum (Mg^{++}), doğal sularda yaygın olarak bulunan bir elementtir ve kalsiyum (Ca^{++}) ile birlikte suyun sertliğine önemli ölçüde etki eder (Chapman, 1996). Mg^{2+} bileşikler, Ca^{++} bileşiklerine oranla genellikle daha kolay çözünür, bu da magnezyumun suda daha hızlı hareket etmesine ve çözünmesine neden olur. Doğal sulardaki Mg^{++} konsantrasyonu, kayaç türüne bağlı olarak değişir ve genellikle 10 ila 50 mg/l arasında seyredir. Magnezyum, klorofil molekülünün yapısında yer aldığı ve kritik bir bileşeni olduğundan, klorofilli bitkiler için hayati öneme sahiptir. Bu durum, magnezyumun doğal sularda fitoplankton verimliliğini etkileyebileceği anlamına gelir (Pettyjohn, 1972; Taş, 2006; Çalışkan, 2018). Fitoplanktonlar, su ekosistemlerinde besin zincirinin temelini oluşturduğundan, magnezyumun bu süreçteki rolü son derece önemlidir. Hem suyun sertliğini etkileyen hem de ekosistemlerdeki bitki verimliliğini ve fotosentez süreçlerini destekleyen bir element olarak önemli bir role sahiptir. Bu nedenle, doğal sulardaki magnezyum konsantrasyonları, ekosistem sağlığı ve su kalitesi açısından dikkate alınması gereken önemli bir parametredir.

Gölet sularının magnezyum konsantrasyonlarındaki değişim 2021 yılı için Şekil 4.21’de ve 2022 yılı içinde Şekil 4.22’de gösterilmiştir. 2021 en düşük değer 1,03 me/l (12,36 mg/l) olarak yağmur suyu girişi örnekleme noktasında Mayıs ayında ölçülmüştür. En yüksek değer

ise Ocak ayında 8,6 me/l (103,2 mg/l) yine aynı noktada ölçülmüştür. 2022 yılında en düşük değer 1,28 me/l (15,36 mg/l) olarak gölet tabanı örnekleme noktasında Temmuz ayında, en yüksek değer ise Şubat ayında 6,11 me/l (73,32 mg/l) olarak yine aynı noktada ölçülmüştür.



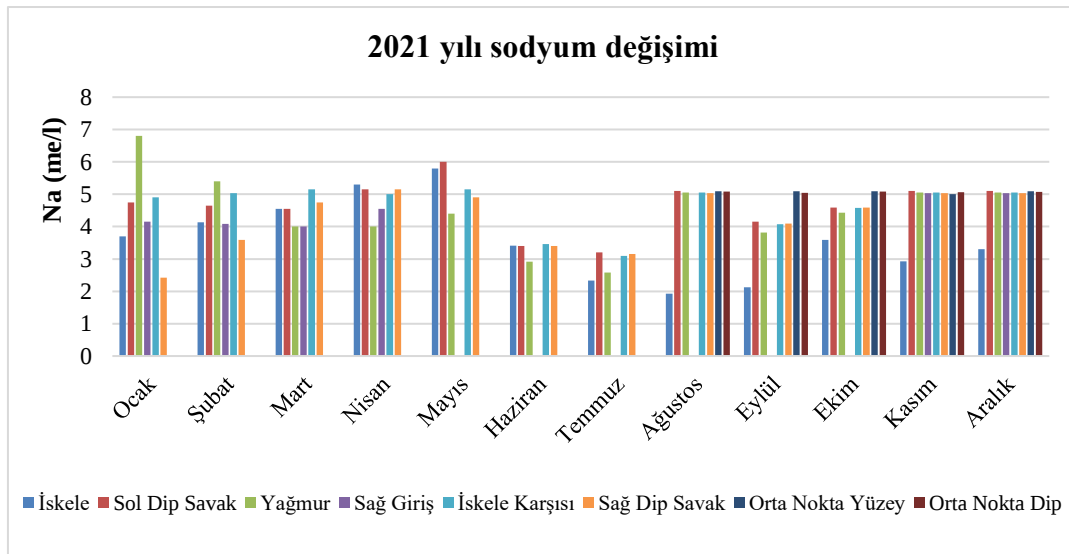
Şekil 4.21. Magnezyum konsantrasyonundaki değişim (2021)



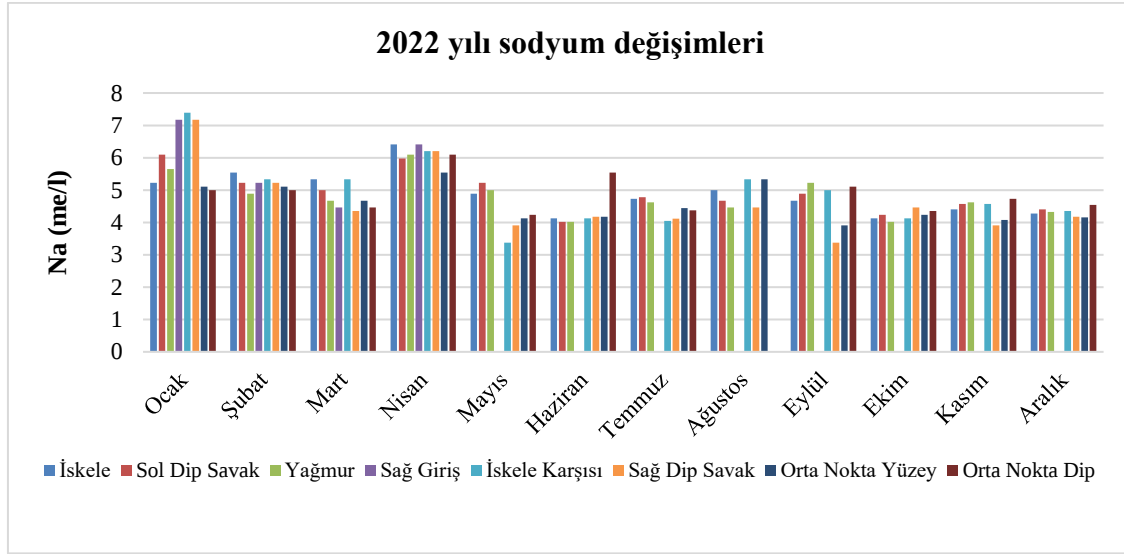
Şekil 4.22. Magnezyum konsantrasyonundaki değişim (2022)

4.1.11. Sodyum

Sodyum (Na^+) yerkürede yüksek miktarda bulunan elementlerden biridir. Tüm canlı organizmalarda iyon formunda bulunmaktadır. Doğal sularda her zaman bir miktar sodyum mevcuttur, çünkü sodyum bileşenleri suyla temas ettiklerinde hızla çözünürler (Chapman 1996). Doğal kaynaklar dışında, antropojenik etkiler de suyun sodyum içeriğini önemli ölçüde etkileyebilir. Sodyum, doğrudan içme suyu kalitesini etkilemese de suyun elektriksel iletkenliği ve ekosistem dengesi üzerinde etkiler yaratabilir. Ayrıca, yüksek sodyum konsantrasyonları, özellikle içme suyu ve tarımsal sulama için uygun olmayan su kalitesine yol açabilir. Bu nedenle, sodyumun su kaynaklarındaki seviyeleri, çevre yönetimi ve su arıtma stratejileri açısından dikkatle izlenmelidir. Göletten alınan su örneklerinde yapılan sodyum iyonu analiz sonuçlarının 2021 yılı değişimi Şekil 4.23’de ve 2022 yılı değişimi ise Şekil 4.24’de gösterilmiştir. 2021 yılında en düşük değer 1,93 me/l olarak iskele örnekleme noktasında Ağustos ayında tespit edilmiştir. En yüksek değer ise Ocak ayında 6,8 me/l yağmur suyu girişi örnekleme noktasında ölçülmüştür. Gölet suyu 2022 yılında ise en düşük değer 3,37 me/l olarak sağ dip savak örnekleme noktasında Eylül ayında, en yüksek değer ise Ocak ayında 7,39 me/l olarak iskele karşısı örnekleme noktasında ölçülmüştür. 2022 yılı sodyum konsantrasyonları 2021 yılına oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca benzer şekilde her iki yılda da en yüksek konsantrasyon Ocak ayında ölçülmüştür.



Şekil 4.23. Sodyum konsantrasyonundaki değişim (2021)



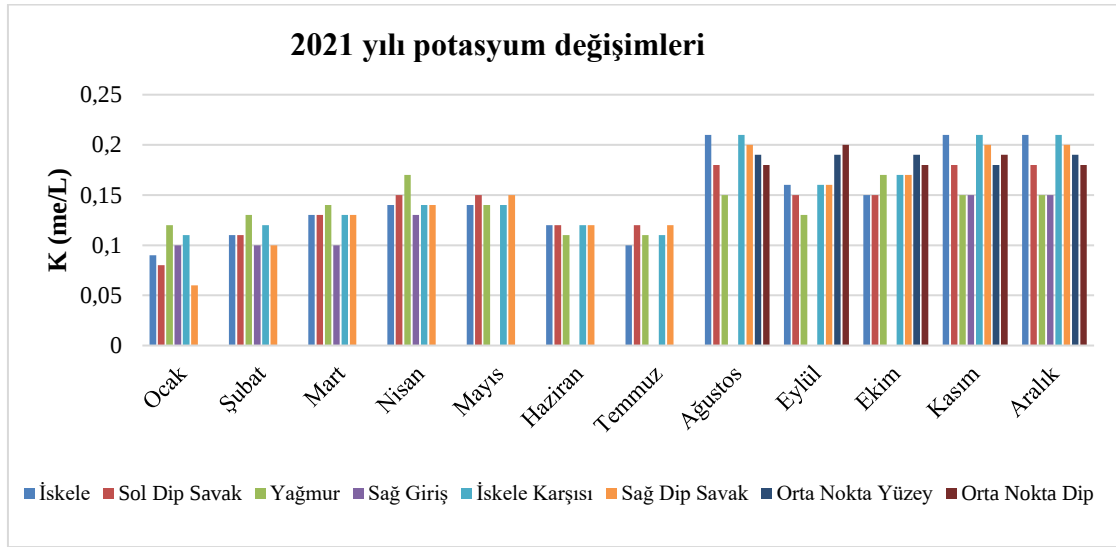
Şekil 4.24. Sodyum konsantrasyonundaki değişim (2022)

4.1.12. Potasyum

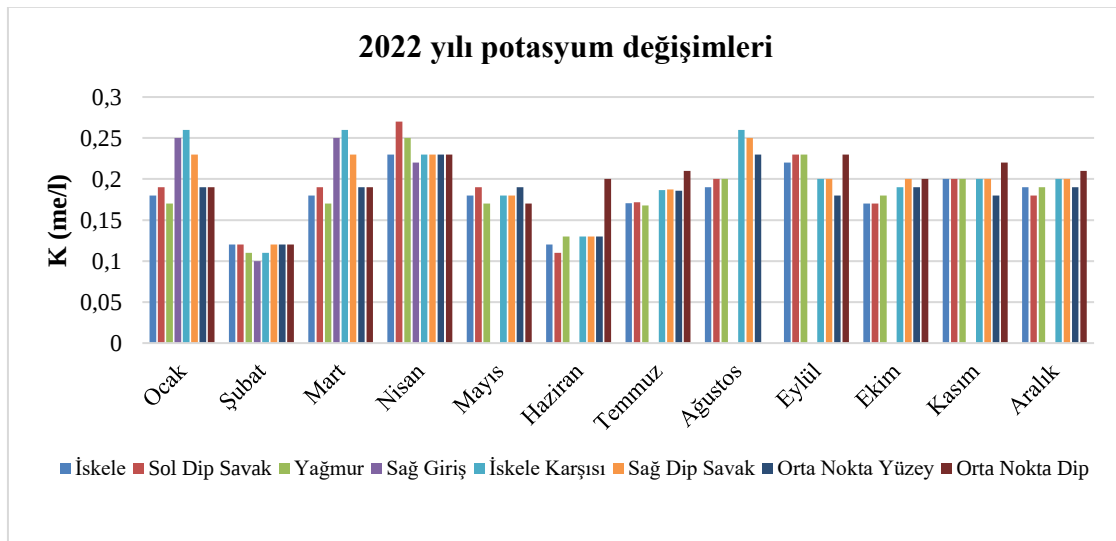
Potasyum (K^+), yer kürede en bol bulunan yedinci veya sekizinci elementtir (Wedepohl, 1995). Buna rağmen, doğal sularda potasyum içeriği genellikle düşük seviyelerde kalır. Bu iyonun doğal sulardaki konsantrasyonları genellikle 10 mg/l'den daha azdır, ancak belirli ortamlarda, örneğin jeotermal ve tuzlu sularda, potasyum konsantrasyonları sırasıyla 100 mg/l ve 25.000 mg/l gibi çok daha yüksek seviyelere ulaşabilir. Genelde tüm canlılar için gerekli bir elementtir. Kara canlıları potasyumu besinlerden alabilirken, su canlılarının tek potasyum kaynağı yaşam ortamları olan sudur (Barré, Montagnier, Chenu, Abbadie ve Velde, 2008). Taşkınlar, akarsular ve seller, suya potasyumun taşıyan başlıca kaynaklardır. Bu olaylar sırasında potasyum, topraktan suya taşınır ve suyun potasyum içeriği artar. Potasyum (K^+), alkali bir iyon olmasına rağmen, sularda Na^+ (sodyum) kadar zararlı değildir. Ancak, suyun potasyum içeriğinin çok fazla olması bazı durumlarda su ekosistemlerini etkileyebilir. K^+ tuzları, endüstride ve gübrelere yaygın olarak kullanılır ve endüstriyel atıklar ve tarım arazilerinden doğal sulara karışabilir (Chapman, 1996). 2021 yılı içerisinde Göletten alınan su örneklerinde yapılan potasyum analizine ilişkin 2021 yılı sonuçları Şekil 4.25’de ve 2022 yılı sonuçları ise Şekil 2.26’da verilmiştir. 2021 yılında en düşük değer 0,06 me/l (2,34 mg/l) olarak sağ dip savak örnekleme noktasında Ocak ayında, en yüksek değer ise iskele ve iskele karşısı örnekleme noktalarında Ağustos, Kasım ve Aralık aylarında 0,21 me/l (8,19 mg/l) olarak ölçülmüştür. 2022 yılı en düşük değer 0,097 me/l (3,78 mg/l) olarak

sağ giriş örnekleme noktasında Şubat ayında ve en yüksek değer ise sol dip savak örnekleme noktasında Nisan ayında 0,267 me/l (10,413 mg/l) olarak ölçülmüştür.

Diğer iyonlarda olduğu gibi potasyum iyonunda da 2022 yılı 2021 yılına göre daha yüksek potasyum konsantrasyonuna sahiptir. Potasyumun ekosistemlerdeki rolü büyüktür, ancak yüksek konsantrasyonlar su ekosistemlerine zarar verebilir. Bu nedenle, potasyumun sulara karışması dikkatle izlenmeli ve su kalitesi yönetimi kapsamında kontrol edilmelidir.



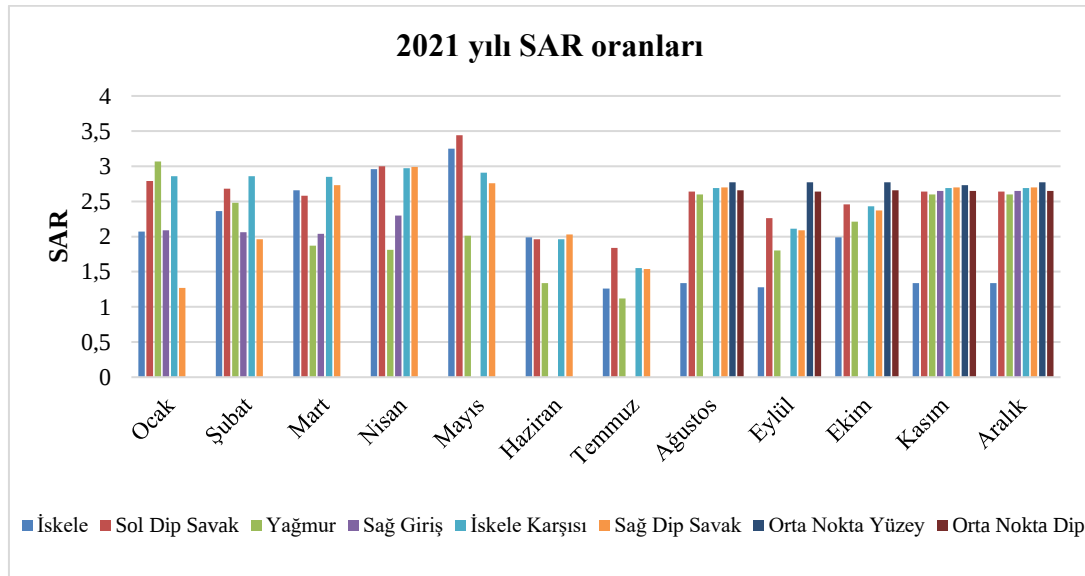
Şekil 4.25. Potasyum konsantrasyonundaki değişim (2021)



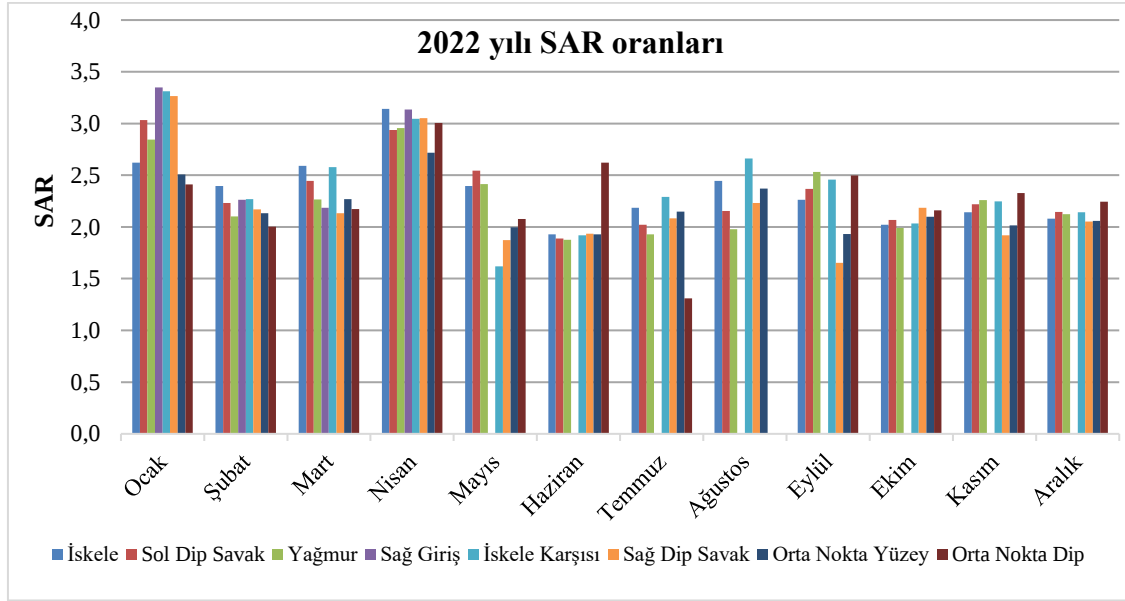
Şekil 4.26. Potasyum konsantrasyonundaki değişim (2022)

4.1.13. Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)

Sulama sularında bulunan sodyum (Na^+) konsantrasyonunun, kalsiyum ve magnezyum (Ca^{++} ve Mg^{++}) derişimine olan oranını gösteren ve sulama sularının olası sodyum zararını belirtmek amacıyla kullanılan parametre sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) olarak tanımlanmaktadır (Munsuz ve Ünver, 1995). SAR değeri, uygulamada önemli bir risk analizi sağlar. Çalışmada hesaplanan SAR değerlerindeki değışime ilişkin 2021 yılı grafiğı Şekil 4.27’de ve 2022 yılı değışimi ise Şekil 4.28’de gösterilmiştir. 2021 yılı için hesaplanan en düşük SAR değeri 1,12 ile Temmuz ayında yağmur suyu girişı örnekleme noktasında ve en yüksek değeri ise sol dip savak örnekleme noktasında Mayıs ayında 3,44 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde 2022 yılı için en düşük SAR değeri 1,62 ile Mayıs ayında göl iskele karşısı örnekleme noktasında ve en yüksek değeri ise sağ giriş örnekleme noktasında Ocak ayında 3,35 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Sodyum adsorpsiyon oranındaki değışim (2021)



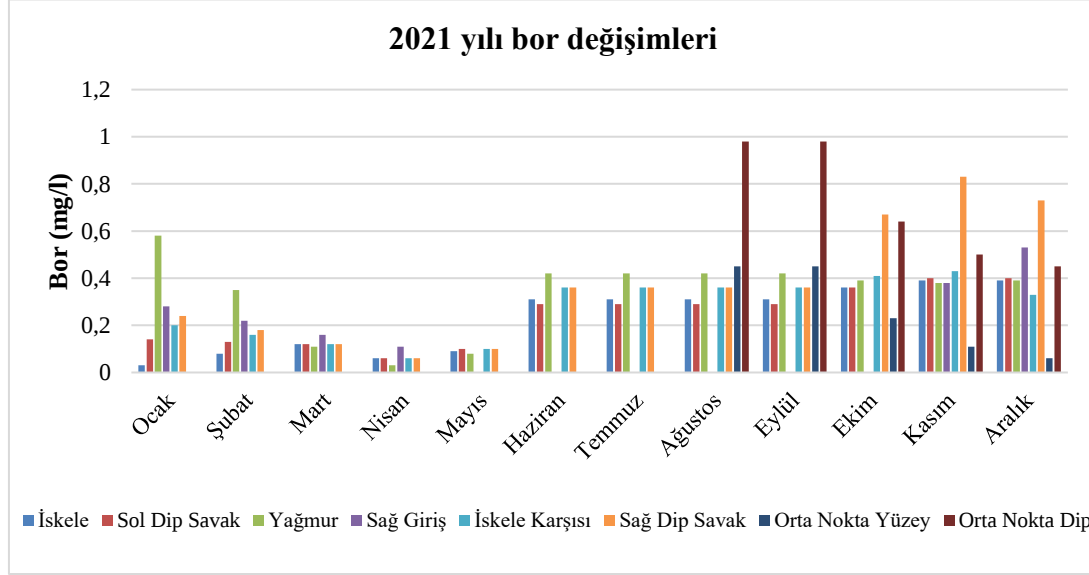
Şekil 4.28. Sodyum Absorpsiyon Oranındaki değişim (2022)

4.1.14. Bor

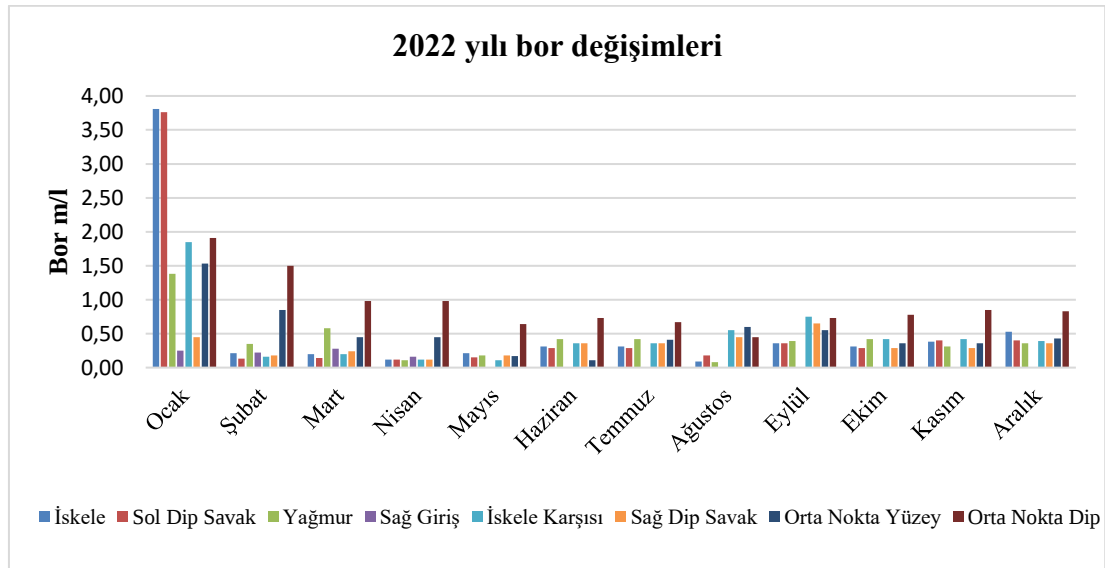
Bor güçlü toksik bir element olmasının yanı sıra tarımsal üretimde mutlak gerekli bitki besin elementlerinden biridir. Sulama suyu içerisinde düşük dozlarda bile toksik etki yaptığından katı sınırlarla izlenmesi gerektiği bildirilmektedir (Meacham, Karakas, Wallace ve Altun, 2010; Brady ve Weil, 2008). Doğal su kaynaklarında bulunan borun ana kaynağı kayaçlar ve deniz suyu girişimleri olmakla birlikte evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklar da sulara bor taşıyabilmektedir. Doğal sulardaki bor konsantrasyonları çoğunlukla düşük olup, 0,5 mg/l'i geçmemektedir (Neal, C., Fox, Harrow ve Neal, M., 1998; Coughlin, 1998).

