**T.C.**
**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

# KARADERE BARAJ GÖLETİ (TAŞKÖPRÜ – KASTAMONU) SU KALİTESİNİN VE CANLILAR ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİNDE SEDİMENT VE SİTOTOKSİK ANALİZİN KULLANIMI

**AYŞEGÜL EMİN GÜZEL**

**DOKTORA TEZİ**

**DOÇ.DR. EKREM MUTLU**

**AĞUSTOS - 2023**
**KASTAMONU**

## TEZ ONAYI

**Ayşegül Emin Güzel** tarafından hazırlanan "**Tatlı Su Kaynaklarının Su Kalitesinin ve Canlılar Üzerine Etkisinin Belirlenmesinde Sediment ve Sitotoksik Analizin Kullanımı**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **24.08.2023** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

| | | |
|---|---|---|
| **Danışman** | Doç. Dr. Ekrem MUTLU<br>Kastamonu Üniversitesi | ..... |
| **Jüri Üyesi** | Doç. Dr. Can Doğan VURDU<br>Kastamonu Üniversitesi | ..... |
| **Jüri Üyesi** | Doç. Dr. Aslı KURNAZ<br>Kastamonu Üniversitesi | ..... |
| **Jüri Üyesi** | Doç. Dr. Sema MISIR<br>Cumhuriyet Üniversitesi | ..... |
| **Jüri Üyesi** | Doç. Dr. Ceylan ÖZSOY<br>Cumhuriyet Üniversitesi | ..... |

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Osman ÇİÇEK .....

## TAAHHÜTNAME

***Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.***

**Ayşegül EMİN GÜZEL**

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

# KARADERE BARAJ GÖLETİ (TAŞKÖPRÜ – KASTAMONU) SU KALİTESİNİN VE CANLILAR ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİNDE SEDİMENT VE SİTOTOKSİK ANALİZİN KULLANIMI

**AYŞEGÜL EMİN GÜZEL**

**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**
**DANIŞMAN:DOÇ. DR. EKREM MUTLU**

Her geçen gün kıymeti daha da artan tatlı su kaynaklarının kalitesinin belirlenmesi ve takibi için yapılan çalışmalar kullanılabilir su kaynağına ulaşmak kadar önemli hale gelmiştir. Hazırlanan doktora çalışmasında, Kastamonu ili Taşköprü İlçesi Donalar Mevkii'nde bulunan Karadere Baraj Göleti'nin su kalitesi belirlenmesinde geleneksel yöntemlerin yanı sıra sediment analizi ve doğrudan canlılara olan etkisini tespit için sitotoksisite analizlerinin kullanılmasının etkinliğinin belirlenmesi amaçlandı. Yerüstü Su Kalitesi Kriterleri Yönetmeliği'nde belirtilen standartların hücre canlılığını nasıl etkilediğinin araştırılması öncelikli olarak hedeflendi. Bu kapsamda göletten aylık periyotlarla alınan su örneklerinin fizikokimyasal analizleri, sitotoksik analizleri ve Radon konsantrasyonu ölçümleri yapıldı. Kirliliğin en fazla tespit edildiği Haziran ayında alınan sediment örneği ise organik madde miktarı, ağır metal içeriği ve fizikokimyasal parametler açısından analizlendi. Fizikokimyasal analizlerle 28 parametrenin (Sıcaklık ($^{O}$C), Çözünmüş Oksijen (mg/L), Tuzluluk (ppt), ph, Elektriksel İletkenlik (µs/Cm), Askıda Katı Madde (Mg/L), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (mg/L), Klorür (mg/L), Fosfat (mg/L), Sülfat (mg/L), Sülfit (mg/L), Sodyum (mg/L), Potasyum (mg/L), Toplam Sertlik (mg/L), Toplam Alkalinite (mg/L), Magnezyum (mg/L), Kalsiyum (mg/L), Nitrit (mg/L), Nitrat (mg/L), Amonyum Tuzu (mg/L), Demir (mg/L), Kurşun (µg/L), Bakır (µg/L), Kadmiyum (µg/L), Civa (µg/L), Nikel (µg/L), Çinko (mg/L)) analizi sonucu Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre göletin su kalitesi sınıfı II olarak belirlendi. Sitotoksisite çalışmaları MTT, LDH, Live-Dead analizleri ile, hücrelerin morfolojileri Hematoksilen-Eozin boyama ile incelendi. Gölet suyunun hücrelerde nekroza ve apoptoza sebep olmadığı, hücre canlılığını hücrelerde transformasyona sebep olmayacak düzeyde desteklediği görüldü. Sediment analizlerinin sonucunda, dip temizliği yapılmadan doldurulan göletin sediment kalitesinin düşük olduğu belirlendi. Ayrıca gölet suyunun, kullanımını olumsuz etkileyecek ölçekte radyoaktivite göstermediği belirlendi. Elde edilen sonuçlar, sitotoksik analizler ve sediment analizlerinin göletin su kalitesi hakkında erken bir bilgi almak için kullanılabileceğini göstermektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:**Su kalitesi, su kirliliği, sitotoksisite, sediment analizi, Taşköprü, Kastamonu, Karadere Baraj Göleti

Ağustos 2023, 199 Sayfa

# ABSTRACT

## PH.D THESIS

## USING SEDIMENT AND CITOTOXIC ANALYSIS IN DETERMINATION OF WATER QUALITY AND ITS EFFECT ON THE LIVINGS IN KARADERE DAM POND (TAŞKÖPRÜ – KASTAMONU)

**AYŞEGÜL EMİN GÜZEL**

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**
**DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING**
**SUPERVISOR:ASSOC.DR. EKREM MUTLU**

The studies conducted to determine and monitor the quality of freshwater resources, whose value is increasing daily, have become as important as reaching usable water resources. In the doctorate study, it was aimed to determine the effectiveness of using sediment analysis and cytotoxicity analysis to determine the direct effect on living things, as well as traditional methods, in determining the water quality of the Karadere Dam Pond in the Donalar Locality of Taşköprü, Kastamonu. It was primarily aimed to investigate how the standards specified in the Regulation on Surface Water Quality Criteria affect cell viability. In this context, physicochemical analyses, cytotoxic analyzes, and Radon concentration measurements of the water samples taken from the pond every month were performed. When the pollution was detected the most, the sediment sample taken in June was analyzed regarding organic matter content, heavy metal content, and physicochemical parameters. With physicochemical analyzes, 28 parameters (Temperature (OC), Dissolved Oxygen (mg/L), Salinity (ppt), pH, Electrical Conductivity (µs/Cm), Suspended Solids (Mg/L), Chemical Oxygen Demand (mg/L) L), Biological Oxygen Demand (mg/L), Chloride (mg/L), Phosphate (mg/L), Sulphate (mg/L), Sulphite (mg/L), Sodium (mg/L), Potassium (mg /L), Total Hardness (mg/L), Total Alkalinity (mg/L), Magnesium (mg/L), Calcium (mg/L), Nitrite (mg/L), Nitrate (mg/L), Ammonium Salt (mg/L), Iron (mg/L), Lead (µg/L), Copper (µg/L), Cadmium (µg/L), Mercury (µg/L), Nickel (µg/L), Zinc ( As a result of the mg/L)) analysis, the water quality class of the pond was determined as II according to the Surface Water Quality Regulation. Cytotoxicity studies were analyzed by MTT, LDH, and Live-Dead analyses, and the cells' morphology was examined by Hematoxylin-Eosin staining. It was observed that pond water did not cause necrosis and apoptosis in cells, and it supported cell viability at a level that would not cause cell transformation. As a result of the sediment analysis, it was determined that the sediment quality of the pond, which was filled without bottom cleaning, was low. In addition, it was determined that the pond water did not show radioactivity at a scale that would adversely affect its use. The results show that cytotoxic and sediment analyses can be used to get early information about the pond's water quality.

**KEYWORDS:** Water quality, water pollution, cytotoxicity, sediment, Taşköprü, Kastamonu, Karadere Dam Pond

August 2023, 199 Page

# TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince araştırmalar için gerekli tüm imkânları sağlayan ve doktora programım boyunca koşulsuz desteğinden ve danışmanlığından dolayı değerli hocam Doç. Dr. Ekrem MUTLU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sitotoksisite çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen, verdiği bilgiler ve sunduğu laboratuvar imkanları ile kendi hazırlamış olduğu hücre kütüphanesinde kayıtlı kemik iliği Mezankimal kök hücreleri (KÜHADYEK 19.02.2018-12 değişik 02.03.2023/2-6) temin etmesi nedeniyle kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Nuray EMİN'e teşekkürlerimi sunarım.

T.İ.K. üyeleri, başta danışman hocam Doç. Dr. Ekrem MUTLU olmak üzere değerli hocalarım Doç. Dr. Can Doğan VURDU ve Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a tez çalışmam süresince yapmış oldukları değerlendirmeler ve yönlendirmeler için teşekkürlerimi sunarım. Sediment analizleri araştırmalarım sırasında desteğini, bilgisini ve kıymetli vaktini esirgemeyen Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi'nden değerli hocamız Doç. Dr. Fikret USTAOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Radyoaktif kirletici Radon ile ilgili çalışmalarımda bilgisini, sabrını ve kıymetli vaktini esirgemeyen Kastamonu Üniversitesi Fen Fakültesi'nden değerli hocam Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Doktora Öğrencisi Havva YAZAR ve Doktora Öğrencisi Elit ÖZELÇAĞLAYAN'a teşekkür ederim.

Karadere Baraj Göletinden su ve sediment örneklerinin alınması sırasında desteklerini esirgemeyen Kastamonu Milli Parklar İl Müdürlüğü çalışanlarına ve Müdür Yalçın UYANIK'a teşekkür ederim. Karadere Baraj Göleti ve çevresi hakkında bilgiler sunan bölgenin amenajman planını ve bölge ile ilgili kendisine ait görüntüleri kullanabilmem için benimle paylaşan Taşköprü Orman İşletme Şefi Yahya AKKAYA'ya teşekkür ederim.

Analizler Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün KÜ-HIZDES/2023-16 nolu projesinden desteklenmiş olup, Kastamonu Üniversitesi Yönetimine sağladığı tüm imkanlar için teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca her zaman yanımda olan, eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerinden asla vazgeçmeyen sevgili babam Ramazan EMİN'e ve sevgili annem Birsel EMİN'e, göstermiş oldukları sabır için sevgili eşim Akın GÜZEL'e ve kızlarıma içten şükran ve minnetlerimi sunarım.

Ayşegül EMİN GÜZEL

Kastamonu, 2023

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

**TEZ ONAYI** ... **ii**
**TAAHHÜTNAME** ... **iii**
**ÖZET** ... **iv**
**ABSTRACT** ... **v**
**TEŞEKKÜR** ... **vi**
**İÇİNDEKİLER** ... **vii**
**ŞEKİLLER DİZİNİ** ... **x**
**TABLOLAR DİZİNİ** ... **xii**
**GRAFİK DİZİNİ** ... **xv**
**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ** ... **xviii**
**1. GİRİŞ** ... **1**
**2. SU KALİTESİ VE KİRLİLİĞİ** ... **8**
2.1 Sıcaklık ... 8
2.2 pH Değeri ... 9
2.3 Elektriksel İletkenlik ... 10
2.4 Çözünmüş Oksijen ... 11
2.5 Besin Maddeleri ... 12
2.6 Renk ve Koku ... 13
2.7 Askıda Katı Madde ... 14
2.8 Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM) ... 14
2.9 Çözünmüş Kimyasal Maddeler ... 15
2.10 Ağır Metaller ... 16
2.11 Radyoaktif Kirleticiler ... 17
**3. SU KİRLİLİĞİ VE KALİTESİNİN TESPİTİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR** ... **18**
**4. HÜCRESEL ANALİZLER** ... **36**
4.1 Bazı Hücresel Analiz Teknikleri ... 40
4.1.1 LDH analizi ... 40
4.1.2 Mitokondriyal dehidrogenaz enzim aktivisine dayalı testler ... 41
4.1.3 Hücre morfolojilerinin hematoksilen eosin ile incelenmesi ... 43
**5. SEDİMENT ANALİZLERİ** ... **44**
**6. MATERYAL VE YÖNTEM** ... **53**
6.1 Karadere Barajı Sulama Göleti ... 53
6.2 Bölgenin Jeolojik Yapısı ... 53
6.3 Bitki, Orman ve Hayvan Toplulukları ... 54
6.4 Bölgede İklim ... 54
6.5 Çalışma Alanında ve Laboratuvarda Kullanılan Cihazlar ... 55
6.6 Araştırma İstasyonları ... 56
6.7 Yöntem ... 57
6.7.1 Su Numunelerinin Alınması ... 58
6.7.2 Sediment Numunelerinin Alınması ... 59
6.7.3 Su Numunelerinin Fizikokimyasal Analizlerinin Yapılması ... 59
6.7.4 Su Numunelerinde Sitotoksisite Çalışmaları ... 60
6.7.4.1 Hücrelerin elde edilmesi ve Etik Beyan ... 60
6.7.4.2 Hücrelerin ekimi ... 60

6.7.4.3 Stok çözeltilerin hazırlanması ... 60
6.7.4.4 MTT analizleri ... 61
6.7.4.5 LDH analizleri ... 63
6.7.4.6 Live – dead (canlı-ölü) analizi ... 63
6.7.4.7 Hematoksilen – eosin boyaması ... 64
6.7.5 Sediment Analizi ... 64
6.7.6 Radon Konsantrasyonu Ölçümü ... 64
6.7.7 İstatistiksel Analizler ... 65
**7. BULGULAR ... 66**
7.1 Fizikokimyasal Analizler ... 66
7.1.1 Çözünmüş Oksijen (mg/L) ... 66
7.1.2 Tuzluluk (%) ... 68
7.1.3 pH ... 69
7.1.4 Sıcaklık (°C) ... 71
7.1.5 Elektriksel İletkenlik ... 72
7.1.6 Askıda Katı Madde (mg/L) ... 74
7.1.7 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) ... 76
7.1.8 Biyolojik Oksijen İhtiyacı (mg/L) ... 77
7.1.9 Klorür (mg/L) ... 79
7.1.10 Fosfat (mg/L) ... 81
7.1.11 Sülfat (mg/L) ... 82
7.1.12 Sülfit (mg/L) ... 84
7.1.13 Sodyum (mg/L) ... 86
7.1.14 Potasyum (mg/L) ... 88
7.1.15 Toplam Sertlik (mg/L) ... 89
7.1.16 Toplam Alkalinite (mg/L) ... 91
7.1.17 Magnezyum (mg/L) ... 93
7.1.18 Kalsiyum (mg/L) ... 94
7.1.19 Nitrit (mg/L) ... 96
7.1.20 Nitrat (mg/L) ... 97
7.1.21 Amonyum Azotu ... 99
7.1.22 Demir (mg/L) ... 101
7.1.23 Kurşun (mg/L) ... 102
7.1.24 Bakır (mg/L) ... 104
7.1.25 Kadmiyum (mg/L) ... 106
7.1.26 Cıva (mg/L) ... 107
7.1.27 Nikel (µg/L) ... 109
7.1.28 Çinko (mg/L) ... 111
7.2 Sitotoksik Analizler ... 113
7.2.1 MTT Analizleri ... 113
7.2.2 LDH Analizleri ... 147
7.2.3 Live – Dead Analizleri ... 149
7.2.4 Hematoksilen Boyama ... 151
7.3 Sediment Analizleri ... 156
7.3.1 Kontaminasyon Faktörü (CF) ... 157
7.3.2 Zenginleştirme Faktörü (EF) ... 159
7.3.3 Jeoakümülasyon İndeksi ($I_{geo}$) ... 160
7.3.4 Potansiyel Kirlilik İndeksi (PLI) ... 161
7.3.5 Ekolojik Risk Faktörü İndeksi ($E_r^i$) ... 162

7.4 Radon Konsantrasyonu Ölçümü ..... 163
**8. TARTIŞMA ..... 164**
**9. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 183**
**KAYNAKLAR ..... 185**
EKLER ..... 196
EK A Karadere Baraj Göleti ve çevresine ait fotoğraflar ..... 196
EK A.1 Karadere Baraj Göleti ve çevresine ait fotoğraflar ..... 197
EK B Laboratuvar çalışmaları ..... 198
**ÖZGEÇMİŞ ..... 199**

# ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa**

**Şekil 6.1** Kastamonu ili, Taşköprü İlçesi, Donalar Köyü, Karadere Baraj Göleti ve istasyonların yerleri. ..... 57
**Şekil 6.2** Saphymo marka AlphaGuard model aktif radon monitörü ..... 65
**Şekil 7.1** Mart ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 119
**Şekil 7.2** Mart ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 120
**Şekil 7.3** Nisan ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 121
**Şekil 7.4** Nisan ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 122
**Şekil 7.5** Mayıs ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 123
**Şekil 7.6** Mayıs ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 124
**Şekil 7.7** Haziran ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 126
**Şekil 7.8** Haziran ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 127
**Şekil 7.9** Temmuz ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 128
**Şekil 7.10** Temmuz ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 129
**Şekil 7.11** Ağustos ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 130
**Şekil 7.12** Ağustos ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 131
**Şekil 7.13** Eylül ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 133
**Şekil 7.14** Eylül ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 134
**Şekil 7.15** Ekim ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 135
**Şekil 7.16** Ekim ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 136
**Şekil 7.17** Kasım ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 137
**Şekil 7.18** Kasım ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 138
**Şekil 7.19** Aralık ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 140
**Şekil 7.20** Aralık ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 141

**Şekil 7.21** Ocak ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 142
**Şekil 7.22** Ocak ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 143
**Şekil 7.23** Şubat ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü ..... 144
**Şekil 7.24** Şubat ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü ..... 145
**Şekil 7.25** İlkbahar numunelerinde Live-Dead analizi sonucu ..... 149
**Şekil 7.26** Yaz numunelerinde Live-Dead analizi sonucu ..... 150
**Şekil 7.27** Sonbahar numunelerinde Live-Dead analizi sonucu ..... 150
**Şekil 7.28** Kış numunelerinde Live-Dead analizi sonucu ..... 151
**Şekil 7.29** İlkbahar numunelerine ait hücre kültürlerinde HE boyama ..... 152
**Şekil 7.30** Yaz numunelerine ait hücre kültürlerinde HE boyama ..... 153
**Şekil 7.31** Sonbahar numunelerine ait hücre kültürlerinde HE boyama ..... 154
**Şekil 7.32** Kış numunelerine ait hücre kültürlerinde HE boyama ..... 155
**Şekil 0.1** Karadere Barajı gövdesi, savaklar ve baraj gölü ..... 196
**Şekil 0.2** Gölette bulunan alabalık tesisleri ..... 196
**Şekil 0.3** Göletin çevresinde OGM'nin yol çalışmaları ..... 197
**Şekil 0.4** Karadere Baraj Göleti ve çevresine ait görüntüler ile bölgenin meşcere haritası ..... 197
**Şekil 0.5** Sitotksik analizlerin çalışılması (Doku Kültür Laboratuvarı) ..... 198

# TABLOLAR DİZİNİ

**Sayfa**

**Tablo 6.1** 1975 – 2006 yılları arasında bölgede gözlenen meteorolojik rasat değerleri tablosu ..... 55
**Tablo 6.2** Gölet'inde İstasyonların Seçildiği Noktaların konumları ..... 56
**Tablo 6.3** Sitotoksisite çalışmalarında kullanılan, gölet suyuna ait stok çözeltiler ve dozları..... 61
**Tablo 7.1** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Çözünmüş Oksijenin (mg/L) aylık değişimi ..... 66
**Tablo 7.2** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Çözünmüş Oksijenin (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 67
**Tablo 7.3** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen tuzluluğun (ppt) aylık değişimi . 68
**Tablo 7.4** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Tuzluluğun (ppt) mevsimsel değişimi ..... 68
**Tablo 7.5** Karadere Baraj Gölet'inde pH değerinin aylık değişimleri ..... 70
**Tablo 7.6** Karadere Baraj Gölet'inde pH değerinin mevsimsel değişimleri ..... 70
**Tablo 7.7** Karadere Baraj Gölet'inde Sıcaklık (ºC) değerlerinin aylık değişimi ..... 71
**Tablo 7.8** Karadere Baraj Göleti'nde Sıcaklık (ºC) değerlerinin mevsimsel durumu72
**Tablo 7.9** Karadere Baraj Göleti'nde Elektriksel İletkenliğin (S/cm) aylık değişimi73
**Tablo 7.10** Karadere Baraj Göleti'nde Elektriksel İletkenliğin (S/cm) mevsimsel değişimi ..... 73
**Tablo 7.11** Karadere Baraj Göleti'nde AKM miktarının ( mg/L) aylık değişimi ..... 75
**Tablo 7.12** Karadere Baraj Göleti'nde AKM miktarının ( mg/L) mevsimsel değişimi ..... 75
**Tablo 7.13** Karadere Baraj Göleti'nde KOİ değerlerinin (mg/L) aylık değişimi..... 76
**Tablo 7.14** Karadere Baraj Göleti'nde KOİ değerlerinin (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 77
**Tablo 7.15** Karadere Baraj Göleti'nde BOİ miktarının (mg/L) aylık değişimi..... 78
**Tablo 7.16** Karadere Baraj Göleti'nde BOİ miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi 78
**Tablo 7.17** Karadere Baraj Göleti'nde Klorür miktarının (mg/L) aylık değişimleri. 80
**Tablo 7.18** Karadere Baraj Göleti'nde Klorür miktarının (mg/L) mevsimsel değişimleri..... 80
**Tablo 7.19** Karadere Baraj Göleti'nde Fosfat miktarının (mg/L) aylık değişimi..... 81
**Tablo 7.20** Karadere Baraj Göleti'nde Fosfat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 82
**Tablo 7.21** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfat miktarının (mg/L) aylık değişimi..... 83
**Tablo 7.22** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 83
**Tablo 7.23** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfit miktarının (mg/L) aylık değişimi..... 85
**Tablo 7.24** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfit miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 85
**Tablo 7.25** Karadere Baraj Göleti'nde Sodyum miktarının (mg/L) aylık değişimi .. 86
**Tablo 7.26** Karadere Baraj Göleti'nde Sodyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 87
**Tablo 7.27** Karadere Baraj Göleti'nde Potasyum miktarının (mg/L) aylık değişimi 88

**Tablo 7.28** Karadere Baraj Göleti'nde Potasyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 88
**Tablo 7.29** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Sertlik miktarının (mg/L ) aylık değişimi ..... 90
**Tablo 7.30** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Sertlik miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 90
**Tablo 7.31** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Alkalinite miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 91
**Tablo 7.32** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Alkalinite miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 92
**Tablo 7.33** Karadere Baraj Göleti'nde Magnezyum miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 93
**Tablo 7.34** Karadere Baraj Göleti'nde Magnezyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 93
**Tablo 7.35** Karadere Baraj Göleti'nde Kalsiyum miktarının (mg/L) aylık değişimi 95
**Tablo 7.36** Karadere Baraj Göleti'nde Kalsiyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 95
**Tablo 7.37** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrit miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 96
**Tablo 7.38** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrit miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 97
**Tablo 7.39** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrat miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 98
**Tablo 7.40** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 98
**Tablo 7.41** Karadere Baraj Göleti'nde Amonyum Azotu miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 100
**Tablo 7.42** Karadere Baraj Göleti'nde Amonyum Azotu miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 100
**Tablo 7.43** Karadere Baraj Göleti'nde Demir miktarının (µg/L) aylık değişimi .... 101
**Tablo 7.44** Karadere Baraj Göleti'nde Demir miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 102
**Tablo 7.45** Karadere Baraj Göleti'nde Kurşun miktarının (µg/L) aylık değişimi... 103
**Tablo 7.46** Karadere Baraj Göleti'nde Kurşun miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 103
**Tablo 7.47** Karadere Baraj Göleti'nde Bakır miktarının (µg/L) aylık değişimi ..... 105
**Tablo 7.48** Karadere Baraj Göleti'nde Bakır miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 105
**Tablo 7.49** Karadere Baraj Göleti'nde Kadmiyum miktarının (µg/L) aylık değişimi ..... 106
**Tablo 7.50** Karadere Baraj Göleti'nde Kadmiyum miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 107
**Tablo 7.51** Karadere Baraj Göleti'nde Cıva miktarının (µg/L) aylık değişimi ..... 108
**Tablo 7.52** Karadere Baraj Göleti'nde Cıva miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 108
**Tablo 7.53** Karadere Baraj Göleti'nde Nikel miktarının (µg/L) aylık değişimi ..... 110
**Tablo 7.54** Karadere Baraj Göleti'nde Nikel miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 110
**Tablo 7.55** Karadere Baraj Göleti'nde Çinko miktarının (µg/L) aylık değişimi..... 111
**Tablo 7.56** Karadere Baraj Göleti'nde Çinko miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 112

**Tablo 7.57** Karadere Baraj Göleti sedimentinde toplam organic azot ve toplam karbon miktarları ..... 156
**Tablo 7.58** Karadere Baraj Göleti sedimentinde ağır metal analiz sonuçları (ppm) 157
**Tablo 7.59** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre CF oranları ..... 158
**Tablo 7.60** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre EF değerleri ..... 159
**Tablo 7.61** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre $I_{geo}$ değerleri ..... 161
**Tablo 7.62** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre PLI değerleri ..... 162
**Tablo 7.63** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre $E_r^i$ değerleri ..... 163
**Tablo 7.64** Karadere Baraj Göleti'nde Radon Konsantrasyonu ..... 163
**Tablo 8.1** Göller, Göletler, Bataklıklar ve Baraj Haznelerinin Ötrofikasyon Kontrolü Sınır Değerleri ..... 165
**Tablo 8.2** İçme sularının kimyasal parametrelerinin uluslararası standartlarla karşılaştırılması ..... 168
**Tablo 8.3** T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın belirlediği alabalık yetiştiriciliği için su kalite kriterleri ..... 175

# GRAFİK DİZİNİ

**Sayfa**

**Grafik 7.1** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Çözünmüş Oksijenin (mg/L) aylık değişimi ..... 67
**Grafik 7.2** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Çözünmüş Oksijenin (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 67
**Grafik 7.3** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen tuzluluğun (ppt) aylık değişimi 69
**Grafik 7.4** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Tuzluluğun (ppt) mevsimsel değişimi ..... 69
**Grafik 7.5** Karadere Baraj Gölet'inde pH değerinin aylık değişimleri ..... 70
**Grafik 7.6** Karadere Baraj Gölet'inde pH değerinin mevsimsel durumu ..... 71
**Grafik 7.7** Karadere Baraj Göleti'nde Sıcaklık (ºC) değerlerinin aylık durum ..... 72
**Grafik 7.8** Karadere Baraj Gölet'inde Sıcaklık (ºC) değerlerinin mevsimsel durumu ..... 72
**Grafik 7.9** Karadere Baraj Göleti'nde Elektriksel İletkenliğin (S/cm) aylık değişimi ..... 74
**Grafik 7.10** Karadere Baraj Göleti'nde Elektriksel İletkenliğin (S/cm) mevsimsel değişimi ..... 74
**Grafik 7.11** Karadere Baraj Göleti'nde AKM miktarının ( mg/L) aylık değişimi .... 75
**Grafik 7.12** Karadere Baraj Göleti'nde AKM miktarının ( mg/L) mevsimsel değişimi ..... 76
**Grafik 7.13** Karadere Baraj Göleti'nde KOİ değerlerinin (mg/L) aylık değişimi .... 77
**Grafik 7.14** Karadere Baraj Göleti'nde KOİ değerlerinin (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 77
**Grafik 7.15** Karadere Baraj Göleti'nde BOİ miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 79
**Grafik 7.16** Karadere Baraj Göleti'nde BOİ miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 79
**Grafik 7.17** Karadere Baraj Göleti'nde Klorür miktarının (mg/L) aylık değişimleri 80
**Grafik 7.18** Karadere Baraj Göleti'nde Klorür miktarının (mg/L) mevsimsel değişimleri ..... 81
**Grafik 7.19** Karadere Baraj Göleti'nde Fosfat miktarının (mg/L) aylık değişimi .... 82
**Grafik 7.20** Karadere Baraj Göleti'nde Fosfat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 82
**Grafik 7.21** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfat miktarının (mg/L) aylık değişimi .... 84
**Grafik 7.22** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 84
**Grafik 7.23** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfit miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 85
**Grafik 7.24** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfit miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 86
**Grafik 7.25** Karadere Baraj Göleti'nde Sodyum miktarının (mg/L) aylık değişimi . 87
**Grafik 7.26** Karadere Baraj Göleti'nde Sodyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 87
**Grafik 7.27** Karadere Baraj Göleti'nde Potasyum miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 89
**Grafik 7.28** Karadere Baraj Göleti'nde Potasyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 89