Çalışmada ölçülen bor değerlerindeki değişime ilişkin 2021 yılı grafiği Şekil 4.29'da ve 2022 yılı değişimi ise Şekil 4.30'da gösterilmiştir. 2021 yılında en düşük bor değeri 0,03 mg/l olarak Ocak ayında iskelede örnekleme noktasında, Nisan ayında yağmur suyu girişi örnekleme noktasında belirlenmiştir. En yüksek değer ise 0,98 mg/l ise orta dip örnekleme noktasından Ağustos ve Eylül aylarında tespit edilmiştir. 2022 yılı içerisinde yapılan ölçümlerde ise en yüksek değerler 3,76 mg/l ve 3,81 mg/l ile iskele ve sol dip savak örnekleme noktalarında ölçülmüştür. Bu dönemde su seviyesi düşük olmakla birlikte, arazi içerisindeki kar örtüsü toplanarak iskeleden gölete karıştırılmıştır. Bu işlem sırasında toprak materyali de taşınmıştır. En düşük değer ise 0,08 mg/l olarak Ağustos ayında yağmur suyu

girişi örnekleme noktasında tespit edilmiştir. 2022 yılında ölçülen bor konsantrasyonları bir önceki yıla kıyasla artış göstermiştir.



Şekil 4.29. Bor konsantrasyonundaki değişim (2021)



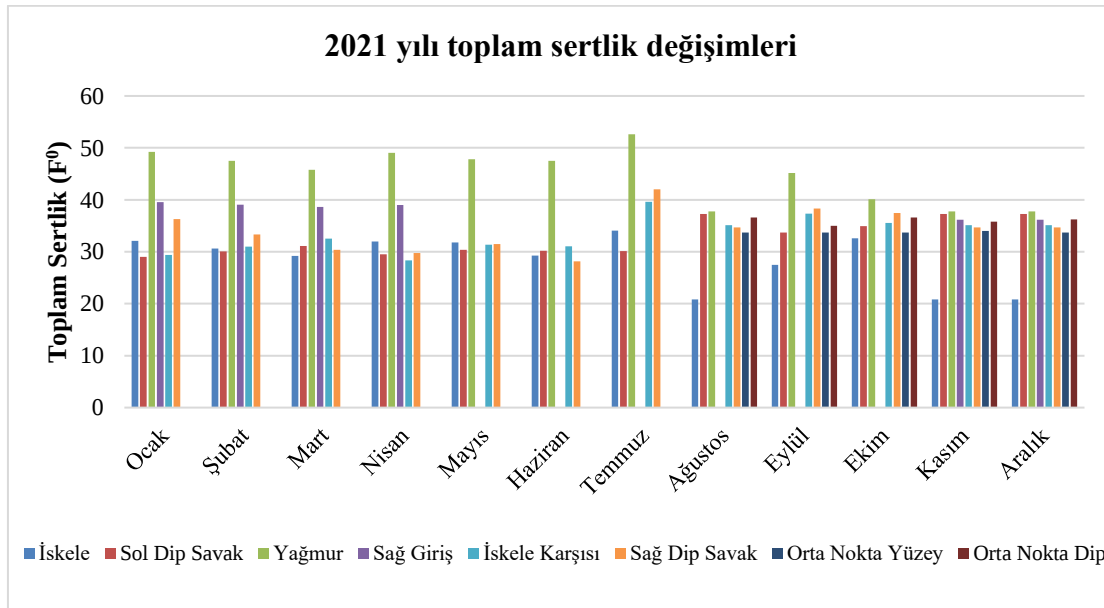
Şekil 4.30. Bor konsantrasyonundaki değişim (2022)

4.1.15. Toplam sertlik

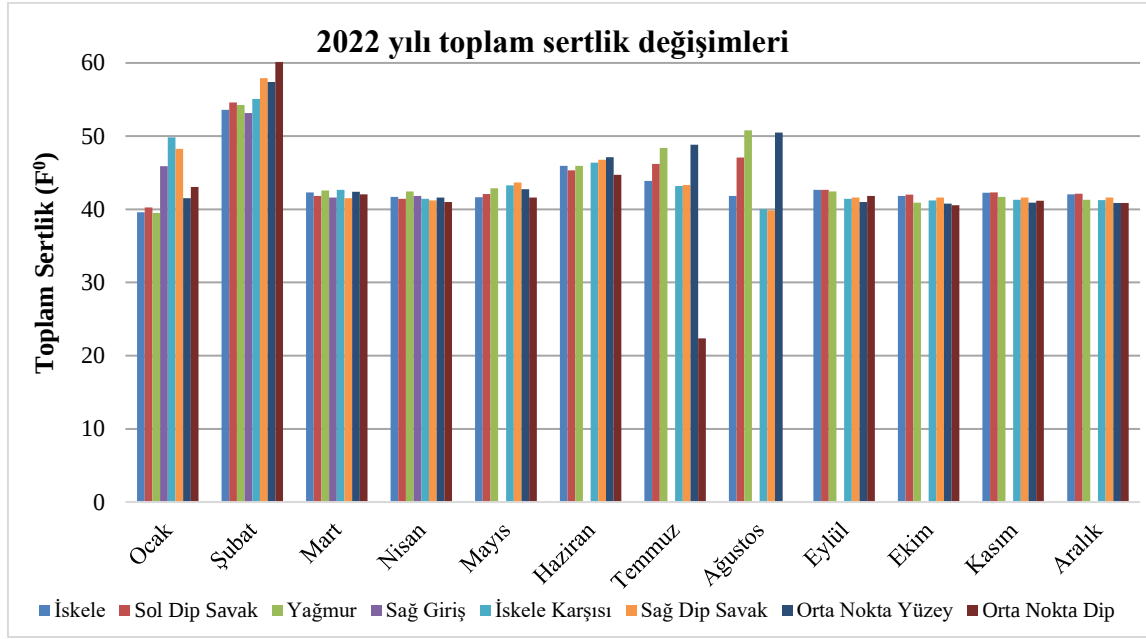
Suda çözülmüş halde bulunan kalsiyum ve magnezyumun bikarbonat, karbonat, sülfat ve klorürlerinin ölçümü, su numunesinin sertlik derecesine katkıda bulunur. İstenen toplam sertlik sınırı 200 mg/l iken, kabul edilebilir maksimum sınır 600 mg/l'dir (Kothari, Vij,

Sharma ve Gupta, 2021). Analiz edilen su numunelerinin 2021 yılı toplam sertlik değerleri Şekil 4.31’de ve 2022 yılı değerleri ise Şekil 4.32’de sunulmuştur. 2021 yılında en yüksek Temmuz ayında yağmur suyu kanalı örnekleme noktasında 595,9 mg/l CaCO_3 (59,59 F^0) ölçülürken, en düşük Ağustos, Kasım ve Aralık aylarında iskelede 208,1 mg/l CaCO_3 (20,81 F^0) olarak ölçülmüştür. 2022 yılı ölçümlerinde en yüksek değer Şubat ayında orta dip örnekleme noktasından 623,4 mg/l CaCO_3 (62,34 F^0) ve en düşük Temmuz ayında orta noktada göl tabanı örnekleme noktasında 223,6 mg/l CaCO_3 (22,36 F^0) olarak ölçülmüştür. Su numunelerin hemen hepsi toplam sertlik değerleri bakımından sert sular sınıfına girmektedir.

Toplam sertlik değerleri 2021 ve 2022 yıllarında sırasıyla Temmuz ve Şubat aylarında Dünya Sağlık Teşkilatı’na göre >300 mg/l CaCO_3 olduğundan çok sert olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.31. Toplam sertlikteki değişim (2021)



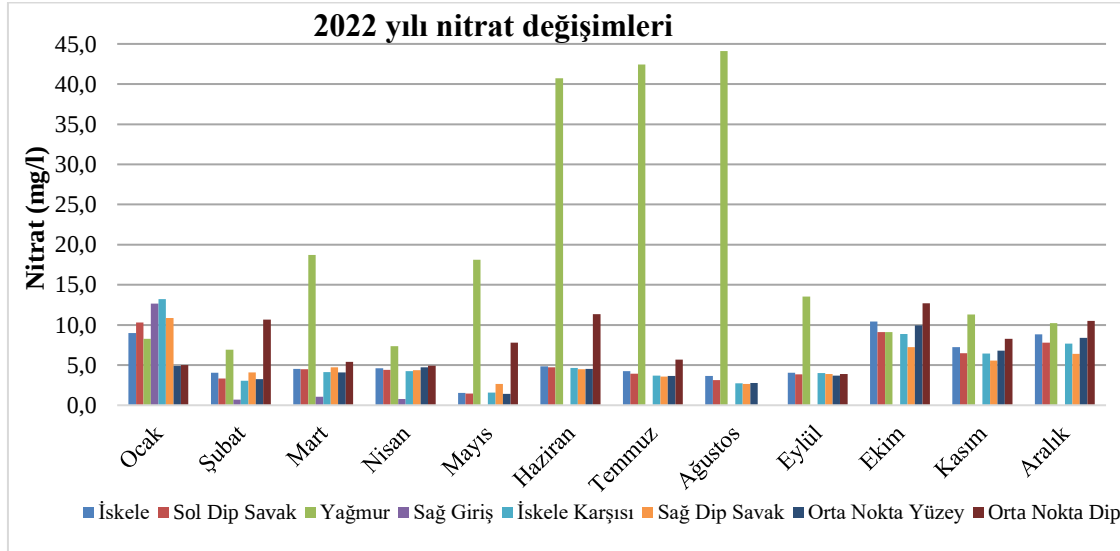
Şekil 4.32. Toplam Sertlikteki değişim (2022)

4.1.16. Nitrat

Nitrat (NO_3), tatlı su kaynaklarının sağlık standartları için ortak bir risk olarak tanımlanan doğal bir poliatomiktir. Nitrat, tarımsal alanlarda kullanılan gübrelerde bulunur. Ayrıca fosil yakıtların yanması sonucu elde edilen bir yan üründür. Nitratların artan kullanımı, suda çözünürlüğünün yüksek olması ve biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle, su sistemlerinde nitratın hassas bir şekilde izlenmesi büyük önem taşımaktadır (Pennino, Compton ve Leibowitz, 2017; Mahmud, Sikder ve Joardar, 2020). Sudaki aşırı nitrat seviyesinin varlığı bakteriyolojik kirlenme ile de ilişkilidir. İçme suyu temin edilen kaynaklarda nitrat seviyesi 10 mg/l'yi aşıyorsa, bu sular bakteriyolojik kontaminasyon açısından test edilmelidir. Hem nitrat hem de bakteriyolojik kontaminasyonun varlığı, yüzey drenajı, kanalizasyon sistemleri, hayvan atıkları veya başka bir kaynaktan olası mikrobiyal kontaminasyonu göstermektedir.

Beytepe Göletinden 2022 yılı içerisinde (2021 yılında sarf malzemesi temin edilemediğinden ölçüm yapılamamıştır) aylık olarak alınan örneklerde yapılan nitrat analizlerinin değişimi Şekil 4.33'de gösterilmiştir. En düşük nitrat konsantrasyonu Şubat ayında 0,71 mg/l olarak sağ giriş kanalı örnekleme noktasında, en yüksek değer ise 44,11 mg/l olarak Ağustos ayında yağmur suyu kanalı örnekleme noktasında ölçülmüştür. Yüksek

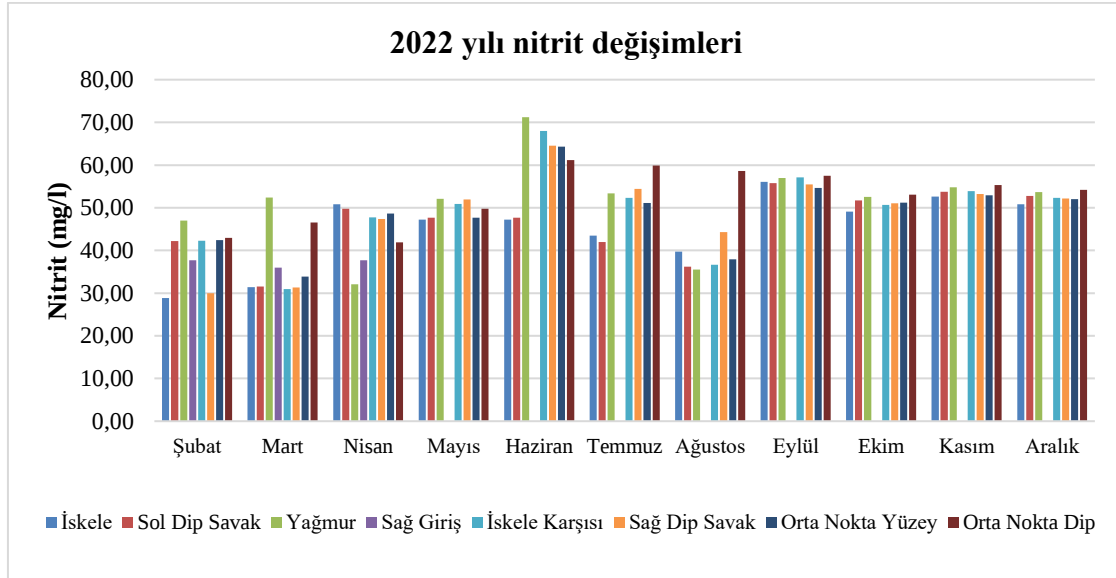
değerlerin gözlemlendiği dönemlerde gölete doğrudan veya yüzey akışı ile kanalizasyon sularının karıştığı belirlenmiştir.



Şekil 4.33. Nitrat konsantrasyonundaki değişim

4.1.17. Nitrit

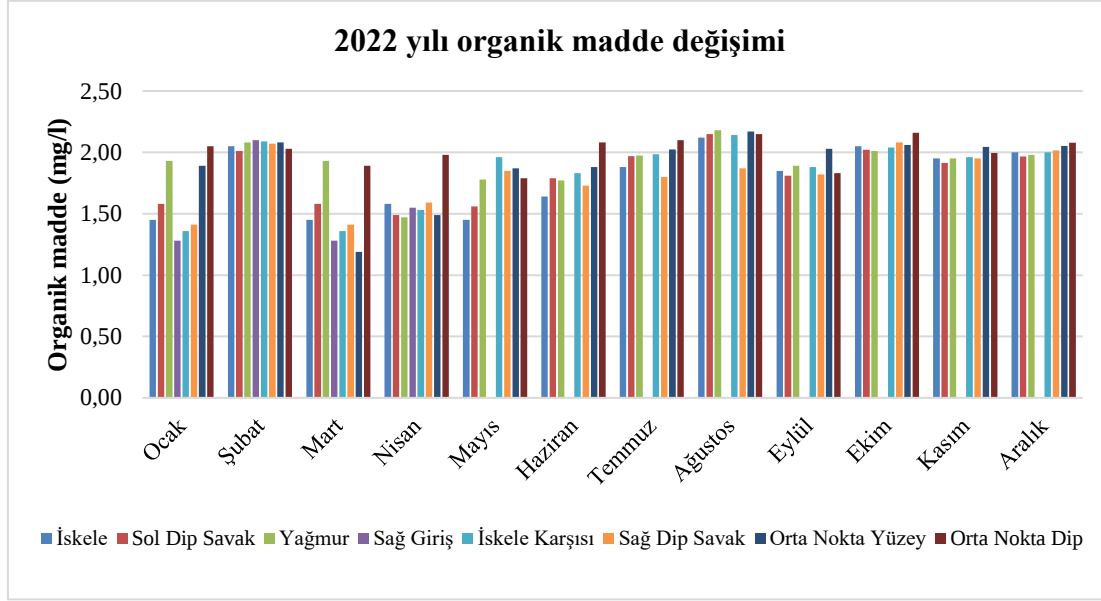
Nitrit (NO_2), gıda katkı maddelerinde, korozyon inhibitörlerinde ve çok sayıda tıbbi ve endüstriyel proseste yaygın olarak kullanılmaktadır. İçme suyunda izin verilen maksimum nitrit seviyesi 3 mg/l'dir, bu nedenle nitrit tayini çevre ve insan sağlığı açısından önemli bir parametredir (Mahmud ve diğerleri, 2020). Beytepe Göleti'nden 2022 yılı (2021 yılında sarf malzemesi temin edilemediğinden ölçüm yapılamamıştır) içerisinde aylık olarak alınan örneklerde yapılan nitrit analizlerinin değişimi Şekil 4.34'de gösterilmiştir. En düşük nitrit konsantrasyonu Şubat ayında 28,88 mg/l olarak iskele örnekleme noktasında ve en yüksek değer ise 71,22 mg/l olarak Haziran ayında yağmur suyu kanalı örnekleme noktasında ölçülmüştür.



Şekil 4.34. Nitrit konsantrasyonundaki değişim

4.1.18. Organik madde

Çözünmüş organik madde, su ortamlarında her yerde bulunan karasal ve mikrobiyal kaynaklar gibi çeşitli kökenlerden elde edilen önemli ve bol miktarda bulunan bir organik karbon havuzunu temsil eder. Çözünmüş organik madde, sucul karbon ve besin döngüsü dahil olmak üzere biyojeokimyasal süreçlerde çok yönlü roller oynar. Çözünmüş organik madde, atık suyun kalitesinin ve içme suyunun güvenliğinin belirlenmesinde kritik bir rol oynar (Liao ve diğerleri, 2022; Shi, Zhuang, Hur, Yang, 2021). Beytepe Göleti'nden 2022 yılı (2021 yılında sarf malzemesi temin edilemediğinden ölçüm yapılamamıştır) içerisinde aylık olarak alınan örneklerde yapılan organik madde analizlerinin değişimi Şekil 4.35'de gösterilmiştir. En yüksek organik madde konsantrasyonu Ağustos ayında 2,18 mg/l olarak yağmur kanalı örnekleme noktasında ve en düşük değer ise 1,19 mg/l olarak Mart ayında orta nokta yüzey örnekleme noktasında ölçülmüştür.



Şekil 4.35. Organik madde konsantrasyonundaki değişim (2022)

4.1.19. Ağır metaller

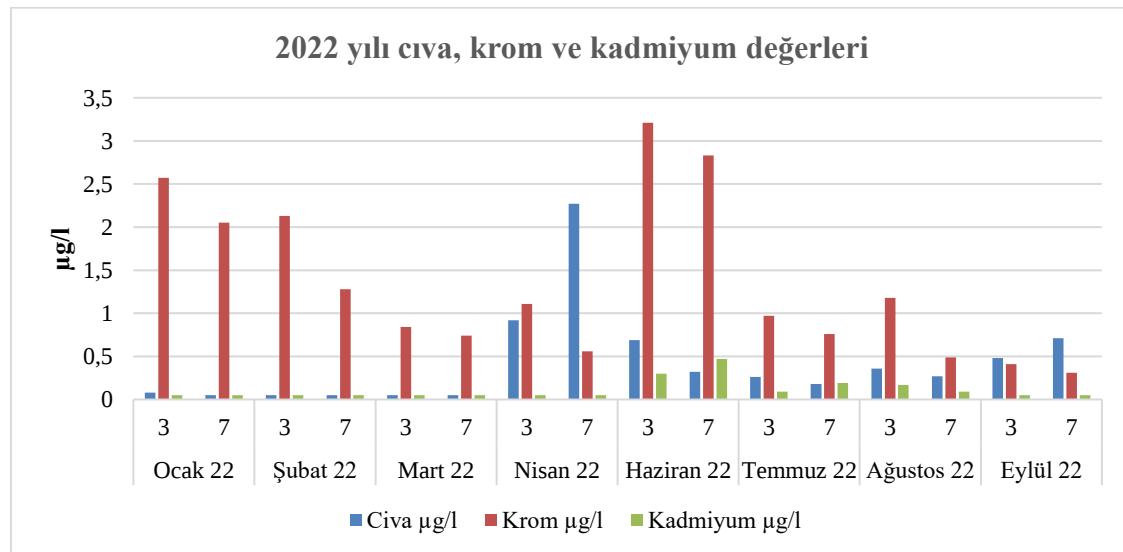
Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını kısıtlayan pek çok etken bulunmaktadır. Bu etkenlerden biri olan ağır metaller, çevresel kirlenmenin en tehlikeli unsurlarından olup, sucul organizmalar üzerinde toksik etki yaratabilirler. Özellikle endüstriyel ve tarımsal faaliyetler nedeniyle sucul ortamlarda birikme eğilimindedir. Bu metaller arasında kurşun, cıva, kadmiyum, arsenik ve bakır gibi elementler bulunur. Ağır metaller kanserojen, toksik ve mutajen etkilerinden dolayı, insan ve sucul ekosistemin sağlığı için büyük tehdit oluştururlar. Biyolojik parçalanamazlıkları nedeniyle, doğada uzun süre kalabilirler ve canlı organizmalarda birikim yaparak biyomagnifikasyon süreçlerine yol açabilirler. Düşük konsantrasyonlarda bile sinir sistemi, böbrekler, karaciğer gibi organlarda hasar oluştururlar (Kahvecioğlu, Kartal, Güven ve Timur, 2006; Wang ve diğerleri, 2014). Ayrıca uygun olmayan deşarjlar ve atmosferik taşınım yollarıyla sucul ortamlara karışan ağır metaller biyolojik olarak parçalanamadıkları için canlı organizmalarda birikme eğilimindedirler. Beytepe Göleti'nde 2022 yılı içerisinde bazı ağır metal analizleri yapılmıştır. Göletten iki farklı noktadan örnekler alınmıştır. Numuneler gölete tek su girişi olan yağmur suyu kanalı ve göletin orta noktasındaki yüzey örnekleme noktasından alınmıştır. Alınan örneklerde cıva, krom, kadmiyum, nikel, bakır, kurşun, kobalt, çinko, mangan, demir, alüminyum ve arsenik analizleri yapılmıştır. Ağır metal konsantrasyonları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Ağır metal değerlerinin yağmur suyu girişinde gölet yüzey alanına göre daha yüksek değerlerde

olduğu saptanmıştır. Ağır metal konsantrasyonlarındaki değişimlere ilişkin grafikler Şekil 4.36 ile Şekil 4.41 arasında gösterilmiştir. Beytepe Göleti ağır metal içerikleri açısından değerlendirildiğinde (Çizelge 4.2) Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne göre genellikle 2. sınıf su özelliği taşımaktadır (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik). Numunelerin alındığı yıl olan 2022 yılı boyunca ağır metallerde ölçülen en yüksek konsantrasyonlar Hg, Cr, Cu, Mn, Fe, Pb, Cd için sırasıyla 2,27; 3,21; 63,02; 1126,11; 14 533,98; 22,56; 0,47 µg /l olarak ölçülmüştür. Gölet suları kadmiyum konsantrasyonu açısından 1. sınıf sular sınıfına girmekte ancak, bakır, kurşun, nikel ve çinko konsantrasyonları bakımından 2. sınıfta yer almaktadır.

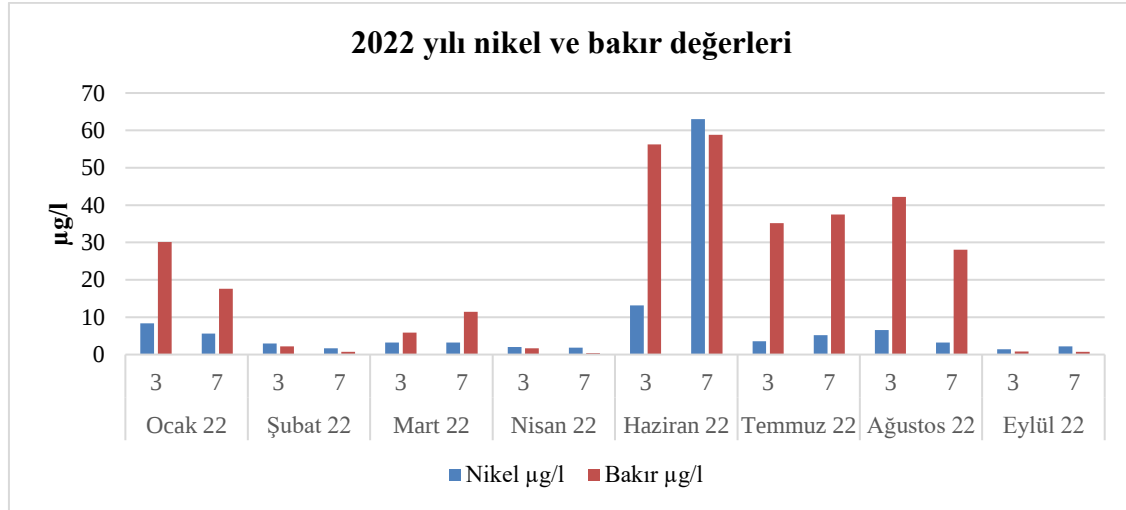
Çizelge 4.1. Beytepe Göleti Ağır metal analizleri (2022)

	Ocak 22		Şubat 22		Mart 22		Nisan 22		Haziran 22		Temmuz 22		Ağustos 22		Eylül 22	
µg/l	3*	7*	3*	7*	3*	7*	3*	7*	3*	7*	3*	7*	3*	7*	3*	7*
Cıva	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.92	2.27	0.69	0.32	0.26	0.18	0.36	0.27	0.48	0.71
Krom	2.57	2.05	2.13	1.28	0.84	0.74	1.11	0.56	3.21	2.83	0.97	0.76	1.18	0.49	0.41	0.31
Kadmiyum	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.3	0.47	0.09	0.19	0.17	0.09	<0.05	<0.05
Nikel	8.32	5.63	2.97	1.67	3.18	3.25	1.98	1.81	13.13	63.02	3.6	5.18	6.6	3.19	1.4	2.16
Bakır	30.11	17.63	2.21	0.75	5.89	11.43	1.69	0.4	56.26	58.79	35.13	37.52	42.18	28.07	0.78	0.7
Kurşun	0.74	<0.60	1	<0.60	0.66	0.67	1.33	<0.60	2.81	20.78	1.41	1.91	4.43	1.49	<0.60	<0.60
Kobalt	0.46	0.3	0.3	<0.10	0.15	<0.10	0.32	0.16	2.56	22.56	0.48	0.49	0.68	0.34	0.2	0.21
Çinko	56.6	29.69	69.4	12.4	96.54	30.35	73.37	29.5	279.3	155.6	74.52	59.64	139.3	61.32	19.28	24.23
Mangan	30.13	38.37	22.97	13.27	45.98	32.34	30.65	16.07	393.6	1126	298.6	44.85	345.3	26.91	18.46	84.73
Demir	201.3	132.2	397.3	55.69	219.1	194.7	497.1	158.4	566.2	14534	178.9	271.6	238.9	134.5	62.62	123.2
Alüminyum	100.1	44.24	347.6	31.65	120	86.88	385.9	108.2	346.5	8059	77.38	189.1	177.2	95.04	53.79	52.41
Arsenik	33.93	17.66	1.24	1.94	1.43	2.26	0.96	1.76	3.13	4.94	2.34	3.65	2.67	4.21	0.96	5.24

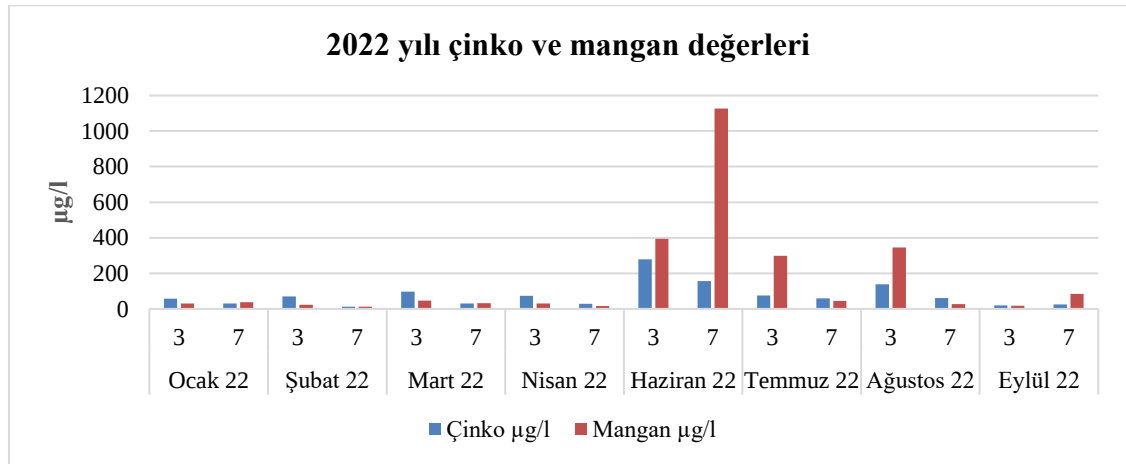
3*- YAĞMUR 7*- ORTA NOKTA YÜZEY



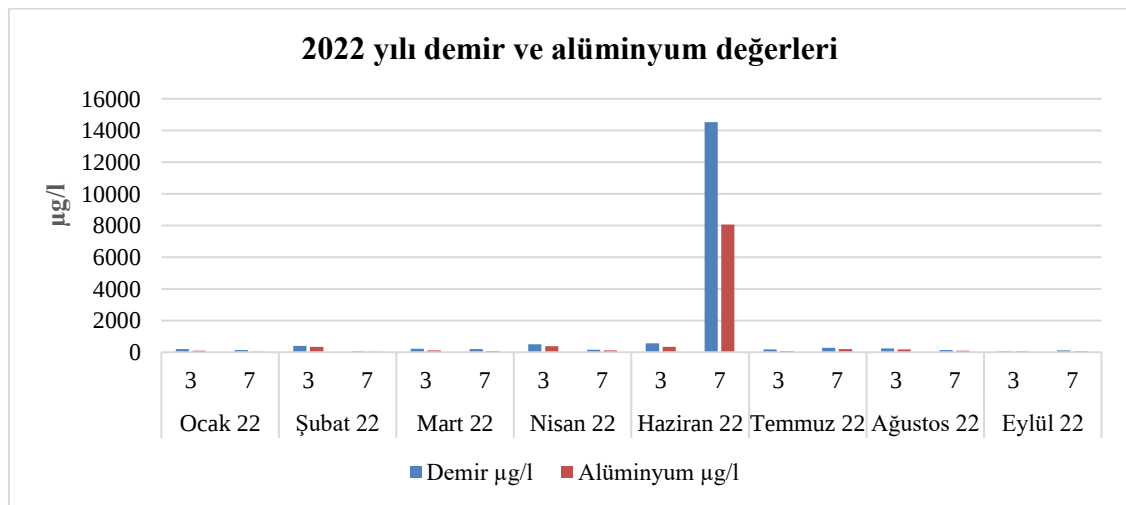
Şekil 4.36. Cıva, krom ve kadmiyum değerlerindeki değişim (2022)



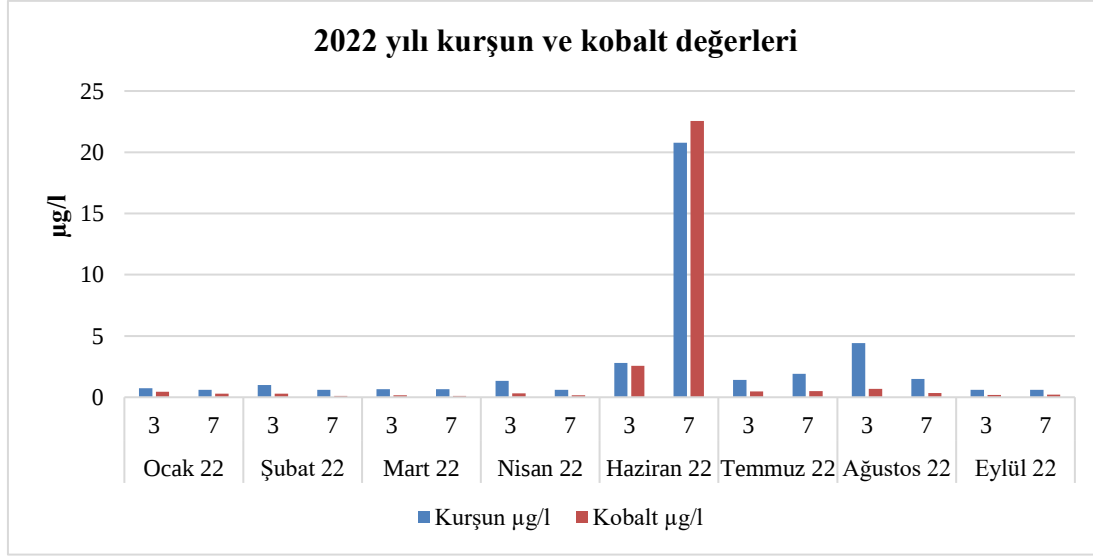
Şekil 4.37. Nikel ve bakır değerlerindeki değişim (2022)



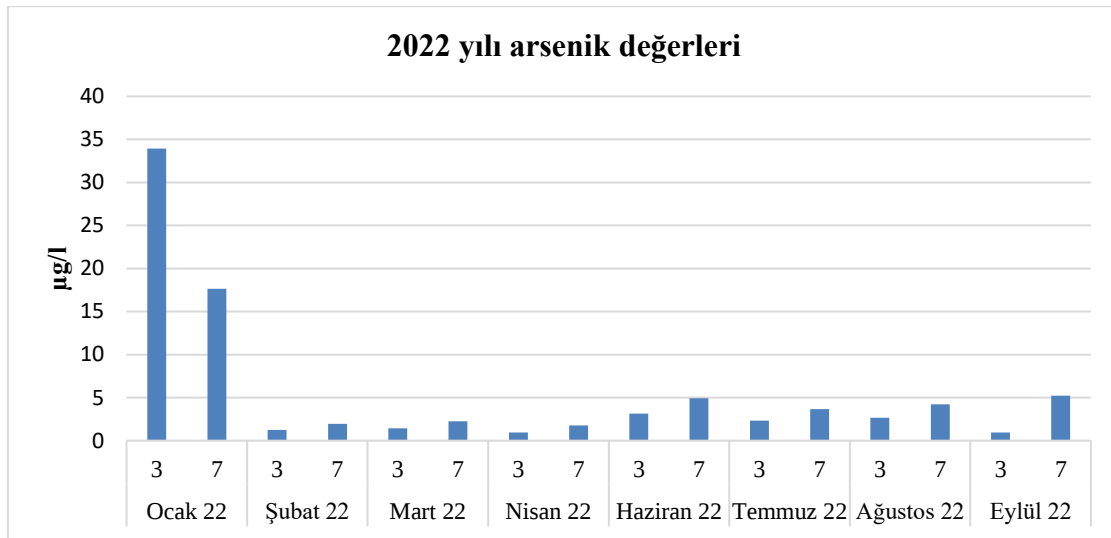
Şekil 4.38. Çinko ve mangan değerlerindeki değişim (2022)



Şekil 4.39. Demir ve alüminyum değerlerindeki değişim (2022)



Şekil 4.40. Kurşun ve kobalt değerlerindeki değişim (2022)



Şekil 4.41. Arsenik değerlerindeki değişim (2022)

Çizelge 4.2. Gölet suyu ağır metal içeriklerinin değerlendirilmesi

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları				Beytepe Göleti
	1.Sınıf	2.Sınıf	3.Sınıf	4.Sınıf	
Kadmiyum (µg Cd/L)	≤ 2	2-5	5-7	>7	1. sınıf
Bakır (µg Cu/L)	≤ 20	20-50	50-200	>200	2. sınıf
Kurşun (µg Pb/L)	≤ 10	10-20	20-50	>50	2. Sınıf
Nikel (µg Ni/L)	≤ 20	20-50	50-200	>200	Genellikle 1. Sınıf olmasına rağmen Haziran ayında 2. Sınıf
Çinko (µg Zn/L)	≤ 200	200-500	500-2000	> 2000	Genellikle 1. Sınıf olmasına rağmen Haziran ayında 2. Sınıf

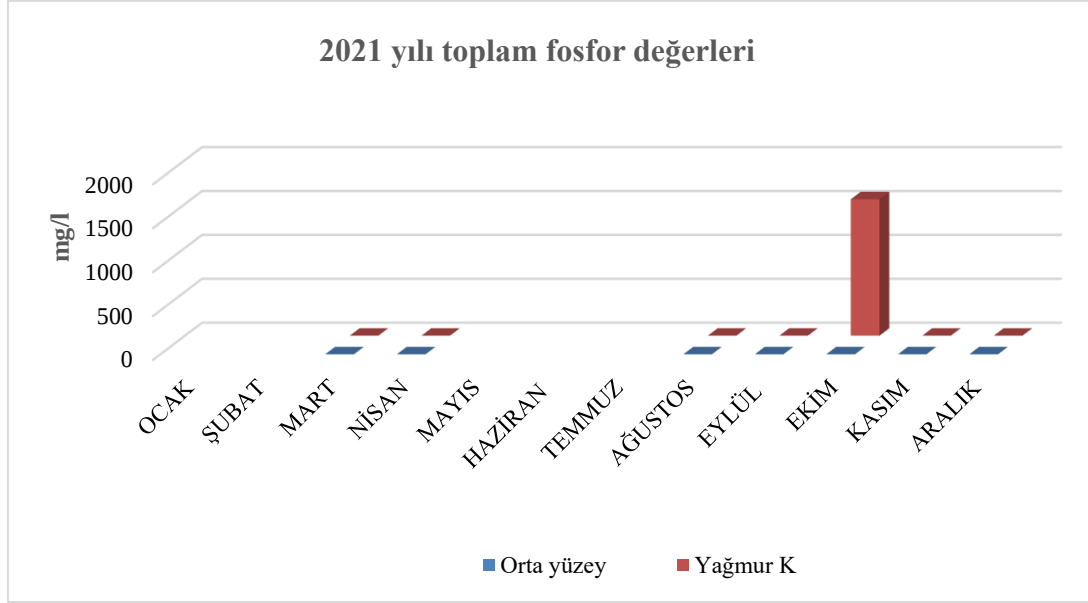
4.1.20. Toplam Fosfor

Fosfor evsel ve endüstriyel atıksular, tarımsal gübreler ve organik maddelerin bozunması gibi çeşitli kaynaklardan yapay olarak su kaynaklarına ulaşır (Harper, 1992; Ashley, Cordel ve Mavinic, 2011). Fosfor, sucul ekosistemlerde besin maddesi olarak önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, fosfor seviyelerinin aşırı artması, ötrofikasyona yol açar. Ötrofikasyon, özellikle alg patlamalarına ve oksijen seviyelerinin düşmesine sebep olarak su kalitesini bozar ve su ekosistemlerinde balık ölümlerine neden olabilir. Gölet ve baraj rezervuarlarında önemli bir tehdit unsuru olan ötrofikasyon olayının kontrolü ve seviyesinin belirlenmesi için çok sayıda kriter bulunmakta olup, bunlar arasında toplam fosfor, toplam azot, klorofil-a ve seki diski ölçümleri önemli değişkenlerdir (Chapra ve Dobson, 1981; Nürnberg, 1996; Silvino ve Barbosa, 2015). Fosfor, su ortamındaki en sınırlayıcı besin maddesi olabilir; bu nedenle fosforun yüksek konsantrasyonları, ekosistem üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratabilir. Özellikle göller, göletler ve baraj rezervuarları gibi kapalı su kütlelerinde önemli bir çevresel tehdit oluşturabilir. Toplam Fosfor fosforun tüm formlarının toplamını ifade eder. Toplam fosfor seviyesi, göllerin trofik durumunun belirlenmesinde kritik bir göstergedir.