**Grafik 7.29** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Sertlik miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 90
**Grafik 7.30** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Sertlik miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 91
**Grafik 7.31** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Alkalinite miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 92
**Grafik 7.32** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Alkalinite miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 92
**Grafik 7.33** Karadere Baraj Göleti'nde Magnezyum miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 94
**Grafik 7.34** Karadere Baraj Göleti'nde Magnezyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 94
**Grafik 7.35** Karadere Baraj Göleti'nde Kalsiyum miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 95
**Grafik 7.36** Karadere Baraj Göleti'nde Kalsiyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 96
**Grafik 7.37** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrit miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 97
**Grafik 7.38** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrit miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 97
**Grafik 7.39** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrat miktarının (mg/L) aylık değişimi..... 98
**Grafik 7.40** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 99
**Grafik 7.41** Karadere Baraj Göleti'nde Amonyum Azotu miktarının (mg/L) aylık değişimi ..... 100
**Grafik 7.42** Karadere Baraj Göleti'nde Amonyum Azotu miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi ..... 101
**Grafik 7.43** Karadere Baraj Göleti'nde Demir miktarının (µg/L) aylık değişimi... 102
**Grafik 7.44** Karadere Baraj Göleti'nde Demir miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 102
**Grafik 7.45** Karadere Baraj Göleti'nde Kurşun miktarının (µg/L) aylık değişimi . 104
Grafik 7.46 Karadere Baraj Göleti'nde Kurşun miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 104
**Grafik 7.47** Karadere Baraj Göleti'nde Bakır miktarının (µg/L) aylık değişimi .... 105
**Grafik 7.48** Karadere Baraj Göleti'nde Bakır miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 106
**Grafik 7.49** Karadere Baraj Göleti'nde Kadmiyum miktarının (µg/L) aylık değişimi ..... 107
**Grafik 7.50** Karadere Baraj Göleti'nde Kadmiyum miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 107
**Grafik 7.51** Karadere Baraj Göleti'nde Cıva miktarının (µg/L) aylık değişimi ..... 109
**Grafik 7.52** Karadere Baraj Göleti'nde Cıva miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 109
**Grafik 7.53** Karadere Baraj Göleti'nde Nikel miktarının (µg/L) aylık değişimi .... 110
**Grafik 7.54** Karadere Baraj Göleti'nde Nikel miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 111
**Grafik 7.55** Karadere Baraj Göleti'nde Çinko miktarının (µg/L) aylık değişimi ... 112
**Grafik 7.56** Karadere Baraj Göleti'nde Çinko miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi ..... 112

**Grafik 7.57** İlkbahar numunelerine ait hücre kültürlerinde yapılan MTT analizlerinin grafikle değerlendirilmesi ..... 125
**Grafik 7.58** Yaz numunelerine ait hücre kültürlerinde yapılan MTT analizlerinin grafikle değerlendirilmesi ..... 132
**Grafik 7.59** Sonbahar numunelerine ait hücre kültürlerinde yapılan MTT analizlerinin grafikle değerlendirilmesi ..... 139
**Grafik 7.60** Kış numunelerine ait hücre kültürlerinde yapılan MTT analizlerinin grafikle değerlendirilmesi ..... 146
**Grafik 7.61** İlkbahar numunelerine ait hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesinin RLU değerleri..... 147
**Grafik 7.62** Yaz numunelerine ait hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesinin RLU değerleri..... 147
**Grafik 7.63** Sonbahar numunelerine ait hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesinin RLU değerleri..... 148
**Grafik 7.64** Kış numunelerine ait hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesinin RLU değerleri..... 148
**Grafik 7.65** Karadere Baraj Göleti sedimentinde analiz sonuçlarına göre ağır metallerin konsantrasyonları ..... 157
**Grafik 7.66** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre CF oranlarının değişimi..... 158
**Grafik 7.67** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre EF değerlerinin değişimi..... 160
**Grafik 7.68** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre Igeo değerlerinin değişimi..... 161
**Grafik 7.69** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre PLI değerlerinin değişimi..... 162
**Grafik 7.70** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre $E_r^i$ değerlerinin değişimi..... 163

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

| | |
|---|---|
| **$Ca^{+2}$** | **:** Kalsiyum İyonu |
| **$CaCO_3$** | **:** Kalsiyum Karbonat |
| **Cd** | **:** Kadmiyum |
| **$Cl^-$** | **:** Klor İyonu |
| **$CO_2$** | **:** Karbondioksit |
| **$CO_3^-$** | **:** Karbonat İyonu |
| **Cu** | **:** Bakır |
| **Fe** | **:** Demir |
| **$HCO_3^-$** | **:** Bikarbonat İyonu |
| **Hg** | **:** Cıva |
| **$K^+$** | **:** Potasyum İyonu |
| **$Mg^{+2}$** | **:** Magnezyum İyonu |
| **$Na^+$** | **:** Sodyum İyonu |
| **NaCl** | **:** Sodyum Klorür |
| **$NH_4^-$** | **:** Amonyum Azotu |
| **Ni** | **:** Nikel |
| **$NO_2^-$** | **:** Nitrit |
| **$NO_3^-$** | **:** Nitrat |
| **Pb** | **:** Kurşun |
| **$SO_3$** | **:** Sülfit |
| **$SO_4$** | **:** Sülfat |
| **Zn** | **:** Çinko |
| **ppt** | **:** Part per thousand (binde bir) |
| **cm** | **:** Santimetre |
| **L** | **:** Litre |
| **mg** | **:** Miligram |
| **µg** | **:** Mikrogram |
| **ss** | **:** Standart Sapma |
| **µs** | **:** Mikrosaniye |
| **°C** | **:** Derece Santigrad |
| **$hm^3$** | **:** Hektometreküp |
| **$km^3$** | **:** Kilometreküp |
| **nm** | **:** Nanometre |
| **Bq** | **:** Becquerel |

### Kısaltmalar

| | |
|---|---|
| **AKM** | **:** Askıda Katı Madde |
| **BOİ** | **:** Biyolojik Oksijen İhtiyacı |
| **EDTA** | **:** Etilendiamin Tetraasetik Asit |
| **KOİ** | **:** Kimyasal Oksijen İhtiyacı |
| **Ç.O.** | **:** Çözünmüş Oksijen |

**E.İ.** : Elektriksel İletkenlik
**TA** : Toplam Alkalinite
**TS** : Toplam Sertlik
**AA** : Amonyum Azotu
**MTT** : (3-[4,5-dimetiltiazol-2-il]-2,5-difeniltetrazolyum bromür)
**LDH** : Laktat Dehidrogenaz
**HE** : Hematoksilen - Eozin
**α - MEM** : Minumum İçerikli Vasat-alfa
**NAD** : Nikotinamid Adenin Dinükleotid
**PI** : Propidium İyodür
**RLU** : Relatif Luminesans Unites
**MEB** : Milli Eğitim Bakanlığı
**TÇKM** : Toplam Çözünmüş Katı Madde
**TEC** : Eşik Etkisi Konsantrasyonu
**PEC** : Olası Etki Konsantrasyonu
**PI** : Kirlilik Endeksi
**MN** : Mikronükleus
**SQG** : Sediment Quality Guide (Sedimente Kalite Klavuzu)
**ICP-MS** : İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
**Cu** : Bakır
**Pb** : Kurşun
**Zn** : Çinko
**Mn** : Mangan
**Fe** : Demir
**Co** : Kobalt
**As** : Arsenik
**Cr** : Krom
**Cd** : Kadmiyum
**Al** : Alüminyum
**Ni** : Nikel
**PTE** : Potansiyel Tehlikeli Elementler
**EF** : Zenginleşme Faktörü
**CF** : Kontaminasyon Faktörü
**$I_{geo}$** : Jeoakümülasyon İndeksi
**PLI** : Kirlilik Yük İndeksi
**$E_r^i$** : Ekolojik Risk İndeksi

# 1. GİRİŞ

Su, dünyanın oluşumundan itibaren var olan bir bileşiktir. Hem dünyayı oluşturan toz bulutlarının içinde bulunmuş, hem de kuyruklu yıldızlar ile meteorların dünyaya çarpması sonucu yeryüzüne taşınmış olma hipotezi vardır. Bilim insanları hala bu iki hipotez üzerinde araştırma yapmakta ve tartışmaktadır. Ancak bilinen bir gerçek vardır ki evrende yaşamın kaynağı olan su, sıvı hâldeki kütlesiyle sadece dünya üzerinde bulunmaktadır. Su olan her yerde canlılar olmak zorunda değildir, fakat yaşamın olduğu her yerde su bulunması gereklidir. Çünkü yaşamın başlaması, canlıların hayati faaliyetlerini sürdürebilmesi ve birçok organizma için yaşam alanı sağlaması açısından su vazgeçilmezdir. Bu nedenle su, canlılık ve yaşamın mutlak kaynağıdır.

Doğal denge içinde bulunan ve dış müdahalelere maruz kalmayan ekosistemlerde, su eksilmeden dünya üzerinde varlığını sürdüren bir döngü içinde bulunur. Atmosfer dışına çıkmadan, katı, sıvı ve gaz halinde, atmosfer ile yerkürenin sınırları içinde bu döngüyü devam ettirir (Ilgar, 2009).

Suların buharlaşarak atmosfere yükselmesi ve atmosferde yoğunlaşarak tekrar yeryüzüne inmesi şeklinde gerçekleşen döngüye "Hidrolojik Döngü" denir. İnsanlar, yaşamlarını sürdürebilmek ve sosyal-ekonomik gereksinimlerini karşılamak amacıyla bu döngüden su alır ve kullanır. Kullanılan su, sonrasında tekrar döngüye dahil olur. Bu, insanın içinde bulunduğu bir döngüdür. Ancak bu süreçte suya karışan insan etkili maddeler, kirleticiler ve çeşitli faktörler, suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek su kaynaklarında kirlenmelere neden olabilir. Bu durum, sucul ekosistemlerde yaşayan birçok canlının da yaşamlarını etkiler. Bu nedenle su kirliliği, suya bağımlı ekosistemleri etkileyerek doğal dengeyi bozabilir. Su kirliliği, suyun kendi kendini temizleyebilme yeteneğini azaltabilir veya tamamen kaybetmesine neden olabilir. Bu durum, ekosistemlerde dengenin bozulmasına ve çevresel sorunların artmasına yol açabilir (Ilgar, 2009).

Dünya üzerindeki tüm tatlı su kaynaklarının sürdürülebilirliği; sağlıklı ve dengeli ekosistemlerin varlığına bağlıdır. Ekosistemlerde su, sadece kullanılmakla kalmaz, aynı zamanda dönüştürülerek farklı işlevler görür. Bu da ekosistemleri küresel su

döngüsünün ana unsuru haline getirir. Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, su döngüsünün ekosistemlerde biyofiziksel bir süreç olarak görülmesine dayanır (Kocataş, 1997; Martius vd., 2009).

Dünya yüzeyinin yaklaşık %70'i suyla kaplıdır. Ancak canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için kullanılabilir ve içilebilir uygun su miktarı, dünya genelindeki su rezervlerinin sadece yaklaşık %0,3'ü kadardır (Patil vd., 2012). Bu nedenle, uygun su kaynaklarının miktarının ve kalitesinin korunması, kirletici etkilerden uzak tutulması, sadece insanlar için değil, aynı zamanda diğer canlı türleri için de büyük önem taşır (Yılmaz ve Peker, 2013).

Su, çevrimi sırasında bulunduğu ekosistemden kaynaklanan maddelerin etkisiyle çeşitli değişikliklere uğrayabilir. Bu değişiklikler, suyun fiziksel, kimyasal, biyolojik ve radyoaktif özelliklerinde meydana gelir ve "Su Kirliliği" olarak adlandırılan kalıcı veya geçici değişikliklere neden olabilir (Patil vd., 2012). Ancak, temiz su nedir? Temiz su, içeceğimiz veya kullanacağımız suyun, içerisinde zararlı kimyasallar ve patojenik mikroorganizmalar bulunmayan su olarak tanımlanabilir. Ancak suyun sadece temiz olması yeterli değildir. Sağlıklı su olması da önemlidir. Sağlıklı su, canlı organizmaların yaşamsal işlevlerini sürdürebilmesi için gereken mineralleri optimal düzeyde içeren sudur. (MEB, 2011).

Su, hidrolojik döngü sırasında kendi kalitesini kazanır. Atmosferde buhar haline dönüşür, yağış olarak yeryüzüne düşerken su kalitesini etkileyen çeşitli durumlarla karşılaşır (MEB, 2011). Temiz ve sağlıklı suyun özelliklerini belirlemek amacıyla su kalite standartları oluşturulmuştur. Su kalitesi, suyun hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak (içme, kullanma, tarımsal sulama, enerji üretimi, sanayi, vb.) suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerinin incelenmesiyle belirlenir. Suyun kullanılacağı amaç ve kalite sınıfına bağlı olarak, su kalitesi parametrelerinin standart değerleri belirlenir. Ekosistemler, besin zincirlerinin yanı sıra su kaynakları ve kalitesi aracılığıyla da insana hizmet ederler. Dengeli bir ekosistem, doğal olarak madde ve enerji döngüsünü işletebilir.

Ekosistemler, içerdiği su kaynakları ve kalitesiyle insanlara hizmet ederler. Dengeli bir ekosistemde, doğal olarak işleyen bir madde ve enerji döngüsü bulunur. Bu sistemdeki unsurlar birbirine besin zinciri ile bağlıdır. Eğer bu unsurlardan biri kirleticilere maruz kalır ve zarar görürse, bu durum besin zincirinde olumsuz etkilere yol açabilir. Canlılar arasındaki etkileşim bozulur, madde ve enerji transferi engellenir. Eğer önlem alınmazsa, zamanla geri döndürülemez durumlarla karşılaşma riski artar. Bu durum kalıcı iklim değişiklikleri, türlerin yok olması, artan ihtiyaca rağmen azalan temiz su miktarı, artan nüfusa yetersiz besin sağlanması gibi sorunları beraberinde getirebilir (Martius vd., 2009; Şişli, 1996).

Sucul ekosistemler, çevresel kirlilikten en fazla etkilenen alanlardan biridir. Tarih boyunca, atıkların ve kirliliğin suya kolayca deşarj edilebilmesi, 20. yüzyılda artan nüfus ve endüstrileşmenin etkisiyle suyun uzun süre boyunca kirlilikle temas etmesi sonucunda, günümüzde ekosistemlerin ciddi bir biçimde kirlenmesine yol açmıştır. Pratikte her türlü çevre kirliliği sonunda sularda birikmektedir. Endüstriyel atıklar, toprak ve sudaki deterjan atıkları, hava kirliliği sonucu toprağa düşen kirleticiler, tarımsal atıklar, akarsular, taşkınlar veya yağışlarla taşınarak son durak olarak denizler ve yeraltı sularına ulaşmaktadır. Organik ve inorganik atıkların bir kısmı parçalanarak çevreye yayılırken, bozunmayanlar suda birikerek toksik kirliliğe yol açar. Bu da sucul ekosistemlerin besin zincirini olumsuz etkileyerek zehirlenmesine neden olur (Kocataş, 1996).

Hidrolojik döngüsünü tamamlayıp toprağa geri dönen su, çeşitli toprak tabakalarını geçerken bir filtrasyon sürecine tabi tutulur, bu şekilde kaynağına ulaşır. Bu aşamada toprakla etkileşim sonucu toprakta bıraktığı maddeler kadar topraktan aldığı maddeler de bulunur. Doğal olarak etkilenmemiş, temiz bir toprak tabakası, temiz, sağlıklı ve doğal bir filtreleme mekanizması görevi görür. Toprağın içerdiği mineraller veya toksik maddeler, aynı zamanda endüstrileşme, tarımsal faaliyetler ve çevresel kirlilik sonucu toprağa katılan maddeler de, suyun yapısını etkileyerek suyun kalitesini belirler (Dönmez, 2012).

Suyun kalitesi ve güvenli kullanımını belirleyen kalitatif ve kantitatif sınırlamalara "su kalitesi kriterleri" denir. Suların kullanım amaçlarına göre belirlenen bu kriterler,

suyun kalitesini korumak için gereken gerekli arıtma yöntemlerini ve denetim mekanizmalarını içerir. Bu standartlar, suyun güvenli bir şekilde kullanımını sağlamayı amaçlar. Su kalitesi, hidrolojik döngü, doğal ve yapay arıtma sistemleri, su dağıtımı gibi faktörler tarafından belirlenir. Bu faktörlerde yaşanabilecek sorunlar su kirliliğine neden olabilir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Çevre kirliliği, havada, toprakta ve suda görülebilir, ancak en kolay kirlenen ortam su olarak bilinir. Havada ve toprakta kendi kendini temizleme yeteneği vardır ve kirliliklerini genellikle suya bırakarak temizlenirler. Havada bulunan katı ve sıvı kirletici maddeler, ağırlık nedeniyle aşağı inerek toprak ve suya ulaşırlar. Gaz ve buhar halindeki kirleticiler ise yağışlarla yeryüzüne inerler. Toprakta bulunan kirleticiler de yağışlar, tarımsal sulama, taşkınlar ve erozyon yoluyla sularla taşınıp sulara karışırlar. Sonuç olarak, kirletici maddelerin doğrudan veya dolaylı yollarla su kaynaklarına ulaşması sonucunda ekosistemler bozulabilir.

Bu bozulmalar biyolojik çeşitlilikte, insan ve diğer canlıların sağlığında, denizel ve su ürünleri yetiştiriciliğinde, içme ve kullanma suyunun kalitesinde kendini gösterebilir (Lu vd., 2015). Karadan veya atmosferden suya karışan, suda eriyip çözünse de olmasa da suya taşınan bütün maddeler, bir daha eski yerlerine dönemezler. Sular, büyük bir canlılık barındıran ve dolayısıyla besin zincirlerinin merkezinde yer alan bir ortamdır. Bu nedenle, su ekosistemlerinde kalıcı denge bozulmalarının oluşması, dünya genelindeki yaşamı ciddi ve olumsuz şekilde etkileyebilir (Polat, 2009).

İnsanlık tarihi boyunca medeniyetler genellikle su çevresinde kurulmuştur. Su, sadece diğer canlılar için yaşam kaynağı olmakla kalmaz, aynı zamanda insanlar için içme, kullanma, temizlik, tarım, enerji, ulaşım ve hatta savunma gibi farklı amaçlar için de önemli olmuştur.

Sanayi devriminden sonra meydana gelen çevre sorunlarının temel nedenleri, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, yüzey su kaynaklarının endüstriyel atıklar, tarımsal artıklar ve evsel atıklar için birincil deşarj alanlarına dönüşmesidir. Son yüzyılda artan nüfus, hızla büyüyen kentleşme ve endüstrileşme, bu atık suların yeterince arıtılmaması, sanayiden kaynaklanan atıkların kontrolsüz bir şekilde doğaya bırakılması,

düşüncesizce orman alanlarının tahrip edilmesi, yanlış tarım uygulamaları ve hatalı su yönetimi gibi faktörler, hem kullanılabilir su miktarının azalmasına hem de içilebilir suyun kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durum, insanlara hizmet eden ekosistemlerin dengesini bozar ve hızlı bir şekilde su ve çevre kirliliğine yol açar (Huang ve Xia, 2001).

Ancak dünya nüfusunun hızla artması, yoğun şehirleşme, endüstri ve sanayileşmenin gelişmesi, ekosistemlerdeki doğal madde ve enerji döngüsünün insan kontrolünde yeni bir düzenle değişmesine neden olmuştur. Bu yeni düzen, su havzalarında ciddi kirlenme ve çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir. Su kaynaklarının bu tür tahribatı ekonomik kayıplara yol açmanın yanı sıra, sucul ve karasal yaşamı da tehdit eder hale gelmiştir (Lu vd., 2015; Mutlu vd., 2014). Bu durum, çevre ve su kaynaklarında kalıcı kirlenmelere neden olurken aynı zamanda ciddi bir su sıkıntısı sorununu da beraberinde getirmektedir. Su kaynaklarının bu şekilde zarar görmesi, ekonomik, çevresel ve sosyal sorunlara yol açmaktadır.Nüfus artışı ve sanayileşmenin getirdiği bu olumsuzluklar içme, kullanma ve sulama suyu ile birlikte su ürünleri yetiştiriciliğinde istenen kaliteli suya olan ihtiyacın artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple yeni su kaynaklarının bulunarak kullanıma sunulması çözüm gibi görünse de uygulamada kalıcı çözüm getirmemektedir. Dolayısıyla mevcut su kaynaklarının ve kalitesinin korunması, suyun doğru kullanılması ve depolama alanlarının kontrol altında tutulması büyük önem arz etmektedir (MEB, 2011).

Artan nüfusunun beraberinde getirdiği artan gıda talebi, su ürünleri yetiştiriciliği ve tarımsal faaliyetlerin artmasına yol açmıştır. Bu da yüzey sularının fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin doğru kullanımı açısından anlaşılmasını gerektirir. Su kaynağının kullanılabilir su potansiyelini anlamak, sadece su miktarını değil aynı zamanda su kalitesini de içerir. Bu nedenle, suyun nitelik ve niceliğini bilmek yanı sıra düzenli kontrollerin yapılması önemlidir (Huang ve Xia, 2001; MEB, 2011).

Ayrıca, insanlar tarafından inşa edilen baraj gölleri ve sulama göletleri, inşa süreçleri sırasında bazı bitki ve hayvan türlerinin yok olmasına neden olmanın yanı sıra, bulundukları ekosistemlerin fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirmeleri sebebiyle düzenli olarak izlenmeleri gereken alanlardır (Öztürk ve Akköz, 2014). Bu

yapay su rezervleri, ekosistemlere etkileri bakımından sürekli olarak takip edilmelidir. Görüldüğü üzere, insan müdahalesiyle her yerde doğal denge değişmektedir. Bu değişiklikleri tamamen engellemek belki mümkün olmasa da, olumsuz etkilerini en aza indirmek veya kontrol altında tutmak mümkündür. Bu ise düzenli denetimleri, kaynak kullanıcılarının eğitimini, çevre dostu yönlendirmeleri ve gerektiğinde hızlı önlemler alınmasını gerektirir.

Yeryüzündeki su kaynaklarının içme suyu ve kullanma suyu olarak toplandığı doğal veya yapay alanlara "Su Havzası" denir. Akarsular, göller, baraj gölleri gibi açık veya kapalı havzalar, ekosistemlerin devamlılığı ve sürdürülebilir su kullanımı açısından büyük öneme sahiptir (MEB, 2011).

Su kalitesi parametreleri açısından, sulama göletleri, baraj gölleri ve doğal göller arasında karşılaştırıldığında, sulama göletleri ve baraj göllerinde doğal göllere oranla daha hızlı değişimler gözlemlenir. Bu hızlı değişimler, insan kaynaklı etkenlerin daha yoğun olduğu sulama göletleri ve baraj göllerinde daha fazla bulunan unsurlardan kaynaklanmaktadır. Su kalitesinin fizikokimyasal ve biyolojik olarak düzenli olarak değerlendirilmesi, su kirliliğinin boyutlarını belirlemek ve suyun anlık durumu hakkında bilgi sahibi olabilmek için büyük önem taşır (Barlas, 1995). Bu değerlendirmeler, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması için gereklidir.

Göl ve göletlerde meydana gelen fizikokimyasal parametrelerdeki değişimler, bu alanlardaki canlıların yaşamını etkileyerek mevcut su ekosistemindeki canlı populasyonlarının dağılımını değiştirir. Bu nedenle yaşam dengesi bozulan göl ve göletlerde su kalitesi düşer ve kirlilik artar (Mutlu vd., 2014). Ülkemiz zengin yüzey suyu ve yeraltı su kaynaklarına sahip bir coğrafyada yer almaktadır. Ancak artan nüfus, bilinçsiz kullanım, israf, çevre kirliliği (endüstriyel, tarımsal, evsel veya turizm kaynaklı) gibi faktörler nedeniyle su kaynaklarının gelecekte tükenme riski vardır. Bu nedenle önlem alınmadığı takdirde, ülkemiz su kaynaklarına sahip olmasına rağmen yakın gelecekte su sıkıntısı yaşayabilir.

Yapılan çalışmada su kalitesi ve kirliliğinin tespitinde meri mevzuatta rutin olarak kullanılan yöntemlerle birlikte, su havzasına ait sedimentlerin inorganik ve organik içeriğinin tespiti ve belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerinin canlı memeli hücreleri üzerine etkilerinin tespiti amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan sediment ve sitotoksisite analizleri ile bir hafta gibi kısa bir süre içerisinde su havzasının kalitesinin ve kirliliğinin belirlenmesi ile su kaynağını doğrudan yada dolaylı olarak kullanan insanlar dahil tüm memeli organizmalar üzerindeki etkilerin tespiti hedeflenmiştir. Bu yaklaşım için tatlı su havzası olarak bilinen suni sulama göleti model seçilmiş olup, model su havzası olarak Kastamonu İli Taşköprü ilçesi sınırlarındaki Karaderi Sulama Göleti belirlenmiştir.

# 2. SU KALİTESİ VE KİRLİLİĞİ

Su kalitesinin belirlenmesinde fizikokimyasal parametreler, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Patil vd., 2012). Bu parametreler, suyun insan sağlığına uygunluğunu, çevresel etkileri ve kullanım amaçlarına uygunluğunu anlamamıza yardımcı olmaktadır (Falowo vd., 2019; Jaffar vd., 2020). Su kalitesini belirlemek için kullanılan bazı önemli fizikokimyasal parametreler aşağıda açıklanmıştır.

## 2.1 Sıcaklık

Suyun sıcaklığı sucul ekosistemlerin işleyişini, organizmaların yaşamını ve kimyasal reaksiyonları etkilemektedir. Önemli olarak suyun oksijen çözünürlüğünü de etkilemektedir. Soğuk suda, oksijen daha iyi çözünebilirken, sıcak suyun oksijen çözünürlüğü düşmektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda suyun içindeki çözünmüş oksijen miktarı azalabilir, sucul organizmaların yaşamını olumsuz etkileyebilmektedir (Jaffar vd., 2020). Ayrıca, organizmaların metabolik hızlarını etkilemektedir. Sıcak su, organizmaların metabolizmalarını hızlandırabilirken, soğuk su metabolizma hızını yavaşlatabilmektedir. Bu durum, sucul organizmaların enerji ihtiyaçlarını etkileyerek populasyonlarının büyümesini ve dağılımını etkilemektedir. Bunun bir sonucu olarak da sucul organizmaların üreme ve yumurta gelişimini de etkilemektedir. Bazı türler için belirli sıcaklık aralıkları gereklidir. Sıcaklık değişiklikleri, üreme dönemlerini ve yumurta gelişimini etkileyerek türlerin yaşam döngülerini bozabilmektedir. Suyun sıcaklığının değişimi belirli türlerin yaşam alanlarını daraltabilir veya genişletebilir. Bunun sonucunda da sucul ekosistemlerin tür çeşitliliğini etkilenir.