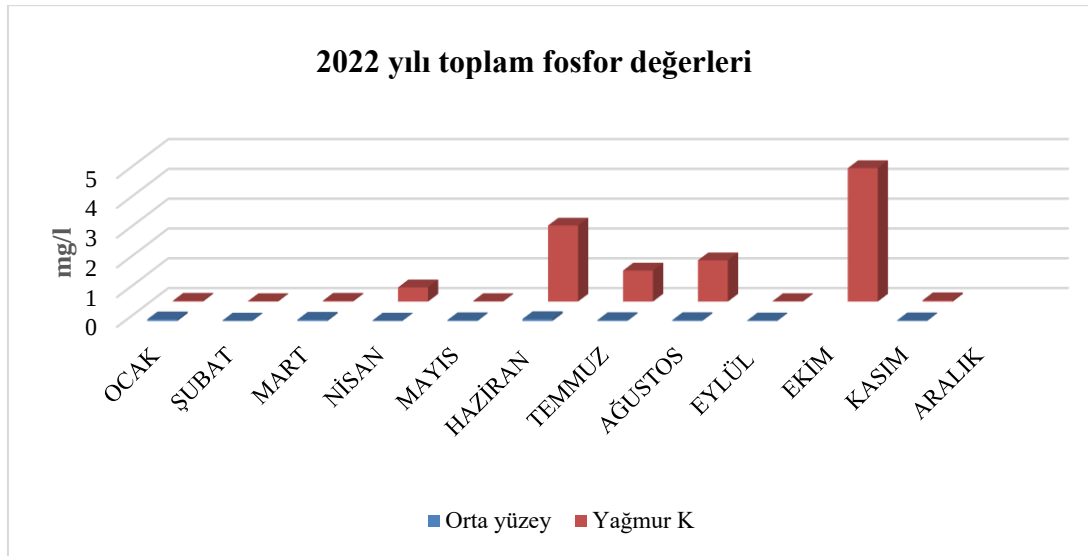
Beytepe Göleti toplam fosfor değerleri Çizelge 4.3 ve 2021 yılı değişimi Şekil 4.42 ve 2022 yılı değişimi ise Şekil 4.43'de sunulmuştur. Gölet suyu örnekleme yapılan noktalarda fosfor değerleri 0,8 mg/l değerini aştığı belirlenmiştir. Özellikle 2021 yılı Ekim ayında çok yüksek konsantrasyonlar da fosfor ölçümü gözlemlenmiştir. Bu durum gölet suyuna kanalizasyon karışması ve yüzeysel akışla gelen kirlilikten kaynaklandığı düşünülmektedir. O dönemde göletin ötrifiye olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.3. Toplam fosfor (mg/l) değerleri

Örnek noktası	Ocak 2021	Şubat 2021	Mart 2021	Nisan 2021	Mayıs 2021	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Ekim 2021	Kasım 2021	Aralık 2021
Orta yüzey			0,018	0,025				0,009	0,29	0,023	0,077	0,048
Yağmur K			0,122	0,021				0,01	0,027	1554	0,543	0,029
	Ocak 2022	Şubat 2022	Mart 2022	Nisan 2022	Mayıs 2022	Haziran 2022	Temmuz 2022	Ağustos 2022	Eylül 2022	Ekim 2022	Kasım 2022	Aralık 2022
Orta yüzey	0,058	0,016	0,044	0,016	0,029	0,067	0,032	0,032	0,023		0,025	
Yağmur K	0,032	0,017	0,032	0,477	0,02	2,554	1,043	1,386	0,02	4,481	0,045	



Şekil 4.42. Toplam Fosfor değişimi (2021)



Şekil 4.43. Toplam Fosfor değişimi (2022)

4.1.21. Mikrobiyolojik parametreler

Bir su kaynağının amacına uygun olarak kullanılabilmesi için periyodik olarak izlenmesi gerekmektedir. Göl suyunun kullanımını sınırlamaları, sucul ekosistemi olumsuz yönde etkilemeleri ve pek çok salgın hastalığa yol açmaları nedeniyle mikroorganizmaların dağılımının ve sonradan çoğalmasının belirlenmesi halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, son yıllarda pek çok ülkede göl suyunun mikrobiyal kalitesinin izlenmesine yönelik çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Bu bağlamda, Beytepe Göleti'nden

alınan su örneklerinde mikrobiyolojik analizler yapılmıştır. Gölet’e su girişi olan 3 nolu istasyondan ve gölet orta nokta yüzeyden (7 nolu örnekleme noktasından) alınan su örneklerinde yapılan toplam koliform ve *E. coli* ölçüm sonuçları Çizelge 4,4’de sunulmuştur. Toplam koliform bakteri sayısındaki değişime ilişkin 2021 yılı ölçümleri Şekil 4.44 ve 2022 yılı ölçümleri ise Şekil 4.45’de gösterilmiştir. 2021 yılında toplam koliform bakteri sayısı en düşük orta yüzey örnekleme noktasından Mart ayında 50,4 EMS/100 ml olarak ölçülürken en yüksek Ağustos ayında yağmur kanalı örnekleme noktasında 1986,3 EMS/100 ml olarak ölçülmüştür. 2022 yılında ise dalgalı bir seyir izlese de en düşük orta yüzey örnekleme noktasında 224,7 EMS/100 ml ve en yüksek >241960 EMS/100 ml olarak ölçülmüştür.

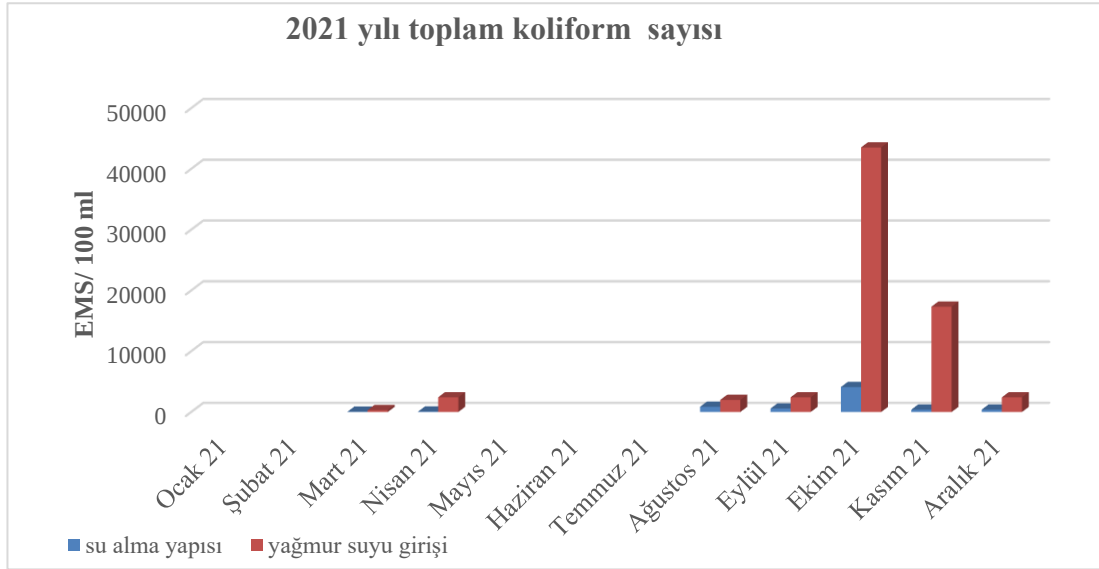
Çizelge 4.4. Beytepe Göleti toplam koliform (EMS/100 ml) bakteri sayıları

Örnek noktası	Ocak 2021	Şubat 2021	Mart 2021	Nisan 2021	Mayıs 2021	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Ekim 2021	Kasım 2021	Aralık 2021
Orta yüzey			50,4	67,7				866,4	574,8	4106	387,3	387,3
Yağmur K			307,6	2419,6				1986,3	2419,6	43520	17329	2419,6
Örnek noktası	Ocak 2022	Şubat 2022	Mart 2022	Nisan 2022	Mayıs 2022	Haziran 2022	Temmuz 2022	Ağustos 2022	Eylül 2022	Ekim 2022	Kasım 2022	Aralık 2022
Orta yüzey	1413,6	488,4	1553,1	920,8	2419,6	19863	2098	224,7	4884		816	5475
Yağmur K	1169	2419,6	2419,6	2419,6	21887	>241960	12997	>241960	>241960	>241960	24196	2419,6

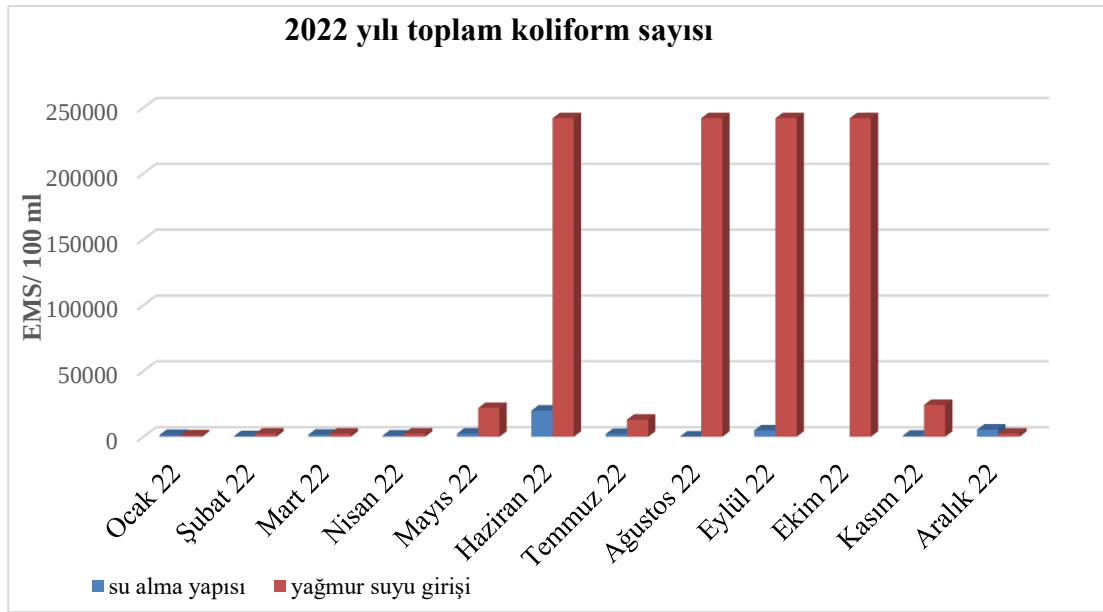
E. Coli’ye (*E. Coli* sayısı/100 ml) ilişkin yapılan her iki yılın ölçüm sonuçları Çizelge 4.5’de sunulmuştur. Yıllar itibarıyla değişimleri ise 2021 yılı ölçüm sonuçları Şekil 4.46 ve 2022 yılı ölçümleri değerleri ise Şekil 4.47’de gösterilmiştir. 2021 yılı *E. Coli* (*E. Coli* sayısı/100 ml) bakteri sayıları en düşük Ağustos ayında orta nokta yüzeyde 1 EMS/100 ml, en yüksek ekim ayında 10140 EMS/100 ml olarak ölçülmüştür. 2022 yılında ise en düşük 3,1 EMS/100 ml olarak Mayıs ayında orta nokta yüzeyde, en yüksek ise Haziran, Ağustos, Ekim ve Kasım aylarında >241960 EMS/100 ml olarak ölçülmüştür. Ölçümlerin yüksek olduğu aylarda gölete kanalizasyon suyu karışmıştır.

Çizelge 4.5. Beytepe Göleti *E. Coli* (*E. Coli* sayısı/100 ml) bakteri sayıları

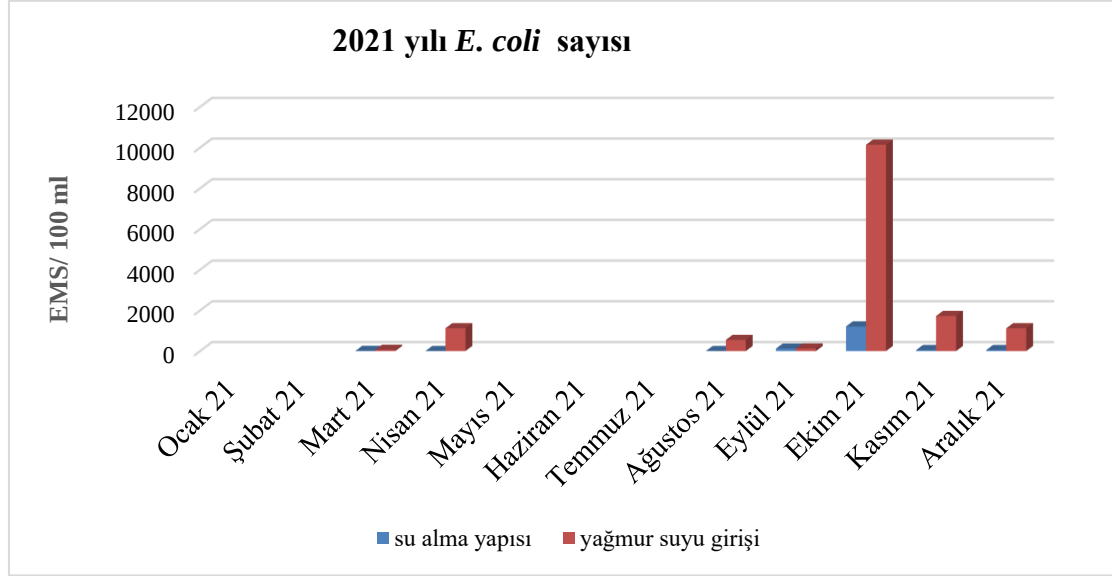
Örnek noktası	Ocak 2021	Şubat 2021	Mart 2021	Nisan 2021	Mayıs 2021	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Ekim 2021	Kasım 2021	Aralık 2021
Orta yüzey			6,3	2				1	122,2	1211	50,4	50,4
Yağmur K			62,2	1119,9				547,5	127,4	10140	1726	1119,9
Örnek noktası	Ocak 2022	Şubat 2022	Mart 2022	Nisan 2022	Mayıs 2022	Haziran 2022	Temmuz 2022	Ağustos 2022	Eylül 2022	Ekim 2022	Kasım 2022	Aralık 2022
Orta yüzey	93,3	23,1	461,1	65	3,1	2489	480	36,4	101,4		146	529
Yağmur K	128	866,4	2419,6	2419,6	135	>241960	3282	>241960	3448	>241960	>24196	1119,9



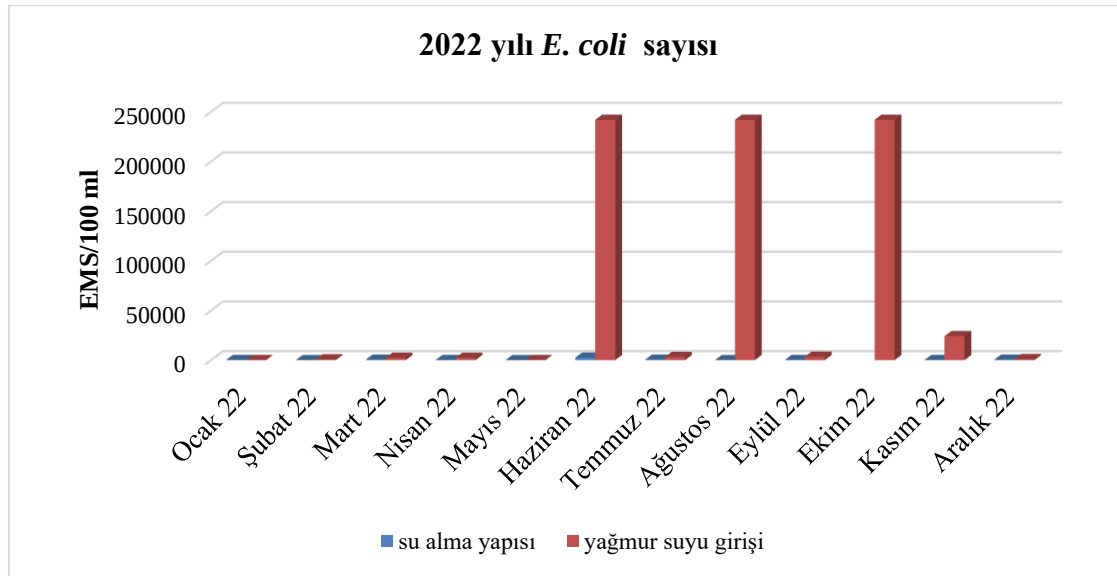
Şekil 4.44. Beytepe Göleti toplam koliform bakteri sayısı (EMS/100 ml) 2021 Yılı



Şekil 4.45. Beytepe Göleti toplam koliform bakteri sayısı (EMS/100 ml) 2022 Yılı



Şekil 4.46. Beytepe Göleti *E. Coli* (*E. Coli* sayısı/100 ml) sayısı 2021 Yılı



Şekil 4.47. Beytepe Göleti *E. Coli* (*E. Coli* sayısı/100 ml) sayısı 2022 Yılı

4.2. İyileştirme Çalışmaları

Laboratuvar ortamında iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Granüler aktif karbon filtreden geçirilen kompozit numune 15 litrelik teknelere alınarak konu uygulamalarına geçilmiştir. Mekanik karıştırma önce hızlı daha sonra yavaş karıştırma şeklinde uygulanmıştır. Hidrojen peroksit dozları 3 ve 6 mg/l olacak şekilde iki farklı doz olarak uygulanmıştır. Havalandırma uygulaması akvaryum pompaları ile yapılmıştır (Resim 4.1).



Resim 4.1. Uygulama çalışmalarından görüntüler

Uygulama esnasında pH, EC, KOİ ve ÇO değerleri yerinde ölçülmüştür (Resim 4.2). Diğer analizler için ise örnekler alınarak laboratuvara götürülmüştür.



Resim 4.2. Uygulama esnasında yapılan ölçümler.

4.2.1. Kimyasal oksijen ihtiyacındaki değişim

Beytepe Göleti'nden kompozit numune olarak alınan ham suyun KOİ değeri 263 mg/l'dir. KOİ değerleri uygulamanın 10. gününde ve uygulama sonunda (20. gün) olmak üzere iki defa ölçülmüştür. Uygulamaların 10. ve 20. günlerinde yapılan KOİ ölçüm sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Varyans analiz sonuçlarına göre her iki ölçüm gününde de hem mevsimler hem de uygulamalar arasındaki farklar ve bunların etkileşimi istatistiksel açıdan önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6 ve 4.8). Uygulamaların grup

ortalamları student t testi ile karşılaştırıldığında oluşan gruplar da Çizelge 4.7 ve 4.9’da sunulmuştur. 10. günde en fazla KOİ değeri sonbahar, aktif karbon (AK)+mekanik karıştırıcı (MK) konusunda 89 mg/l olarak saptanırken en düşük ise sonbahar, AK+H₂O₂ (6 mg/l) +Difüzör konusunda 22 mg/l olarak belirlenmiştir. 20. gün sonunda ise en yüksek KOİ değeri sonbahar, mekanik karıştırıcı konusunda 65,67 mg/l ve en düşük yine sonbahar, Aktif Karbon+H₂O₂ (6 mg/l) +Difüzör konusunda 11,67 mg/l olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Uygulamaların 10. günü KOİ değerindeki değişiminin varyans analiz sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F oranı	F hesapları
Mevsim	1	34,667		5,2375	0,0264*
Uygulama	12	17596,667		221,5432	<,0001*
Mevsim*Uygulama	12	3171,333		39,9273	<,0001*
Tekerrür	2	5,718		0,4319	0,6517
Hata 1	50	330,949	6,619		
Genel	77	21139,333			

Çizelge 4.7. Uygulamaların 10. günü KOİ değeri student t testi sonucu oluşan gruplar

Uygulama*	10. Gün KOİ (mg/l)
Sonbahar, D	89,00 ^a
Sonbahar, MK	80,00 ^b
İlkbahar, D	63,33 ^c
Sonbahar, AK	59,33 ^{cd}
İlkbahar, AK	58,67 ^d
İlkbahar, AK+D	53,00 ^e
İlkbahar, MK	50,00 ^{ef}
Sonbahar, AK+D	47,67 ^{fg}
İlkbahar, AK+MK	43,67 ^{gh}
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +MK	42,00 ^{hi}
İlkbahar, H ₂ O ₂ (3 mg/l)	40,00 ^{hij}
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +D	39,67 ^{hij}
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l)	39,00 ^{ij}
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l)+MK	37,33 ^{jk}
Sonbahar, AK+MK	36,33 ^{kl}
İlkbahar, H ₂ O ₂ (6 mg/l)	33,67 ^{klm}
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +D	32,33 ^{lm}
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +MK	32,33 ^{lm}
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l)	32,33 ^{lm}
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l)	31,67 ^m
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +D	31,33 ^m
Sonbahar, H ₂ O ₂ (3 mg/l)	30,33 ^{mn}
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +MK	26,67 ^{no}
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l)	26,00 ^{op}
Sonbahar, H ₂ O ₂ (6 mg/l)	23,00 ^{op}
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +D	22,00 ^p

*AK: Aktif karbon, D:difüzör, MK:mekanik karıştırıcı

Çizelge 4.8. Uygulamaların 20. günü KOİ değerindeki değişiminin varyans analiz sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F oranı	F hesapları
Mevsim	1	720,115		554,8104	<,0001*
Uygulama	12	13945,385		895,3477	<,0001*
Mevsim*Uygulama	12	2224,718		142,8355	<,0001*
Tekerrür	2	3,769		1,4520	0,2438
Hata 1	50	64,897	1,298		
Genel	77	16958,885			

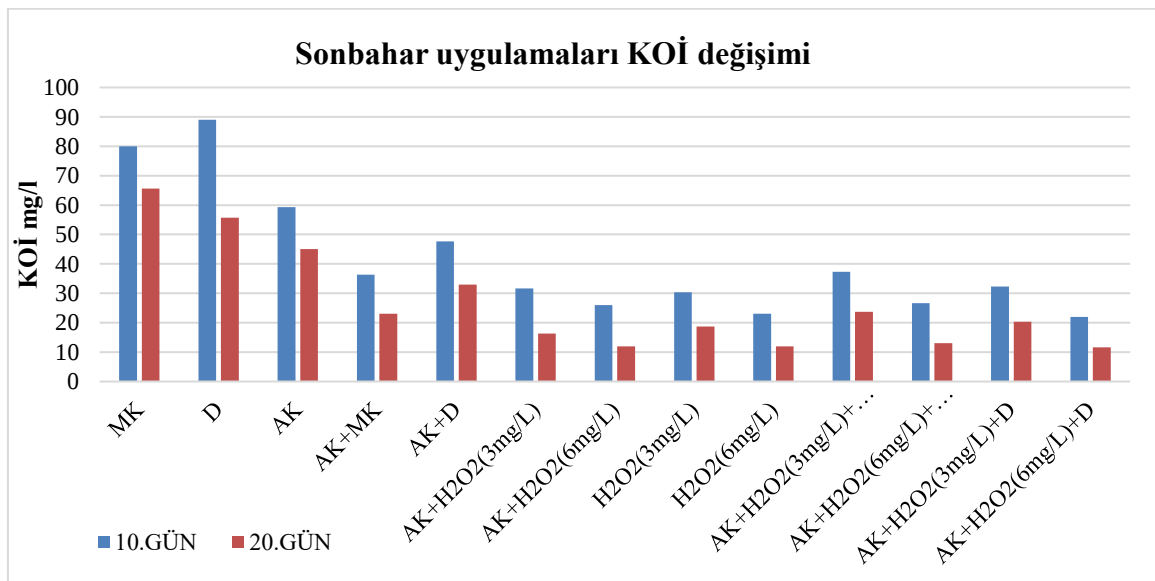
Çizelge 4.9. Uygulamaların 20. günü KOİ değeri student t testi sonucu oluşan gruplar

Uygulama*	20. Gün KOİ (mg/l)
Sonbahar, MK	65,67 ^a
Sonbahar, D	55,67 ^b
İlkbahar, AK	55,00 ^b
İlkbahar, D	54,00 ^b
Sonbahar, AK	45,00 ^c
İlkbahar, AK+D	43,00 ^d
İlkbahar, MK	36,33 ^e
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +MK	33,67 ^f
İlkbahar, AK+MK	33,00 ^f
Sonbahar, AK+D	33,00 ^f
İlkbahar, AK+ H ₂ O ₂ (3 mg/l) +D	30,33 ^g
İlkbahar, H ₂ O ₂ (3 mg/l)	28,67 ^g
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l)	26,33 ^h
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +MK	23,67 ⁱ
Sonbahar, AK+MK	23,00 ^{ij}
İlkbahar, AK+ H ₂ O ₂ (6 mg/l) +MK	23,00 ^{ij}
İlkbahar, H ₂ O ₂ (6 mg/l)	22,00 ^{ijk}
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l)	22,00 ^{ijk}
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +D	21,67 ^{jk}
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +D	20,33 ^{kl}
Sonbahar, H ₂ O ₂ (3 mg/l)	18,67 ^l
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l)	16,33 ^m
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +MK	13,00 ⁿ
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l)	12,00 ⁿ
Sonbahar, H ₂ O ₂ (6 mg/l)	12,00 ⁿ
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +D	11,67 ⁿ

*AK: Aktif karbon, D: difüzör, MK: mekanik karıştırıcı

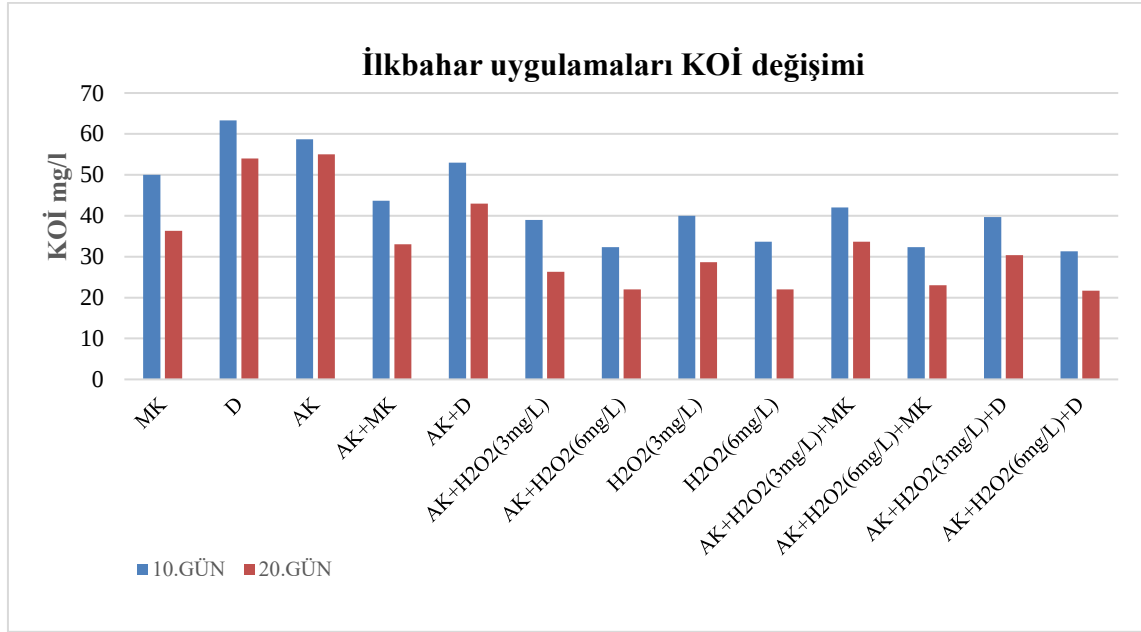
Sonbahar mevsiminde yapılan uygulamalar sırasında 10. ve 20. günde ölçülen KOİ değerlerindeki değişimler Şekil 4.48'de sunulmuştur. KOİ giderim verimleri konular bazında sırasıyla (mekanik karıştırıcı= %74,90; difüzör= %78,71; aktif karbon= %82,89; aktif karbon + mekanik karıştırıcı= %91,25; aktif karbon + difüzör=87,45; aktif karbon +

H₂O₂ 3 mg/l = %87,45; aktif karbon + H₂O₂ 6 mg/l = %95,44; H₂O₂ 3 mg/l = %92,77; H₂O₂ 6 mg/l = %95,44; aktif karbon + H₂O₂ 3 mg/l + mekanik karıştırıcı = 90,87; aktif karbon + H₂O₂ 6 mg/l + mekanik karıştırıcı = %95,05 aktif karbon + H₂O₂ 3 mg/l+ difüzör = %92,39; aktif karbon + H₂O₂ 6 mg/l+ difüzör = %95,44) olarak ölçülmüştür. En düşük KOİ değerine aktif karbonla birlikte 6 mg/l hidrojen peroksit; 6 mg/l hidrojen peroksit ve aktif karbonla birlikte 6 mg/l hidrojen peroksitin difüzörle havalandırılması konularında 12 mg/l ile ulaşılmıştır. En düşük arıtma yüzdesi ise %75 ile mekanik karıştırıcı konusunda 66 mg/l olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.48).



Şekil 4.48. Sonbahar uygulamaları esnasında ölçülen KOİ (mg/l) değerleri

İlkbahar mevsiminde göletten temin edilen kompozit numunenin KOİ değeri 280 mg/l olarak ölçülmüştür. Uygulamaların 10. ve 20. günlerinde yapılan KOİ ölçümlerinde sağlanan giderimler sırasıyla (mekanik karıştırıcı = %87,14; difüzör = %80,71; aktif karbon = %80,36; aktif karbon + mekanik karıştırıcı = %88,21; aktif karbon + difüzör = 84,64; aktif karbon + H₂O₂ 3 mg/l = %90,71; aktif karbon + H₂O₂ 6 mg/l = %92,14; H₂O₂ 3 mg/l = %89,64; H₂O₂ 6 mg/l = %92,14; aktif karbon + H₂O₂ 3 mg/l+mekanik karıştırıcı = 87,85; aktif karbon + H₂O₂ 6 mg/l +mekanik karıştırıcı = %91,78 aktif karbon + H₂O₂ 3 mg/l+ difüzör = %89,28; aktif karbon + H₂O₂ 6 mg/l+ difüzör = %92,14) olarak ölçülmüştür. En düşük KOİ değerine aktif karbon + H₂O₂ 6 mg/l; H₂O₂ 6 mg/l ve aktif karbon + H₂O₂ 6 mg/l+ difüzör konularında 22 mg/l ile ulaşılmıştır. En düşük arıtma yüzdesi ise %80,36 ile aktif karbon konusunda 55 mg/l olarak gerçekleşmiştir. (Şekil 4.49).



Şekil 4.49. İlkbahar uygulamaları esnasında ölçülen KOİ (mg/l) değerleri

Kimyasal oksijen giderimleri her iki mevsimde de G (aktif karbonla birlikte 6 mg/l hidrojen peroksit), İ (6 mg/l hidrojen peroksit) ve M (aktif karbonla birlikte 6mg/l hidrojen peroksitin difüzörle havalandırılması) konularında hidrojen peroksitin 6 mg/l dozunda en iyi sonucu vermektedir. Aktif karbon konularında da KOİ değerlerinde %80 üzerinde azalmalar mevcuttur. Hidrojen peroksit uygulamaları aktif karbona oranla daha yüksek iyileşme sağlamıştır. Yapılan bir çalışmada mineral işlemeden kaynaklanan atıksu içindeki KOİ giderimi için koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon ve fenton prosesleri karşılaştırılmıştır. Koagülan olarak polimerik ferrik sülfat, flokülan olarak poliakrilamid, adsorban olarak granüler aktif karbon ve Fenton reaktifleri olarak hidrojen peroksit ve feröz sülfat kullanmıştır. Her proses için çalışma parametreleri optimize edilmiş ve Fenton prosesi %97 ile en yüksek KOİ giderme verimliliğini sergilemiş, bunu koagülasyon-flokülasyon (%94) ve adsorpsiyon (%88) takip etmiştir (Meng ve ark., 2018).

Kolombiya'da portatif tuvaletlerden kaynaklanan atıksu içerisindeki organik maddenin (KOİ) uzaklaştırılması ve fenollerin indirgenmesi amacıyla foto-fenton oksidasyon süreci kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda pH değerleri 2,80; 3,00; 3,27; 4,40; 5,53 ve 6,00 olarak uygulanmıştır. H₂O₂ dozları (0,019; 25,56; 40,67; 87,24; 148,91 ve 174,45 g/l)'dir. Çalışmalar 0,50 l'lık bir kesikli reaktörde gerçekleştirilmiştir. Optimum çalışma koşullarına pH 4,72 ve hidrojen peroksit için 174,45 g/l dozajında ulaşılmıştır. Fenol konsantrasyonunun

% 97,83 ve KOİ'nin % 95,49 oranında azaldığı bulunmuştur (Garisado ve diğerleri, 2024) . Sonuçlar benzerlik göstermektedir.

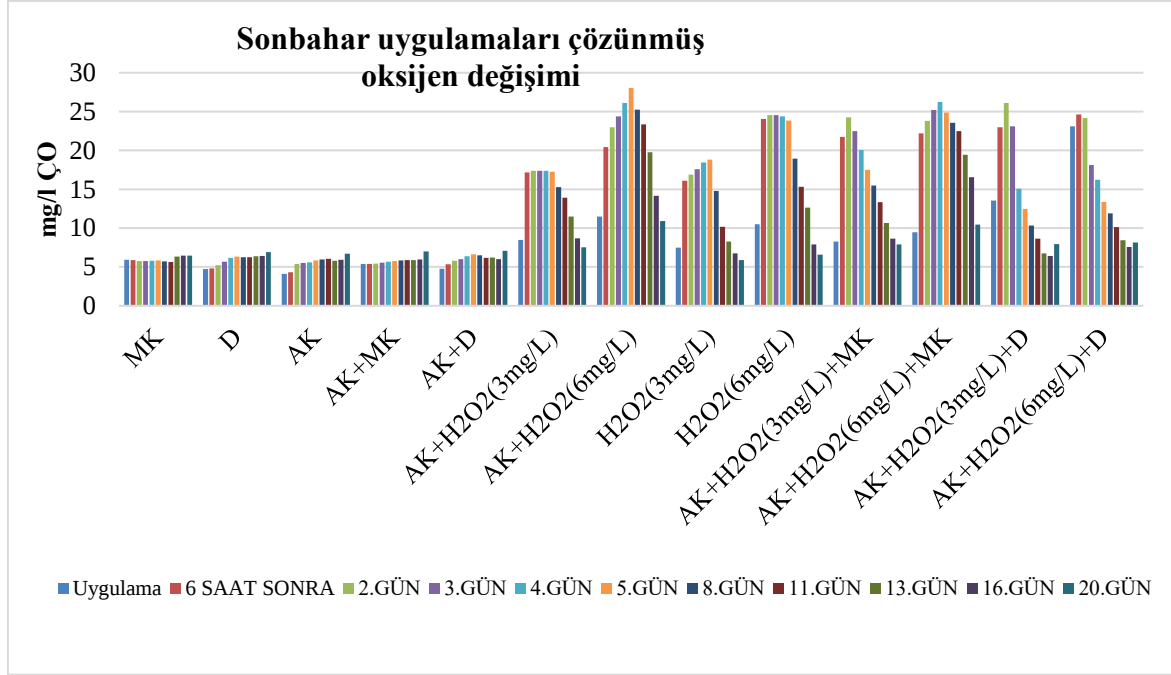
4.2.2. Çözünmüş oksijen ihtiyacındaki değişim

Suda çözünmüş olarak bulunan mg/l, ppm veya % doygunluk birimleri ile ifade edilen oksijen miktarı çözünmüş oksijen olarak tanımlanmaktadır. Normal şartlarda 1 atm basınç ve 0°C'de bir su kaynağında en fazla 14,6 ppm çözünmüş oksijen bulunmaktadır. Su ortamında bulanıklık, özellikle göl ve göletlerde su akışı olmaması sebebiyle durgunluk, kirletici madde miktarının fazlalığı gibi sebeplerle çözünmüş oksijen miktarı azalmaktadır. Beytepe Göleti durgun bir su kaynağı olup çalışma başlangıcında çözünmüş oksijen değeri 3,77 mg/l olarak ölçülmüştür. Uygulama süresince başlangıçta, 6 saat sonra, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 13, 16 ve 20. günde olmak üzere toplam 11 ölçüm yapılmıştır. Değerler hidrojen peroksit ve aktif karbon uygulamalarının birlikte olduğu konularda yükselme eğiliminde olup 5. gün itibariyle düşüşe geçmiş ve 16. günde stabil hale gelmiştir. Hidrojen peroksit uygulamaları olmayan konularda (aktif karbon, aktif karbon+mekanik karıştırıcı ve aktif karbon+difüzör) aktif karbonun etkisi başlangıçtan itibaren görülmüş ve deneme sonuna kadar stabil kalmıştır. Difüzörle havalandırma mekanik karıştırmaya oranla süreklilik arz ettiğinden daha iyi sonuç vermiştir.

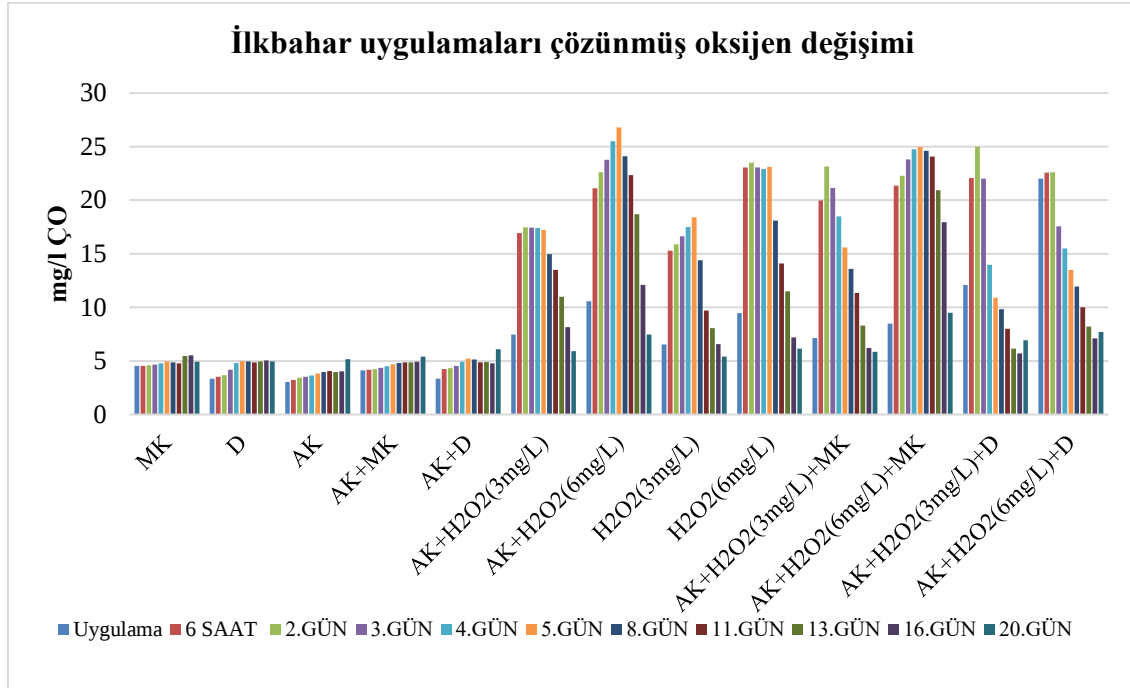
Sonbahar mevsiminde yapılan tüm uygulamalarda kabul edilebilir sınır değere ulaşılmıştır (Şekil 4.50). İlkbahar mevsiminde 2,4 mg/l olan başlangıç çözünmüş oksijen değeri mekanik karıştırıcı, difüzörle karıştırma ve aktif karbon konularında %100'e yakın iyileşme sağlamasına rağmen 5 mg/l değerinin altında kalmıştır (Şekil 4.51). Diğer konularda sonbahar mevsiminde yapılan uygulamalara paralel sonuçlar elde edilmiştir. Uygulamalar neticesinde çok düşük olmayan çözünmüş oksijen değerlerinin sadece aktif karbon ile 7 mg/l değerine kadar iyileştirilebildiği sonucuna varılmıştır. Gölet suyundaki ÇO bakımından en iyi uygulama 6 mg/l H₂O₂ doz uygulaması olarak belirlenmiştir.

Bögner ve arkadaşları Almanya, Bremerhaven'daki Avrupa levreği yetiştiren Su Ürünleri Araştırma Merkezi'nde yürüttükleri bir çalışmada su ürünleri yetiştirme sistemlerinde hidrojen peroksitin oksijenasyon ve dezenfeksiyon kapasitesini araştırmışlardır. Toplam hacmi 5 m³ su akış hızı 7,5 m³/h olan sürekli akışlı bir havuzda oksijen zenginleştirme ve dezenfeksiyon için H₂O₂ uygulamışlardır. Başlangıçta %53,1 ± 10,0 olan ortalama oksijen

doygunluğu ek oksijenasyon olmaksızın 4 saatlik H_2O_2 (15,8 mg/l) uygulaması ile $101,7 \pm 5,6$ 'ya yükselmiştir. Araştırmacılar H_2O_2 uygulamasının oksijen doygunluğunu istikrarlı bir şekilde artırdığını bildirmişlerdir (Bögner ve diğerleri, 2021). Sonuç olarak hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulaması suyun oksijen konsantrasyonunu arttırmıştır.



Şekil 4.50. Sonbahar dönemi yapılan uygulamalar sonucunda çözünmüş oksijen değerlerindeki değişim



Şekil 4.51. İlkbahar dönemi yapılan uygulamalar sonucunda çözünmüş oksijen değerlerindeki değişim

4.2.3. Klorofil-a değerlerindeki değişim

Ötrofikasyon evrendeki tatlı su ekosistemleri içerisinde yer alan göl, gölet gibi durgun suların normal yaşlanma sürecinin bir sonucudur. Antropojenik ötrofikasyon doğal özümleme kapasitesinin aşıldığı durumlarda suyun kullanım potansiyelini sınırlamasının yanı sıra sucul ekosistemdeki tür dağılımını ve ekosistem fonksiyonunu ciddi şekilde etkiler (Doğan-Sağlamtimur ve Sağlamtimur, 2018). Yüzeysel sularda zamanla oluşacak besi maddesi konsantrasyonundaki yükselmeyi yavaşlatmak için ham su kaynağı korunmalıdır. Su ortamındaki üretkenliği ve biyokütle miktarını tayin etmek amacıyla klorofil analizleri yapılmaktadır. Çalışma başlangıcında göletten alınan kompozit numune klorofil-a değeri sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde sırasıyla 1,54 mg/l ve 1,74 mg/l olarak ölçülmüştür.

Yapılan uygulamalar sonucunda klorofil içeriğindeki değişim istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Varyans analiz sonuçlarına göre hem mevsimler hem de uygulamalar arasındaki farklar istatistiki açıdan önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Uygulamaların grup ortalamaları student t testi ile karşılaştırıldığında oluşan gruplar da Çizelge 4.11’de sunulmuştur. En yüksek klorofil içeriği 0,51 mg/l ile aktif karbon+H₂O₂ (6

mg/l) +mekanik karıştırıcı konusunda elde edilirken en düşük ise 0,14 mg/l ile mekanik karıştırıcı konusunda elde edilmiştir.