Yerleşik bir sistemde su sıcaklığı, tüm kimyasal reaksiyonların hızını kontrol eder ve balık büyümesi, üreme ve bağışıklığı üzerinde etki eder. Aşırı sıcaklık değişiklikleri balıklar için ölümcül olabilir. Biyolojik ve kimyasal süreçlerin hızları sıcaklığa bağlıdır. Mikroplardan balıklara kadar sucul organizmalar, optimal sağlık için belirli sıcaklık aralıklarına bağımlıdır. Sıcaklık, suyun oksijen içeriğini etkiler (oksijen seviyeleri sıcaklık arttıkça düşer), sucul bitkilerin fotosentez hızını, sucul organizmaların metabolik hızlarını ve organizmaların toksik atıklara, parazitlere ve

hastalıklara karşı duyarlılığını etkiler. Sıcaklık değişikliğinin nedenleri arasında hava koşulları, gölgeleyici akarsu kenarı bitki örtüsünün kaldırılması, su soğutma suyunun deşarjı, kentsel yağmur suyu ve akarsuya yeraltı suyu akışları yer alır (Bhateria ve Jain, 2016).

Sıcaklık, su içindeki kimyasal reaksiyonları da etkileyen önemli etkenlerden biridir. Kimyasal maddelerin çözünürlüğü, reaksiyon hızları ve dengeler sıcaklığa bağlı olarak değişebildiğinden su kalitesini ve kimyasal bileşimini etkileyebilmektedir (Jaffar vd., 2020; Patil vd., 2012).

Tüm bunlar dikkate alındığında sıcaklık, su kaynaklarının yönetimini etkilemektedir. Bu kapsamda planlama yapılırken suyun sıcaklık değişiminin tarımsal sulama, endüstriyel kullanım ve suyun diğer amaçlar için kullanımı üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenlerle su kalitesi izleme çalışmalarında, sucul ekosistemlerin sağlığının değerlendirmesinde ve gerekmesi durumunda önlemler alınabilmesi için suyun sıcaklığın düzenli olarak ölçülmelidir (Falowo vd., 2019).

## 2.2 pH Değeri

pH, suyun asidite veya bazlık seviyesini göstermek için kullanılan bir skaladır. Farklı organizmalar farklı pH seviyelerinde yaşadığından her canlının yaşam ortamlarının ve kullandıkları suyun belirli pH değerinde sabit olması gerekir. Örneğin, insan tüketimi için uygun suyun genellikle nötr veya hafif alkali pH aralığında olması gerekmektedir. Su pH seviyesi, sucul organizmaların sağlığı ve hayatta kalması için de kritik önem taşımaktadır. pH değeri organizmaların enzim aktivitelerini, besin alımını ve metabolizmayı etkilemekte, pH değerindeki anormal değişiklikler de organizmaların yaşamını tehlikeye atabilmektedir. Ayrıca, pH değeri, suyun oksijen çözünürlüğünü etkilemektedir. pH seviyesi yüksek olan asidik sular, oksijenin çözünürlüğünü düşürerek sucul organizmalar için yaşam koşullarını zorlaştırabilmektedir (Jaffar vd., 2020).

pH değeri, su içindeki kirleticilerin toksisitesini etkileyebilir. Bazı kirleticiler farklı pH seviyelerinde daha zehirli hale gelebilirmekte ya da daha az çözünerek ortamda birikebilmetedir (Jaffar vd., 2020). pH, toksik kimyasal maddelerin çevresel etkilerini

belirlemek için önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Bunun etksi sulu ortamda yürüyen kimysal reaksiyonlar ile açıklanabilmektedir. Birçok kimyasal reaksiyon, pH değeriyle ilişkilidir. Suda çözünen kimyasal maddelerin çözünürlüğü, reaksiyon hızları ve kimyasal dengeler pH'ya bağlı olarak değişebilmektedir. Bunun sonucunda da sudaki maddelerin kirleticilik seviyeleri değişebilmektedir.

Suyun pH seviyesi, suyun farklı kullanım amaçlarına uygunluğunu etkiler. Örneğin, içme suyu arıtımında pH seviyesi insan sağlığı açısından önemlidir. Tarımsal sulama, endüstriyel üretim ve diğer su kullanım alanları da pH değerini dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak, pH değeri suyun kimyasal dengesini ve organizmaların yaşamını etkileyen önemli bir parametredir. Su kalitesi izleme çalışmalarında, suyun asidite veya bazlık seviyesini değerlendirimesinde ve olası değişimlerde tedbir alabilmek için düzenli olarak pH takip edilmelidir (Patil vd., 2012).

pH, suyun korozyon niteliğini belirlemekte en önemli etkendir. pH değeri ne kadar düşükse suyun korozyon niteliği o kadar yüksektir. Fotosentetik aktivitenin azalması ve karbondioksit ile bikarbonatların asimilasyon hızının düşmesi sonunda pH değerinin yükselmesi, düşük oksijen değerlerinin yaz aylarında yüksek sıcaklıkla aynı döneme denk gelmesinden kaynaklanır. Su pH'sındaki değişikliklere çeşitli faktörler neden olur. Gözlenen yüksek pH değerleri, karbondioksit ve karbonat-bikarbonat dengesinin fizikokimyasal koşullardaki değişikliklerden daha fazla etkilendiğini göstermektedir (Bhateria ve Jain, 2016).

## 2.3 Elektriksel İletkenlik

Suyun elektriksel iletkenliği (EI), elektrik akımını ne kadar ilettiğini göstermektedir. Suyun içindeki çözünmüş iyonlar ve tuz konsantrasyonu hakkında bilgi sağlayan önemli bir fizikokimyasal parametredir. Elektriksel iletkenlik, su içindeki tuzların konsantrasyonunu yansıtır ve yüksek iletkenlik seviyeleri, suyun tuzluluğunun arttığını ve tuz kirliliğinin varlığını gösternektedir. Tarım sulaması, kanalizasyon suları ve endüstriyel atıklar gibi faktörler, suyun tuz konsantrasyonunu artırabilmektedir. Bunun sonucunda da toprak tuzluluğunun artması bitki büyümesini

ve su tuzluluğunun artması da sucul organizmaların yaşamını olumsuz etkileyebilmektedir (Patil vd., 2012).

Deniz suyunun tatlı su kaynaklarına girişi, tuzlu su intrüzyonu olarak adlandırılır. Elektriksel iletkenlik, tatlı su kaynaklarının tuzlu suyla kirlenmesini ve suyun kullanımını etkileyen bu durumu izlemek için kullanılabilmektedir. Bunu yanı sıra elektriksel iletkenlik, yüzey suları ile yeraltı suları arasındaki etkileşimleri anlamak için kullanılır. Yeraltı sularının tuzlu suyla kirlenmesi veya yüzey sularının yeraltı sularına karışması gibi durumları belirlemeye yardımcı olmaktadır. Elektrksel iletkenlik dolayısıyla tuz oranı ölçümleri sucul ekosistemlerin sağlığı ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği için önemli bir rol oynamaktadır.

Elektriksel iletkenlik, sıcaklık, pH değeri, alkalinite, toplam sertlik, kalsiyum, toplam katılar, toplam çözünmüş katılar, suyun kimyasal oksijen ihtiyacı, klorür ve demir konsantrasyonu gibi parametrelerle önemli bir korelasyon gösterir. Akarsu ve nehirlerdeki iletkenlik, öncelikle suyun aktığı bölgenin jeolojisinden etkilenir. Granit ana kayası olan alanlardan geçen akarsular daha düşük iletkenliğe sahip olma eğilimindedir çünkü granit, suyla yıkandığında iyonlaşmayan (iyonik bileşenlere çözünmeyen) daha inert malzemelerden oluşur (Gupta ve Paul 2010). Killi topraklara sahip alanlardan geçen akarsular, suyla yıkandığında iyonlaşan materyallerin varlığından dolayı daha yüksek iletkenliğe sahip olma eğilimindedir. Yeraltı suyu girişleri, içinden geçtikleri ana kayaya bağlı olarak aynı etkilere sahip olabilir. Akarsulara yapılan deşarjlar, yapılarına bağlı olarak iletkenliği değiştirebilir. Arızalı bir kanalizasyon sistemi, klorür, fosfat ve nitratın varlığından dolayı iletkenliği yükseltir; bir petrol sızıntısı iletkenliği düşürür. (Bhateria ve Jain, 2016).

## 2.4 Çözünmüş Oksijen

Çözünmüş oksijen, su içinde çözünmüş halde bulunan oksijen gazını ifade etmektedir ve canlılığın devamı için önemlidir. Sucul tüm organizmaların solunumu ve metabolizması için oksijen gereklidir. Sudaki çözünmüş oksijen, sucul organizmaların hücresel solunumunu sağlamakta ve enerji üretimi için kullanılmaktadır (Jaffar vd., 2020). Düşük çözünmüş oksijen seviyeleri, balıkların suda nefes almasını ve

beslenmesini zorlaştırabilmekte, hatta ölümlere neden olabilmekedir. Yüksek çözünmüş oksijen seviyeleri ise, sucul ekosistemlerdeki biyoçeşitliliği ve ekosistem sağlığını desteklemektedir (Patil vd., 2012). İyi oksijenlenmiş sucul ortamlar, farklı türlerin yaşam alanları olarak işlev görmektedir.

Çözünmüş oksijen, sucul ekosistemlerdeki organik maddelerin ayrışmasını ve çürümesini sağlar. Bu süreçte bakteriler ve diğer organizmalar organik maddeyi tüketirken oksijen kullanır. Düşük çözünmüş oksijen seviyeleri, organik madde ayrışmasını zorlaştırabilir ve suyun koku ve renk gibi olumsuz özellikler kazanmasına neden olabilir. Eutrofikasyon, sucul ekosistemlere fazla besin maddesi girdiği durumlarda meydana gelen aşırı büyümenin neden olduğu sorundur. Düşük çözünmüş oksijen seviyeleri, aşırı büyüme sırasında daha fazla oksijen tüketimine ve bunun sonucunda bozulan organik madde ayrışmasına neden olduğundan eutrofikasyonun etkilerini artırabilmektedir (Patil vd., 2012). İyi çözünmüş oksijen seviyeleri, sucul yaşamın korunmasına ve su ekosistemlerinin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenlerle su kalitesinin takibinde sudaki çözünmüş oksijen seviyesi düzenli olarak takip edilmelidir.

## 2.5 Besin Maddeleri

Suda çözünmüş besin maddeleri, sucul ekosistemlerin işleyişi ve organizmaların sağlığı için önemli olan bileşenlerdir. Bu besin maddeleri, sucul organizmaların büyümesi, üremesi ve metabolizması için gereklidir. Balıklar, krustaselar ve diğer sucul organizmalar, besin maddelerini alarak gelişir ve ürer (Lucas vd., 2019). Bu nedenle, uygun besin maddesi seviyeleri, sucul ekosistemlerde sağlıklı populasyonların sürdürülmesine katkıda bulunur (Boyd ve Tucker, 2012).

Suda çözünmüş besin maddeleri, besin zincirlerinin temelini oluşturur. Bitkiler sucul ekosistemlerin ilk halkasını oluşturur ve organizmalar bu bitkileri tüketerek beslenir. Besin zincirleri boyunca besin maddeleri aktarılır ve enerji akışı sağlanır. Bunlardan fosfor ve azot, sucul bitkiler ve mikroorganizmalar için temel besin elementleridir. Bu elementler, bitkilerin büyümesi ve fotosentez yapması için gereklidir. Ancak fazla fosfor ve azot, aşırı bitki büyümesine ve ötrofikasyona yol açabilir. Bu durumda, sucul

ekosistemde aşırı yosun ve bitki büyümesi meydana gelir, oksijen tüketimi artar ve su kalitesi düşmektedir (Thomas vd., 2021).

Suda çözünmüş besin maddelerinin dengeli bir şekilde bulunması, suyun kalitesini ve sağlığını etkilemektedir. Fazla besin maddesi, suyun kirlenmesine ve çevresel sorunlara neden olabilirken, besin maddesi eksikliği ise sucul organizmaların büyümesini ve sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir.

## 2.6 Renk ve Koku

Su kalitesinin belirlenmesinde renk ve koku, suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlayan göstergelerdir. Renk ve koku, suyun içerdiği organik ve inorganik maddelerin türü ve miktarı hakkında fikir verbilmektedir. Anormal renk veya koku, suyun kirli veya kontamine olduğunu işaret edebilir (Patil vd., 2012).

Su renkliyse, içinde çözünmüş organik maddelerin olduğu anlamına gelebilir. Bu organik maddeler, bitki artıkları, toprak parçacıkları veya kimyasal kirlilikten kaynaklanabilir (Rice vd., 1981). Anormal bir renk, suyun kirlilik seviyesini belirlemede bir gösterge olabilir. Kimyasal kirleticiler veya endüstriyel atıklar renk değişikliklerine neden olabilir. Bunlarla birlikte, suyun renkli veya kirli olması, suyun algısal kalitesini de etkilemektedir (Sharma ve Bhattacharya, 2017). Kirli veya renkli su, insanlar için hoş olmayan bir görünüm yaratarak suyun kullanımını ve estetik değerini azaltmaktadır.

Sudaki anormal bir koku, su içinde organik madde ayrışmasının bir işareti olabilmektedir ve suyun kirliliği ile organik materyal miktarını gösterebilir. Koku, suyun içinde toksik kimyasalların veya kirleticilerin varlığına da işaret olabilemektedir. Bu kimyasal maddeler sucul organizmalar ve insan sağlığı için tehlike oluşturabilir. Renk ve koku, su kalitesinin izlenmesinde dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir. Su kalitesi izleme programlarında, renk ve koku değerlendirmeleri suyun kullanılabilirliği, çevresel etkileri ve sağlık riskleri hakkında önemli bilgiler sağlar. Anormal renk veya koku durumları, su kaynaklarının sağlığını ve kullanımını değerlendirmek için belirgin işaretler olarak kullanılmaktadır.

## 2.7 Askıda Katı Madde

Askıda katı madde (AKM), su içerisinde asılı halde bulunan parçacıkların toplam kütlesini ifade etmektedir. Bu partiküller, çeşitli kaynaklardan kaynaklanabilir ve suyun bulanıklığını artırabilmektedir. Bulanık su, sucul organizmaların yaşamını ve beslenmesini olumsuz etkileyebilir, suyun estetik ve görünüş kalitesini düşürebilir. Yüksek AKM seviyeleri, suyun ışık geçirgenliğini azaltabilir. Bu, su içindeki fotosentetik organizmaların güneş ışığını almasını zorlaştıracağından bitki büyümesini ve besin zincirlerini etkilemesi kaçınılmazdır.

Askıda katı madde, su içerisinde tuzlar ve mineraller gibi çözünmüş maddelerin taşınmasına yardımcı olabilmektedir (Sharma ve Bhattacharya, 2017). Bu nedenle yüksek AKM seviyeleri, suyun tuzluluğunu ve mineral içeriğini de etkileyebilir niteliktedir. Benzer şekilde su içerisinde çözünmüş olan kirleticileri veya kimyasal maddeleri de taşıyabilir. Bunun sonucunda da, su kirliliği ve çevresel etkilerin yayılmasını artırabilmektedir (Jaffar vd., 2020). Toprak erozyonu, toprak parçacıklarının suya taşınması ve akarsulara ulaşması sonucu oluşur. Bu toprak parçacıkları, askıda katı maddeyi oluşturan önemli bileşenlerdir. Yüksek AKM seviyeleri, aynı zamanda toprak erozyonunun bir göstergesidir.

Askıda katı madde seviyeleri, su kalitesi izleme programlarında suyun fiziksel durumunu ve içerdiği partikül madde miktarını değerlendirmek için kullanılır. Suda bulanıklık sorunlarını belirlemek, suyun kullanımını ve ekosistem sağlığını değerlendirmek için önemlidir.

## 2.8 Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM)

TÇKM seviyeleri, sucul ekosistemlerdeki çevresel değişiklikleri yansıtabilir. Kirlilik, erozyon, jeolojik özellikler ve su kaynaklarının yönetimi gibi faktörler, TÇKM seviyelerini etkileyebilir. TÇKM, su kalitesi izleme çalışmalarında suyun mineral içeriği, tuzluluk seviyesi ve genel kullanılabilirlik hakkında bilgi sağlamak için kullanılır. Yüksek TÇKM seviyeleri, su kaynaklarının yönetimini ve korunmasını belirlemek için önemlidir.

Toplam çözünmüş katı madde (TÇKM), su içerisinde çözünmüş halde bulunan tüm inorganik ve organik maddelerin toplam konsantrasyonunu ifade etmektedir (Jaffar vd., 2020). TÇKM, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değerlendirmek için kullanılan önemli bir su kalitesi parametresidir. Su içerisindeki mineraller, toprak erozyonu, doğal kaynaklar ve insan etkileri ile suya karışabilir. Yüksek TÇKM seviyeleri, suyun tuzluluğunu ve mineral içeriğini göstermektedir. Aynı zamanda, suyun tadını ve kokusunu etkileyerek tüketimi sırasında hoş olmayan tat ve koku problemlerine yol açabilmektedir.

Tarım sulaması, endüstriyel atıklar veya tuzlu su intrüzyonu gibi faktörler, suyun tuzluluğunu artırabilir ve artan TÇKM ile birlikte su kaynaklarını kullanılamaz hale getirebilir. Ayrıca TÇKM, su içindeki organik ve inorganik kirleticilerin taşınmasına yardımcı olarak, çevresel etkilerin yayılmasını artırabilir.

## 2.9 Çözünmüş Kimyasal Maddeler

Çözünmüş kimyasal maddeler, su içerisinde çözünmüş halde bulunan kimyasal bileşiklerdir. Bu maddeler suyun kimyasal bileşimini etkiler ve su kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu mineraller, suyun içeriği ve bileşimi hakkında bilgi sağlar. Çözünmüş haldeki mineraller, toprak erozyonu, jeolojik özellikler ve insan etkileri ile suya karışabilir (Akhtar vd., 2021). Suda çözünmüş iyonlar, suyun elektriksel iletkenliğini etkiler. Çözünmüş tuzlar ve iyonlar, suyun kimyasal dengesini ve elektriksel özelliklerini belirler. Suda çözünmüş halde bulunan kirleticiler, suyun kirliliği ve çevresel etkileri hakkında bilgi sağlar. Bu kirleticiler endüstriyel atıklar, tarım ilaçları, ağır metaller ve diğer kimyasal maddeler olabilir. çözünmüş besin maddeleri, sucul organizmaların büyümesi ve yaşam döngülerini etkiler (Akhtar vd., 2021). Çözünmüş azot ve fosfor gibi besin maddeleri, sucul bitkilerin ve organizmaların gelişmesi için gereklidir. Suda çözünmüş kimyasal maddeler, suyun kimyasal dengesini etkiler. Kimyasal reaksiyonlar, çözünmüş maddelerin varlığına bağlı olarak gerçekleşebilir ve suyun pH seviyesini etkileyebilir. Suda çözünmüş kimyasal maddeler, içme suyu kalitesini etkiler. Kirleticiler veya toksik kimyasallar suya karıştığında, içme suyu güvenliği tehlikeye girebilir (Akhtar vd., 2021; Fawell ve Nieuwenhuijsen, 2003).

Çözünmüş kimyasal maddeler, su kalitesi izleme programlarında suyun kimyasal içeriğini ve bileşimini değerlendirmek için kullanılır. İçme suyu, sulama suyu, endüstriyel kullanım ve ekosistem sağlığı gibi farklı amaçlar için suyun kimyasal içeriği önemlidir. Su kaynaklarının korunması, kullanımı ve sürdürülebilirliği açısından çözünmüş kimyasal maddelerin izlenmesi ve kontrolü önemlidir.

## 2.10 Ağır Metaller

Ağır metaller, yüksek atom ağırlığına sahip ve genellikle toksik olan metal elementlerdir. Bu metaller, su kaynaklarına çeşitli yollarla girebilir ve su kalitesini olumsuz etkileyebilir. Ağır metaller, sucul ekosistemlerde ve insanlar için ciddi sağlık riski oluşturabilir. Kurşun, cıva, kadmiyum, arsenik gibi ağır metaller, uzun süre maruz kalmaları durumunda zehirleyici etkilere neden olabilir.

Ağır metaller, sucul organizmalar tarafından vücutlarına alınabilir ve biyokümülasyon yoluyla besin zincirlerinde birikir. Bu da sucul organizmaların toksik etkilerine ve besin zincirinde yüksek düzeylerde birikimine neden olabilir (Googdyear ve McNeill, 1999; Kouba vd., 2010). Ağır metaller, su içinde kimyasal reaksiyonlara girebilir ve suyun pH değerini, oksijen çözünürlüğünü ve diğer kimyasal parametreleri etkileyebilir. Ağır metallerin akut yada kronik birikimi ve neden olduğu diğer yan etkiler, sucul organizmaların büyümesi üremesi ve gelişmesi üzerinde olumsuz etkiler yapabilir, sucul ekosistemlerde tür çeşitliliği ve popülasyonların sağlığını etkileyebilir (Abdel-Baki vd., 2011; Vernay vd., 2007).

Ağır metaller, endüstriyel atıklar, maden faaliyetleri, tarım ilaçları ve araç emisyonları gibi farklı kaynaklardan su kaynaklarına girebilmektedir (Ali ve Ilahi, 2019). Bu nedenle ağır metal kirliliği, insan faaliyetlerinin etkilerini de yansıtmaktadır. Ağır metaller, sucul ekosistemlerin sağlığını olumsuz etkileyerek çevresel dengesizliklere yol açmakta, oluşan kirlilik sucul yaşamı ve ekosistem işleyişini bozmaktadır (Jitar vd., 2015). Su kalitesi izleme çalışmalarında, ağır metallerin varlığı ve konsantrasyonu düzenli olarak ölçülmektedir. Bu ölçümler, su kaynaklarının sağlığını değerlendirmek, suyun insan sağlığına uygunluğunu belirlemek ve çevresel etkileri izlemek amacıyla

yapılmaktadır. Ağır metal kirliliğinin yönetimi, sürdürülebilir su kaynakları kullanımı ve çevresel koruma için kritik bir öneme sahiptir (Shankar, 2019).

## 2.11 Radyoaktif Kirleticiler

Radyoaktifler radyolojik kirleticilerdir. Suyun içinden geçtiği topraklar veya kayalar veya bazı endüstriyel atıklar radyoaktif madde kaynakları olabilir. Radyasyonlar (alfa, beta gibi) belirli minerallerin doğal birikintilerinin erozyonunu içerebilir. Radyolojik elementler (U226, Ra226, Ra228 ve Rn228) yer altı sularında yüzey sularından daha fazla sorun oluşturur. Herhangi bir radyolojik kontaminasyon, kanser oluşumuna neden olabilir.

# 3. SU KİRLİLİĞİ VE KALİTESİNİN TESPİTİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Su kaynaklarının korunması amacıyla su kalitesi ve kirliliğinin belilenmesi üzerine dünya genelinde bir takım kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler esas alınarak uluslararası ve her ülke için ulusal su havzalarının yönetimine yönelik mevzuatlar hazırlanmıştır. Bu kurallar çerçevesinde çeşitli tatlı ve tuzlu su havzalarına yönelik bilimsel araştırmalar yürütülmektedir. Yürütülen bu çalışmalara örnekler aşağıda sunulmuştur.

Gençer ve Başaran'ın (2023) yapmış olduğu çalışma Akarçay Nehri'nin hidrojeokimyasını belirlemeyi ve sulama ve içme suyu uygunluğunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Akarçay havzası, 7989 km²'lik bir alana sahiptir ve Afyonkarahisar bölgesinde bulunmaktadır. Akarçay Nehri, havzanın en önemli su kaynağı olup, Ahır Dağları'ndan doğmakta ve doğudan 130 km akarak Eber Gölü'ne ulaşmaktadır. Havza yıllık ortalama yağışı 451.4 mm olarak ölçülmüştür. Akarçay Nehri'nin sularının kimyasal analizleri yapılarak sulama ve içme suyu uygunluğu değerlendirilmiştir. Örnekler 12 farklı noktadan alınmış, elektriksel iletkenlik, pH, sodyum emilim oranı, artık sodyum karbonat, magnezyum tehlikesi gibi parametreler ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar su kalitesi indeksi (WQI) ile değerlendirilmiş ve sulama ve içme suyu uygunluğu değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Akarçay Nehri'nin su kalitesinin başlangıç noktalarında temiz olduğunu ancak nehrin akış yolu boyunca farklı kirleticilere maruz kalarak kirlendiğini göstermektedir. Jeotermal sular, tarımsal ve endüstriyel atıklar başlıca kirlilik kaynaklarıdır. Bu nedenle, sulama ve içme suyu kullanımına uygun olan su kaynaklarını belirlemek kirlenmelerini önlemenin önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Liu ve You'nun (2023) yapmış olduğu güncel bir çalışmada, Pekin'in yaklaşık 150 km güneyindeki, yarı kurak bir bölgede bulunan ve Kuzey Çin Ovası'nın en büyük sığ gölü olan Baiyangdian Gölünün su kalitesinin ve kirliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Baiyangdian Gölü'nün su kalitesi üzerine yapılan bu çalışma, ekosistem işlevlerinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Gölün su kalitesi, çeşitli faktörlerin

etkisi altında mekansal ve zamansal olarak değişmektedir. Araştırma, su kalitesini değerlendirmek ve kirlilik kaynaklarını belirlemek amacıyla su kalitesi indeksi (SKİ), çok değişkenli istatistiksel yöntemler ve mutlak temel bileşen puanı-çoklu doğrusal regresyon (MTBP-ÇDR) modelini kullanmaktadır. Çalışmada, 2017-2018 yıllarına ait, 28 örnekleme noktasında ölçülen yedi su kalitesi parametresini içeren verileri kullanmıştır. Bulgular, su kalitesinin yaz aylarında nispeten kötü olduğunu ve sonbaharda iyileştiğini göstermiştir. Ayırt edici analiz, vakaların %86,5'ten fazlasını doğru bir şekilde sınıflandırabilmiştir. Temel bileşen analizi ve faktör analizi, farklı mevsimlerde su kalitesini etkileyen ana faktörleri belirlemiş; doğal faktörler, sediment salınımı, evsel atık su, hayvancılık, yağış suları ve kamış ile lotus çürümesi gibi faktörleri tanımlamıştır. MTBP-ÇDR modeli kullanılarak kirlilik kaynaklarının su kalitesi parametrelerine katkısı miktarları nicel olarak belirlenmektedir. Örneğin, evsel atık su sonbaharda KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) üzerinde en büyük etkiye sahiptir ve gölün farklı bölgelerinde farklılıklar gösterir. Azot ve fosfor gibi besin maddeleri, sediment salınımı, yağış suları ve bitki çürümesi gibi kaynaklardan gelmektedir ve farklı mevsimlerde farklı katkılarda bulunmaktadır. Bulgular, Baiyangdian Gölü'nün su çevresinin yönetilmesine yönelik bir temel oluşturmaktadır; bu da sediment salınımı ve evsel atık su gibi kirlilik kaynaklarının su transferleri sırasında kontrol edilmesi gerektiğini önermektedir. Çalışma, su kalitesi parametrelerine kirlilik kaynaklarının katkısını sistematik olarak analiz etmek için çeşitli istatistiksel yöntemleri bir araya getirerek, su kalitesi yönetimi için yol gösterici bir temel sunmaktadır.