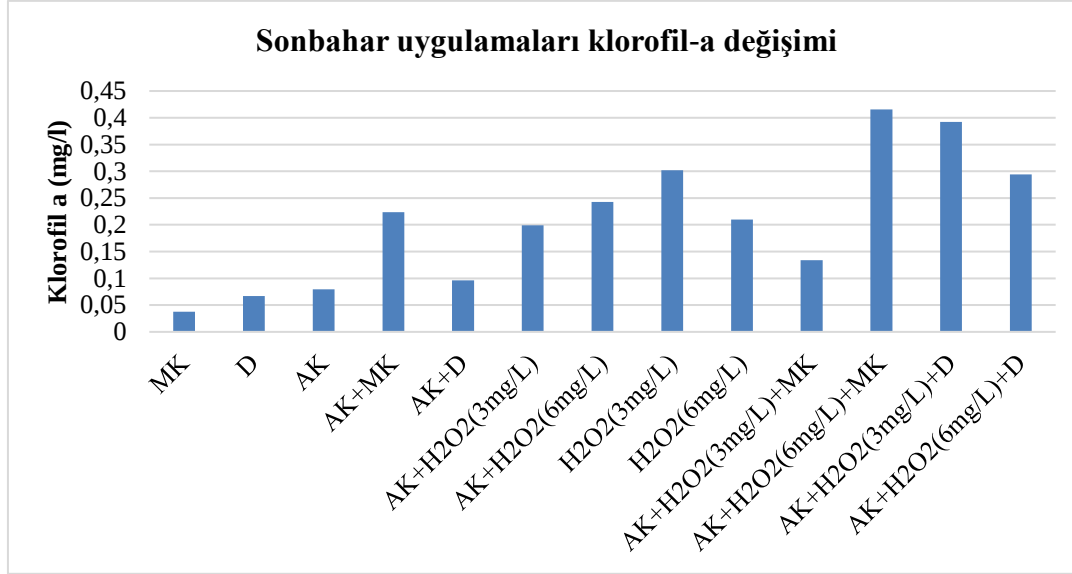
Çizelge 4.10. Uygulamaların klorofil içeriğinde meydana getirdiği değişiminin varyans analiz sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F oranı	F hesapları
Mevsim	1	0,7800000		1833,570	<,0001*
Uygulama	12	1,0691606		209,4424	<,0001*
Mevsim*Uygulama	12	1,1931e-32		0,0000	1,0000
Tekerrür	2	0,0031621		3,7166	0,0313*
Hata 1	50	0,0212700	0,000425		
Genel	77	1,8735926			<,0001*

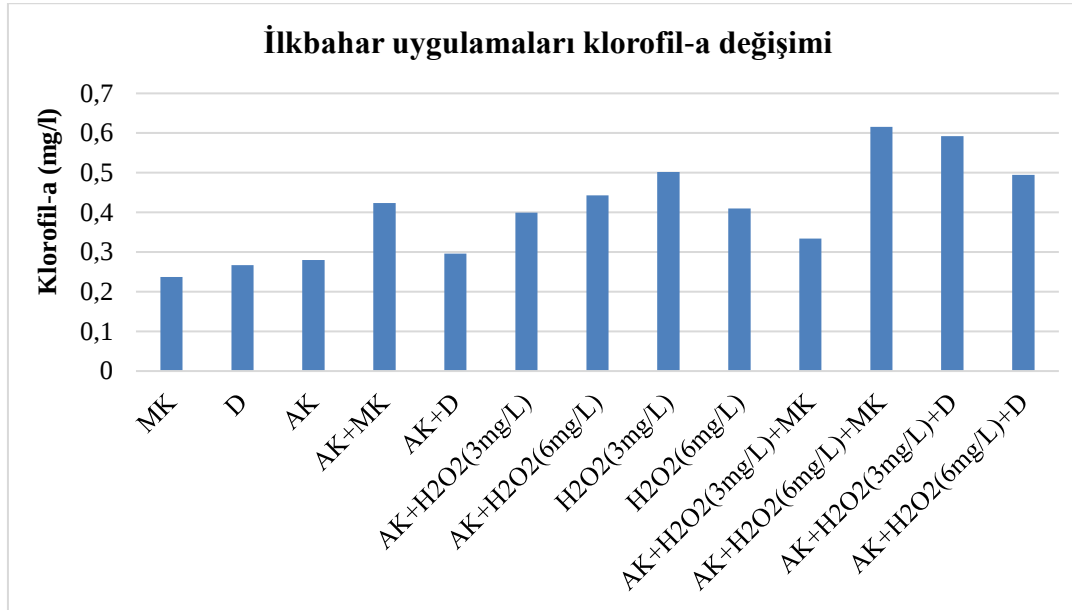
Çizelge 4.11. Uygulamaların klorofil içeriğinde meydana getirdiği değişiminin student t testi sonucu oluşan gruplar

Uygulama	Klorofil (mg/l)
AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +MK	0,51 ^a
AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +D	0,49 ^a
H ₂ O ₂ (3 mg/l)	0,40 ^e
AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +D	0,39 ^e
AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l)	0,34 ^c
AK+MK	0,32 ^{cd}
H ₂ O ₂ (6 mg/l)	0,31 ^{de}
AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l)	0,30 ^e
AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +MK	0,23 ^f
AK+D	0,20 ^g
AK	0,18 ^{gh}
D	0,17 ^h
MK	0,14 ⁱ

Klorofil-a değerlerinde minimum değer sonbahar uygulamalarında mekanik karıştırıcı konusunda 0,037 mg/l ile ilkbahar mevsiminde ise yine mekanik karıştırıcı konusunda 0,237 mg/l olarak ölçülmüştür. Maksimum değer ise sonbahar ve ilkbahar mevsiminde sırasıyla 0,415 ve 0,615 mg/l olarak gözlemlenmiştir. Uygulamaların meydana getirdiği değişimler Şekil 4.52 ve Şekil 4.53’de sunulmuştur. Uygulamalar Klorofil-a değerinde iyileşme sağlamasına rağmen ötrofikasyon sınır değeri olan 0,025 mg/l değerine ulaşamamıştır (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği) (Resmi Gazete Dğş. 16 Haziran 2021 Sayı: 31513).



Şekil 4.52. Sonbahar uygulaması esnasında ölçülen klorofil-a (mg/l) değerleri

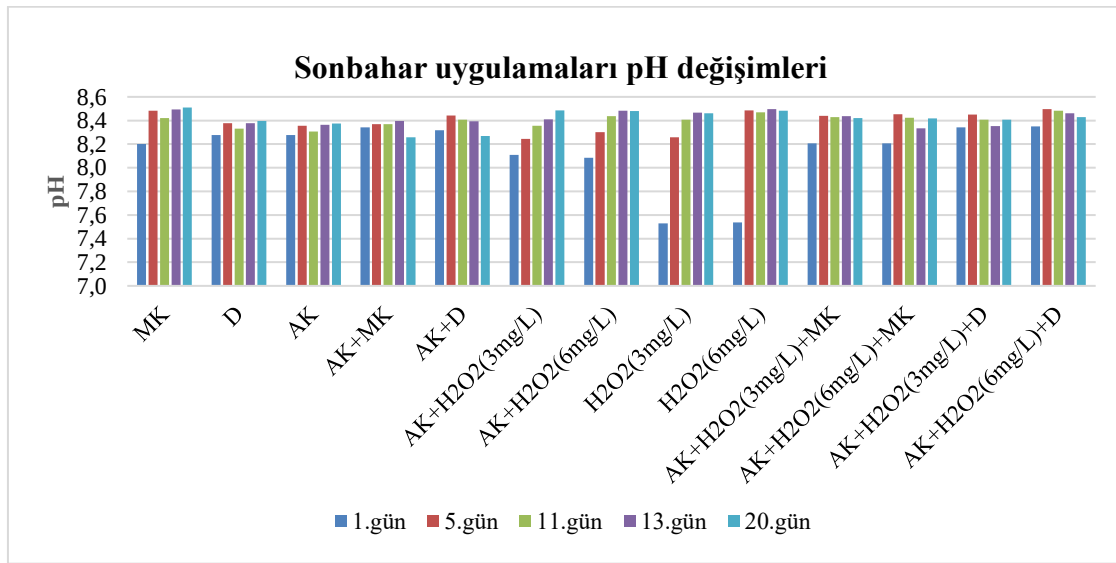


Şekil 4.53. İlkbahar uygulaması esnasında ölçülen klorofil-a (mg/l) değerleri

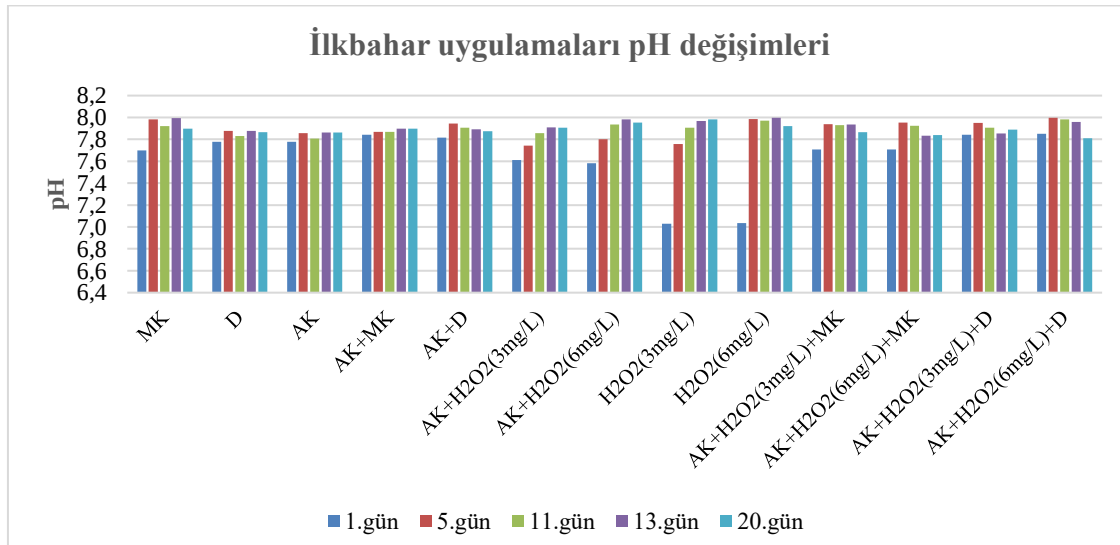
4.2.4. pH değerlerindeki değişim

Sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde yapılan uygulamalarda pH değerleri 1, 5, 11, 13 ve 20. günlerde olmak üzere beş defa ölçülmüştür. Uygulamalar neticesinde ve iki mevsimde de pH değerlerinde başlangıca kıyasla artışların meydana geldiği belirlenmiştir. Bu artışlar suyun oksijen içeriğinin yüksek olduğu konularda daha fazla artış olarak kendini göstermiştir. Sonbahar dönemi uygulamalarının pH değerlerindeki değişimleri Şekil 4.54’de

ve ilkbahar dönemindeki değişimleri ise Şekil 4.55’de sunulmuştur. Genel olarak sonbahar döneminde 7,5-8,5 değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. İlkbahar döneminde ise 7,0-8,0 arasında değişim göstermiştir. Makkaveev (2009) Volga Nehri deltasında yaptığı bir araştırmada; pH değerleri ile çözülmüş oksijen arasındaki korelasyonu incelemiştir. Çözülmüş oksijenle pH değerleri değişiminin doğrusal olmadığını ve doğrusal olmama durumunun en çok suyun oksijenle doygunluğunun yüksek değerlerinde (%110-120’nin üzerinde) belirgin olduğunu, çözülmüş oksijen içeriği 8-9 ppm olduğunda 9’un üzerinde bir pH değerine ulaşılabilirliğini belirtmiştir. Çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir.



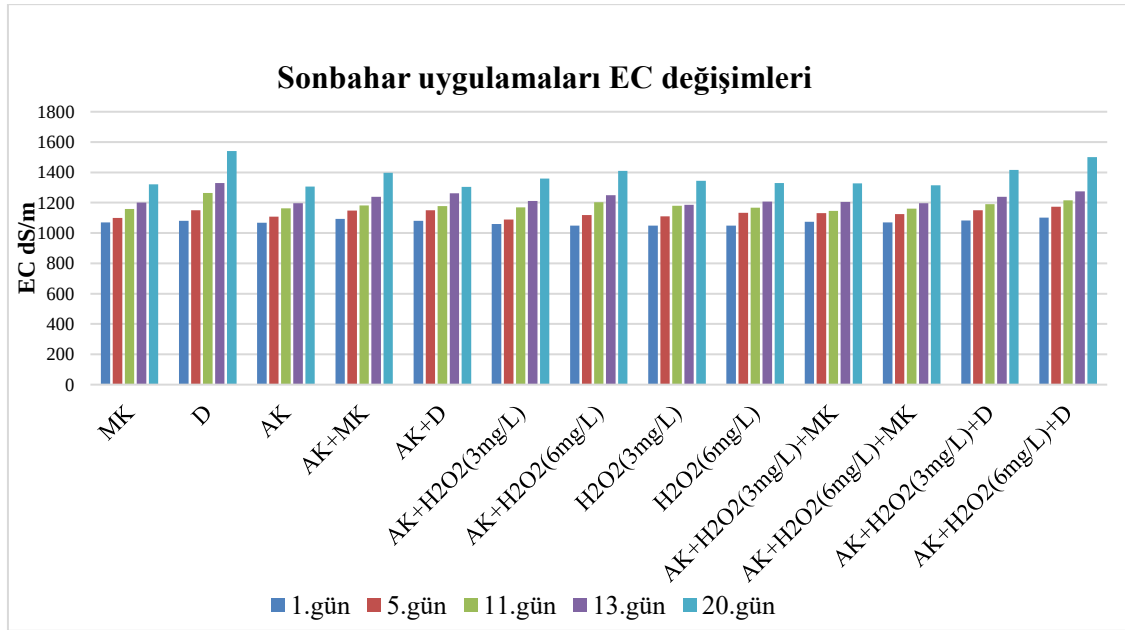
Şekil 4.54. Sonbahar uygulamaları pH değerlerindeki değişim



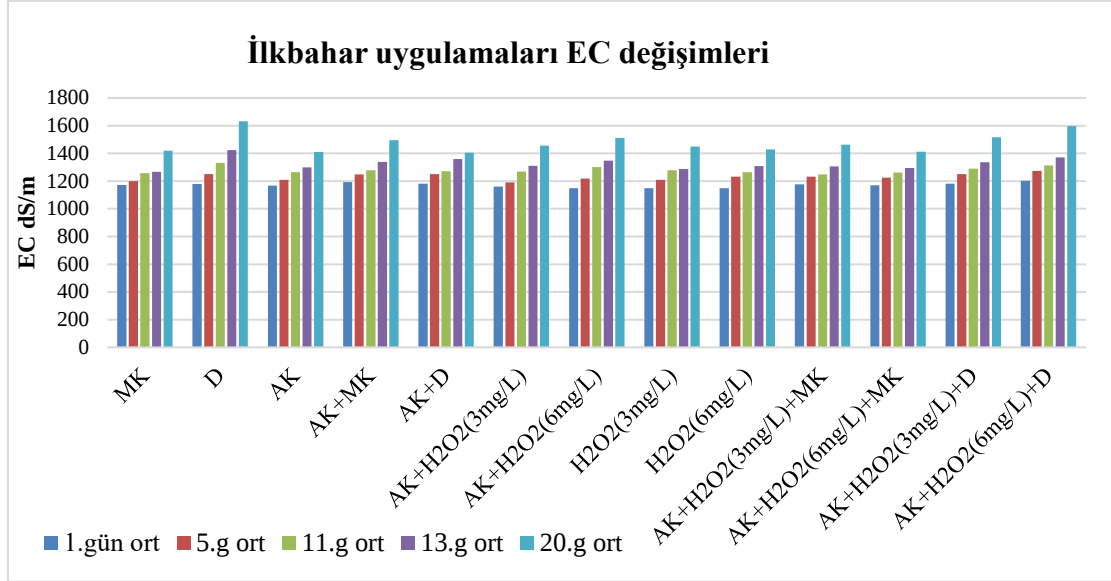
Şekil 4.55. İlkbahar uygulamaları pH değerlerindeki değişim

4.2.5. EC değerlerindeki değişim

Sulamada kullanılacak suyun kalitesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biri de tuzluluğun belirteci olan elektriksel iletkenlik değeridir (Castro ve diğerleri, 2015). Uygulamalar Gölet suyu elektriksel iletkenlik sınıfını değiştirmemiştir. Sonbahar (Şekil 4.56) ve ilkbahar (Şekil 4.57) mevsiminde yapılan çalışmalarda elektriksel iletkenlik değerleri 1, 5, 11, 13 ve 20. günde olmak üzere 5 kez ölçülmüştür. Uygulamalar sonucunda büyük değişiklik olmamasına rağmen deneme sonunda, başlangıça oranla bir miktar artış belirlenmiştir. Gölet suyu ABD tuzluluk laboratuvarı tuzluluk sınıflamasına (USSS, 1954) göre III. sınıf sulama suyu kalitesinde yer almaktadır.



Şekil 4.56. Sonbahar uygulamaları elektriksel iletkenlik (EC) değerlerindeki değişim



Şekil 4.57. İlkbahar uygulamaları elektriksel iletkenlik (EC) değeriindeki değışim

4.2.6. Mikrobiyolojik parametrelerdeki değışim

Laboratuvar denemelerinin sonunda mikrobiyolojik parametrelerde oluşan değışikliklerin izlenmesi amacıyla numuneler alınmıştır. Alınan örnekler 50 ml'lik steril falkon tüpler içerisine 10 ml olarak alınıp ışık ve sıcaklıktan etkilenmemeleri için alüminyum folyoya sarılarak buz kutularında muhafaza edilerek Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Tıbbi Mikrobiyoloji Laboratuvarına götürölmüştür. Bu kaplardan 10'ar ml su örneği alınarak 0,45 µm'lik gözenek çapına sahip bir nitrosellöloz membran filtre kullanılarak süzölmüş ve daha önceden steril edilmiş cam kaplarda konvansiyonel mikrobiyolojik işlemler için hazırlanmıştır (Resim 4.3).



Resim 4.3. Mikrobiyolojik analizler için süzme işlemleri

Filtrasyon işlemi bittikten sonra filtre membranı daha önce örneklerin toplandığı tüpler içine alınarak steril çubuklar kullanılarak karıştırılmış ve 2 dakika süreyle vortekslelendikten sonra bu örneklerden 1 ml miktarda alınarak steril deiyonize su ile 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} seri sulandırmalar yapılarak mikrobiyolojik işlemler için hazırlanmıştır. Örnekler direk ve sulandırma tüplerinden ayrı ayrı olacak şekilde çalışmada seçilen R2A agar (Merck Almanya), koyun kanlı agar, fekal koliform (mFC) (Merck Almanya), Eosin-Metilen-Blue (EMB) agar (Merck Almanya), Sakazakii agar (Merck Almanya), UTIC agar (Merck Almanya), chromogenic coliform agar (Merck Almanya), Cetrimide agar (Merck, Almanya) besiyerlerine ekilmiştir. Ekim işleminden sonra etüvde $34\pm0,5$ °C aerobik ve mikroaerofilik şartlarda 24-72 saat inkübe edilmiştir (Resim 4.4). İnkübasyon süresi bitiminde üreyen koloniler sayılıp total bakteri sayısı belirlenmiş ve dilüsyon oranları doğrultusunda hesaplanarak ml başına koloni oluşturan birim (CFU/ml) olarak hesaplamaları yapılmıştır.



Resim 4.4. Mikroorganizma ekim ve inkübasyon işlemleri

Koliform bakteriler ve *Escherichia coli* (*E. coli*) bakterisi için de seçilen kromojenik agarlarda üreyen ve ayırt edici özellikte olan koloniler alınıp taze olarak seçilen özgül ve seçici besiyerlerine pasajlanıp saf kültürleri elde edildikten sonra tür tayini için konvansiyonel mikrobiyolojik tiplendirilmeye alınmıştır. Bu amaçla üretilebilen türler için koloniler, Gram boyama yöntemi ile boyanarak ışık mikroskobu altında morfolojik özellikleri için incelenmiştir. Ayrıca, enzimatik özellikler, biyokimyasal özellikler vb. özelliklerine göre tür tayini için *Escherichia coli*-metilumbelliferyl- β -D- glukronid (EC-MUG) testi kullanılmıştır. UTIC ve Chromogenic agar, Mannitol salt agar, Chromocult Enterobacter Sakazakii agar, McConkey agar, XLD agar gibi seçici, ayırtedici ve kromojenik agarlara ekilerek tekrar belirtilen koşullarda saf kültür elde edilinceye kadar inkübe edilmiştir. Tanımlanan koliform bakteri ve *E. coli* sayıları da aynı şekilde dilüsyon oranları doğrultusunda CFU/ml olarak hesaplanmıştır. Deneyler her bir örneklem için 3 kez tekrar edilmiş ve değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

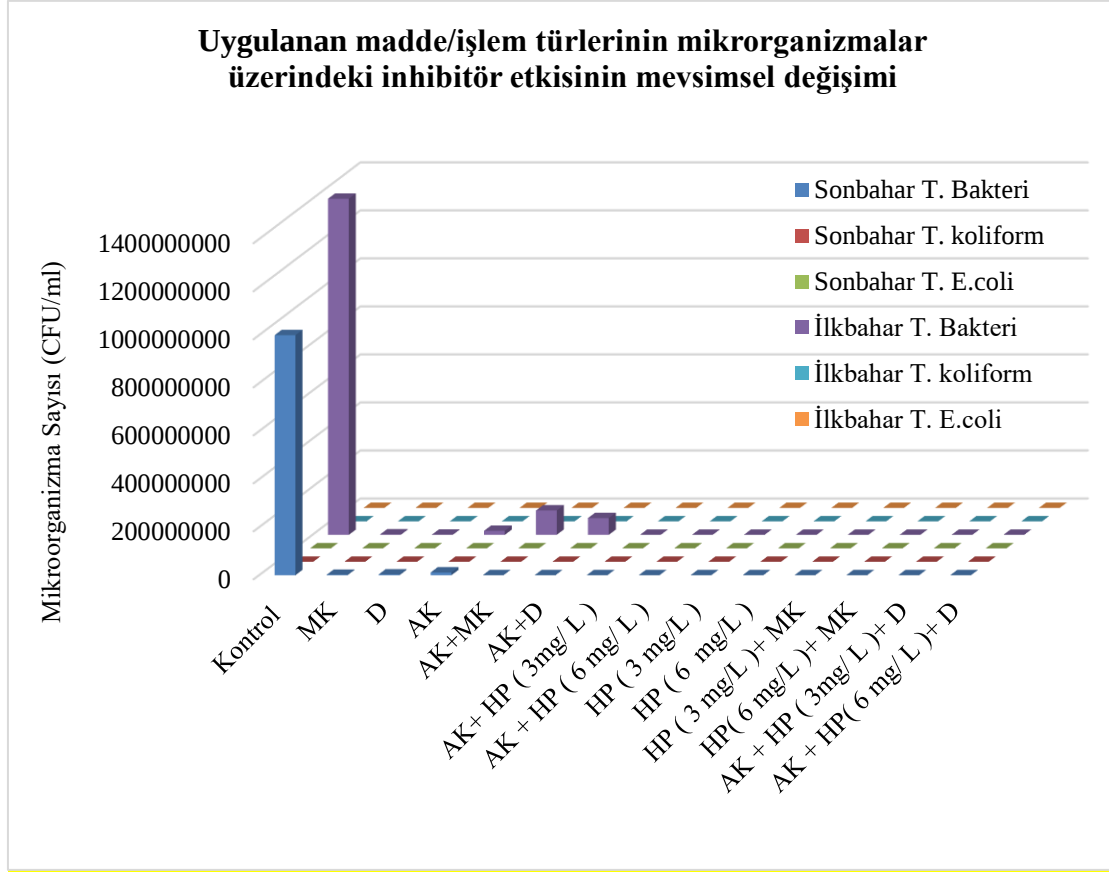
Tez çalışmasında belirtildiği şekilde ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde alınan örneklerin öncelikle kültürde üretilen türler için total bakteri sayıları belirlenmiştir. Ayrıca cins/tür düzeyinde tanımlanabilen koliform bakterilerin sayıları ile ayrı olarak *E. coli* türlerinin sayıları da CFU/ml cinsinden hesaplanmıştır. Toplam bakteri ve toplam koliform bakteri miktarı açısından ilkbahar mevsiminde sonbahara göre biraz daha fazla sayıda bakteri üremesi olduğu görülmüştür. Benzer şekilde *E.coli* türü bakteri üremesi de en fazla ilkbahar mevsimindedir. Uygulama sonunda hemen birçok örnekte aktif karbon ve hidrojen peroksit varlığında her iki mevsimde de toplam bakteri, toplam koliform bakteri ve toplam *E.coli* bakterisinin kontrol örneğine göre oldukça etkin bir şekilde azaldığı veya baskılandığı görülmektedir. Uygulamaların mikroorganizmalar üzerindeki inhibitör etkisinin mevsimsel değişimi Çizelge 4.12’de, grafiksel gösterim ise Şekil 4.58’de yer almaktadır.

Çizelge 4.12. Uygulamalar neticesinde toplam bakteri sayılarındaki değişim

Konular *	Sonbahar			İlkbahar		
	Toplam Bakteri CFU/ml	Toplam koliform CFU/ml	Toplam <i>E.coli</i> CFU/ml	Toplam Bakteri CFU/ml	Toplam koliform CFU/ml	Toplam <i>E.coli</i> CFU/ml
A	1000000000	28500	1100	1400000000	124400	3000
B	1880000	15767	333	1550000	39450	33
C	3116667	8467	167	920000	12800	200
D	11500000	10667	1867	16500000	6050	67
E	33333	367	0	101500000	8300	33
F	40000	433	0	69706667	318133	33
G	1100	667	167	850	600	67
H	167	0	0	300	50	33
İ	1000	0	0	700	0	0
J	400	0	0	450	0	0
K	8667	167	0	26500	0	0
L	600	0	0	6750	850	0
M	23467	133	0	13650	100	0
N	67	0	0	200	100	0

*Uygulama konuları aşağıda belirtildiği şekildedir.

- A. Ham su + mekanik karıştırıcı
- B. Ham su + difüzörle karıştırma
- C. Aktif karbon filtrasyonu
- D. Aktif karbon filtrasyonu + mekanik karıştırıcı
- E. Aktif karbon filtrasyonu + difüzörle havalandırma
- F. Aktif karbon filtrasyonu + hidrojen peroksit (3 mg l⁻¹)
- G. Aktif karbon filtrasyonu+ hidrojen peroksit (6 mg l⁻¹)
- H. Hidrojen peroksit uygulaması (3 mg l⁻¹)
- İ. Hidrojen peroksit uygulaması (6 mg l⁻¹)
- J. Aktif karbon filtrasyonu + hidrojen peroksit (3 mg l⁻¹) + mekanik karıştırıcı
- K. Aktif karbon filtrasyonu + hidrojen peroksit (6 mg l⁻¹) + mekanik karıştırıcı
- L. Aktif karbon filtrasyonu+ hidrojen peroksit (3 mg l⁻¹) + difüzör
- M. Aktif karbon filtrasyonu+ hidrojen peroksit (6 mg l⁻¹) + difüzör



Şekil 4.58. Toplam bakteri miktarlarındaki değişimin grafiksel gösterimi

Yapılan uygulamalar sonucunda toplam bakteri sayısında oluşturduğu değişim istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Varyans analiz sonuçlarına göre hem mevsimler hem de uygulamalar arasındaki farklar istatistiki açıdan önemli iken aynı zamanda bu iki faktörün interaksiyonu da önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.13). Uygulamaların grup ortalamaları student t testi ile karşılaştırıldığında oluşan gruplar da Çizelge 4.14’de sunulmuştur. En yüksek toplam bakteri sayısı ilkbahar ayındaki kontrol konusunda belirlenmiştir. En düşük ise Sonbahar, aktif karbon+H₂O₂ (6 mg/l) +Difüzör konusundan elde edilmiştir.

Çizelge 4.13. Uygulamaların toplam bakteri sayısında meydana getirdiği değişiminin varyans analiz sonuçları

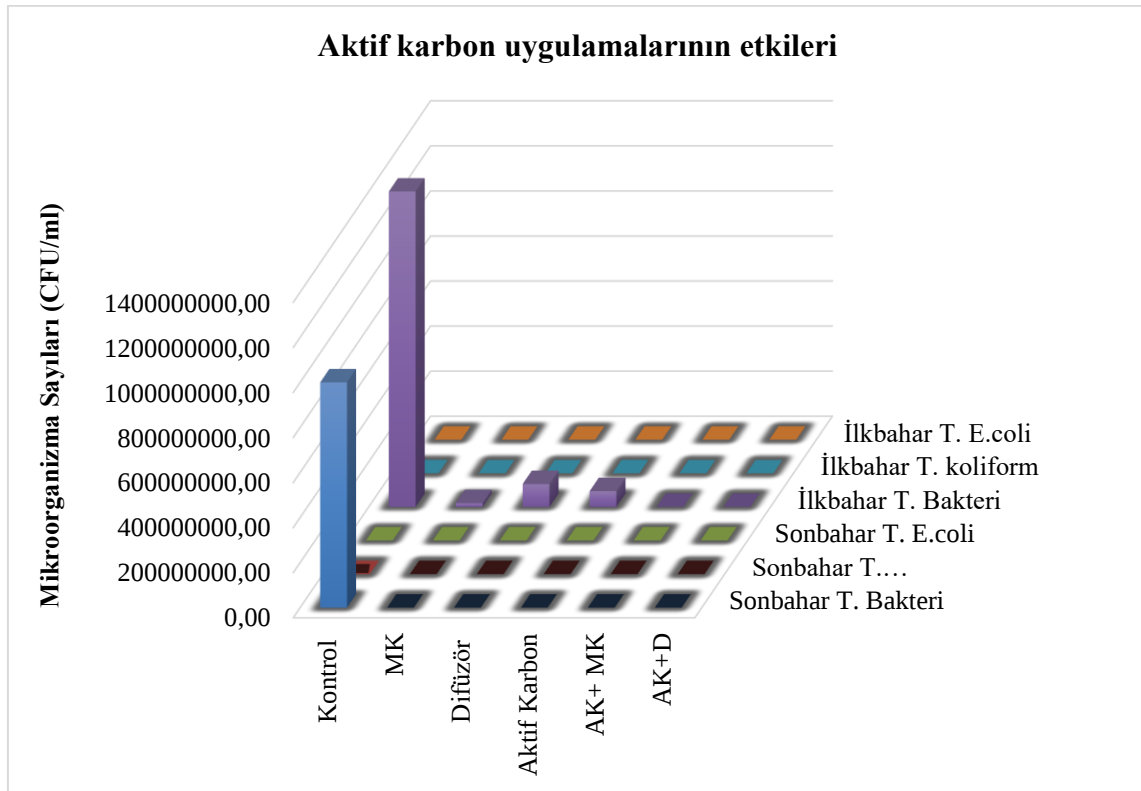
Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F oranı	F hesapları
Mevsim	1	3,5254e+16		55,7846	<,0001*
Uygulama	13	7,9359e+18		965,9478	<,0001*
Mevsim*Uygulama	13	2,2751e+17		27,6928	<,0001*
Tekerrür	2	3,2051e+14		0,2536	0,7769
Hata 1	54	3,4127e+16	6,32e+14		
Genel	83	8,2331e+18			

Çizelge 4.14. Uygulamaların toplam bakteri sayısında meydana getirdiği değişiminin student t testi sonucu oluşan gruplar

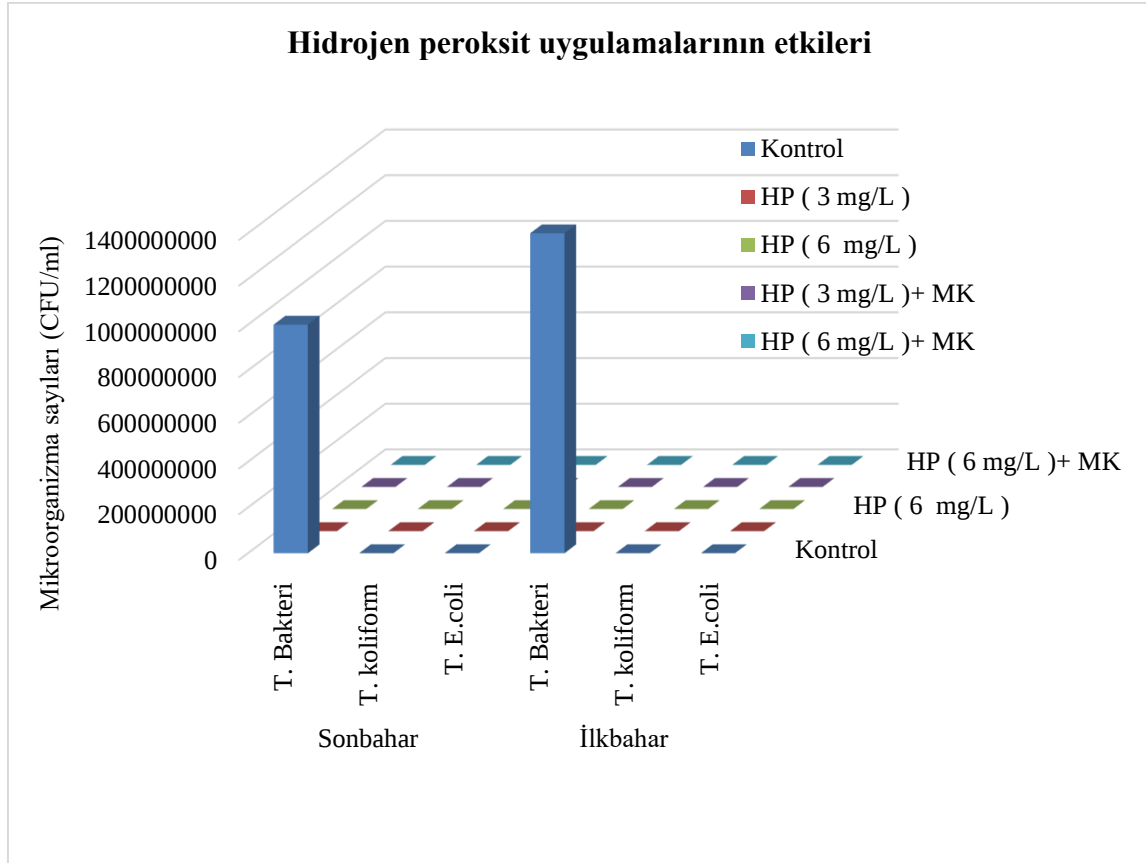
Level	Toplam Bakteri Sayısı
İlkbahar, Kontrol	1400000000 ^a
Sonbahar, Kontrol	1000000000 ^b
İlkbahar, AK+MK	101500000 ^c
İlkbahar, AK+D	69706666 ^c
İlkbahar, AK	16500000 ^d
Sonbahar, AK	11500000 ^d
Sonbahar, D	3116666 ^d
Sonbahar, MK	1880000 ^d
İlkbahar, MK	1550000 ^d
İlkbahar, D	920000 ^d
Sonbahar, AK+D	40000 ^d
Sonbahar, AK+MK	33333 ^d
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +MK	26500 ^d
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +D	23466 ^d
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +D	13650 ^d
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l) +MK	8666 ^d
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +MK	6750 ^d
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l)	1100 ^d
Sonbahar, H ₂ O ₂ (3 mg/l)	1000 ^d
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (3 mg/l)	850 ^d
İlkbahar, H ₂ O ₂ (3 mg/l)	700 ^d
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +MK	599 ^d
İlkbahar, H ₂ O ₂ (6 mg/l)	450 ^d
Sonbahar, H ₂ O ₂ (6 mg/l)	400 ^d
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l)	300 ^d
İlkbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +D	199 ^d
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l)	167 ^d
Sonbahar, AK+H ₂ O ₂ (6 mg/l) +D	67 ^d

Farklı aktif karbon uygulamalarının mikroorganizmalar üzerindeki etkilerine bakıldığında ise aktif karbon filtreden geçirilerek difüzörle havalandırma yapılan uygulama toplam koliform ve toplam *E. coli* bakteri sayısında sonbahar mevsiminde en iyi sonucu vermiştir. Toplam bakteri sayısında ise en iyi iyileştirme ilkbahar mevsimindeki uygulamada gözlemlenmiştir. Aktif karbon uygulamalarının mikroorganizmalar üzerine etkilerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.59’da yer almaktadır.

Hidrojen peroksit uygulamaları sonucunda meydana gelen değişimler Şekil 4.60’da gösterilmiştir. Hidrojen peroksitin her iki mevsimdeki uygulamasında tüm dozlarda toplam koliform ve toplam *E-coli*’de neredeyse yok denecek seviyeye kadar mikroorganizma sayısını düşürmüştür. Her iki mevsimde de toplam bakteri üremesi, toplam koliform ve toplam *E-coli* üremesinden fazla olmuştur. Fakat kontrol konusuyla mukayese edildiğinde tüm konularda ve her iki mevsimde mikrobiyal faaliyetler inhibe edilmiştir.



Şekil 4.59. Aktif karbon uygulamalarının mikrobiyal üreme üzerine etkileri



Şekil 4.60. Hidrojen peroksit uygulamalarının mikrobiyal üreme üzerine etkileri

4.3. Ekonomik Analiz

Son yıllarda iklimsel değişkenlikler, yağış rejimlerindeki düzensizlikler, artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla aşırı çekimler neticesinde su kaynaklarında kalite ve kantite açısından olumsuzluklar yaşanmaktadır. Buna paralel olarak atıksu miktarlarında da artış yaşanmakta olup, kirletici konsantrasyonları da deşarj limitlerinin üstünde seyretmektedir. Doğal sular yeterince arıtılmayan evsel ve endüstriyel atıksular ile kirlenebilmektedir. Atıksular ve atıksularla kirlenmiş doğal su kaynaklarının arıtımı söz konusu olduğunda, BOİ, KOİ, azot, fosfor, koliformlar, helmitler gibi belli başlı parametrelerin hangi oranda giderileceği arıtma seviyesini belirler. Arıtma prosesi seçilirken, bütün önemli parametrelerin giderim verimleri belirlenip ilgili mevzuatta öngörülen alıcı ortamlara deşarj limitleri göz önüne alınmalıdır. Arıtma yönteminin seçiminde deşarj limitlerinin yanı sıra sistemin ilk yatırım maliyeti, işletme giderleri, sistemin enerji ihtiyacı da önemli parametrelerdendir.

Beytepe Göleti bulunduğu konum itibariyle ekolojik açıdan önem arz etmektedir. Türkiye Milli Botanik Bahçesi içerisinde yer alan göletin tabanında birikmiş olan çamurun mekanik yöntemlerle uzaklaştırılması estetik açıdan problem oluşturmanın yanı sıra ekonomik açıdan da külfetli olacaktır. Çamur uzaklaştırma maliyeti 2,4 \$ /m³’tür (çıkarma, taşıma maliyetleri 2024 yılı mart ayında piyasadan temin edilerek hesaplanmıştır). Ayrıca çamurun uzaklaştırılması gölet tabanındaki flora ve faunaya zarar verecek olup yaşamsal faaliyetleri olumsuz etkileyecektir. Atıksu arıtımında yaklaşık ilk yatırım maliyetleri Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Atıksu arıtımında yaklaşık ilk yatırım maliyetleri (Öztürk 2017).

Arıtma	Yaklaşık ilk yatırım maliyetleri (\$/m ³)
Klasik aktif çamur	66
Uzun havalandırmalı aktif çamur	45
Havasız çamur yataklı reaktör	45
Havalandırmalı lagün	34
Stabilizasyon havuzu	17,2

Çalışmada kullanılan hidrojen peroksit ve aktif karbon uygulamaları sonucunda 6 mg/l H₂O₂ uygulaması ve 6mg l⁻¹ H₂O₂ + Aktif Karbon uygulaması çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, klorofil-a değerleri ve mikrobiyolojik açıdan en iyi iyileşmeleri sağlamıştır. Hidrojen peroksit uygulamasının arıtma maliyeti yaklaşık 12 \$/m³ aktif karbon ise 13 \$/m³ olarak hesaplanmış olup Çizelge 4.15’de verilen birim fiyatların (ilk yatırım maliyetlerine işletme maliyetleri dâhil değildir) altında kalmıştır. Ayrıca hidrojen peroksit uygulamasında havalandırma ihtiyacı da hâsıl olup ilave işletme maliyeti bulunmaktadır. Buna rağmen H₂O₂ ve aktif karbon uygulaması birim hacim başına diğer sistemlerden daha düşüktür. Uygulamaların ekolojik faydaları göz önünde bulundurulduğunda fayda-maliyet oranı birden büyüktür (F/M>1).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki en değerli doğal kaynaklardan biri sudur ve insan yaşamı için gereklidir. Küresel nüfusun hızla artması, sanayileşme, küresel ısınma ve iklim değişkenlikleri nedeniyle, başta gelişmekte olan ülkeler olmak üzere dünya çapında birçok ülkede su kıtlığı sorunları daha şiddetli hale gelmiştir. Bununla birlikte, 2025 yılına kadar yaklaşık 1,8 milyar insanın tatlı su kaynaklarına erişemeyeceği tahmin edilmektedir. ABD Ulusal İstihbarat Konseyi tahminlerine göre, su talebinin 2030 yılına kadar %40 oranında artması bekleniyor (Daw ve Stout, 2019). Tüm bu sebeplerden dolayı mevcut su kaynaklarının miktar ve kalitesinin korunması sürdürülebilir kullanımlarının sağlanması önem arz etmektedir. Mevcut tatlı su kaynakları içerisinde yer alan göl ve göletlerin su kalitesinin sabit durumda kalması diğer su kaynaklarına göre durgun olmaları sebebiyle daha zordur.

Beytepe Göleti yıllar içerisinde nüfusun artması ile birlikte yerleşim yerleri içerisinde kalmıştır. Şehir bağlantı yolları göletin bulunduğu havza içerisinden geçmektedir. İklim verilerinde oluşan değişkenliklerle birlikte göleti besleyen kaynaklarda da sorun oluşmuştur. Gölet hali hazırda yağmur ve kar suları ile beslenmektedir. Şehirleşmenin artması nedeniyle evsel ve endüstriyel sularla ve yüzeysel akışlarla kirlenmektedir. Göletteki su derinliği mevsimler ve yıllar bazında değişkenlik göstermekle birlikte çalışma yapılan zaman aralığında en derin noktada ortalama 7,5 metredir.

Çoğunlukla kış aylarında yüksek olan su seviyesi yaz aylarında yağışların neredeyse hiç olmaması, gölet yüzeyinden oluşan buharlaşma ve sulama amaçlı su çekimleri nedeniyle oldukça düşmektedir. Sulama amacıyla kullanılan gölet suyu anyon ve katyon değerleri açısından III. Sınıf sulama suyu kalitesindedir. Fakat çözünmüş oksijen değeri en düşük 0,72 mg/l, en yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı 1450 mg/l, toplam koliform sayısı >241960 EMS/100 ml, klorofil-a değeri 2,54 mg/l olarak belirlenmiştir. Bu değerler Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (RG Değişik 16 Haziran 2021 Sayı 31513) göre Ötrofikasyon Kontrolü Sınır Değerlerini aşmaktadır. Tüm parametreler I. Sınıf olsa da parametrelerden herhangi birinin IV. Sınıf su kalitesine sahip olması halinde su kaynakları IV. Sınıf su olarak değerlendirilmektedir.

Gölet suyunda pH değerleri genellikle tüm istasyonlarda 6-9 aralığında ölçülmüş olup, yüzeysel su kalitesi yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Elektriksel iletkenlik değerleri, bulanıklık ve organik madde değerlerinin özellikle kanalizasyon karışan aylarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sülfat iyonu değerleri ise tüm ölçüm istasyonlarında yüksek düzeyde belirlenmiştir. Su kaynaklarında çözünmüş olarak bulunan kalsiyum ve magnezyum tuzlarının miktarı yüzeysel su akışı vasıtasıyla toprak yapısındaki iyonların taşınımı veya evsel/endüstriyel atıkların deşarjı neticesinde gözlemlenmektedir. Çalışmada kalsiyum ve magnezyum değerlerinin yüksek olduğu zamanlarda bu görüşü doğrular niteliktedir.

Beytepe Göleti su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak çevre dostu iki materyal olan hidrojen peroksit ve aktif karbon kullanılmıştır. İyileştirme çalışmaları laboratuvar ortamında yürütülmüştür. Aktif karbon filtreden geçirilen su hidrojen peroksitin 3 ve 6 mg/l dozları ile muamele edilmiştir. Çalışmada mekanik karıştırma ve difüzörle karıştırma olmak üzere iki farklı havalandırma yöntemi uygulanmıştır. Mekanik karıştırma kesikli olup difüzör uygulaması sürekli. Uygulama süresi 20 gündür. Çalışma boyunca farklı günlerde ve çalışma sonunda örnekler alınmıştır. Su kalitesi açısından önemli olan çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, klorofil-a, pH ve toplam koliform analizleri yapılmıştır. Klorofil-a değeri dışında kalan tüm ölçüm parametrelerinde hidrojen peroksit uygulamasının 6 mg/l dozajı en iyi iyileştirmeyi sağlamıştır. Giderim verimleri KOİ %95,44; ÇO %100 ve klorofil-a %90 olarak gerçekleşmiştir. Benzer şekilde Azbar, Yonar ve Kestioğlu (2004), tekstil atıksularından kimyasal oksijen ihtiyacı ve renk gideriminde kullandıkları Fe^{++}/H_2O_2 kombinasyonu ile %90'lar mertebesinde KOİ ve renk giderimi ile en ekonomik uygulama olarak belirlemişlerdir.

Günümüzde çevre sorunlarına çözüm sağlamak amacıyla yeşil teknolojiler geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Arora, 2018). Yapılan çalışma ile çevre dostu, düşük maliyetli ve nispeten daha kolay uygulanabilir aktif karbon ve hidrojen peroksit uygulamaları ile Beytepe Göletinin su kalitesinin iyileştirilebileceği öngörülmektedir. Türkiye Milli Botanik Bahçesi ve Tarım Yerleşkesinin tüm sulama suyu ihtiyacını karşılayan ve estetik bir zenginlik kazandıran Beytepe Göletinin su kalitesi hem sulanan alanlar hem de halk sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmada göleti besleyen 3. Nolu istasyonun kirlilik taşıyıcı özellikleri tespit edilmiştir. Ayrıca süreklilik arz etmemekle birlikte zaman zaman kanalizasyon suyu karışımı mevcuttur. Göletin sürdürülebilir kullanımının sağlanması için kirletici kaynakların ivedilikle bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışma ile Gölet su kalitesinin belirlenmiş olması peyzaj alanlarında kullanılacak bitki türleri seçiminde yol gösterici olacaktır. Çalışma sonucunda elde edilen çıktılar; paket arıtma sistemleri, balık yetiştiriciliği, seracılık konuları gibi çok yönlü kullanım alanı bulunmaktadır. Öte yandan çalışma sonucunda elde edilen veriler, Beytepe Göleti gibi benzer özellikler gösteren durgun su yapılarının (göl ve göletlerde) iyileştirilme çalışmalarında çok yararlı bilgiler ve uygulamalar da sunmaktadır.