François ve Youssef (2023)'in yaptığı çalışmada, su kalitesi bilgilerinin nehirlerdeki geçmiş politikaların etkinliğini değerlendirmek veya gelecekteki çevre politikalarını yönlendirmek için nasıl kullanılabileceğinin araştırılması amaçlanmıştır. Su kalitesi izleme istasyonlarının (SKİ) konumlarının nehir kirliliği kontrolünde önemli bir rol oynadığı; 2000'lerde, SKİ konumlarının optimizasyonuna yönelik bir literatür geliştirildiği ve kirlilik yoğunluğu, ortalama kalite veya potansiyel kaza sonucu oluşabilecek kirliliği tespit süresini en aza indirmenin amaçlandığı bildirilmiştir. Yaptıkları bu çalışmada, su kalitesi izleme ağları (SKA) tarafından üretilen ekonomik değeri en üst düzeye çıkarmak amacıyla SKİ'lerin konumlarını belirlemeye yönelik olarak, kuzeydoğu Fransa'daki bir su havzası model olarak seçilmiştir. Bu havzada, su kalitesi ölçümlerinin, tarım kökenli azot gübrelerinin azaltılmasına yönelik bir politika

oluşturmak amacıyla yapıldığı, SKİ'de hedeflenen 50 mg/L nitrat standardını karşıladığı bildirilmiştir. Tarımsal sulama ve ekonomik modeller kullanılarak, SKİ konumuna bağlı olarak girdi azaltmanın net faydasının nitratın neden olduğu ekolojik zararla ilgili farklı varsayımlara dayanarak tahmin edilmiştir. Bulgular, nitrat kaynaklı ekolojik zararın büyüklüğünün ve bu zararın algılanmasının SKİ'lerin optimal konumunu ve ekonomik optimizasyonun geleneksel yöntemlere kıyasla faydasını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bu etki özellikle zararın çok yüksek veya çok düşük olduğu durumlarda belirgin hale gelmiştir. Bununla birlikte, yalnızca zararı nitrat konsantrasyonuyla ilişkilendirmek veya riparyen (kıyı sulak alan) nüfus yoğunluğuyla eşleştirmek bu bağlamda sınırlı etkiye; Unifaktör ve bifaktör zarar hipotezi arasındaki seçimin de fayda büyüklüğü üzerinde çok az etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, nehir su kalitesinin zamansal ve mekansal olarak farklılık gösterdiği geleneksel literatürün, SKİ konumlarını belirli hedeflere yönelik optimize etmeye odaklandığı, ancak genellikle bu kararların çevresel ve ekonomik sonuçlarını göz ardı ettiği bildirilmiştir. Verilerin ekonomik değerini en üst düzeye çıkarmak amacıyla SKİ'leri stratejik olarak konumlandırmayı hedefleyen yeni bir yaklaşıma katkıda bulunulmuş, ekolojik zararın ve kirliliğin algılanmasının, özellikle zararın yüksek olduğu veya düşük olduğu durumlarda, ölçüm noktalarının optimal konumunun belirlenmesinde ve ekonomik optimizasyonun faydalarında belirleyici bir rol oynadığını vurgulayarak, bu faktörleri karar verme süreçlerinde dikkate almanın gerekliliğine işaret etmişlerdir.

İklim değişikliğinin sahil yakınındaki kıyı su kalitesine etkisini ve kirlilik önleme çabalarıyla nasıl etkileşimde bulunduğunu araştıran bir çalışmada (Xiong vd., 2023); Güney Çin'in en gelişmiş iki mega kentini içeren Shenzhen ve Hong Kong arasındaki Shenzhen Körfezi'nde üç boyutlu hidrodinamik ve su kalitesi modellemesine dayalı olarak, tuzluluk ve toplam azot, toplam fosfor ve klorofil-a konsantrasyonları üzerindeki iklim değişikliği etkisinin bütüncül bir analiz ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Ana çalışma bulgularında ilk olarak, klorofil-a en hassas parametre olarak belirlenmiş ve 2100 yılında, körfez genelinde ortalama konsantrasyonunun hafif ve hızlı iklim değişikliği senaryolarına göre sırasıyla, 2015'e göre yaklaşık %13 ve %46 daha yüksek olacağı tahmin edilmiştir. İkinci olarak, deniz seviyesi yükselmesinin dört su kalitesi parametresinin de ana etkileyeni olduğu bulunmuş,

sıcaklık ve radyasyon özellikle klorofil-a'yı etkilerken, yağışın ise özellikle besin maddelerini etkilediği belirlenmiştir. Üçüncü olarak, su kalitesi yanıtları körfez boyunca oldukça heterojen bulunmuştur. Hafif iklim değişikliği senaryosu altında bile, tuzluluk, toplam azot, toplam fosfor ve klorofil-a konsantrasyonlarında en yüksek konumsal değişikliklerin (2015'e göre 2100'de) tahmini olarak sırasıyla yaklaşık %21, %19, %25 ve %65 olması öngörülmüştür. Dördüncü olarak, iklim değişikliğinin mevsimsel değişikliğe olan etkilerinin sonucu alg patlamaları ekolojik riskini artırabileceği ifade edilmiştir. Son olarak da, toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonlarının, önerilen su altyapısı geliştirme ile azaltma etkisinin, iklim değişikliği tarafından önemli ölçüde zayıflatıldığı bulunmuştur (hafif iklim değişikliği senaryosu altında toplam azot için yaklaşık %40 ve toplam fosfor için yaklaşık %20). Sonuç olarak bölgesel işbirliğinin, özellikle iklim değişikliği altında, körfez su kalitesini korumak için kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır ve bu çalışmada elde edilen bilgilerin, benzer sosyoekonomik geçmişe ve iklim koşullarına sahip diğer kıyı su bölgeleri için de geçerli olacağı belirtilmiştir.

Kong vd. (2023)'nin yaptığı çalışmanın amacı, bölgesel su kalitesi krizini hafifletmek için endüstriyel yapının geliştirilmesinin önemini araştırmaktır. Ancak, su kirliliği ile gelişmiş endüstriyel yapının (AIS) uyumlu olup olmadığına dair anlayış eksiktir. Bu iki faktör arasındaki uyum analizinin bölgesel farklılaştırılmış politikaların oluşturulmasında önemli bir rehberlik sağlayabileceği ileri sürülmüştür. Araştırma, Jiangsu Eyaleti'ni bir vaka çalışması olarak ele alarak, 2013-2019 yılları arasındaki su kirliliği durumunu gri su ayak izi (GWF) ve gri su ayak izi yoğunluğu (GWFI) ile nicel olarak analiz etmiştir. Ardından, endüstriyel yapının seviyesini ölçmüş ve AIS'ın özelliklerini ve gelişimini tanımlamıştır. Son olarak, Tapio ayrışma elastikiyet katsayısı kullanılarak GWF ve AIS, GWFI ve AIS arasındaki uyum incelenmiştir. Ana bulgular şu şekilde sıralanabilir: (1) 2013-2019 yılları arasında Jiangsu Eyaleti'nde GWF dalgalanarak azalmış ve genel olarak %27 azalmıştır. GWFI ise sürekli olarak düşmüştür. (2) Jiangsu Eyaleti'nin genel endüstriyel yapısı belirli bir düzeyde gelişmiştir, ancak AIS seviyesi önemli ölçüde iyileşmemiştir ve ikincil sektör hala öncü konumundadır. (3) Jiangsu Eyaleti'nde su kirliliği, toplam miktar ve yoğunluk açısından AIS ile uyumludur. GWF ve AIS arasında güçlü bir ayrışma uyumu (SDA) çoğu yıl için ideal uyum sağlamıştır. GWFI ve AIS arasında ise her zaman SDA

bulunmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma, bölgesel su kirliliği ile endüstriyel yapının uyumunu analiz ederek, etkili su kirliliği kontrolünü sağlamak amacıyla hedeflenmiş politikaların oluşturulmasına katkıda bulunabilecek önemli bir analitik çerçeve sunmaktadır. Adaptasyon analizi sonuçları, bölgesel alanların yönetimi için uygulanabilir ve endüstriyel gelişmenin su çevresinin sürdürülebilir desteklenmesini teşvik etmeye yardımcı olabilir.

Sun vd. (2023)'nin yapmış olduğu çalışmanın amacı, Çin'deki ekonomik büyümenin yetersiz su kalitesi kontrol önlemleriyle ve hızlı endüstrileşme sonucu gerçekleştiği vurgulanmaktadır. Önceki çalışmalar, çok bölgeli girdi-çıktı (MRIO) modelini kullanarak su kirliliği deşarjlarının veya gri su ayak izini takip etmiştir. Ancak, yüzey suyu kirletici konsantrasyonları ile yerel ve dış havzaların nihai tüketimi arasındaki ilişkiyi anlamada bir araştırma boşluğu olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmayla, Çin'in tedarik zincirlerine gömülü havzalardaki yüzey suyu kalitesi bozulmasını haritalamak için ilk ulusal analizi yaptıklarını belirtmişlerdir. Bunu yapmak için, yüzey suyu kirliliği konsantrasyonu ile deşarj arasında havzaya özgü bir ilişki geliştirdiklerini ve ürün ve hizmet ticareti yoluyla farklı havzalardaki su kirliliğini izlemek için bunu MRIO modeliyle birleştirdiklerini belirtmişlerdir. Bulgular, üretim süreçlerinden kaynaklanan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve amonyum azotu deşarjlarının yaklaşık yarısının, kirliliğin ilk olarak salındığı havzanın ötesindeki tüketici taleplerine kadar izlenebileceğini belirtmişlerdir. Su kalitesinde 0,3-2,2 mg/L KOİ ve 0.03-0.31 mg/L azot (farklı havzalardaki kirlilik konsantrasyonları) Çin'deki diğer havzalardan gelen emtiaların nihai tüketimine bağlanabilir. Uluslararası tüketicilerin, su kalitesindeki bozulmanın artmasına katkıda bulundukları belirtilmiştir. Yüksek kirlilik konsantrasyonları genellikle kuru olan Kuzey Çin'de yoğunlaşmıştır, çünkü bu bölgedeki su kıtlığı olan havzalar insan kirliliği yüklerine karşı daha hassastır. Su kirliliğini dışarıdan temin eden havzalar, esas olarak üretimi ve müteakip su kalitesi bozulmalarını, diğer havzalara taşeron olarak sağlayan, gelişmiş ekonomilerdir. Bu çalışmanın, su kalitesi ve tedarik zincirleri arasındaki etkileşimleri vurguladığı belirtilmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal su kirliliği kontrolünün, ekosistemleri iyileştirme, sürdürülebilir kalkınma teşvik etme ve bireylerin sağlık ve refahına katkı sağlamadaki

önemini vurgulayan bir çalışma, Çin'in en kirli su bölgelerinden biri olan Wei Nehri havzasında gerçekleştirilmiştir. Temmuz 2022'ye kadar devam eden dönemde bu bölgede yaşayan ve çalışan 427 çiftçiden anket cevapları toplanmıştır. Çalışma, çiftçilerin kırsal su kirliliği kontrolüne yönelik tercihlerini ve istekliliklerini anlamayı ve açıklamayı amaçlamaktadır. Bu amaçla tercih deneyi (CE) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, planlanan davranış teorisi (TPB) çerçevesini kullanarak psikososyal faktörlerin çiftçilerin tercih ve ödeme davranışları üzerindeki etkisini incelemiştir. Risk algısı, bilgi, ahlaki normlar ve öznel normlar gibi ek faktörler de analize dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çiftçilerin kırsal su kirliliği kontrolü özelliklerine yönelik tercihlerinde heterojenlik olduğunu göstermiştir. Ancak çoğunluğunun su kalitesini iyileştirmenin önemini değerlendirdiği bulunmuştur. Araştırma, TPB ve ek faktörlerin çiftçilerin davranışlarını açıklamada etkili olduğunu göstermiştir. Yüksek skor alan çiftçiler, kırsal su kirliliği kontrolünü zaten yapma eğiliminde olmuş ve devam etme isteği göstermiştir. Ayrıca latent sınıf (LC) modeli kullanılarak çiftçiler üç farklı sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar arasında özellik tercihleri ve ödeme istekleri açısından farklılıklar bulunmuştur. Sonuç olarak, çiftçilerin kırsal su kirliliği kontrolüne büyük önem verdiğini ve tercihlerindeki farklılıkların psikososyal faktörlerle ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, gelişmekte olan ülkelerde kırsal su kirliliği kontrolünün teşvik edilmesi ve çiftçilerin refahını artırması için yeni bir yol sunmaktadır (Mu vd., 2023).

Gao ve arkadaşlarının (2023) yapmış olduğu çalışmada, anahtar parametrelere dayalı su kalitesi indeksi minimum (WQImin) modeli ile doğruluk ve kullanıcı dostluğunu artırmak amaçlanmıştır. Kirlilik kaynaklarının karmaşık etkileşimleri, nicel olarak belirlenmelerini zorlaştırmaktadır. İstatistiksel yöntemlerden Temel Bileşen Analizi (PCA) ve APCS-MLR modeli, kirlilik kaynaklarını belirlemede yardımcı olabilmekte ve APCS-MLR modeli, güvenilir bir model olarak kabul edilmektedir. Çalışmanın kapsamında Çin'deki Xianghai Gölü havza olarak seçilmiş olup, bu göl göçmen kuşlar ve tarım alanları için kritik bir mola noktasıdır. Örnekleme noktaları göl boyunca belirlenmiş ve 11 su kalitesi parametresi izlenmiştir. Verilerin tahmininde Ters Mesafe Ağırlıklı uzamsal interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. PCA ve Faktör Analizi (FA), temel su kalitesi parametrelerini belirlemekte kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir. Göl sulak alanlarının daha etkili bir şekilde analiz edilmesi için

WQImin modeli çalışma kapsamında geliştirilmiştir. PCA-APCS-MLR modeli, Xianghai Gölü'ndeki kirlilik kaynaklarını belirlemede kullanılmış ve ağırlıksız WQImin modeli, daha doğru su kalitesi değerlendirmeleri sağlamıştır. Gölün genel su kalitesi, kimyasal oksijen ihtiyacı önemli bir sınırlayıcı faktör olduğu için 'orta' olarak değerlendirilmiştir. Noktasal olmayan kaynak kirliliği (%31,65) en büyük etkiye sahipken, sediment kaynaklı kirlilik, fitoplankton ve su sızıntıları sırasıyla %25,12, %19,65 ve %23,58 oranında katkıda bulunmuştur.

İnsan kaynaklı kirlilik, özellikle Sri Lanka gibi gelişmekte olan ülkelerde, dünya genelindeki kanalların su kalitesini bozmada önemli bir rol oynamaktadır. St. Sebastian Kanalı, Sri Lanka'nın ana kanallarından biridir ve Kolombo şehrinin içinden geçer; bu kanal büyük miktarda evsel, belediye ve endüstriyel atık ürünlerini toplar. Hemachandra ve Sewwandi (2023) tarafından yapılan çalışmada, St. Sebastian Kanalı'nın su kirliliği durumunu değerlendirmek için su kalite parametrelerini Sri Lanka'daki sucul yaşam için, su kalite standartlarıyla karşılaştırarak su kirliliği ve ağır metal kirliliği indeksleri geliştirmek amaçlanmıştır. Su örnekleri fiziksel ve kimyasal parametreler ve ağır metaller açısından analiz edilmiştir. Sonuç olarak, St. Sebastian Kanalı boyunca çeşitli bölgeler için Su Kirliliği İndeksi (WPI) ve Ağır Metal Kirliliği İndeksi (HPI) geliştirilmiştir. WPI değerleri 0.64 ila 1.93 arasında değişmekte olup, ortalama değeri 1.12 olarak hesaplanmış ve St. Sebastian Kanalı'nın suyunun oldukça kirlendiğini göstermiştir. HPI ortalama değeri 50 olarak bulunmuş ve bu değer, 30 olan kritik HPI değerinin üzerinde olup, kanal suyunun ağır metallerle kritik bir şekilde kirlendiğini göstermektedir. Ayrıca, WPI'ya göre 1, 5, 6, 7, 8 ve 9 numaralı bölgelerin ve HPI'ye göre 1, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 numaralı bölgelerin yüksek derecede kirlendiği belirlenmiştir. Bu, WPI ve HPI'nın her ikisinin de su kirliliği seviyesini değerlendirmek için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir; çünkü 4 numaralı bölge HPI'ya göre yüksek derecede kirlenmiş bir bölge olarak sınıflandırılırken, WPI'ya göre iyi bir su kalitesi göstermektedir. Bu nedenle, WPI ve HPI tarafından belirlenen bölgesel su kirliliği değerlendirmesi, ilgili otoritelere belirli bir konumdaki kritik kirleticilere yönelik düzeltme yöntemlerini uygulamalarına, kirleticileri tanımalarına ve farklı kaynaklardan gelen deşarjların su kaynağına etkilerini azaltmaya yönelik önlemler almalarına yardımcı olacaktır.

Yüzey sularının kirliliğinde tarım, endüstri gibi faktörlerden kaynaklanan etkiler haricinde hava kirliğinin de etkisi vardır. Bu konu üzerine Tzortziou vd. (2023)'nin yayımlamış olduğu çalışmada havadaki uçak egzorlarından kaynaklı $NO_2$'nin kıyı sularının kirliği üzerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, kentsel sahil bölgelerindeki nitrojen dioksit ($NO_2$) kirliliğinin mekânsal ve zamansal dinamiklerini karakterize etmek ve bu kirliliği etkileyen faktörleri belirlemektir. Özellikle iklim değişikliği ile mücadele eden yoğun nüfuslu kentlerin sahil bölgelerinde $NO_2$ kirliliğinin karmaşık etkileri incelenmiştir. Çalışmanın bulguları, farklı platformlardan (gemiler, karasal ağlar, uçaklar ve uydu) elde edilen ölçümlerin entegrasyonunun, New York metropol alanının toplam sütun $NO_2$ ($TCNO_2$) dinamiklerini anlamada önemli olduğunu göstermektedir. Uydu verileri ile yüzey ölçümleri arasında güçlü bir korelasyon bulunmasına rağmen, uydu verilerinin genel olarak $TCNO_2$'yi küçük tahmin ettiği ve özellikle trafik saatlerinde veya deniz esintileri sırasında oluşan $NO_2$ kirliliği piklerini kaçırdığı görülmüştür. Ayrıca, çalışma, karmaşık insan etkisi, kimya ve yerel ölçekli meteorolojinin etkileşimlerinin, $NO_2$ davranışında hızlı geçişleri ve ince ölçekli özellikleri nasıl etkilediğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, bu çalışma, $NO_2$ kirliliğinin kentsel sahil bölgelerindeki dinamiklerini anlamada farklı ölçüm platformlarının ve analitik yöntemlerin entegrasyonunun ne kadar değerli olduğunu göstermektedir. Bu bilgi, hava kalitesi modellerini geliştirmek, uzaktan algılama algoritmalarını iyileştirmek ve yönetim kararları almak için önemli bir temel sağlamaktadır. Ayrıca, kentsel sahil bölgelerinde yaşayan toplulukların ve hassas ekosistemlerin sağlığı üzerindeki etkileri göz önünde bulundurarak, hava kirliliği yönetimi ve iklim değişikliği etkileri hakkında daha iyi anlayış sağlamaktadır.

Su kalitesi ve kirliği üzerine yürütülen araştırma projelerinde de yeni yaklaşımlar geliştirilmektedir. Bu sayede su kalitesinin ve kirliliğinin olası kirleticilerle olan ilişkileri ile kirliliğin çevreye ve canlılara olan etkileri üzerine ilişkiler kurulmaya çalışılmaktadır. Örneğin Wang vd. (2023)'nin yapmış olduğu güncel bir çalışmada, nehir sistemlerindeki organik kirliliğin kaynaklarını belirlemek ve bu kaynakların su kalitesine olan katkılarının nicel olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, "Urban Disturbed Index" (UDI) adı verilen bir indeks geliştirilmiştir. Bu indeks, nehir suyunun akışıyla birleştirilerek havza ölçeğinde kentsel alanların organik kirliliğe olan mevcut ve potansiyel etkilerini ölçmektedir. Çalışmanın

bulguları, kentsel kaynakların (noktasal ve yayılım kaynaklarının) nehirdeki organik kirliliğe olan katkısının belirlenmesi ve bu katkıların mekânsal dağılımıyla aralarındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Araştırma, organik kirliliğin nehirlerdeki akışa ve su kalitesine olan etkilerini anlamada UDI'nin etkili bir araç olduğunu göstermiştir. Çalışmanın sonucu ise, UDI ile elde edilen verilerin, nehir suyu kalitesi planlamasını ve yönetimini geliştirmek için kullanışlı olduğunu vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, havza ölçeğindeki organik kirlilik kaynaklarını anlamak ve ölçmek için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, çalışma yeraltı su deşarjının organik kirliliğe olan etkilerini de ele almış ve bu konuda gelecekteki araştırmalar için yönlendirici bir perspektif sunmuştur.

Su kirliliği ve kalitesinin izlenmesinin yollarından biri de radyoaktivite içerip içermediğinin kontrolünün yapılmasıdır. Radon, radyoaktif, monatomik ve ağır bir gazdır. Renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Doğal olarak radyum bozunması sonucu oluşur, alfa ve beta ışınları yayarak etki eder. Konutlarda radon seviyeleri yerel olarak farklılık gösterir ve yüksek uranyum, radyum ve torium içeren yerlerde daha fazla bulunur. Radon, mağara, tünel, maden gibi düşük alanlarda birikebilir. Yani yeraltı sularında bulunma olasılığıa daha fazladır. Ortalama yıllık radon konsantrasyonu için önerilen referans seviyesi Atom Kanunu'na (2000) göre 300 Bq/m³'dir. İyonlaştırıcı radyasyonun en tehlikeli etkisi, özellikle akciğer kanseri gibi solunum yolu kanserlerine neden olan DNA hasarıdır. Radon, genellikle solunum yoluyla vücuda girer. Ayrıca, radon tıbbi tedavilerde, özellikle radon balneoterapisinde kullanılır. Radonun düşük dozlarda DNA hasarını onarmaya yardımcı olduğu teorisini doğrulayan olumlu etkileri vardır (Dobrzynska vd., 2023).

Suriadikusumah vd. tarafından (2021) Cipeusing nehrinin (Endonezya) su kalitesi ve kirliliğini belirlemek için yapılan çalışmada, su kalitesi standartlarına dayalı olarak göreceli kirlilik seviyelerini ölçmek amaçlanmıştır. Endonezya, Batı Java'da bulunan Cipeusing Nehri, en yoğun şekilde kirlenmiş nehirlerden biri olarak görülmüş ve kirlilik indeksi yöntemiyle kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır. 2016 ve 2017 yılları arasında yürütülen çalışmada, kirlilik seviyelerini ölçmek için Kirlilik Endeksi (PI) metodolojisini kullanılmıştır. Sonuçlar, 2016 ve 2017 yılları arasında su kirliliğinde önemli bir değişiklik olduğunu ortaya koymuştur. 2016 yılında fiziksel, kimyasal ve

mikrobiyolojik analizler için PI yöntemini uygulayan Cipeusing Nehri, 5,05 ile 7,07 arasında orta düzeyde kirliliğe işaret eden bir skor sergilemiştir. Ancak 2017'de bu rakam 15,65-17,65'e çıkarak ciddi bir kirliliğe işaret etmiştir. En belirgin kirlilik indeksi nehrin aşağı kesimlerinde tespit edilmiştir.

Boyalı Göleti'nde su kalitesindeki mekansal ve zamansal değişimler analiz edilmiştir. Analiz, içme suyu için Dünya Sağlık Örgütü standartlarına dayanan Su Kalitesi İndeksi ve Türkiye'deki Su Kalitesi Kontrol Yönetmelikleri ile çeşitli çoklu istatistiksel yöntemlerin kullanılmasını içermektedir. Toplanan veriler, Boyalı Baraj Gölü'nün Sınıf I ve Sınıf II kategorilerine giren su kalitesine sahip olduğunu göstermiştir. Su Kalitesi İndeksi sonuçları, su kalitesinin özellikle yaz aylarında önemli ölçüde düşmesine rağmen, rezervuarın analiz edilen tüm aylarda ve istasyonlarda "A Sınıfı - Mükemmel" su kalitesi derecesini koruduğunu ortaya koymuştur. Ancak Su Kalitesi İndeksi değerleri baraj gölünde 16,4 ila 27,8 arasında değişmekte olup, kaydedilen limnolojik parametreler araştırılan tüm aylar ve istasyonlar için içme suyu standartlarının altında kalmıştır (Mutlu vd., 2021).

Hossain ve Patra (2020), su kirliliği indeksi kullanarak su kalitesini yeni bir bütünleşik yaklaşımla sınıflandırma çalışmalarında şunları ifade etmektedirler; su kalitesini insan tüketimi için belirlemek amacıyla birçok endeks geliştirilmiştir, fakat her birinin yaygın kullanımını kısıtlayan bazı dezavantajları vardır. Bu nedenle, evrensel olarak kabul edilebilecek yeni bir yaklaşım su kalitesini sınıflandırmak için gereklidir. Hindistan'ın Batı Bengal eyaletinin Birbhum bölgesindeki su kalitesi durumu, 368 yeraltı su örneği üzerinde (muson öncesi ve sonrası toplam 184 örnek) uygulanan yeni formüle edilmiş Su Kirliliği İndeksi (WPI) yöntemi ile sunulmuştur. Bu yeni yöntem esnek ve hesaplaması diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Bu yeni yaklaşıma göre, su kalitesi temel olarak gözlenen konsantrasyon(Ci) ile standart izin verilen konsantrasyon(Si) arasındaki ilişkiye dayanır ve kullanıcı isteğine göre uygulanan toplam değişken sayısına (n) ayarlanabilir. WPI, dört su kalitesi kategorisi önermektedir: WPI<0,5 mükemmel kaliteyi, 0,5<WPI<0,75 iyi kaliteyi, 0,75<WPI<1 orta derecede kirli suyu, 1<WPI ise yüksek derecede kirli suyu ifade eder. Bu çalışma alanında, WPI değeri 0,38 ile 1,94 arasında değişmektedir ve ortalama değeri 0,831'dir, bu da yeraltı suyunun orta derecede kirli olduğunu göstermektedir. Ampirik

bayesian kriging enterpolasyonuna dayalı coğrafi bilgi sistemi mekansal haritası, WPI'nın mevsimsel değişimini açıkça yansıtmaktadır. Veri setlerinin normallik testi, Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edilmiştir ve anlamlı bir fark gözlenmiştir. Yeni WPI değeri, Bland-Altman analizi ile anlaşma sınırları ve yanlılık değeri kullanılarak doğrulanmıştır. Bu yeni WPI değeri, çeşitli su kirliliği çalışmalarında mevcut su kalitesi endekslerinden daha iyi uygulanabilirliğini ve sonuçlarını göstererek büyük bir uyum sağlamıştır.

Ustaoğlu ve Tepe (2019) Pazarsuyu Deresi'nin yüzey suyu kalitesinin mekânsal ve zamansal varyasyonlarını ve sedimentteki metal kirlilik düzeyini çoklu değişken istatistik teknikleri ve kirlilik göstergeleri kullanarak belirlemişlerdir. Su ve sediment örnekleri standart yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. Pazarsuyu Deresi havzasının yüzey suyu kalitesindeki mekânsal ve zamansal değişkenlikleri değerlendirmek için çoklu değişken istatistiksel teknikler kullanılmıştır. Hiyerarşik küme analizi, dört örnekleme noktasını ve 28 parametreyi benzer su kalitesi karakteristiklerine sahip iki kümeye ayırmıştır. Temel bileşenler analizi, 1'den büyük olan ve toplam varyansın %82,88'ini oluşturan altı faktör üretti. Bu altı faktörün adı sırasıyla "iyonik faktör", "tarım drenaj faktörü", "organik faktör", "nitrat faktörü", "evsel atık faktörü" ve "Toplam askıda katı madde faktörü"dür. Su kalitesi parametrelerinin ortalama değerleri SWQMR ve total fosfata göre değerlendirildi; aniyonik yüzey aktif madde, amonyum azot, nitrit azotu II. sınıf, fenol III. sınıf ve diğer parametreler I. sınıf su kalitesindedir. Sonuçlar, ulusal ve uluslararası su kalitesi kriterlerine göre değerlendirilmiş ve bazı istasyonlardaki su kalitesi parametrelerinin bu kriter seviyelerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, yüzey sularının su kalitesi üzerine yapılan çalışmalarda daha iyi bilgi elde etmek için Pearson Korelasyon İndeksi, Temel Bileşen Analizi, Küme Analizi, Tek Yönlü Varyans Analizi gibi istatistiksel tekniklerin kullanılması gerektiğini göstermiştir.

Tanjung ve Hamuna (2019) tarafından yapılan çalışmada, Endonezya'nın Mimika sularının kalitesini incelemek ve fizikokimyasal parametrelere dayalı olarak su kirlilik indeksini belirlemek amaçlanmıştır. Analizler Ekim 2016'da altı istasyondan (Moga, Puriri, Inaoga, Keakwa, Atuka ve Pomako suları) alınan su örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Su kalitesinin ve kirliliğinin belirlenmesinde su bulanıklığı, BOİ,

$NH_3$ gibi fizikokimyasal parametreler ve ağır metaller (Hg, As, Cd, Pb, Cu, Zn, Ni ve Cr) incelenmiş olup, tüm çalışma istasyonlarında değerler havza koşullarına uygun bulunmuştur. Mimika kıyı sularında kirlilik indeksi hesaplaması sonucu, 3,51 ila 6,95 kirlilik indeksi değerleri ile az kirli (Keakwa ve Pomako suları) ve orta derecede kirli (Moga, Puriri, Inaoga ve Atuka suları) olarak sınıflandırılmıştır. Kalite standartlarının aşıldığı $NO_3$, $PO_4$ ve $H_2S$ gibi parametrelerin işare ettiği kirliliğin, besin elementleri için çevresel parametreler olduğu ve sularda ötrofikasyonu tetikleyebileceğine dikkat çekmişlerdir.

Alpsarı Göletinde yapılan çalışma, Haziran 2014'ten başlayarak, gölet içindeki üç farklı istasyondan toplanan su örnekleri ile bir yıl boyunca gerçekleştirildi. Su kalitesini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için toplam 21 fizikokimyasal parametre ve 7 ağır metal analiz edildi. Özellikle, bu çalışma, sulama amacıyla kullanılan bu göletin ilk kapsamlı araştırmasını temsil etmektedir. Çalışmanın bulguları, Alpsarı Göleti'nin su kalitesinin hem sucul organizmaları hem de sucul yaşamı desteklemek için uygun olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, sonuçlar aynı zamanda göletin öncelikle evsel ve hayvansal atıklardan kaynaklanan kirlilik baskısı altında olduğunu ortaya koydu. Su kalitesi, SWQMR kriterlerine göre Sınıf I-III-IV olarak kategorize edildi ve düzenleyici standartlara göre gerçek kalite seviyelerini gösterdi (Mutlu ve Uncumusaoğlu, 2017).

Çiğdem Göleti'nin yüzey sularındaki su kalitesi ve ağır metal seviyelerini tespit etmek için yapılan çalışmada, belirlenen istasyonlardan su örnekleri toplanmıştır. pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, trofik maddeler ve diğer ilgili parametreler ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Ayrıca sudaki kurşun, cıva, kadmiyum vb. gibi ağır metallerin konsantrasyonu değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda araştırılan parametreler açısından Çiğdem Gölet'nin I. Sınıf sular kategorisinde olduğu tespit edilmiştir (Kurnaz vd., 2016).

Effendi (2016) nehir suyunun kalitesini belirlemek için kirlilik endeksi kullanarak bir ön hızlı değerlendirme metodu sunmuştur. Nehirler kıyılarındaki çeşitli faaliyetlerden etkilenen dinamik bir ekosistem olduğundan, nehir su kalitesinin hızlı bir şekilde yorumlanmasının zorunlu olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, Endonezya'daki IPB

Dramaga Kampüsü yakınlarındaki konumlarda kirlilik indeksi kullanılarak bir ön hızlı nehir suyu kalitesi durumu belirleme simülasyonu yapılmıştır. Cihideung Nehri, Ciapus Nehri ve PPLH Gölü'ndeki 5 sahada yapılan toplu örneklemeye dayalı olarak, tüm su kalitesi parametresi, 82/2001 Sayılı Hükümet Yönetmeliğinde şart koşulduğu gibi, balıkçılık ve hayvancılık için su kalitesi standardı sınıf III'ü karşılamıştır. Su kirliliği endeksinin 5 numune alma alanına uygulanması 0,728 ila 0,892 arasında değişen su kirliliği indeksi ile iyi su kalitesi durumunu göstermiştir.

Çimenyenice Gölü'ndeki su kalitesi koşullarını değerlendirmek üzere yapılan çalışmada, pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen ve diğer fizikokimyasal su kalitesi parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre göletin su kalitesi I. ve III. Sınıf seviyeler arasında olduğu belirlenmiş olup, su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerine uygun olmadığı tespit edilmiştir (Mutlu vd., 2014).

Bhat vd. (2014) Sukhnag nehrinde kirlilik kaynağının tespiti için su kalitesi parametrelerini istatistiksel olarak değerlendirmişlerdir. Ramsar alanı olan Wular Gölü'nün ana giriş akışlarından biri olan Sukhnag çayının bozulan su kalitesini istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Temel bileşen analizi, regresyon analizi ve küme analizi gibi istatistiksel teknikler 26 su kalitesi parametresine uygulanmıştr. Temel bileşen analizi, azaltılmış sayıda ortalama 2 değişken faktörü tanımlamıştır. Bu, zamansal ve mekansal değişikliklerin %96'sının bu akıştaki su kalitesini etkilediğini göstermektedir. Bray-Curtis küme analizi, IV ve V. lokasyonlar arasında %96 ve II. ve III. lokasyonlar arasında %94 benzerlik göstermiştir. Mevsimsel benzerliğin dendrogramı; ilkbahar ve sonbahar arasında maksimum %97 ve kış ve yaz kümeleri arasında %82'lik bir maksimum benzerlik göstermiştir. Nitrat, nitrit ve klorür için birikim faktöründeki eğilim, aşağı akış konsantrasyonlarının yukarı akış konsantrasyonundan sırasıyla yaklaşık 2,0, 2,0 ve 2,9 kat daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Sapanca Gölü Havzası'ndaki (Türkiye) dere suyu kalitesi, Kanada Çevre Bakanları Konseyi Su Kalitesi İndeksi (CCME - WQI), Oregon Su Kalitesi İndeksi (OWQI) ve Ulusal Hijyen Vakfı Su Kalitesi İndeksi (NSF - WQI) açısından incelenmiştir. Temel amaç, derelerdeki mevcut kirlilik durumunu görmek ve aynı zamanda yerel verileri

kullanarak önde gelen üç uluslararası su kalitesi indeksini karşılaştırmaktır. Ayrıca, özellikle Ulusal Hijyen Vakfı Su Kalitesi İndeksi (NSF-WQI)'nden adapte edilen bir modifiye model hazırlanmıştır. Modifiye edilmiş WQI, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen, toplam çözünmüş katılar, toplam askıda katılar, kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), klorür (Cl), sülfat ($SO_4$), ortofosfat-fosfor (o-$PO_4$-P), nitrat ($NO_3$-N), nitrit ($NO_2$-N), 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ5) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) oluşumunu içerir. Sınırlı sayıda parametre kullanarak yeterli sonuçlar elde etmek için modifiye indeksler geliştirmek, çok sayıda parametreyi ölçmek için gereken maliyeti korumak için özellikle yararlıdır. Bu nedenle bu araştırmanın amacı, kirlilik parametrelerinin sayısını azaltmaktır. Bu amaçla, sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen (ÇO), toplam askıda katı (TAKM) ve elektriksel iletkenlik (EC) dikkate alan WQImin (minimum) oluşturuldu. Aynı metodoloji, ötrofikasyon parametreleri kullanılarak tekrarlandı. ÇO, o-$PO_4$-P, $NO_3$-N, $NO_2$-N, BOİ5 ve KOİ parametrelerini içeren alternatif bir indeks olan WQIeut (ötrofikasyon) geliştirildi. Geliştirilen indeksler ile on beş parametreli WQI arasında iyi bir ilişki bulundu. Son olarak, araştırma Sapanca Gölü ve onu besleyen dereler için ötrofikasyon tehdidi ortaya çıkardı. Sapanca Gölü'nde tarihsel olarak ötrofikasyon tehdidi olduğu, ancak son yıllarda yüksek risk olmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda Su Kalitesi İndeksi uygulamasının maliyetini en aza indirgemeyi amaçlamıştır ve bu araştırma kapsamında yeni WQI'lar (WQImin ve WQIeut), gereken su kalitesi parametrelerinin sayısını azaltarak başarıyla geliştirilmiştir. Devlet Su İşleri (DSİ) ile yapılan kişisel iletişim, bu yaklaşımla %70'e kadar maliyet tasarrufu sağlandığını ortaya koymaktadır. Gelecekteki bir yönelim olarak, bu çalışmanın metodolojisi Türkiye ve yurtdışındaki diğer havzalara uygulanabilir. Düşünülen kirlilik parametrelerinin sayısı 15'ten 5'e düşürüldüğünde, Modifiye WQI ve WQImin arasında iyi bir korelasyon elde edilmiştir. Benzer bir durum, Modifiye WQI ve 6 parametreli WQIeut arasındaki korelasyon için de gözlenmiştir. Potansiyel parametrelerin büyük bir sayısını daha küçük bir alt kümeye indirgerken sonuçların güvenilirliğinde önemli bir değişiklik olmayacaktır. Bu, önceki çalışmalara kıyasla önemli bir gelişmedir. Bu çalışmanın en önemli kısıtlamalarından biri, kirlilik parametreleri için atanan ağırlık faktörü ile ilgilidir. Parametre sayısı yüksekse, birçok parametrenin önemi eşit olarak kabul edilmelidir. Önerilen bir iyileştirme olarak,

gelecekteki çalışmalarda düşünülen kirlilik parametrelerinin sayısı ve ağırlık faktörleri uygun şekilde belirlenmelidir (Akkoyunlu ve Akiner, 2012).

Maillard ve Santos (2008) yarı kurak bir ortamda arazi kullanımının ya da arazi örtüsünün yakındaki akarsuyun kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir metodoloji tarif edilmiş ve Güneydoğu Brezilya'daki büyük bir havzada test edilmiştir. Yaklaşım, farklı su kalitesi parametreleri üzerinde en güçlü etkiye sahip olan sulak alanın genişliğini belirlemeyi amaçlamıştır. Arazi kullanımı ya da arazi örtüsü verileri, uzaktan algılanan verilerden üretilirken, su kalitesi nokta verileri bir devlet kurumu tarafından sağlanmıştır. Yüzey akışının doğrudan etkisini anlamak için hem yağışlı hem de kurak mevsimlerde testler yapılmıştır. Yaklaşım, su kalitesi, arazi kullanımı ve nehirden uzaklık arasındaki ilişkinin gücünü anlmak için bir coğrafi bilgi sistemi ve istatistik kullanan kartografik modellemeyi birleştirir. Sonuçlar, arazi kullanımı ya da arazi örtüsü ile bulanıklık, nitrojen ve fekal koliformlar arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca, akıştan uzaklık düşünüldüğünde bu parametrelerin her birinin benzersiz bir davranışa sahip olduğunu öne sürüyorlar. Son olarak, yağışlı mevsimde modellerin daha iyi uygulanacağı beklenmesine rağmen, bazı parametrelerin kuru mevsimde tam tersi davrandığı ve daha iyi uyum gösterdiği görülmüştür.

Su kalitesi sınıflandırmasında farklı bir yaklaşım da bulanık değerlendirmesidir. Su kalitesi parametrelerinin geleneksel sınıflandırma yöntemlerinde kesin küme kullanılır ve limitlere yakın veya uzak olan konsantrasyon değerleri aynı sınıflarda değerlendirilir. Ayrıca, kalite belirlemede genellikle birkaç parametre dikkate alınır; bu nedenle, parametre sınıflarının farklılıkları, özellikle kamuoyunda belirsiz olabilir. Bu çalışmada, bulanık mantık kullanarak yüzey suyu kalite sınıflandırmasının kalite değerlendirmesi için bir indeks modeli önerilmiştir. Yöntemde, geleneksel kalite sınıfları sürekli forma dönüştürülür ve daha sonra farklı kalite parametrelerinin konsantrasyon değerleri bulanık kurallar kullanılarak toplanır, son olarak bu toplanan değerlerin bulanıklaştırılması indeksi geliştirir. Eber Gölü (Türkiye) suyundaki fiziksel ve inorganik kimyasal parametreler için önerilen bu indeks modelinin bir uygulaması, bu indeksin pratik uygulamasını ve fizibilitesini göstermek için incelenmiştir. Eber Gölü'nün bir örnekleme noktasındaki fiziksel ve inorganik

kimyasal parametre gözlemleri kullanılmıştır. Parametreler geleneksel yöntemle sınıflandırılmıştır ve bu parametreler için dört kalite sınıfı belirlenmiştir. Bu gözlemler, bu çalışmada önerilen yöntemde de dikkate alınmıştır. İlk olarak, geleneksel sınıflar sürekli bir forma dönüştürülmüş ve böylece bir indeks değeri elde edilmiştir. Bulanık mantıkla elde edilen sürekli biçim, daha doğru bilgiler elde etmek için kullanılabilir. Kavramsal olarak, bulanık mantığın kullanımı basittir; ancak burada kullanılan yöntemin gücü, farklı türdeki kalite gözlemlerini entegre etme yeteneğinden gelmektedir. Orantısız etkiler dahil edilmemiştir; ancak bu yöntemde orantısız etkilerin de dikkate alınabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, bu yöntem su kirliliğini değerlendirmek için uygun bir aday olabilir (Icaga, 2007).

Milovanoviç (2005) tarafından Balkan Yarımadası'nda bulunan Axios/Vardar Nehri'nin su kalitesini belirlemek için yapılan çalışmada, 1979–2003 yılları arasında nehir boyunca 22 örnekleme istasyonundan alınan su örneklerinden yapılan BOİ, Cd, Cr, Zn, Pb ve nitrat, nitrit, amonyum ve toplam fosfor ölçümleri incelenmiştir. 1979–83, 1984–88, 1990–95 ve 1996–2003 yılları için mekansal ve zamansal eğilimler için ortalama değerler belirlenmiştir. Nehir suyunun kalitesi su havzasının içindeki Veles'in izabe ve gübre tesislerinden, Jegunovce'deki demir-alaşım tesislerinden ve katı atıklarının nehir yatağının yakınında bertaraf edilmesinden ve yerel işletmelerden kaynaklanan arıtılmamış endüstriyel atık su deşarjından etkilendiği bulunmuştur. Besinsel kirlilik, Veles, Koufalia ve Kalkandelen ekili alanlarından gelen tarımsal akışlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, noktasal kirliliğin arıtılmamış evsel atık suların yanı sıra yüzey sularını ve yeraltı sularını kirleten yasadışı depolama sahalarından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Karakoç vd. (2003), su kalitesi ve kirlilik kaynaklarının etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, Ankara'nın yakın çevresinde hidrolojik olarak birbirine bağlı iki sığ göl olan Mogan ve Eymir Göllerini incelemişlerdir. Toplam 971,4 $km^2$'lik havzanın 245 $km^2$'si "Gölbaşı Özel Çevre Koruma Alanı" statüsündedir. Kapsamlı tarım, rekreasyon, tamamlanmamış altyapı ve konut yerleşimleri gibi diğer insan faaliyetlerinden kaynaklanan potansiyel etkiler, önceki ve daha yakın tarihli kirlilik izlemesine atıfta bulunularak tartışılmıştır. Bu çalışmada önceki çalışmaların takibini sağlayan altı izleme istasyonu seçilmiştir. Bunlar göl sistemlerini besleyen derelerin

üzerindedir. Genel olarak yaz ayları, Mogan Gölü'nden gelen akış nedeniyle kirleticilerin yoğunlaştığı Eymir Gölü'nde daha ağır kirlilik yükleri göstermiştir. 1995 araştırması ile karşılaştırıldığında; KOİ, toplam-P, Kjeldahl-N altı istasyonda yakındı veya bu çalışmada biraz azaldı. Askıda katı maddeler muhtemelen erozyon kontrol önlemleri ve azalan evsel atık suyu nedeniyle, önemli ölçüde azaldı. Göllerin kirlilik durumundaki iyileşme, Mogan Gölü çevresini dolaşan ve atık su deşarjlarını toplayan bir kanalizasyon sisteminin inşası ve konutlardan gelen etkiyi kontrol eden arazi kullanım planını ile birlikte, göllerin etrafındaki kentsel yerleşim gelişimine getirilen kısıtlamalara bağlanıyor. 1995 yılından bu yana askıda katı madde (SS) miktarı önemli ölçüde azalmıştır. Olası nedenler daha iyi erozyon kontrolü, bölgedeki tamamlanmış otoyol ve kooperatif konut inşaat çalışmaları ve yukarıda bahsedilen kanalizasyon sistemine toplanan evsel atık suyunun azalması olabilir.

Radon gazının, solunduğunda ve alındığında akciğer ve mide kanserleri için temel sağlık riskleri oluşturduğu düşünülmektedir. Kurnaz ve Çetiner (2016)'in yaptığı çalışma ile Kastamonu Şehir Merkezi (Türkiye) için hem yerleşim yerlerindeki musluk suyu hem de baraj suyu örneklemlerinin radon aktivite konsantrasyonlarının ölçümleri yapılmıştır. Çalışma alanında, dört farklı konumdan toplanan 60 musluk suyu örneği ve 12 baraj suyu örneğinin radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Tüm yerleşim yerlerindeki musluk suyu örnekleri ve baraj suyu örnekleri için ortalama değerler sırasıyla 0.050 Bq/L ve 0.741 Bq/L olarak belirlenmiştir. Su kullanıldığında havaya salınan radonun solunması ve içme suyu olarak tüketimesi yoluyla alınabilecek yıllık etki dozları hesaplanmıştır. Solunum ve içme yoluyla alınabilecek ortalama değerler sırasıyla 0.1266 μSv/y ve 0.0105 μSv/y olarak bulunmuştur. İçme yoluyla alınabilecek radon maruziyeti için yıllık etki dozları bebekler, çocuklar ve yetişkinler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sonuçlar uluslararası önerilen güvenli limitlerle karşılaştırıldığında, Kastamonu Şehir Merkezi'nin musluk suyunun, radon aktivite konsantrasyonları açısından içme suyu olarak kullanımı güvenlidir değerlendirmesi yapılmıştır.

Alzaridi ve Kurnaz (2022)'ın yaptığı çalışmada, Kastamonu'da tüketilen içme suyu örneklerinde potansiyel toksik elementlerin ve radon gazının konsantrasyonları incelenmiştir. Musluk suyu ve şişe suyu örnekleri toplam 10 farklı element ve radon

açısından analiz edilmiştir. Musluk suyu örneklerinde Cd, Co, Cr, Fe, Mn ve Pb tespit sınırının altında bulunurken, iki örnekte As konsantrasyonu ulusal ve uluslararası sınırların üzerinde çıkmıştır. Bir şişe suyu örneğinde Cd ve Pb konsantrasyonları da sınırların üzerinde bulunmuştur. Radon aktivite konsantrasyonu musluk suyu örneklerinde 35.7 mBq/L, şişe suyu örneklerinde ise 16.1 mBq/L olarak belirlendi. İçme suyunun alınması ve solunumu sonucu oluşan yıllık etkili doz bebekler, çocuklar ve yetişkinler için hesaplanmış, elde edilen radyolojik değerler Dünya Sağlık Örgütü önerilerinin altında kalmıştır. Sonuç olarak, musluk suyunun toksik elementler ve radon açısından şişe suyundan daha iyi kimyasal kaliteye sahip olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca, incelenen içme suyu örneklerinde radon kaynaklı radyolojik riskin ihmal edilebilir düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çoğu ülke planlanan inşaatlarda mevcut meskenlere göre daha düşük radon referans seviyeleri uygulamaktadır. AB Üye Devletleri arasında, yeni meskenler için iki ülke 200 Bq/$m^3$'lük referans seviyeleri uygulamıştır (Birleşik Krallık ve İsveç), sekizinde tavsiye seviyesi vardır ve beşinde referans seviyesi yoktur. AB üyesi olmayan Avrupa ülkelerinden dokuzu zorunlu referans seviyelerine sahiptir, üçü tavsiye seviyesindedir ve beşinde referans seviyesi yoktur. Çoğu ülke 200 Bq/$m^3$ referans seviyesi uygular. Ancak Letonya 300 Bq/$m^3$ zorunlu referans seviyesine sahiptir ve İsviçre 1000 Bq/$m^3$ zorunlu referans seviyesine ve ayrıca 400 Bq/$m^3$ danışma seviyesine sahiptir (Åkerblom, 1999). Sularda birikebilen ve suyun havayla teması sonucu buharlaşabilen radon insan ve ekosistem sağlığı açısından da tehlike oluşturmaktadır.

# 4. HÜCRESEL ANALİZLER

Hücre canlılığına dayalı analizler, biyolojik sistemlerdeki hücrelerin yaşamsal aktivitelerini incelemek ve değerlendirmek amacıyla kullanılan yöntemlerdir. Bu analizler, genellikle hücrelerin büyümesi, bölünmesi, metabolizması, reaksiyonları ve fonksiyonları gibi çeşitli parametreleri ölçerek hücrelerin sağlığını, aktivitesini ve tepkilerini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Hücre canlılığına dayalı analizler, hücre biyolojisi, ilaç geliştirme, toksikoloji, çevresel etkilerin değerlendirilmesi gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Hücre canlılığının tespitine yönelik analizler de farklı parametrelerin ölçümü üzerine birkaç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar:

*Canlı hücre miktarını ölçmeye dayalı analizler:* Bu analizler hücrelerin yaşayıp yaşamadığını belirlemek için kullanılır. Canlı ve ölü hücreler arasındaki farklılıkları tespit etmek amacıyla boyama maddeleri veya floresan etiketleri kullanılabilir.

*Hücre proliferasyonunu tespitine dayalı analizler:* Hücrelerin bölünme hızını ölçen analizlerdir. Bu analizler, hücrelerin popülasyonunun zaman içinde nasıl arttığını veya azaldığını anlamamıza yardımcı olabilir.

*Apoptoza dayalı analizler:* Apoptoz, programlı hücre ölümünü ifade eder. Bu analizler, hücrelerdeki apoptotik süreçleri tespit etmek ve izlemek için kullanılır. Floresan boyalar ve mikroskopik yöntemler genellikle kullanılır.

*Metabolizmanın takibine dayalı analizler:* Hücrelerin enerji üretimi, solunum hızı ve metabolik aktivitesi gibi faktörlerin ölçümünü içerir. Bu analizler, hücrelerin fizyolojik durumunu anlamamıza yardımcı olabilir.

*Hücre Fonksiyon Analizleri:* Belirli hücre tiplerinin veya hücre hatlarının belirli fonksiyonlarını değerlendirmek için kullanılır. Örneğin, immünolojik yanıtları incelemek veya özelleşmiş hücrelerin özelliklerini anlamak amacıyla kullanılabilir.

*İlaç Taramaları ve Toksisite Analizleri:* Yeni ilaç bileşiklerinin hücreler üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılır. Bu tür analizler ilaç geliştirme aşamalarında çok önemlidir.

*Çevresel Etki Analizleri:* Kimyasal maddelerin veya çevresel faktörlerin hücreler üzerindeki etkilerini anlamak için kullanılır. Bu tür analizler, toksik maddelerin potansiyel etkilerini belirlemek için kullanılabilir.

Emin vd. (2020)'nin İncesu Göleti'nde yaptığı bir çalışmada, in vitro kültürlerde mezankimal kök hücreleri ve endotelyal hücre hatlarını kullanarak suyun hücreler üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışma, suyun IC50 değerini tespit ederek hücreler üzerindeki pozitif ve negatif etkilerin dozlarını belirlemeye odaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, gerektiğinde tüm organizmanın üzerindeki etkilerini anlamak için in vivo deneylerde kullanılmaktadır. Bu amaçla genç Wistar sıçanları deney ve kontrol gruplarına ayrılarak, 3 ila 6 ay boyunca çalışma alanından temin edilen su örnekleri ile beslenmektedir. Belirli zaman aralıklarında, her iki gruptan alınan kan ve idrar numuneleri kullanılarak rutin biyokimya analizleri ve hemogram analizleri ile değişiklikler izlenmektedir. Aylık periyotlarla, deney hayvanlarından bazıları kurban edilerek, karaciğer, böbrek ve kalp dokularından örnekler alınmaktadır. Bu örneklerin bir kısmı mikrodalga kullanılarak homojenizasyon işlemine tabi tutulur ve element içeriğindeki değişiklikler ICP-OES yöntemi ile belirlenir. Diğer bir kısım ise formaldehit kullanılarak sabitlendikten sonra ince kesitler halinde dondurulur ve histopatolojik inceleme için kullanılır. Bu çalışmalar, suyun kalitesini değerlendirmek için geleneksel yöntemlerin yanı sıra sitotoksisite analizleri kullanmanın önemini vurgulamaktadır. Elde edilen sonuçlar, in vitro sitotoksisite testlerinin su kalitesi analizlerine dahil edilmesi gerektiğini önermektedir. Nitekim; İncesu Göleti'nin su kalitesi resmi olarak II. Sınıf olarak değerlendirilmesine rağmen, yapılan çalışmalarda IC50 değeri belirlenememiştir. Bunun yerine, gölet suyunun hücre canlılığını artırdığı gözlemlenmiştir. Bu olumlu etki özellikle mitokondriyal etkileri ve enerji metabolizmasını artıran fosfat iyonlarının miktarındaki artışla ilişkilendirilmektedir. Bu çalışma, suyun kalitesinin sadece kimyasal analizlerle değil, aynı zamanda canlı dokular üzerindeki etkilerinin daha doğrudan bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Dikmen vd. (2020) Ankara Çayı'nda yaptıkları çalışma ile antropojenik kaynaklı sulu toksisitenin belirlenmesi amacıyla, alternatif bir yaklaşım olarak PLHC-1 ve RTG-2 hücre hatlarının kullanılmasını ve CYP1A1 biyobelirteci ile birlikte değerlendirilmesini ele almaktadır. Hücre Canlılığı Testleri MTT, Nötral Kırmızısı ve LDH (Laktat Dehidrojenaz) aktivitesi analizleri kullanılarak yapılmıştır. Gökkuşağı alabalığının gonadlarından elde edilen RTG-2 ve Poeciliopis lucida hepatoselüler karsinom hücresi olan PLHC-1 hücre hatları, belirli kültür ortamlarında yetiştirilmek ve kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Toplamda 12 bölgeden su ve sedimen örnekleri alınmış ve MTT testi, nötral kırmızısı deneyi ve LDH aktivitesi analizi yöntemleriyle, hücresel yanıtların alınması ve numunelerin toksisite seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta, Ankara Çayı'ndan alınan su ve sediman örnekleri, balık hücrelerinde çeşitli düzeylerde sitotoksik etkinlik göstermiştir. Bu sitotoksik etkinlik, örneğin alındığı bölgeye ve örnekleme dönemine göre değişkenlik göstermektedir. Ankara Çayı'nda endüstriyel, evsel ve tarım atıkları bulunmakta olup, iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Gözlenen dönemsel farklılıklar, özellikle tarımda kullanılan pestisitlerin su ve sedimandaki konsantrasyonlarına bağlı olabilir. Ankara Çayı'ndan alınan örnekler üzerinde yapılan sitotoksik etkinlik değerlendirmelerinin, su kirliliğinin ve çevresel etkilerin anlaşılmasında önemli bir rol oynadığı bu çalışmayla görülmektedir. Ayrıca, farklı testlerin bir arada kullanılmasının, kirliliğin kaynaklarını ve etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olduğu anlaşılmaktadır.