Tez çalışması ile elde edilen veriler gelecekte gölette yapılacak olan biyolojik çeşitlilik, flora ve fauna çalışmalarına altlık oluşturabilecek niteliktedir. Çıktılar gölet suyu ile yapılacak mikrokoz m çalışmalarında, sulak alan bitkilerinin yetiştirilmesi ve peyzajı çalışmalarına faydalı bilgiler sunacaktır.

KAYNAKLAR

- Acu, A. (2000). *Beytepe göleti'nin su kalitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 24-28.
- Akın, M., Akın, G. (2007). Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Dergisi*, 47(2), 105-118.
- Alslaibi, M.T., Abustan, İ., Ahmad, M.A., Foul, A.A. (2012). A Review: production of activated carbon from agricultural byproducts via conventional and microwave heating. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 88(7), 1183-1190.
- Arora, N. (2018). Environmental sustainability-necessary for survival. *Environmental Sustainability*. 1(1), 1-2.
- Ashley, K., Cordell, D., Mavinic, D. (2011). A brief history of phosphorus: from the philosopher’s stone to nutrient recovery and reuse. *Chemosphere*, 84(6), 737-746.
- Atalay, F.G. (1984) *Beytepe Göletindeki sazan (cyprinus carpio l., 1758)’in büyüme oranlarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 8-9.
- Atar, H, Akbaş, S., Ayvaz, Z. (2019). Hidrojen peroksit (H₂O₂)’in su ürünlerinde kullanımı. *Ziraat Mühendisliği*, 366, 14-20.
- Aydın, E.E. (2005). *Beytepe Göleti’nde serbest yaşayan heterotrof flagellatların sistematiği*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20-22.
- Azaza, F.H., Ketata, M., Bouhlila, R., Gueddari, M. and Riberio, L. (2010). Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss-koutine aquifer, southeastern Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174, 283-298.
- Azbar, N., Yonar, T., Kestioglu, K. (2004). Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. *Chemosphere*, 55, 35-43.
- Balachandar, D., Sundararaj, P., Rutharvel Murthy, K., Kumaraswamy, K. (2010). An investigation of groundwater quality and its suitability to irrigated agriculture in coimbatore district, tamil nadu, India-a gis approach. *International Journal of Environmental Sciences*, 1, 176-190.
- Balkaya N. (2003). Akdeniz kıyıl toprağı kullanılarak atıksudan fosfat adsorpsiyonu, *Ekoloji*, 3, 6-11.
- Balta. F. (2020). Kültürü yapılan Karadeniz alabalığı (Salmo Trutta Labrax)’ndaki gyrodactylus spp. Enfestasyonlarının tedavisi. *Anadolu çevre ve hayvancılık bilimleri dergisi*, 5(4), 630-635.
- Barré, P., Montagnier, C., Chenu, C., Abbadie, L., Velde, B. (2008). Clay minerals as a soil potassium reservoir: observation and quantification through x-ray diffraction. *Plant and Soil*, 302(1-2), 213-220.

- Beltran, F. J., Rivas, F. J., Gimeno, O. (2005). Comparison between photocatalytic ozonation and other oxidation processes for the removal of phenols from water, *Chem Technol Biotechnol*, 80, 973-984
- Beyan, S.M, Prabhu, S. V, Sissay, T. T., Getahun, A. A, (2021). Sugarcane bagasse based activated carbon preparation and its adsorption efficacy on removal of BOD and COD from textile effluents: rsm based modeling, optimization and kinetic aspects. *Bioresource Technology Reports*, 14, 100664.
- Bhargava D. S., Sheldarkar, S. B. (1992). Effects of adsorbent dose and size on phosphate removal from wastewaters. *Environmental Pollution*, 76, 51-60.
- Boyrazlı. M., Süner. M., Çelik. E., Dere. A., Canbay. C.A., Karip. E., (2023). Çay tesisi atıklarından hidrotermal yöntemle aktif karbon üretimi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 35(2), 119-129.
- Bögner, D., Bögner, M., Schmachtl, F., Bill, N., Halfer, J., Slater, M.J. (2021). Hydrogen peroxide oxygenation and disinfection capacity in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 92, 102140.
- Brady, N.C., Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils*. (14th Edition). New Jersey: Pearson Education, 719-724.
- Bremond, R., Vuichard, R. (1973). *Parameters of water quality*. Paris, Ministry of Nature Protection and Environment, 179.
- Burke, G., Singh, B. R., Theodore, L. (Editorial). (2005). *Handbook of environmental management and technology*. New York: John Wiley and Sons, 806.
- Castro C. B., Lopes. A.R., Moreiraa. I.V., Silva, E.F., Manaia, C.M., Nunes, O.C. (2015). Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*, 75 -117-135.
- Chanda, S., Mehendale, H.M. (2005). *Chlorine*. Encyclopedia of Toxicology (second edition), 553-555.
- Chapman, D.V. (1996). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Unesco/Who/Unep.
- Chapra, S.C., Dobson, H.F. (1981). Quantification of the lake trophic typologies of naumann (surface quality) and thienemann (oxygen). *Journal of Great Lakes Research*, 7(2), 182-193.
- Clarkson J.R., Fontenot L., Yu L. (2005). *Sulfates*. Encyclopedia of Toxicology (Second Edition), 110-112.
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D. (Editorial). (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (20th Edition). Washington: American Public Health Association, 2124-2126.

- Coffin, R.B., Connolly, J.P., Harris, P.S. (1993). Availability of dissolved organic carbon to bacterioplankton examined by oxygen utilization. *Marine ecology progress series*, 101 (2), 9-22.
- Cole, G.A., Weihe, P.E. (2015). *Textbook of Limnology*. (Fifth Edition). Minneapolis: Waveland Press, 425-439.
- Coughlin, J.R. (1998). Sources of human exposure. *Biological Trace Element Research*, 66(1-3), 87-100.
- Çalışkan, L. (2018). *Kurtboğazi havzası ve onu besleyen havzaların kalite parametrelerinin izlenmesi ve planlanması*. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 83-115.
- Çokadar, H., İleri. R., Ateş. A., İzgi B. (2003). Nikel (II) iyonunun sulu ortamdan granül aktif karbon (GAK) ile giderilmesi. *Ekoloji Çevre Dergisi*. 12(46), 38-42.
- Daw, J., Stout, S. (2019). Building island resilience through the energy, water, food nexus. Australia. *National Renewable Energy Laboratory*, 26.
- Demir, N., Kırkağaç, M.U., Topçu, A., Zencir, Ö., Pulatsü. S., Karasu Benli, Ç. (2007). Sarısu-Mamuca Göleti (Eskişehir) su kalitesi ve besin düzeyi, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (4), 385-390.
- Doğan-Sağlamtimur, N., Sağlamtimur, B. (2018). Sucul ortamlarda ötrofikasyon durumu ve senaryoları. *Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 7 (1), 75-82.
- El Brahmi, A., Abderafi, S. (2021). Hydrogen sulfide removal from wastewater using hydrogen peroxide in situ treatment: case study of Moroccan urban sewers materials today. *Proceedings*, 45 (8), 7424-7427.
- Elmacı, A., Teksoy, A., Olcay, Topaç F., Özengin, N., Başkaya, H.S. (2008). Uluabat gölünün mikrobiyolojik özelliklerinin mevsimsel değişiminin izlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13 (1), 93-103.
- Faraji. H., Shahryari. A. (2024). Assessment of groundwater quality for drinking, irrigation, and industrial purposes using water quality indices and gis technique in gorgan aquifer. *Desalination and Water Treatment*, 320, 2-13.
- Fitri, A., Abdul Maulud, K.N., Pratiwi, D., Phelia, A., Rossi, F., Zuhairi, N. Z. (2020). Trend of water quality status in kelantan river downstream, Peninsular Malaysia. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16 (3), 178-184.
- Garisado, Y.S.J., Guevara, F.L., Herrera, P.A., Paz, J.S., Trujillo, J.D.A., Parada, C.M. Orobio, B. A. P. (2024). Optimization of the photo-fenton process for the effective removal of chemical oxygen demand and phenols in portable toilet wastewater: a treatment study under real world conditions. *Heliyon* 10, 1-17.

- Gatta G, Libutti A, Beneduce L, Gagliardi A, Disciglio G, Lonigro A., Tarantino E. (2016). Reuse of treated municipal wastewater for globe artichoke irrigation: assessment of effects on morpho-quantitative parameters and microbial safety of yield. *Scientia Horticulturae*, 213, 55-65.
- Geerdink, R.B., Van Den Hurk, R.S., Epema, O.J. (2017). Chemical oxygen demand: historical perspectives and future challenges. *Analytica chimica acta*, 961, 1-11.
- Green, L.T., Herron, E.M. (2003). *University of Rhode Island Watershed watch salt ponds monitoring manual supplement to uri watershed watch lake and pond monitoring manual*. Rhode Island: Department of Natural Resources Science Cooperative Extension University of Rhode Island Kingston, 3-5.
- Guo, Y., Qi, J., Yang, S., Yu, K., Wang, Z., Xu, H. (2002). Adsorption of CR(VI) on micro and mesoporous rice husk-based active carbon, *Materials Chemistry and Physics*, 78, 132–137.
- Hamadi, N. K., Chena, X. D., Farid, M. M., Lu, M. G. Q. (2001). Adsorption kinetics for the removal of chromium (VI) from aqueous solution by adsorbents derived from used tyres and sawdust, *Chemical Engineering Journal*, 84, 95-105.
- Harper, D. (1992). *Eutrophication of freshwaters: principles, problems and restoration*. London: Springer Dordrecht, 322.
- Hu, Z., Lei, L., Li, Y., Ni, Y. (2003). Chromium adsorption on highperformance activated carbons from aqueous solution, *Separation and Purification Technology*, 31, 13-18.
- Hur, J., Cho, J. (2012). Prediction of BOD, COD, and total nitrogen concentrations in a typical urban river using a fluorescence excitation-emission matrix with parafac and UV absorption indices. *Sensors*, 12(1), 972-986.
- Ibanez, J.G., Hernandez-Esparza, M., Doria-Serrano, C., Fregoso-Infante, A., Singh, M.M. (2010). *Environmental chemistry: fundamentals*. New York: Springer Science and Business Media, 333.
- İnternet: Alam, T. (2015). *Estimation of chemical oxygen demand in waste water using UV-VIS spectroscopy*. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/56379601.pdf>, Son Erişim Tarihi: 28.10.2024.
- İnternet: Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2006). *Metallerin çevresel etkileri*. URL: www.Metalurji.Org.Tr/Dergi/Dergi136/D136_4753.Pdf, Erişim Tarihi: 14.02.2024.
- İnternet: Trivedy, R.K., Goel, P.K. (1984). *Chemical and biological methods for water pollution studies*. URL: https://books.google.com.tr/books/about/Chemical_and_Biological_Methods_for_Wate.html?id=-ypBAAAAYAAJ&redir_esc=y, Erişim Tarihi: 16.05.2024.
- Keating, BA, Herrero, M., Carberry, P.S., Gardner, J., Cole M.B. (2014). Food wedges: framing the global food demand and supply challenge towards 2050. *Glob Food Secur* 3 (3-4), 125-132.

- Kima, H., Leea, S.R., Nama, Y.K., Yangb, J., Parkc, C., Leea, M. (2009). Disintegration of excess activated sludge by hydrogen peroxide oxidation. *Desalination*, 246 (1-3) 275-284.
- Korkmaz, S., (2000). *Beytepe Göleti'nin zooplankton kompozisyonunun belirlenmesi üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 24-32.
- Kothari, V., Vij, S., Sharma, S.K., Gupta, N. (2021). Correlation of various water quality parameters and water quality index of districts of uttarakhand. *Environmental and Sustainability Indicators*, 9, 1-8.
- Köse E., Kıvanç B. (2011). Adsorption of phosphate from aqueous solutions using calcined waste eggshell, *Chemical Engineering Journal*, 178, 34-39.
- Krenkel, P.A., Novotney, V. (1980). *Water quality management*. New York: Academic Press, 684.
- Liaoa, Z., Wanga, Y., Xiea, K., Xiea, N., Caia, X., Zhoub, L., Yuana, Y. (2022). Photochemistry of dissolved organic matter in water from the pearl river (China): seasonal patterns and predictive modelling. *Water Research*, 208, 1-9.
- Mahmud, A., Sikder, S., Joardar, J.C. (2020). Assessment of groundwater quality in Khulna city of Bangladesh in terms of water quality index for drinking purpose. *Applied Water Science*, 10(226), 1-14.
- Makkaveev, P.N. (2009). The features of the correlation between the pH values and the dissolved oxygen at the chistaya balka test area in the Northern Caspian Sea. *Oceanology*, 49 (49), 466–472.
- Meacham, S., Karakas, S., Wallace, A., Altun, F. (2010). Boron in human health: evidence for dietary recommendations and public policies. *The open mineral processing journal*, 3(1), 36-53.
- Meng, X., Wu, J., Kang, J., Gao, J., Liu, R., Gao, Y., Wang, R., Fan, R., Khoso, S.A., Sun, W., Hu, Y. (2018). Comparison of the reduction of chemical oxygen demand in wastewater from mineral processing using the coagulation–flocculation, adsorption and fenton processes. *Minerals Engineering*, 128, 275-283.
- Mesner, N., Geiger, J. (2010). *Understanding your watershed fact sheet: dissolved oxygen*. Utah, Utah State University Extension.
- Mohanty, K., Jha, M., Meikap, M. C., Biswas, M. N. (2005). Removal of chromium (VI) from dilute aqueous solutions by activated carbon developed from terminalia arjuna nuts activated with zinc chloride. *Chemical Engineering Science*, 60, 3049-3059.
- Munsuz, N., Ünver, E. İ. (1995). *Su Kalitesi*. Ankara, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1389, 335.
- Mutlu. E., Paruğ. Ş.Ş. (2018). Dereköy Göleti'nin (Kilimli-Zonguldak) Bazı Su Kalitesi Parametrelerinin İncelenmesi. *Menba Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*. 4 (2), 20-28.

- Nayl, A.E.A., Elkhatab, R.A., El Malah, T., Yakout, S.M., El-Khateeb, M.A., Ali, M.M.S., Ali, H.M. (2017). Adsorption studies on the removal of cod and bod from treated sewage using activated carbon prepared from date palm waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(28), 22284-22293.
- Neal, C., Fox, K.K., Harrow, M., Neal, M. (1998). Boron in the major uk rivers entering the north sea. *Science of the Total Environment*, 210, 41-51.
- Nürnberg, G.K. (1996). Trophic state of clear and colored, soft-and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lake and Reservoir Management*, 12(4), 432-447.
- Orbak, İ. (2009). *Aktif karbon ile çevre kirleticisi bazı unsurların giderilmesi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özkay, F., Tas, I., Özkandan, H., Günel, A.Ç., Yeter, T., Gorgisen, C., İba Cakir, B., Kutlu, B., Inan, M.S., Ates, E. (2022). Use of active microorganism in improving pond water quality: case study of Beytepe pond. *Current Trends in Natural Sciences*, 11 (21), 399-407.
- Özsin, G. (2011). *Production and characterization of activated carbon from pistachio-nut shell*. A Thesis Submitted to The Graduate School of Natural and Applied Sciences of The Middle East Technical University. Ankara.
- Öztürk, İ. (2017). *Atıksu Mühendisliği*. (1. Baskı). İstanbul: İSKİ Genel Müdürlüğü Teknik Kitapları, 417-425.
- Pennino, M.J., Compton, J.E., Leibowitz, S.G. (2017). Trends in drinking water nitrate violations across the united states. *Environmental Science and Technology*, 51(22), 13450-13460.
- Pettyjohn, W. (1972). *Water quality in a stressed environment*. (1st Edition). Minneapolis: Burgess Publishing, 256-275.
- Raji, M., Mirbagheri, S.A., Ye, F., Dutta, J. (2021). Nano zero-valent iron on activated carbon cloth support as fenton-like catalyst for efficient color and COD removal from melanoidin wastewater. *Chemosphere*, 263, 127945.
- Ranganathan, K. (2000). Chromium removal by activated carbons prepared from casurina equisetifolia leaves, *Bioresource Technology*, 73, 99-103.
- Richards, L.A. (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, Agriculture, Handbook 60*. Washington: Soil Science Society of America Journal. 18(3), 330-348.
- Ruiz, B., Ferrera-Lorenzo, N., Fuente, E. (2017). Valorisation of lignocellulosic wastes from the candied chestnut industry. Sustainable activated carbons for environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (2), 1504-1515.
- Samsunlu, A. (2005). *Çevre Mühendisliği Kimyası*, İstanbul: Birsen Yayınevi, 114-150.

- Sander, A., Berghult, B., Broo, A.E., Johansson, E.L., Hedberg, T.A. (1996). Iron corrosion in drinking water distribution systems-the effect of ph, calcium and hydrogen carbonate. *Corrosion Science*, 38(3), 443-455.
- Selomulya, C., Meeyoo1, V., Amal, R. (1999). Mechanisms of Cr (VI) removal from water by various types of activated carbons, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 74, 111-122.
- Shamsad, S.Z.K.M., Islam, M.S. (2005). Hydrochemical behaviour of the water resource of sathkhira sadar of southwestern bangladesh and its impact on environment. *Bangladesh Journal of Water Resource Research*, 20, 43-52.
- Shi, W., Zhuang, W., Hur, J., Yang, L. (2021). Monitoring dissolved organic matter in wastewater and drinking water treatments using spectroscopic analysis and ultra-high resolution mass spectrometry. *Water Research*, 188, 1-16.
- Silvino, R.F., Barbosa, F.A.R. (2015). Eutrophication potential of lakes: an integrated analysis of trophic state, morphometry, land occupation, and land use. *Brazilian Journal of Biology*, 75(3), 607-615.
- Stella, E.I., Ifeoma, M.E., Omtb, O., Mc, O., Uf, O., Ifeanyi, O.E. (2018). Evaluation of salmonella species in water sources in two local government areas of anambra state. Cohesive. *Journal of Microbiology and Infectious Disease*, 1, 1-9.
- Svobodová, Z. (1993). *Water quality and fish health*, Rome: Food and Agriculture Organisation (FAO) EIFAC technical paper No: 54. 33-39.
- Tanyolaç, J. (2009). *Limnoloji*. Ankara: Hatiboğlu Basımevi, 225-294.
- Tarı, U. ve Olğun Kıyak, N. (2024). Uydu verisi ve CBS ile Van Gölü klorofil-a dinamiklerinin izlenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*. 10 (1), 60-79.
- Taş, İ., Yıldırım, Y.E., Özkay, F., Yeter, T., Görgüşen, C. (2016). Morphological characteristics of tomato irrigated with wastewaters with different oxygen concentrations. *Current Trends in Natural Sciences*. 5 (9), 187-193.
- Taş, B. (2006). Derbent Baraj Gölü (Samsun) su kalitesinin incelenmesi. *Ekoloji*. 15(61), 6-15.
- Timur. M., Baran. İ., Karahan. B. (1982). Hidrojen peroksidin balık taşımacılığında kullanılması ile ilgili bir araştırma. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 29 (3-4), 421-426.
- Tokşen, E., Gamsız, K., Nemli, E. (2006). Yetiştiriciliği yapılan Sarı Ağız *argyrosomus regius* asso, 1801 balıklarında görülen Benedenia Sciaenae Van Beneden, 1856 (Monogenea: Capsalidae) Enfestasyonuna hidrojen peroksidin (H₂O₂) etkisi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*. 23 (3-4), 351-352.
- TSE, (2019). TS ISO 5667-4. Su kalitesi, Numune alma, Bölüm 4: Doğal ve insan yapımı göllerden numune alma rehberi.

- Richards, L. A. (Editor) U.S. Salinity Laboratory Staff, (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkalin soils. Agricultural Handbook No:60*. Washington: U. S. Government Printing Office. 69-147.
- Vunain, E., Biswick, T. (2019). Adsorptive removal of methylene blue from aqueous solution on activated carbon prepared from malawian baobab fruit shell wastes: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Separation Science and Technology*, 54, 27–41.
- Vyrides, I., Stuckey, D.C. (2009). A modified method for the determination of chemical oxygen demand (cod) for samples with high salinity and low organics. *Bioresource Technology*, 100(2), 979-982.
- Wang, L.F., Yang, L.Y., Kong, L.H., Li, S., Zhu, J.R., Wang, Y.Q. (2014). Spatial distribution, source identification and pollution assessment of metal content in the surface sediments of nansi lake, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 191, 262.
- Wedepohl, K.H. (1995). The Composition Of The Continental Crust. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 59(7), 1217-1232.
- Yahya M.A., Al-Qodah Z. and Zanariah Ngah C.W. (2015). Agricultural Bio-Waste Materials As Potential Sustainable Precursors Used For Activated Carbon Production. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 46, 218-235.
- Yeh, R.Y., Hung Y.T., Liu, R.L.H., Chiu, H.M., Thomas, A. (2002), textile wastewater treatment with activated sludge and powdered activated carbon, *International Journal of Environmental Studies*, 59, 607-622.
- Yılmaz, F. (2004). Mumcular Barajı (Muğla-Bodrum)'nın fiziko-kimyasal özellikleri. *Ekoloji*. 13 (50), 10-17.
- Yonar, T., Kaplan Yonar, G., Kestioğlu, K., Azbar, N. (2005). Decolorisation of textile effluent using homogeneous photochemical oxidation processes, *Coloration Technology*, 121, 258-264.
- Zahmatkesh, S., Far, S.S., Sillanpää, M. (2022). RSM-D-optimal modeling approach for COD removal from low strength wastewater by microalgae, sludge, and activated carbon- case study mashhad. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7, 1-13.
- Zaman M, Shahid S.A., Heng L. (2018). *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Switzerland. Springer Nature. 183.
- Zhang L., Wan L., Chang N., Liu J., Duan C., Zhou Q., Li X., Wang, X. (2011). Removal of phosphate from water by activated carbon fiber loaded with lanthanum oxide, *Journal Of Hazardous Materials*, 190(1-3), 848-855.



Gazili olmak ayrıcalıktır