Tokur ve Aksoy (2017) derlemelerinde, hücreleri etkileyen çeşitli faktörleri anlamak ve değerlendirmek amacıyla in vitro deneylerin kullanımını incelemişlerdir. Bunun için en çok kullanılan tetrazolium testlerini (MTT, MTS, XTT, WST) ve luminesans testlerini (LDH aktivitesi, alamar mavisi ve ATP biyolüminesans) incelemişlerdir. Sitotoksisite testleri, çeşitli kimyasalların, ilaçların veya maddelerin hücreler üzerindeki toksik etkilerini değerlendirmek için kullanılan önemli araştırma araçlarıdır. Bu çalışmada, in vitro sitotoksisite testlerinin özellikleri, kullanım alanları ve potansiyel uygulamaları incelenmiştir. Araştırma, hücrelerin sağlığı ve canlılığı üzerindeki etkileri belirlemek için bu testlerin nasıl tasarlandığını ve yorumlandığını ele almaktadır. Sonuç olarak, in vitro sitotoksisite testleri, biyomedikal araştırmalardan çevresel etkilerin değerlendirilmesine kadar geniş bir yelpazede

kullanılmaktadır. Bu çalışma, bu testlerin önemini vurgulamakta ve in vitro deneylerin hücresel toksisite çalışmalarında nasıl kullanıldığına dair bir bakış sunmaktadır.

Koca vd. (2005), Çine çayının (Aydın) su kalitesinin ve Lepomis gibbosus suculu üzerine etkisini gistopatolojik ve sitogenetik olarak incelemiştir.. Bu çalışmada, Çine Çayı'ndaki Lepomis gibbosus'un üç ayrı organında su kalitesi ve ağır metal dağılımı takip edilmiştir. Solungaç, karaciğer ve kas dokusundaki histopatolojik değişiklikler ışık mikroskobu altında incelenmiştir. Balık eritrositlerinde mikronükleus (MN) üretimi, kromozomal hasarın bir işareti olarak çevresel kirleticilerin genotoksik potansiyelini saptamak için kullanılmıştır. MN sıklığı, Çine çayından alınan balık örnekleri ve bir kontrol grubu kullanılarak belirlenmiştir. MN sıklığının, çaydan toplanan balık örneklerinde kontrol grubuna göre daha fazla olduğu bulunmuştur. Amonyak, nitrit, nitrat, ortofosfat ve sülfat solungaç, karaciğer ve kas morfolojisini etkileyebilecek özellikler olarak tanımlanmıştır. Hem dokularda hem de suda en bol bulunan metal çinko olarak ölçülürken, kadmiyum ve kobalt en az birikim göstermiştir. Diğer metalerin birikimi ise su ve dokularda değişiklik göstermiştir. Cu, Ni ve Pb en çok solungaçlarda, Co, Cd, Zn ve B ise en çok karaciğer dokusunda biriktiği bulunmuştur. En yüksek metal konsantrasyonları karaciğer ve solungaçta bulundu. Kas daha az metal biriktirme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Histolojik incelemelerde L. gibbosus karaciğer ve solungaçlarında metal birikiminin en fazla olduğu, ana ve ikincil lamellerin ortalama uzunluğunun önemli ölçüde azaldı belirlenmiştir. Ayrıca, sekonder lamel füzyonu, balonlaşma dejenerasyonları veya sekonder lamellerin sopa deformasyonunun yanı sıra nekrotik, hiperplastik ve klavat sekonder lamellerin dağılımının tümü hücresel proliferasyonla sonuçlandığı görülmüştür. Karaciğerde boyanma değişikliği, parankimal hücrelerde şişlik ve yırtılma, kord yapısında kayıp, hepatositlerde glikojen azalması, hücre debrisi ve birçok koyu renkli partiküllle dolu vakuolar yapı görülmüştür. Kas dokusunda fokal nekroz, hücresel çözünme ve kas liflerinde azalma veya çizgilenme kaybı bulunmuştur. Bu çalışma su kalitesinin tespitinde canlı organizmadaki değişikliklerin tespiti için kullanılan yöntemler açısından ilk olma özelliği göstermektedir.

Yürütülen dokta tezinde su havzasında alınan suyun vücuda etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda, belirli bir su kaynağının vücuda fayda veya zararının

tespit edilmesi için su, geçici bir yabancı madde olarak değerlendirilebileceği yaklaşımı uygulanmıştır. Bu bağlamda su kalitesi analizleri ve toksikolojik değerlendirmeler birlikte gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, su tüketiminin sağlık üzerindeki etkilerini incelemek için ilaç testleriyle benzer yaklaşımlar kullanılabileceği araştırılmıştır. İlaçlar genellikle spesifik etki mekanizmalarına sahiptir ve belirli dozlarda alındığında belirli etkileri gözlenir. Su ise vücudun temel gereksinimlerinden biridir ve genellikle toksik etkileri aşırı tüketimlerinde yada kaynaına bağlı olarak içerdiği inorganik ve organik maddelerden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, suyun tüketilmesinin vücuda fayda veya zararının tespiti için yapılan çalışmalarda suyun kalitesi, içeriği ve tüketilen miktarlar gibi faktörler dikkate alınarak sitotoksisite için doz aralıkları belirlenmiştir. Su havzasından herhangi bir arıtım işleminden geçmemiş su örnekleri sadece biyolojik kontaminantlardan arındırılktan sonar hücre kültürlerinde test edilerek, hücreler üzerie olası apoptotic ve/veya nekrotik etkileri ile proliferative etkileri incelenmiştir. Bunun sonucunda su havazasından doğrudan kullanılan suyun memeliler üzerine etkisi, 3 gün gibi kısa bir sürede in vitro olarak belirlenebilmiştir.

## 4.1 Bazı Hücresel Analiz Teknikleri

### 4.1.1 LDH Analizi

Luminometre ile ölçülen ışık miktarı, RLUs (Relative Light Units) veya Bağıl Işıldama Birimleri olarak ifade edilir. Bir RLU, standart bir fiziksel ölçü birimi olan inç veya santimetre gibi bir ölçü birimi değildir ve genellikle farklı enstrümanlar arasında karşılaştırılamaz. Lüminesans, kimyasal bir reaksiyon sonucu (kemilüminesans) veya enzimatik bir reaksiyon sonucu (biyolüminesans) bir madde tarafından yayılan ışığı ifade eder. Lüminesans, birçok uygulama için genellikle absorbans ve floresansa göre daha popüler bir algılama platformudur. Arka plan paraziti (bileşiklerden, ortamlardan ve hücrelerden kaynaklanan otofloresans) düşük olduğu için genellikle daha geniş bir dinamik aralık ve daha yüksek hassasiyet sunar (URL-1, 2023).

Lüminesans ölçümü kullanılarak yapılan LDH (Laktat Dehidrogenaz) analizi, biyokimyasal bir test yöntemidir. LDH enzimi, hücre içinde bulunan ve hücresel

metabolizmanın bir parçası olan bir enzimdir. Bu enzim, laktik asit gibi metabolik ürünlerin dönüşümünü katalizler. LDH analizi, hücrelerdeki veya dokulardaki hasarın belirlenmesi ve izlenmesi için yaygın olarak kullanılır. Özellikle doku hasarı, enfeksiyonlar, kanser veya bazı kronik hastalıklar gibi durumlar nedeniyle hücrelerin içeriğinin dolaşıma sızdığı durumlarda LDH düzeyi yükselebilir. Lüminesans ölçümü, LDH enziminin katalizlediği reaksiyon sonucunda yayılan ışık miktarını ölçerek analiz yapar. Bu yöntem, biyokimyasal reaksiyonların tespiti ve ölçümü için kullanılan bir tür spektroskopi tekniğidir. Hücresel sağlık ve hasar durumu hakkında bilgi verdiğinden LDH analizi genellikle tıbbi teşhisler ile in vivo ve in vitro araştırmalarda kullanılmaktadır.

İn vitro kültürde LDH (Laktat Dehidrogenaz) analizi, hücre kültürlerindeki hücresel sağlık durumunu ve hücre hasarını belirlemek için yapılan bir test yöntemidir. Bu analiz yöntemi, hücrelerde meydana gelen hücresel stres, toksisite veya hasarı belirlemek için yapılır. Hücreler normalde içlerinde bulunan enzimleri dolaşıma salmazlar. Ancak hücresel stres, hasar veya yıkım durumlarında bu enzimler dolaşıma sızabilir. LDH analizi, bu enzimlerden biri olan LDH'nin kanda veya hücre kültürü sıvısında tespit edilmesine dayanır. Yüksek LDH seviyeleri, hücrelerin zarar görmesi veya ölmesi durumunda artacağından. Bu analiz socunda, ortamdaki toplam ölü hücre sayısı ölçülmektedir.

LDH analizi, hücre kültürü sıvısında bulunan LDH enziminin katalizlediği laktatın, NADH (nikotinamid adenin dinükleotid) gibi bir kofaktör ile reaksiyon sonucunda lüminesansın ölçülmesine dayanır. Bu lüminesans, luminometre ile spektroskopik olarak ölçülür. LDH analizi sonucunda elde edilen lüminesans değeri, hücre kültüründeki hasar veya stres düzeyini yansıtır. Yüksek LDH seviyeleri, hücre hasarı veya ölümü ile ilişkilendirilebilir. Analiz sonuçları, hücresel sağlık durumunu değerlendirmek ve tedavi veya deney sonuçlarını yorumlamak için kullanılır.

### 4.1.2 Mitokondriyal Dehidrogenaz Enzim Aktivisine Dayalı Testler

Mitokondriyal dehidrogenaz enzim aktivitesine dayalı testler, hücrelerdeki mitokondriyal aktiviteyi ölçmek için kullanılan biyokimyasal testlerdir. Bu testler

genellikle hücresel enerji üretimini ve mitokondriyal fonksiyonları değerlendirmek amacıyla yapılır. Mitokondriyal dehidrogenaz enzimleri, mitokondri içinde yer alan ve biyokimyasal reaksiyonlarda rol oynayan enzimlerdir. Bu tür testler, hücrelerin sağlığını, fonksiyonlarını ve metabolizmalarını anlamak için önemli bir araçtır. Mitokondriyal dehidrogenaz aktivitesine dayalı testlerin uygulamasında sağlıklı hücre suşları sitotoksisitesi yada sitouyumluluğu belirlenmek istenen madde ile etkileştirilir. Belirli bir inkübasyonun sonunda mitokondriyal enzimlerle reasksiyona girebilen reaktifler hücre kültürü ortamına eklenerek inkübasyona belirtilen süre kadar devam edilir. Reaksiyon gerçekleşirken, enzim katalizlediği reaksiyon sonucunda üretilen ürün veya meydana gelen değişiklikler ölçülür. Bu ölçümler genellikle spektrofotometrik veya floresan ölçüm ile yapılır. Ölçülen sonuçlar, hücrelerin mitokondriyal enzim aktivitesini ve fonksiyonlarını yansıtır. Daha yüksek enzim aktivitesi genellikle daha iyi mitokondriyal fonksiyonlarla dolayısıyla canlı hücreler ile ilişkilendirilir.

Mitokondriyal dehidrogenaz enzim aktivitesine dayalı testler, hücrelerin enerji üretme kapasitesini değerlendirerek, mitokondriyal fonksiyonlarını ve hücresel metabolizmayı anlamak için kullanılır. Enerji üretimi, hücrelerin yaşamsal fonksiyonlarını sürdürebilmesi için temel bir gerekliliktir. Bu nedenle, mitokondriyal fonksiyonların bozulması hücrelerin canlılığını olumsuz etkileyebilir. Mitokondriyal dehidrogenaz enzimleri, metabolik reaksiyonlarda substratları okside ederek enerji üretimini sağlar. Bu testler, hücresel metabolik aktiviteyi değerlendirerek hücre canlılığını belirlemeye yardımcı olur.

Ayrıca, potansiyel toksik maddeler veya ilaçlar, hücrelerin mitokondriyal fonksiyonlarını etkileyebilir. Bu tür testler, toksik maddelerin veya bileşiklerin hücreler üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Hücre canlılığındaki düşüş veya mitokondriyal aktivitedeki değişiklikler, toksik etkilerin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Sonuç olarak, mitokondriyal dehidrogenaz enzim aktivitesine dayalı testler, hücre canlılığını ve mitokondriyal fonksiyonları değerlendirmek, hücresel sağlık durumunu belirlemek ve potansiyel toksik etkileri incelemek için kullanılan önemli araçlardır.

Mitokondriyal enzimleri kullanarak hücre canlılığını ve metabolik aktiviteyi ölçmede en çok kullanılan analizlerin başında MTT (MTT, 3-(4,5-dimetiltiyazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolyum bromür) gelmektedir. MTT analizinden önce MKH'yi kültür kabının yüzeyinde, yüzeyde bulunan ve hücre tarafından üretilen hücre dışı matrislere gömülü olarak görebiliriz. Kültür kaplarına bağlanan MKH'lerin, koloni oluşturan birim fibroblastlar (CFU-F) adı verilen klonojenik koloniler ürettiği de bulunmuştur (Vellasamy ve Sandrasaigaran, 2012; Wang vd., 2005). MKH'lerde ilerleyen kültür günlerinde hücresel çoğalma ve genişleme gözlemlenebilir. MKH'lerin yakın çevreleriyle etkileşime giren aktif hücreler olduğu iyi bilinmektedir (Pittinger vd., 2019; Poggi vd., 2014).

### 4.1.3 Hücre Morfolojilerinin Hematoksilen Eosin İle İncelenmesi

Hematoksilen ve Eozin (HE) boyama, bir numunedeki hücrelerin ve dokuların yapısını görselleştirmek için yaygın olarak kullanılan bir histolojik boyama tekniğidir. Hematoksilen bir boya değildir, boyama yapmaz. Bir oksidasyon ajanı ile okside edilen ve renklerin sabitlenmesi için bir mordant ile muamele edilen boya kaynağıdır. Oluşan hematoksilen çözeltisi ile boyanan yapılar koyu mavi-menekşe veya siyah renkte görünür. Boyamada önce hücre çekirdeği ve kalsiyum çöküntüleri gibi yapıları boyayan, bazik bir boya olan, bu hematoksilen çözeltisi kullanılır. Daha sonra hücreler, sitoplazma ve hücre dışı matris gibi temel yapıları pembe-kırmızı renkte boyayan ve asidik bir boya olan eozin ile boyanır (Emin vd., 2008; MEB, 2013).

MKH'ler, katı hal yüzeyine ekildiğinde, zemine yapışmaya başlamasının hemen ardırdan zamanla fibroblast benzeri bir şekil görünümünü alır (Wang vd., 2005). Bu şekil faz kontrast mikroskobu kullanılarak görülebilir. Hücrelerin morfolojik yapılarındaki değişimler hematoksilen eosin boyaması ile incelebilmektedir. HE boyama önemlidir. Çünkü, bir numunedeki farklı yapılar arasında net bir kontrast sağlar ve araştırmacıların mevcut farklı hücre ve doku tiplerini tanımlamasını kolaylaştırır. HE boyamada hücrelerin yanı sıra kas doku (kırmızı), kıkırdak doku (açıktan koyuya mavi tonları), fibröz dokular (açık pembe), kalsifiye doku (koyu mavi), protein çökelekleri (pembe), eritrositler (kiremit kırmızısı) ve bakteri toplulukları (koyu mavi bulutsu) da boyanmaktadır (MEB, 2013; Tosta vd., 2019).

# 5. SEDİMENT ANALİZLERİ

Suların yapısında bulunan askıdaki katı maddelerin, yer çekimi, yoğunluk veya suyun akış hızı gibi etkilerle suyun dibine çökmesi eylemine sedimantasyon denir. Bu şekilde oluşan veya akarsuların taşıdığı kaya parçaları veya biyolojik kökenli materyallerin yaptığı çöküntüye ise sediment denir (Resmi Gazete, 2015).

Sedimenti oluşturan maddeler su bünyesine dışarıdan alınmaktadır. Yağışlar ve akıntılar su havzasında bulunan tarım arazilerinin, kayaçların veya bitki ve orman örtüsünün kalıntılarını su bünyesine taşırlar. Yine su havzasında bulunan evsel kaynaklı atıklar ile endüstri ürünü atıkların suya deşarjı sedimenti besler. Bilimsel olmayan bakışla sediment oluşumu suyun temizlenmesi gibi düşünülebilir. Ancak sedimentteki kirlilik bize sudaki mevcut veya olabilecek kirliliğin boyutlarını göstermektedir. Sediment durgun gibi görünse de tekrar askıda hale geçmesi her an olasıdır. Dip sedimentinin yeniden süspanse edilmesinin, sığ su ortamlarında, sedimetten kaynaklanan besinlerle su kütlesini zenginleştirmesi ve ötrofikasyon sebebiyle ışık mevcudiyetini etkileyerek üretkenliği etkilediği gösterilmiştir. Ek olarak, yeniden süspansiyon olayları eser miktarda metal ve organik kirleticilerin salınması yoluyla potansiyel olarak su kalitesini etkiler (Ali vd., 2014).

Sedimentte depolanan besin mineralleri (azot, fosfor gibi) su kütlesine karışabilirler ve sularda ötrofikasyona sebep olabilirler. Bunun yanı sıra sediment bünyesindeki çeşitli kirleticilerin yüzey suyu yapısına karışmasıyla dip sedimenti başka bir kirletici kaynak olarak karşımıza çıkabilir (Cüce ve Bakan, 2017).

Metallerin ekolojik sağlığa etkileri ayrıca doğal ve antropojenik kaynaklarının belirlenebilmesi için metallerin ekolojik risk değerlendirilmelerinin yapılması gerekmektedir. Doğada çeşitli ekosistemlerin ve çeşitli su kaynaklarının yapısında doğal olarak bulunan metaller süreç içerisinde sedimentde birikir ve depolanırlar (Fural vd., 2021). Sularda kirliliğin belirlenmesinde sediment kalitesi önemlidir.

Şener ve diğerlerinin (2023) Beyşehir Gölü'nde yaptıkları çalışmada, mevsimsel göl suyu ve göl taban sedimenti örneklerinin ağır metal (As, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Hg,

Fe, Al, Mn) konsantrasyonları belirlenerek ağır metal kirliliğini değerlendirmek amaçlanmıştır. Birkaç indeks yöntemi uygulanmış ve göl suyu ve sediment örneklerinin analiz sonuçları kullanılarak kirlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Göl sularındaki ağır metal konsantrasyonlarının ortalamaları Fe > Al > Mn > As > Zn > Ni > Pb > Cr > Cu > Hg >Cd olarak gözlemlenmiştir. Göl suları, TS 266 (2005) ve WHO (2017) limit değerleri ile karşılaştırıldığında, ağır metaller açısından limit değerlerin altında olduğu belirlenmiştir. İndeks sonuçlarına göre, ağır metal kirliliği indeksi (HPI) değerine göre tüm göl örnekleri içme suyu olarak kullanıma uygun olarak sınıflandırılmıştır, ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) ve kirlilik derecesi (Cd) değerlerine göre ise tüm örnekler "düşük kirlilik" sınıfında olduğu bulunmuştur. Ayrıca, göl taban sedimentlerindeki ağır metal konsantrasyonlarının ortalamaları Fe > Al > Mn > Cr > Ni > Zn > Cu > As > Pb > Cd > Hg olarak gözlemlenmiştir. Kirlilik faktörü ve zenginleşme faktörü, sedimentlerin As, Cr, Cu, Ni, Cd, Fe ve Mn ile oldukça ve orta derecede kirlendiğini, diğer metaller açısından ise düşük kirlenmiş ve/veya kirlenmemiş olduğunu göstermektedir. Hesaplanan kirlilik yükü indeksi (PLI) ve Igeo değerleri, göl sedimentlerinin ağır metal kirliliği riski taşımadığını göstermektedir.

Varol vd. (2022) Kuzey Türkiye'deki üç durgun su alanındaki sedimanlardaki metallerin ekolojik risk değerlendirmesini çalışmıştır. Bu çalışma ile Kuzey Türkiye'deki Yedikır Baraj Gölü (YBG), Ladik Gölü (LG) ve Değirmendere Baraj Gölü (DBG)su alanlarının sedimanlarının içerikleri, potansiyel ekolojik riskleri, kirlilik seviyeleri ve olası kaynakları ilk defa araştırılmıştır. İncelenen metallerden krom (Cr), arsenic (As), nikel (Ni), kobalt (Co), cıva (Hg), kadmiyum (Cd) ve antimonnun (Sb) ortalama içerikleri su alanları arasında anlamlı farklılıklar göstermiştir. YBG, LG ve DBG sedimanları sırasıyla hafif alkalin, nötr ve orta alkalin pH değerlerine sahiptir. LG'deki yüzen turbalık adacıkları nedeniyle sedimentte organic madde (OM) içeriği önemli ölçüde yüksektir. Bu çalışmanın ortalama konsantrasyonları, diğer ülkelerin ve Türkiye'nin su alanlarınınkine kıyasla neredeyse tüm metaller için daha düşüktür. Tüm su alanlarında, Cd, Hg, Ni, As, Cr, Cu, Zn ve Pb içerikleri olası etki konsantrasyonu aşmamıştır. Kirlenme derecesi ve ekolojik risk değerlendirmesi için kullanılan iki endeks; bireysel endeksler (EF, mHQ, Igeo, Cf ve Er), tek bir metalin kirlilik derecesini ve bentik ekosistem üzerindeki riskini yansıtır, diğeri sinerjik indeksler (PLI, NPI, RI, TRI ve NRI), tortudaki birkaç metalin toplam

kirlilik derecesini ve bunların bentik ekosistem üzerindeki kümülatif risklerini yansıtır. EF, Igeo, NPI, Cf, PLI ve mHQ değerlerine göre, su alanlarının sedimanlarında düşük kirlilik bulunmuştur. Benzer şekilde, NRI, RI, TRI ve Er değerleri su alanlarının sedimanlarında düşük ekolojik riskleri işaret etmiştir. LG'deki metallerin davranışlarını etkileyen önemli parametrelerin pH ve OM olmadığı bulunmuştur. Faktör analizi sonuçları, sedimanlardaki tüm metallerin doğal kaynaklardan geldiğini göstermiştir.

Ustaoğlu vd. (2022b) yaptıkları bu çalışma ile, bitki örtüsü, balık faunası ve su varlığı nedeniyle koruma altına alınan ve önemli bir rekreasyonel sulak alan olan Sera Gölü Doğa Parkı sedimanlarında, ağır metallerin dağılımlarını, olası kaynaklarını ve sağlık risklerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu sebeple alüminyum (Al), demir (Fe), mangan (Mn), vanadyum (V), çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), kurşun (Pb), nikel (Ni), kobalt (Co), arsenic (As), kadmiyum (Cd), antimony (Sb) ve cıva (Hg) seviyeleri analiz edilmiştir. Analizler sonucu yalnızca Mn konsantrasyonu ortalama sınır değerinin üzerinde bulunmuştur. Belirlenen beş istasyonun ikisinde kontaminasyon faktörü ve zenginleşme faktörü sonuçlarına göre Mn orta düzeyde zenginleşme ve orta düzeyde kontaminasyon sınıfını göstermiştir. Hg, As, Pb, Cd, Zn, Cu, Ni ve Cr için belirlenen olası etki düzeyi ve eşik etki düzeyi değerleri, sediment biyotası için risk oluşturmamaktadır. Korelasyon ve temel bileşen analizi ise ağır metal kaynağının temel olarak litolojik ve antropojenik girdilerin bir karışımından geldiğini göstermiştir. Her bir metal için insan sağlına olan tehdit için düşük riskler tespit edilmiştir. Sonuç olarak Sera Gölü Doğa Parkı sedimanları, rekreasyonel kullanım için insan sağlığı açısından güvenli olarak kabul edilmiştir.

McDonald vd. (2000) bu çalışmada, tatlı su ekosistemlerinde sediman kalitesini değerlendirmek için kullanılan sayısal kılavuzların (SQG'lar) önemini vurgulanmışlardır. Daha önce farklı yaklaşımlarla geliştirilen SQG'lar arasındaki uyumu anlamak amacıyla, endişe verici çeşitli kimyasal maddeler için konsensüs tabanlı SQG'lar geliştirilmiştir. Her kimyasal madde için eşik etki konsantrasyonu ve olası etki konsantrasyonu olarak iki farklı SQG belirlenmiştir. Bu kılavuzlar, Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan saha çalışmalarından elde edilen verilerle değerlendirilmiş ve çoğu durumda eşik etki konsantrasyonları ve olası etki

konsantrasyonlarının sediman toksisitesini doğru bir şekilde tahmin etmede etkili olduğu görülmüştür. Birden fazla kirletici maddenin etkilerini birleştirmek için ortalama olası etki konsantrasyonu oranları hesaplanmış ve toksisite ile güçlü bir ilişki tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada konsensüs tabanlı SQG'lar tatlı su ekosistemlerinde sediman kalitesi değerlendirmesi için güvenilir bir araç olarak önerilmiştir. Çeşitli yaklaşımlarla geliştirilen yayınlanmış tatlı su sediment kalitesi klavuzlarının (SQG) açıklamaları aşağıda yer almaktadır (Affum vd., 2016; Gómez-Gutiérrez vd., 2007; McDonald vd., 2000; Swartz, 1999)

*Eşik Etkisi Konsantrasyonu (Threshold Effect Concentration - TEC):* Bu yaklaşım, bir kimyasal maddenin sedimanlardaki konsantrasyonunun belirli bir eşiği aşması durumunda olumsuz etkilerin ortaya çıkabileceğini önerir. Bu eşik değeri aşıldığında toksisite riski artabilir.

*Muhtemel Etki Konsantrasyonu (Probable Effect Concentration - PEC):* Bu yaklaşım, bir kimyasal maddenin sedimanlardaki konsantrasyonunun olası olumsuz etkilere neden olabileceği bir tahmin değeri belirler. Bu değer, konsantrasyonun artmasıyla toksisite riskinin artabileceğini gösterir.

*Sediment Kimyası ve Toksisite Veri Eşleştirme (Sediment Chemistry and Toxicity Data Matching):* Bu yaklaşım, saha çalışmalarından elde edilen sediman kimyası ve toksisite verilerini kullanarak SQG'ların güvenilirliğini değerlendirir. SQG'lar, bu verilere dayanarak sedimanların toksisite potansiyelini tahmin etmede ne kadar etkili olduğunu gösterir.

*Çoklu Kirleticilerin Birleşik Etkileri (Combined Effects of Multiple Contaminants):* Birden fazla kirletici maddenin etkilerini birleştirme yaklaşımı, sedimanlardaki farklı kimyasal maddelerin etkilerinin toplam toksisite üzerindeki etkisini değerlendirmeye odaklanır. Bu şekilde, farklı kirleticilerin bir araya gelerek oluşturabileceği toplam risk değerlendirilir.

*Sediment Toksisitesi ile Korelasyon (Correlation with Sediment Toxicity):* Bu yaklaşım, SQG'lar ile saha çalışmalarından elde edilen toksisite verileri arasındaki ilişkiyi inceler. SQG'lar ile gerçek toksisite arasındaki benzerlik derecesi, SQG'ların

sedimanların gerçek toksisite durumu hakkında ne kadar doğru tahminde bulunduğunu gösterir. Bu farklı yaklaşımlar, tatlı su ekosistemlerinde sediman kalitesini değerlendirmek için kullanılan SQG'ların farklı yönlerini ve avantajlarını yansıtmaktadır.

Bai vd. (2011) Çin'in Sarı Nehir Deltası'nda bulunan bir deniz körfezinin çevresindeki sulak alan topraklarında ağır metal kirlenme özelliklerini incelemişlerdir. Arsenik (As), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), nikel (Ni) değerleri açısından Sarı Nehir'in II. Sınıf kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. Çalışma deniz körfezinin etrafındaki sulak alan topraklarında ağır metal kirlenmesinin varlığını ve karakteristiklerini ortaya koymaktadır. Bulgular, özellikle kuraklık dönemlerinde ağır metallerin yoğunlaştığını ve bu durumun çevresel etkilerini vurgulamaktadır. Araştırmanın sonuçları, bölgesel çevre yönetimi ve sürdürülebilirlik çabaları için önemlidir.

Fural ve Kükrer (2021) Sulak alanların potansiyel toksik element (PTE)'den kaynaklanan bölgeye özgü ekolojik risk tespitlerinde kullanılmakta olan analitik metotları incelemişlerdir. İnsan odaklı gelişen PTE (Potansiyel Tehlikeli Elementler) kaynaklarının sulak alanlarda sebep olduğu ekolojik bozulma aynı zamanda buralardan fayda sağlayan insanların sağlığı üzerinde de risk oluşturmaktadır. Bu sebeple sulak alanların ekolojik bozulmalarını ve sağlık riski analizlerini yapmak için geliştirilen çözümleme metotları bu çalışmada incelenmiştir. Bunlar:

Araştırılan bölgedeki elementlerin doğal ve insan odaklı kaynaklarını tespit etmek için; zenginleşme faktörü (EF), kontaminasyon faktörü (CF), modifiye kontaminasyon derecesi (mCd), jeoakümülasyon indeksi (Igeo) gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Ekolojik risk değerlerndirmesi için; modifiye ekolojik risk İndeksi ( mER), modifiye potansiyel ekolojik risk indeksi (mPER), kirlilik yük indeksi (PLI), toksik risk indeksi (TRI), modifiye edilmiş risk oranı (mHQ), ekolojik kontaminasyon indeksi (ECI), kontaminasyon ağırlık indeksi (CSI) gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Sağlık riskleri değerlendirmesi için; tehlike indeksi (HI), tehlike oranı (HQ), yaşam boyu toplam kanser riski indeksi (LCR) gibi yöntemler kullanılmakta, kanserojen olmayan sağlık riskleri ve kanser riski tespit edilmektedir. Ayrıca, PTE'lerin

kaynaklarını belirlemek ve taşınma süreçlerini anlamak için çok değişkenli istatistiksel analizler ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) tabanlı mekânsal analizler de kullanılmaktadır.

Fural ve Kükrer (2021) bu çalışma ile son yıllarda insan etkisiyle artan ekolojik bozulma ve sağlık risklerinin belirlenmesi için geliştirilen indeksler ve analitik yöntemlerin önemi üzerinde durmuşlardır. Bunun için işlemesi gereken süreci şöyle açıklamışlardır:

İnsan aktivitelerinin neden olduğu ekolojik bozulma ve sağlık risklerinin belirlenmesinde ekolojik risk araştırmaları için gerekli arazi çalışması, örnek alma, laboratuvar işlemleri, ekolojik risk indekslerinin kullanımı (bu indeksler, çevresel etkileri nicel olarak ölçmek ve değerlendirmek için kullanılır), istatistiksel analizler ve sonuç değerlendirmesi yapılır.

Buna göre Türkiye'deki durum da şöyledir; Türkiye'de sulak alanlarda ekolojik risk araştırmalarının sınırlı miktarlarda yapılmıştır ve bu nedenle bu alanlardaki ekolojik bozulma ve sağlık riskleri hakkındaki farkındalık oldukça düşüktür.Bu durumun önüne geçmek için, Ardahan Üniversitesi Coğrafya Bölümü tarafından başlatılan araştırma laboratuvarının kurulmasının ve diğer üniversitelerde de benzer çalışmaların devam etmesi önerilmektedir. Ayrıca, konuyla ilgilenen araştırmacıların yetiştirilmesi ve multidisipliner yaklaşımın önemsenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Çeşitli kalite indeksleri ile ilgili olarak Ahirvar vd. (2023)'nin yapmış olduğu çalışmanın amacı, su, toprak ve sedimentlerdeki ağır metal kirliliği indekslerini inceleyerek, bu indekslerin sayısal denklemlerini ve çeşitli uygulamalarını sunmaktır. Çevresel sistemlerde metal kirliliğini değerlendirmede kullanılan 20 farklı indeks karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, indekslerin avantajları, dezavantajları ve kullanım alanlarının analizi yapılmıştır. Yayınların bölgesel dağılımı incelendiğinde %68'inin Asya'dan geldiği belirlenmiştir. İndekslerin seçiminde rehberlik edici bir yöntem sunularak, çevre sistemlerindeki metal kirliliği seviyelerinin daha iyi yorumlanabilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, su kalitesi değerlendirmelerinde ağır metal kirlilik indeksi (HPI), ağır metal değerlendirme

indeksi (HEI) ve Tehlike indeksi (HI) gibi indeksler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü hassas bir ölçek sunmakta, kolayca uygulanabilmekte ve sınırlamaları daha az olmaktadır. Tekli indekslerden zenginleştirme faktörü (EF), jeoakümülasyon indeksi (Igeo) ve kontaminasyon faktörü (CF) toprak kalitesi değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılırken, birleşik indekslerden kirlilik yük indeksi (PLI) ve Nemerow kirlilik indeksi (PINemerow) ise kolay uygulanabilirlik ve hassas bir ölçek sunmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Sonuç olarak bu çalışma, çevresel sistemlerde kullanılan ağır metal kirliliği indekslerini kapsamlı bir şekilde incelemiş ve bu indekslerin farklı çevre sistemlerindeki kullanımını ve etkinliğini değerlendirmiştir. Bu analizler, çevre kirliliği sorunlarının daha iyi anlaşılmasına ve uygun politika kararlarının alınmasına katkı sağlayabilir.

Ustaoğlu vd. (2022a) Terme Nehri sedimentinde metal birikiminin ekolojik indeksler ve biyoindikatör kullanımı ile tespitine çalışmışlardır. Terme Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe, Co, As, Cr, Cd ve Al konsantrasyonları ICP-MS ile belirlenmiş, sedimentteki organik madde yüzdesi yakma yöntemi ile değerlendirilmiştir. Ölçümleri yapılan elementlerin konsantrasyonları Fe > Al > Mn > Cr > Cu > Zn > Ni > Co > Pb > As > Cd şeklinde sıralanmıştır. Elementlerin doğal kökenli mi yoksa insan kaynaklı mı olduğunu belirlemek için en yaygın kullanılan araçlardan zenginleşme faktörü , kirlilik faktörü ve jeo-akümülasyon indeksi kullanılarak metallerin kaynağı belirlenmeye çalışılmıştır. Ortalama zenginleştirme faktörü değerlerine göre metaller aşağıdaki gibi sıralanmıştır: Cd > Cu > Co > Fe > Cr > Pb > Mn > Zn > Al > Ni > As. Kirlilik faktörü ve jeo-akümülasyon indeksi değerleri ise aşağıdaki gibi sıralanmıştır: Cd > Cu > Co > Fe > Cr > Pb > Mn > Zn > Al > Ni > As. Zenginleşme faktörü sonuçlarına göre Cd ve Cu'nun insan faaliyetlerinden kaynaklandığı görülmektedir. Kirlilik faktörü ve jeo-akümülasyon indeksi ise tüm metaller için minimal bir zenginleşme gösterir. Potansiyel ekolojik risk, kirlilik yükü, modifiye edilmiş tehlike katsayısı, ekolojik kontaminasyon ve toksik risk indeksleri bölgede düşük riski gösterirler. İnsan sağlığı risk indeksleri ise kanserojen ve kanserojen olmayan risklerin düşük olduğunu göstermektedir. Araştırma için seçilen Myriophyllum spicatum türü üzerinde gerçekleştirilen biyokümülasyon değerlendirmesinde bitkinin Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As ve Cd'yi biriktirdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, Myriophyllum spicatum'un

metal kirliliğinin belirlenmesinde bir biyoindikatör olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Çıldır Gölü'nde yapılan bir çalışmada yüzey sedimanlarında ağır metal kirliliğinin ekolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Göldeki ağır metal seviyeleri, organik karbon ve klorofil bozunma ürünleri belirlenen altı istasyondan alınan numunelerde incelenmiştir. Göl, yakıt olarak fosil yakıtların kullanıldığı ve yerleşim yerlerinden gelen atıkların doğrudan göle deşarj edildiği bir bölgede yer almaktadır. Klorofil bozunma ürünlerinin konsantrasyonları, ağır metal konsantrasyonları ile benzer bir dağılım göstermiştir. Bu da, ağır metal kirliliğinin göldeki organik madde bozunması üzerindeki etkisine işaret etmektedir. Yüzey sedimanlarındaki ağır metal konsantrasyonları zenginleşme faktörleri ve kirlilik faktörleri gibi parametreler kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, kirlilik yükü ve potansiyel ekolojik risk indeksleri hesaplanarak göldeki ekolojik risk seviyesi belirlenmiştir. Zenginleştirme faktörü (EF), ağır metallerin olası kaynaklarını belirlemek için önemli bir araçtır. Bu yöntem sayesinde, ağır metal kaynaklarının doğal mı yoksa insan kaynaklı mı olduğu tespit edilebilir. Çıldır Gölü'ndeki EF değerleri yüksekten düşüğe doğru Hg>As>Cd>Mn>Pb>Zn>Cr>Cu>Ni şeklindedir. EF değeri 2'den daha yüksek olmayan elementlerin kaynağı doğal olarak varsayılmaktadır. Tüm istasyonlarda Zn, Ni, Pb ve Cr için minimal kontaminasyon belirlenmiştir. Mn için bir istasyonda orta derecede zenginleşme olsa da diğer istasyonlarda antropojenik etkiler tespit edilmemiştir. Cd için orta derecede kontaminasyon dört istasyonda tespit edilmiştir. As ve Cd zenginleşmesinin Çıldır Gölü çevresindeki tarımsal faaliyetlerden kaynaklanması muhtemeldir. Çalışma sonuçları göstermektedir ki Çıldır Gölü'nün yüzey sedimanlarında ağır metal kirliliği bulunmaktadır ve bu kirlilik ekolojik risk oluşturmaktadır. Ancak, kirlilik seviyesi gölün farklı bölgelerinde farklılıklar göstermektedir ve bazı bölgeler daha yüksek risk taşımaktadır. Bu nedenle, gölün risk yönetimi ve korunması için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (Kükrer vd., 2014).

Çevresel etkilerin sediment kalitesi üzerine etkilerini gösteren önemli bir araştırma Pazarsuyu Deresi'nde yapılan Ustaoğlu ve Tepe (2019)'nin araştırmasıdır. Sedimentte ağır metallerin bolluğu Fe > Mn > Zn > Pb > Cu > Cr > Co > Cd sırasında tespit

edilmiştir. Sedimentlerdeki ağır metal kirliliği, zenginleşme faktörü, kirlilik faktörü, jeoakümülasyon indeksi ve potansiyel ekolojik risk indeksi uygulanarak değerlendirilmiştir. Pb ağır şekilde kirletilmiş ve hesaplanan zenginleşme faktörü değerlerine göre önemli bir kirletici artışı göstermiştir. Bu nedenle, dere suyunun sulama için dikkatli kullanılması ve halk sağlığına olumsuz etkileri önlemek için içme suyu olarak kullanmadan önce kapsamlı bir arıtımının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmanın önemli bir sonucu, Pazarsuyu Deresi suyunun mekânsal dağılımı ve varyasyonunun bilimsel bir temelde belirlenmesi ile Bulancak şehrinde içme suyu güvenliğinin sağlanmasıdır. Su sütunu, kısa bir süre içinde değişebilen geçici kirlilik göstergesidir. Öte yandan, nehir sedimanı hızlı değişmeyen daha sabit durumları temsil eder. Hem kısa hem de uzun dönemde su kalitesi trendlerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, nehir suyunun ve çevre ekosisteminin sürdürülebilirliği için önemlidir. Pazarsuyu Deresi'ndeki kirlilik seviyesini değerlendirdiğimizde, şu anda kirliliğin kritik seviyede olmadığını söylemek mümkündür. Ancak, bu durumun zaman içinde değişebileceğini göz önünde bulundurarak, nehrin doğru politikalarla kullanılması ve kirlilik parametrelerinin düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, nehir üzerindeki gelecekteki çalışmalar için bir referans olarak hizmet edeceği için önemlidir. Pazarsuyu Deresi yüzey sedimentinde bulunan ağır metallerin özellikleri bu çalışmayla ilk kez araştırılmıştır. Karadeniz havzalarının genel sorunları olan HES'ler ve taş ocakları Pazarsuyu havzasında da bulunmaktadır. Bu da su bulanıklığını ve askıda katı madde yükünü artırır. Bu durum ise suda inorganik kirliliğe neden olur ve balık gelişimini olumsuz etkiler. Havzanın topoğrafyasından kaynaklanan heyelanlar ve yağışlı hava da bir sorundur. Bu nedenle HES'lerin ve taş ocaklarının yönetiminde daha seçici olunmalı ve heyelanları önlemek için gerekli tedbirler alınmalıdır. Pazarsuyu havzasındaki en önemli sorunlardan biri de havzada ilkel depolama şeklinde gömülen katı atıklardır. Bu durum, sızan suların düzlüklerdeki yüzey ve yeraltı sularını kirletmesine neden olur. Bu nedenle mevcut su kaynaklarını korumak için katı atık işletme tesisleri kurulması gerekmektedir.

# 6. MATERYAL VE YÖNTEM

## 6.1 Karadere Barajı Sulama Göleti

Kastamonu'nun Taşköprü ilçesinde bulunan Karadere Barajı, sulama amacıyla 1998-2003 yılları arasında inşa edilmiştir. Taşköprü İlçesi'nin kuzeybatısında, altı dereden beslenen ve kendisi de Gökırmak'a bağlanan Karadere Çayı üzerinde kurulan baraj ilçe merkezine 17 kilometre mesafedeki Donalar köyü sınırlarında bulunmaktadır (Şekil 6.1). Karadere Baraj Göleti 8 kilometrelik bir vadi boyunca uzanmaktadır. Bu bölgedeki en büyük baraj olma özelliğindedir. Bir sulama projesi olarak planlanmıştır. 20 milyon $m^3$ su depolama kapasitesine sahip barajın sulama ünitesi basınçlı borulu şebeke sistemi içermektedir. Bu sistemle su tasarrufunun sağlanması ve modern sulama tekniklerinin kullanımının yaygınlaşması planlanmıştır. Böylece Taşköprü'nün tarımcılıkta Avrupa Birliği standartlarını yakalaması ve ürün çeşitliliğinin artması ile birlikte bölgede tarım ve hayvancılıkta bir cazibe merkezi haline gelmesi amaçlanmıştır. Karadere barajı Donalar köyü ile birlikte yaklaşık 20 köye fayda sağlamaktadır.

Baraj toprak gövde dolgu tipinde inşa edilmiştir. Gövde hacmi 2.850.000 $m^3$, akarsu yatağından yüksekliği 90 m, normal su kotunda göl hacmi 32 $hm^3$, normal su kotunda gölalanı 1,10 $km^2$'dir. Baraj sayesinde 6.449 hektarlık bir alan sulu tarıma elverişli hale gelmiştir. Bu sebeple proje bölgenin GAP'ı olarak anılmaktadır (EK A Şekil 0.1).

## 6.2 Bölgenin Jeolojik Yapısı

Karadere Baraj Göleti etrafında tarım arazisi bulunmamakla birlikte çevresi kayalıklar ve bunların üzerindeki ormanlık alanlarla kaplıdır. Bu alanlar Paleozoik (I. zaman) ve Mesozoik (II. zaman) zamanların üst kretase devrinde oluşmuştur. Anakaya yeşil şistler, kırmızı radiolaritli şistler, az metamorfize olmuş spilitlerden ibarettir. Bölgenin kuzeyi konglomera, gri kumlu ve killi şistlerle gevşek tortulardan oluşmaktadır (T.O.İ.Ş., 2018).

Toprak, kestane renkli orman topraklarıdır. Bu topraklar humusça zengin, tarıma uygun topraklardır. Bölgenin kuzey kısmı ise çok meyilli, taşlık, sığ ve orta derinliğe (60 cm) sahip topraklarla örtülü, 350 m – 1.323 m'ler arsında değişen yüksekliklerde dağlık, tarıma elverişli olmayan alanlardır (T.O.İ.Ş., 2018) (EK A Şekil 0.4).

## 6.3 Bitki, Orman ve Hayvan Toplulukları

Bölge ormanlarının bünyesini oluşturan asli ağaç türleri karaçam (Pinus nigra subsp. pallasiana), sarıçam (Pinus silvestris) ve meşedir (Quercus sp.). Bununla birlikte toprak üstü örtüsünü oluşturan başka çeşitli türlerde mevcuttur: ardıç (Juniperus sp.), ıhlamur (Tillia sp), akçaağaç (Acer sp.), titrek kavak (Populus tremula), çınar (Platanus orientalis), ahlat (Pirus elaegrifolia), kızılcık (Cornus mas), fındık (Corylus avellana), söğüt (Salix sp.) gibi. Bunların dışında yabani gül (Rosa canina), alıç (Cratesgus oxycantha), muşmula (Mespilus germanica), böğürtlen (Rubus frutiosa) ve karaçalı (Paliurus aculeatus) gibi bodur ağaçlarda bulunmaktadır (T.O.İ.Ş., 2018) (EK A1 Şekil 0.3).

Bölgedeki bilinen otsu bitkiler kekik (Thymus), funda (Calluna vulgaris), ısırgan (Urtika dioiden), eğreltiotu (Pteridium aquilineum), ebegümeci (Malva), papatya (Anthemis arvendis), çayır otları (Graminea), üçgül (Trifolium repens), yonca (Medicago), yabani nane (Mentha silvestris), deve dikeni (Alhagi camelorum), sütleğen (Euphorbia tinctoria), menekşe (Viola sativa), ısırgan (Urtica urens), geniş yapraklı çayırotu (Carex), üvezdir (Sorbus) (T.O.İ.Ş., 2018).

Bölgede bilinen hayvan grupları; yabani domuz, tavşan ve karacadır. Yöre halkı burada avcılık yapmaktadır. Ayrıca gölet üzerinde iki adet işletmeye ait ağ kafes yöntemiyle üretim yapan alabalık tesisleri bulunmaktadır (EK A Şekil 0.2).

## 6.4 Bölgede İklim

Batı Karadeniz iklim bölgesinde bulunan gölet bölgesinin yüksek dağlık kısımlarında kışlar oldukça sert ve kar yağışlı geçer. Güneydeki düşük yükseltili yerlerde ise daha ziyade ılıman bir iklim görülür. 1975 – 2006 yılları arasında bölgede gözlenen meteorolojik rasat değerleri tablosu Tablo 6.1'de verilmiştir (T.O.İ.Ş., 2018).

**Tablo 6.1** 1975 – 2006 yılları arasında bölgede gözlenen meteorolojik rasat değerleri tablosu

METEOROLOJİK RASAT DEĞERLERİ TABLOSU

METEOROLOJİ İSTASYONU : KASTAMONU ENLEM : 38° 43'

RAKIMI (m) : 400 1975 - 2006 Yılları BOYLAM: 35° 29'

| METEOROLOJİK GÖZLEMLER | AYLAR | | | | | | | | | | | | YILLIK | Vejetasyon Süresinde |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | | |
| Ortalama Sıcaklık (°C) | -0,7 | 0,6 | 4,3 | 9,5 | 13,8 | 17,4 | 20,3 | 19,7 | 15,5 | 10,4 | 4,5 | 0,6 | 9,7 | 15,2 |
| En Yüksek Sıcaklık (°C) | 3,2 | 5,9 | 10,9 | 16,3 | 20,8 | 24,4 | 27,7 | 27,6 | 23,7 | 17,6 | 10 | 4,3 | 27,7 | 27,7 |
| En Düşük Sıcaklık (°C) | -4,1 | -3,6 | -1 | 3,7 | 7,5 | 10,4 | 12,7 | 12,5 | 9 | 5,2 | 0,6 | -2,4 | -4,1 | 5,2 |
| Ortalama Yağış (mm) | 29,3 | 29,1 | 34,6 | 45,6 | 74,4 | 70,8 | 25,5 | 25,5 | 26,5 | 30,8 | 28,7 | 28,8 | 449,6 | 299,1 |
| Ortalama Nisbi Nem (%) | 80 | 76 | 69 | 65 | 66 | 64 | 58 | 59 | 65 | 73 | 78 | 82 | 69,6 | 64,3 |
| Ortalama Bulutluluk | 7,7 | 7,4 | 7 | 6,5 | 6 | 4,9 | 3,4 | 3 | 4 | 5,2 | 6,6 | 7,7 | 5,8 | 4,7 |
| Donlu Günler Sayısı | 27,2 | 23,5 | 20,7 | 8,2 | 0,8 | - | - | - | 0,7 | 6,7 | 12,9 | 22,9 | 123,8 | 16,6 |
| Karlı Günler Sayısı | 6,1 | 5,8 | 3,7 | 0,5 | - | - | - | - | - | - | 0,08 | 2,6 | 19,5 | 0,5 |
| Ortalama Karla Örtülü Günler Sayısı | 13,3 | 10,9 | 4,2 | 0,6 | - | - | - | - | - | - | 1,2 | 7,1 | 37,3 | 0,6 |
| Ortalama Sisli Günler Sayısı | 5,8 | 3 | 1,4 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | - | - | 0,1 | 0,5 | 3,2 | 7,3 | 22,2 | 1,5 |
| En Hızlı Rüzgar Yönü ve Hızı | SW 23,3 | S-SW 20,8 | SW 29,8 | SW 28,4 | SW 28,4 | W 28,4 | S-NW 20,8 | W-SW 28,4 | W 21,9 | S 28,4 | SW 20,8 | S 25,2 | SW 29,8 | SW 28,4 |

## 6.5 Çalışma Alanında ve Laboratuvarda Kullanılan Cihazlar

Sahada ölçülmesi gereken parametreler olan çözünmüş oksijen, pH, tuzluluk, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik, önceden kalibrasyonu yapılmış olan, arazi tipi HACH LARGE marka, HQ40D model, taşınabilir, dijital multi-parametre yardımıyla sahada ölçülmüştür. 3 litrelik plastik kapaklı polietilen şişelere alınan numuneler soğuk zincir ile laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvarda, WTW 7600 UV-VIS Spektrofotometre cihazı kullanılarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), askıda katı madde (AKM), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI), klorür, sülfat, sülfit, fosfat, sodyum, potasyum, toplam alkalinite, toplam sertlik, kalsiyum, magnezyum, nitrat, amonyum azotu ve nitrit parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Askıda katı madde analizi için Whatman marka filtre kâğıdı, demir, kurşun, bakır, kadmiyum, Cıva, nikel ve çinko ölçümleri için Spectro marka SpectroBlue model ICP-OES cihazı kullanılmıştır.

Sitotoksisite çalışmaları yapılırken hücre çalışmaları, laminar akışlı Nuere (ABD) marka biyo-güvenlik kabini (Class-II) içerisinde steril ortamda yürütülmüştür. İnkübasyon için Nuere marka karbondioksitli inkübatör kullanılmıştır. Son olarak MTT sonrası well platelerde oluşan formazan kristallerinin miktarının belirlenmesi ve

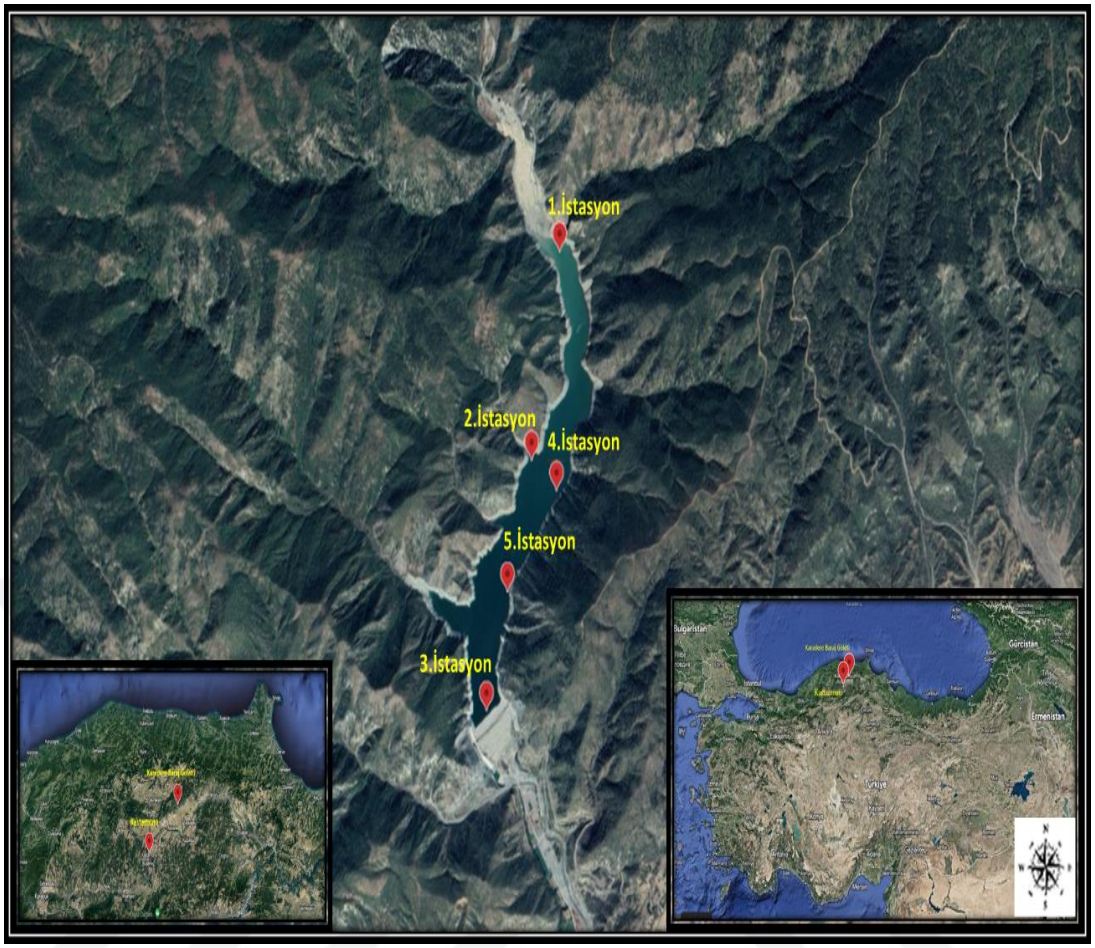
LDH sonrası luminesans ölçümü için ise SynergyHTX marka multi-mode reader cihazı kullanılmıştır. Sitotoksisite ve boyama testleri uygulanırken test öncesi ve test sonrası görüntülerin fotoğrafları invert faz kontrast mikroskobu kullanılarak elde edilmiştir. Sediment analizlerinde Spectro marka SpectroBlue model ICP-OES cihazı ve Eurovector marka EA-3000 Single model Elementel Analiz cihazı kullanılmıştır. Su numunelerinde radon ölçümü için Saphymo marka AlphaGuard model radon monitörü kullanılmıştır.

## 6.6 Araştırma İstasyonları

İstasyonlar Karadere Baraj Göleti'nin bütününü temsil edecek şekilde seçilmiştir. Birinci istasyon Karadere Baraj Göleti'nin kuzeyinde Karadere Çayı'nın baraja bağlandığı noktadadır. İkinci istasyon Karadere Baraj Göleti'nin kuzeybatı kısmında (en derin yeri), üçüncü istasyon göletin güney kısmındadır (Baraj bendinin olduğu kısım). Su kalitesinin belirlenmesi maksadıyla bir yıl boyunca örneklerin alındığı noktalar ilk üç istasyondur. Dördüncü ve beşinci istasyonlar göletin batı kısmında seçilmiştir. Suda radon tayini için su numuneleri ve sediment analizleri için dip çamuru örnekleri bu beş istasyondan yıl içerisinde bir kere olmak üzere alınmıştır (Tablo 6.2).

**Tablo 6.2** Gölet'inde İstasyonların Seçildiği Noktaların konumları

| İstasyonlar | Enlem | Boylam | Numuneler |
|---|---|---|---|
| 1 | 41°35'55.30"K | 34°05'12.53"K | Su / Sediment |
| 2 | 41°35'20.84"K | 34°05'00.33"K | Su / Sediment |
| 3 | 41°34'36.38"K | 34°04'45.96"K | Su / Sediment |
| 4 | 41°35'15.67"K | 34°05'14.91"K | Su / Sediment |
| 5 | 41°34'55.07"K | 34°04'47.12"K | Su / Sediment |




**Şekil 6.1** Kastamonu ili, Taşköprü İlçesi, Donalar Köyü, Karadere Baraj Göleti ve istasyonların yerleri.

## 6.7 Yöntem

Kastamonu ili Taşköprü İlçesi Donalar Köyü sınırları içerisinde bulunan Karadere Baraj Sulama Göleti'inde belirlenen istasyonlardan aylık periyotlar halinde alınan numunelerin fizikokimyasal analizleri, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nden temin edilen su kalitesi ekipmanları ve laboratuvar malzemeleri kullanılarak, bir kısmı hemen orada çalışılmıştır. Laboratuvar analizleri ise uygun koşullar sağlanarak numuneleri taşımak suretiyle, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.

Sitotoksik analizler, fizikokimyasal analizlerde kullanılmak üzere alınan numunelerden porsiyonlanarak çalışma gününe kadar 2 – 8 °C'ta saklanmıştır. Dörderli üç grup halinde Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı

Uygulama ve Araştırma Merkezinde yerleşik Doku Mühendisliği, Biyomalzeme ve Kök Hücre Laboratuvarlarında, steril koşullarda çalışılmıştır.

Sitotoksisite çalışmaları yapılırken MTT analizleri için Sigma marka, LDH analizi için Promega LDH-Glo marka kit kullanılmıştır. Live-Dead analizleri için Sigma marka kit kullanılmıştır. Histokimyasal boyamalar Hematoksilen-Eosin boyama yöntemi ile yapılmıştır. Hücre kültürü çalışmalarının aşamaları invert faz kontrast mikroskobu ile görüntülenmiştir.

Sediment analizleri; mikrodalga yakma yöntemi kullanılarak Elementel Analiz cihazında karbon, hidrojen ve azot tayinleri, ICP-OES cihazında spektroskopik analiz yöntemi ile ağır metaller (demir, kadmiyum, kurşun, nikel, bakır ve çinko), sodyum, magnezyum, kalsiyum, potasyum, fosfor ve sülfür element tayinleri yapılmak suretiyle tamamlanmıştır. Analizler Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.

Su numunelerinde radyumun aktivite konsantrasyonu, Kastamonu Üniversitesi Fen Fakültesi Nükleer Fizik Laboratuvarında, aktif radon monitörü kullanılmak suretiyle 30 dakikalık süre içerisinde her bir dakikada bir belirlenen radon konsantrasyonlarının ortalamalarının alınmasıyla ölçülmüştür.

### 6.7.1 Su Numunelerinin Alınması

Su numunelerinin alınmasından 24 saat önce kullanılacak olan cam örnek kapları ve ölçüm cihazlarının bakım ve temizliği yapılmıştır. Bunun için önce asit solüsyonuna daldırılmış, daha sonra saf suyla yıkanmış ve etüvde kurutularak kullanıma hazır hale getirilmişlerdir. Numune kapları numune alım işleminden önce göl suyu ile çalkalanarak numunelerin kaplardan etkilenmemesi için son aşama tamamlanmıştır. Su numuneleri alınırken, su yüzeyinin 15 cm altından suyun akış yönüne ters istikamette yönlendirilen şişeler suyun kendi cazibesiyle doldurularak analizler için numune alım işlemi tamamlanmıştır. Fizikokimyasal analizler için ilk üç istasyondan, Radon konsantrasyonu ölçümleri için beş istasyonun her birinden numune alım işlemi yapılmıştır.

### 6.7.2 Sediment Numunelerinin Alınması

Çalışma yılı içerisinde bir kere olmak üzere belirlenen beş istasyondan sediment kepçesi yardımı ile dip çamurundan alınmıştır. Örneklerin alınması için su kirliliğinin pik yaptığı Haziran ayı tercih edilmiştir.

### 6.7.3 Su Numunelerinin Fizikokimyasal Analizlerinin Yapılması

pH, çözünmüş oksijen, sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk parametreleri zaman aşımından etkilenebilecekleri için ölçümleri numunelerin alındığı noktalarda anlık olarak yapılmıştır. Bunun için arazi tipi HACH LARGE marka HQ40D model dijital multi-parametre cihazı kullanılmıştır.

İstasyonlardan alınan su numuneleri analizleri yapılmak üzere 8 saat içinde Kastamonu Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne getirilerek +4°C'de saklanmıştır. Numunelerin her biri için Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOI), Askıda Katı Madde (AKM), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOI), Sülfat, Sülfit, Klorür, Fosfat, Sodyum, Potasyum, Kalsiyum, Magnezyum, Toplam Sertlik, Toplam Alkalinite, Nitrit, Nitrat, Amonyum Azotu, Kurşun, Demir, Bakır, Kadmiyum, Nikel, Cıva ve Çinko analizleri yapılmıştır.

Askıda katı madde ölçümleri Whatman marka 42 numara 0,45'lik membran filtre kağıdından süzülerek yapılmıştır.

Toplam alkalinite ölçümünde sülfirik asit, toplam sertlik ölçümünde ise EDTA kullanmak suretiyle titrasyon yöntemi uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen değerler mg/L $CaCO_3$ olarak verilmiştir. Kimyasal Oksijen seviyesi hesaplanırken, kuvvetli kimyasal oksitleyiciler kullanılmış, bu şekilde su içerisindeki kirletici organik yüklerin parçalanması sağlanmıştır. Organik yükün parçalanmasında kullanılan oksijen miktarı saptanarak kimyasal oksijen seviyesi hesaplanmıştır. Bunun için de demir amonyum sülfat kullanılarak titrasyon yapılmıştır.

Nitrat ($NO_2^-$), Nitrit ($NO_3^-$), amonyum azotu ($NH_4^+$), magnezyum, sülfit, sülfat, sodyum, kalsiyum, potasyum ve fosfat standart protokoller gereğince, su

numunelerinin analizlerinde kullanılan WTW 7600 UV-VIS Spektrofotometre cihazı ile spektrometrik ve fotometrik test kitleri kullanılarak aynı gün içerisinde analiz edilmiştir.

Demir, kurşun, bakır, kadmiyum, cıva, nikel ve çinko miktarlarının ölçümleri ise Spectro marka SpectroBlue model ICP-OES cihazı ile yapılmıştır.

### 6.7.4 Su Numunelerinde Sitotoksisite Çalışmaları

#### 6.7.4.1 Hücrelerin elde edilmesi ve Etik Beyan

Kastamonu Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (MERLAB) bünyesinde bulunan ve Dr. Öğr. Üyesi Nuray EMİN'in sorumluluğundaki Doku Mühendisliği, Biyomalzeme ve Kök Hücre Laboratuvarı hücre kütüphanesinde bulunan ve KÜ-HADYEK 2018/12 numaralı etik kurul izinle elde edilerek fazlası sıvı azotta saklanan sıçan kemik iliği mezenkimal kök hücreleri, Kastamonu Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulunun 2023/2-6 sayılı izni ile doktora tez çalışması kapsamında kullanıldı.

#### 6.7.4.2 Hücrelerin ekimi

Bir adet T-75 doku kültür kabından yaklaşık 600 – 700 bin arası çalışmaya hazır hücre toplanabilmektedir. Hücrelerin bir kısmı Trypan Blue ile boyanarak Thoma lamında hücre sayımı yapıldı. Toplanan hücreler 96 kuyucuklu petri kaplarına her kuyucuğa 5000 hücre olacak şekilde ekimi yapıldı. Sitotoksisite çalışmalarına başlayabilmek için hücrelerin kuyucukların diplerine yapışmaları gerekmektedir. Bunun için ekim yapıldıktan sonra petriler bir gece boyunca (over-night) inkübasyona bırakıldı. Ertesi gün petriler kontrol edildikten sonra çalışmalar başlatıldı (EK B Şekil 0.5).

#### 6.7.4.3 Stok çözeltilerin hazırlanması

Laboratuvara ulaşan su numuneleri önce kurutma kağıdı yardımıyla kaba filtrasyon işleminden geçirildiler. Daha sonra steril filtreden geçirilerek su numuneleri steril edildiler. 50 ml'lik falkon tüplere alınarak etiketlendiler. Her bir istasyon için iki farklı

konsantrasyonda stok oluşturuldu. Bu sebeple her istasyon için ikişer eppendorf etiketlendi. Eppendorflara önce α-mem (hücre kültürü besi yeri), ardından steril su numunesi eklendi.

***1.Stok***, 10µl steril gölet suyu + 990µl α-mem içerir. Çalışmada üç farklı dozda kullanılmıştır (0,1 µl, 0,2 µl, 0,5 µl).

***2.Stok***, 100µl steril gölet suyu + 900µl α-mem içerir. Çalışmada dört farklı dozda kullanılmıştır (7,5 µl, 10 µl, 20 µl, 50 µl).

Hazırlanan stok çözeltileri çalışma gününe kadar 2 - 8°C'da bekletilebilirler (Tablo 6.3). Çalışmada kullanılan stok çözeltilerin oranları ortalama bir insan vücudundaki hücre sayısı ve su miktarının oranlanması suretiyle canlılık için gereken su miktarı dikkate alınarak elde edilmiştir (Emin vd., 2020).

**Tablo 6.3** Sitotoksisite çalışmalarında kullanılan, gölet suyuna ait stok çözeltiler ve dozları

| **Stok - 1** Çözeltisi | | | **Stok - 2** Çözeltisi | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %1'lik Konsantrasyon | | | %10'luk Konsantrasyon | | | |
| Doz - 1 | Doz - 2 | Doz - 3 | Doz - 4 | Doz - 5 | Doz - 6 | Doz - 7 |
| 0,1 µL/mL | 0,2 µL/mL | 0,5 µL/mL | 0,75 µL/mL | 10 µL/mL | 20 µL/mL | 50 µL/mL |

### 6.7.4.4 MTT analizleri

MTT analizi, ilk kez Mossmann (1983) tarafından açıklanan protokole dayanmaktadır. Testin geçerliliğini çeşitli hücre hatlarında test etmiştir (Mossmann, 1983). Bugün de hücre canlılığı, proliferasyon ve sitotoksisitenin belirtisi olan hücre metabolizmasının aktivitesini ölçmede en yaygın kullanılan testtir (Erkekoğlu ve Baydar, 2021).

MTT (3-[4,5-dimetiltiazol-2-il]-2,5-difeniltetrazolyum bromür), mitokondri içindeki süksinat dehidrojenaz tarafından tetrazolyum halkasının bölünmesiyle suda çözünmeyen bir mor formazana dönüştürülen, sarı renkli bir tetrazolyum tuzudur (Fotakis ve Timbrel, 2006). Tetrazolyum tuzunun formazan kristallerine indirgenmesi metabolik olarak aktif hücrelerin marifetiyle olmaktadır. Yani ortamda ne kadar çok canlı ve metabolik aktivitesi yüksek hücre varsa formazan miktarı o kadar çok olmaktadır.

Bu kolorimetrik analizin sonuçları, suda çözünmeyen bu formazan kristallerini, uygun bir çözücüyle çözdükten sonra oluşan çözeltinin bir spektrofotometre yardımıyla 570 nm dalga boyunda absorbansının ölçülmesi ile elde edilir.

Hücrelerin ekimi yapılıp, bir gece süresince inkübasyonu tamamlandıktan sonra hücrelerin üzerine stok çözeltilerin dozları eklendi. 1.Stok üç farklı dozda kültüre eklenirken, 2.Stok dört farklı dozda hücre kültürüne eklendi. Her bir istasyon için, her doz üçer tekrarlı olarak kullanılmıştır. Bu işlem yapılırken hücrelerin olduğu kuyucuklara önce temiz vasat, ardından stok dozları eklendi. Toplam sıvı miktarı (stok + vasat) 250µl olacak şekilde ayarlandı.

Dozajlama işleminden sonra plateler 24 saat süre ile CO2'li inkübatörde (%90 nem, %5 CO2 ve 37°C şartlarda) inkübasyona bırakıldı. İlk 24 saatin sonunda 1.gün MTT analizleri, üçüncü 24 saatin sonunda ise 3.gün MTT analizleri yapılmıştır (Emin vd., 2020).

MTT analizlerine başlamadan önce kültürlerden fotoğraflar alındı. Her bir kuyucuktaki kirli vasat kültürden uzaklaştırıldı. Yerine temiz vasat + MTT reaktifi eklendi. Eklenen MTT reaktifi toplam hacmin %10'u kadardır. 4 saat inkübatörde inkübasyona bırakıldı. Süre sonunda oluşan formazan kristallerini görüntülemek için fotoğrafları alındı. Hücrelerde oluşan formazan kristallerine zarar vermeden vasat kuyucuklardan uzaklaştırıldı. Formazanları çözmek için her bir kuyucuğa MTT solvent (%1 HCl in 2-propanol) eklendi ve formazanların çözülmesi sağlandı. Son olarak platelerin 570 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak absorbansları ölçüldü. Her bir örnek için ölçülen absorbansların ortalaması alınarak kontrole göre % canlılık hesaplanmıştır (Denklem 3.1) (Emin vd., 2020).

$$\%\ Canlılık = \frac{Abs_{ortalama}}{Abs_{kontrol}} x100 \qquad (\mathbf{3.1})$$

#### 6.7.4.5 LDH analizleri

Gölet suyu tarafından indüklenen sitotoksisite, kültür ortamına laktat dehidrojenaz (LDH) sızıntısı ile değerlendirildi. Tahlil, NAD'nin paralel indirgenmesi ile LDH varlığında laktatın piruvata dönüştürülmesine dayanır.

Bunun için 96 oyuklu kültür kaplarına mezenkimal kök hücrelerin ekimi yapıldı. Her numune için ikişer tekrarlı çalışıldı. Farklı dozlarda gölet suyuna maruz bırakılan kültür ortamları ve herhangi bir uygulama yapılmayan kontrol kültür ortamları maksimum etkiyi ölçebilmek için 3 gün inkübasyona bırakıldı. İnkübasyonun sonunda kültür ortamlarının her birinden 50 µL besi yeri sıvısı yeni bir 96 oyuklu kültür kabına alındı. Her birinin üzerine 50 µL LDH saptama reaktifi eklendi. 1 saat inkübasyona bırakıldıktan sonra luminesans değerleri mikroplaka spektrofotometre sistemi (BioTech SynergyHTX) kullanılarak kaydedildi. Alınan sonuçlar analiz edilerek Excell'de grafikleri oluşturuldu.

#### 6.7.4.6 Live – dead (canlı-ölü) analizi

Live-Dead hücre canlılığı analizi Propidium Iodide ve Hoechst 33342'den (Sigma, ABD) oluşur. Bu test plazma membran bütünlüğüne ve esteraz aktivitesine bağlı olarak hücrelerin yaşayabilirliğini belirler. Apoptoz sırasında değişen nükleer morfolojiyi tespit etmek için Hoechst 33342/Propidium iodide boyaması yapıldı. Hoechst 33342, hücre zarından geçebilen nükleik asit bağlayıcı bir boyadır, yani nükleusu olan, hücre bütünlüğü korunmuş hücreleri maviye boyar. Erken apoptoz aşamasında, hücre büzülmesi olur ancak hücre zarı bozulmaz. Dolayısıyla çekirdeklerde yüksek kromatin yoğunlaşması sebebiyle parlak mavi floresan gözlenir. Propidium iyodür (PI) ise geç apoptoz/nekroz aşamasındaki zar bütünlüğünü kaybetmiş hücreleri ve parçalanmış çekirdeklerini kırmızı-pembe floresan boyar (Prasad ve Koch, 2016). Kısacası, canlı hücrelerin çekirdekleri mavi renkte görünürken, erken apoptoza girmiş canlı hücrelerin çekirdekleri açık mavi renkte, hücre bütünlüğü bozulmuş ancak çekirdeği parçalanmamış hücre parlak kırmızı, hücre bütünlüğü tamamen bozulmuş parçalanmış çekirdeği olan hücreler açık kırmızı – pembe boyanır (Şeker, 2023).

#### 6.7.4.7 Hematoksilen – eosin boyaması

Bu çalışmada LDH analizi için hücre kültüründen numune alım işlemleri bittikten sonra kültürdeki sıvılar uzaklaştırılmış ve kalan hücreler boyanmıştır. Bunun için; oyuklar distile su ile yıkandıktan sonra fazla suyu uzaklaştırıldı. Oyuklara 50 µL hematoksilen boyası eklendi ve 5 dakika bekletildi. Tekrar distile su ile yıkama yapılarak fazla boya yıkandı ve suyun fazlası ortamdan uzaklaştırıldı. 50 µL eosin boyası ile muamele edildikten sonra 4 dakika beklenerek hücrelerin boyanması sağlandı (Bentley vd., 1982; Simoes ve Schoning, 1994). Boyanan hücreler invert faz kontrast mikroskobu ile görüntülendi.

### 6.7.5 Sediment Analizi

Beş istasyondan yılda bir olmak üzere alınan numuneler Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'na aynı gün teslim edilmiştir. Spectro marka SpectroBlue model ICP-OES cihazı ile Kadmiyum, Kurşun, Demir, Nikel, Bakır, Çinko, Sodyum, Magnezyum, Fosfor, Kükürt, Potasyum ve Kalsiyum element tayini yapılmıştır. Eurovector marka EA-3000 Single model Elementel Analiz cihazı ile de Karbon ve Azot analizleri yapılmıştır.

### 6.7.6 Radon Konsantrasyonu Ölçümü

Su numunelerinde radyumun aktivite konsantrasyonu ölçüldü. Bunun için alınan numunelerin ağzı sıkıca kapatıldı ve oda sıcaklığında Kastamonu Üniversitesi Fen Fakültesi Nükleer Fizik Laboratuvarına getirildi. Burada Saphymo marka AlphaGuard model aktif radon monitörü (Şekil 6.2) kullanılmak suretiyle 30 dakikalık süre içerisinde, her bir dakikada bir belirlenen radon konsantrasyonlarının ortalamalarının alınmasıyla ölçüm yapıldı.




**Şekil 6.2** Saphymo marka AlphaGuard model aktif radon monitörü

### 6.7.7 İstatistiksel Analizler

Yapılan fizikokimyasal analizlerin sonuçları değerlendirilirken, her bir parametre için ölçümlerin aylık ortalama değerleri, standart sapmaları, mevsimsel ortalama değerleri ve bunların sonuçlarına ait tabloların hazırlanmasında SPSS istatistik programı kullanılmış ve bu tablolara ait grafikler de Excel uygulamasında oluşturulmuştur.

Sitotoksik analizlerin sonuçları Excell üzerinde değerlendirilmiş, MTT analizleri için % canlılık ve standart sapma, LDH analizleri için Lüminesans değerlerini gösterir grafikler oluşturulmuştur.

Sediment analizi sonuçları ve Radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları Excell'de hazırlanan tablolarla sunulmuştur.

# 7. BULGULAR

## 7.1 Fizikokimyasal Analizler

Tez çalışmamızda örnek olarak seçilen Karadere Baraj Göleti'nden aylık periyotlar halinde bir yıl süresince numuneler alınmış, 28 adet su kalitesi parametrelerine ait verilerin aylık ve mevsimsel olarak değişimi ayrı ayrı gözlemlenmiştir. Her bir parametrenin istatistiksel analizleri yapılmış olup analiz sonuçları değerlendirilmek üzere tablo ve grafiklere işlenmiştir.

### 7.1.1 Çözünmüş Oksijen (mg/L)

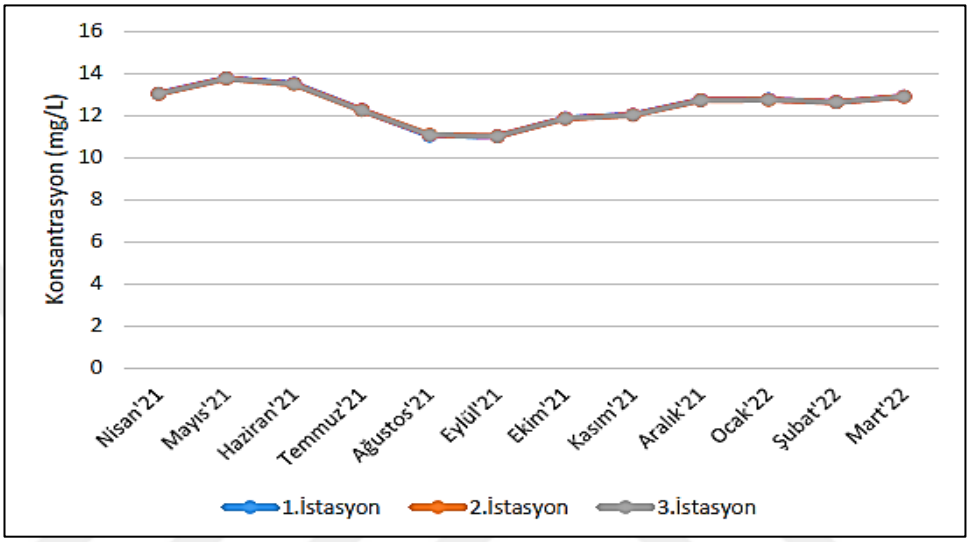
Çalışma sonuçlarına göre çözünmüş oksijenin gölette en yüksek olduğu ay ortalama 13,76±0,01 mg/L ile Mayıs ayıdır. En düşük değeri ise ortalama 11,00±0,01 mg/L ile Eylül ayında ölçülmüştür (Tablo 7.1, Grafik 7.1). Çözünmüş oksijen bakımından istasyonlar arasında gözle görülür bir değer farkı bulunmamakla birlikte yıl içerisinde de çok büyük değişimler yaşanmamıştır. Mevsimler arasında keskin geçişler gözlenmemiştir (Tablo 7.2, Grafik 7.2). Göletin yıllık ortalama çözünmüş oksijen değeri 12,45±0,83 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.1).

**Tablo 7.1** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Çözünmüş Oksijenin (mg/L) aylık değişimi

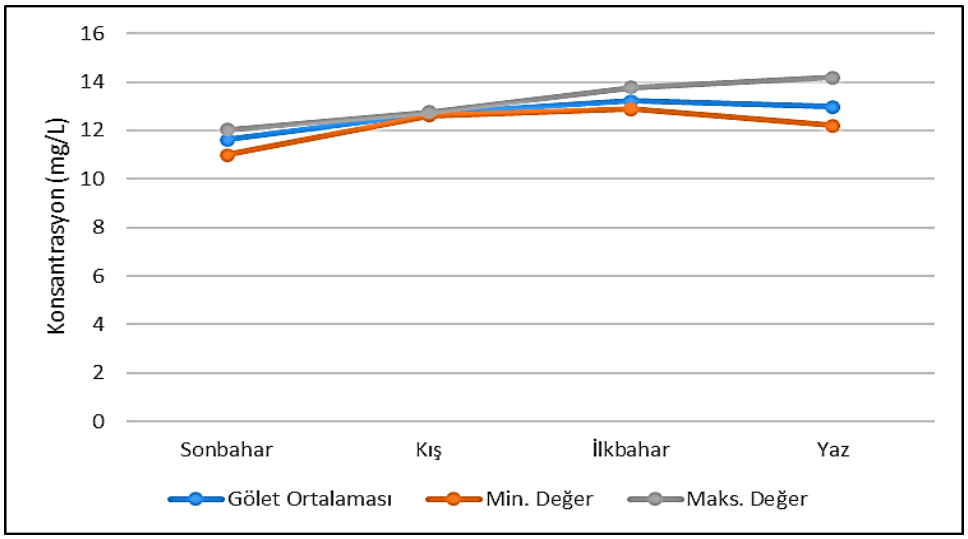
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 13,04 | 13,02 | 13,02 | 13,03$^{c}$±0,01 | 13,02 | 13,04 |
| Mayıs | 13,77 | 13,75 | 13,75 | 13,76$^{a}$±0,01 | 13,75 | 13,77 |
| Haziran | 13,51 | 13,48 | 13,48 | 13,49$^{b}$±0,02 | 13,48 | 13,51 |
| Temmuz | 12,26 | 12,24 | 12,23 | 12,24$^{g}$±0,02 | 12,23 | 12,26 |
| Ağustos | 11,02 | 11,08 | 11,07 | 11,06$^{j}$±0,03 | 11,02 | 11,08 |
| Eylül | 11,01 | 11,00 | 11,00 | 11,00$^{k}$±0,01 | 11,00 | 11,01 |
| Ekim | 11,87 | 11,85 | 11,84 | 11,85$^{i}$±0,02 | 11,84 | 11,87 |
| Kasım | 12,03 | 12,01 | 12,01 | 12,02$^{h}$±0,01 | 12,01 | 12,03 |
| Aralık | 12,74 | 12,72 | 12,71 | 12,73$^{e}$±0,02 | 12,71 | 12,74 |
| Ocak | 12,76 | 12,74 | 12,74 | 12,75$^{e}$±0,01 | 12,74 | 12,76 |
| Şubat | 12,64 | 12,62 | 12,62 | 12,63$^{f}$±0,01 | 12,62 | 12,64 |
| Mart | 12,9 | 12,89 | 12,88 | 12,89$^{d}$±0,01 | 12,88 | 12,9 |
| Yıllık Ortalama | 12,46±0,87 | 12,45±0,85 | 12,45±0,86 | 12,45±0,83 | 11 | 13,77 |

**Tablo 7.2** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Çözünmüş Oksijenin (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $11,62^{c}\pm0,47$ | 11,00 | 12,03 |
| Kış | $12,70^{ab}\pm0,06$ | 12,62 | 12,76 |
| İlkbahar | $13,22^{a}\pm0,40$ | 12,88 | 13,77 |
| Yaz | $12,97^{ab}\pm0,90$ | 12,20 | 14,19 |




**Grafik 7.1** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Çözünmüş Oksijenin (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.2** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Çözünmüş Oksijenin (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.2 Tuzluluk (%)

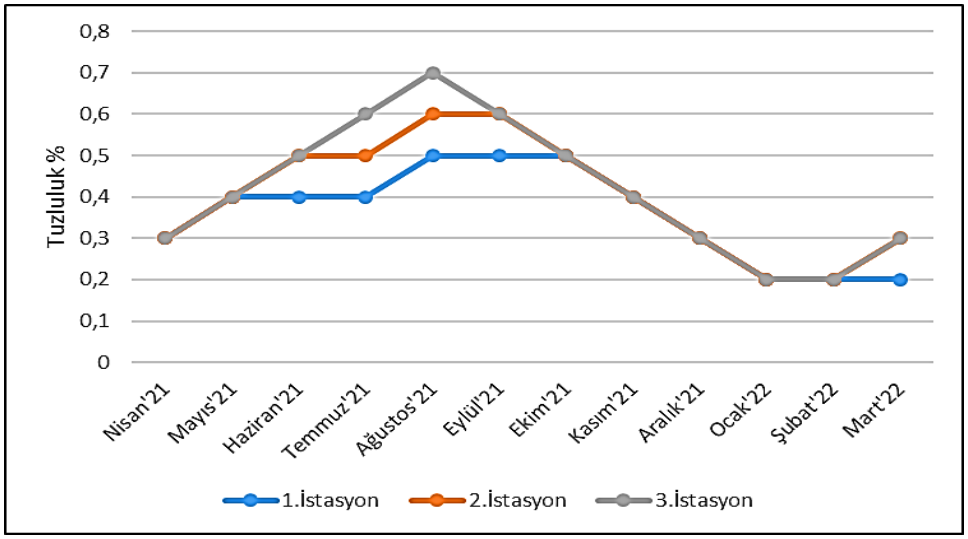
Göletteki tuzluluk seviyesinin istasyonlar arasında çoğunlukla eşit olduğu gözlenmiştir. Ağustos ayında ortalama 0,6±0,1 (%) ile en yüksek, Ocak ve Şubat aylarında 0,2±0,0 (%) ile en düşük değerinde ölçülmüştür (Tablo 7.3, Grafik 7.3). Sıcaklığın düşük olduğu mevsimlerde tuzluluk düşük seyrederken sıcaklığın daha yüksek olduğu mevsimlerde tuzluluk da artmıştır (Tablo 7.4, Grafik 7.4). Göletteki yıllık ortalama tuzluluk seviyesi 0,39±0,14 (%) olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.3).

**Tablo 7.3** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen tuzluluğun (ppt) aylık değişimi

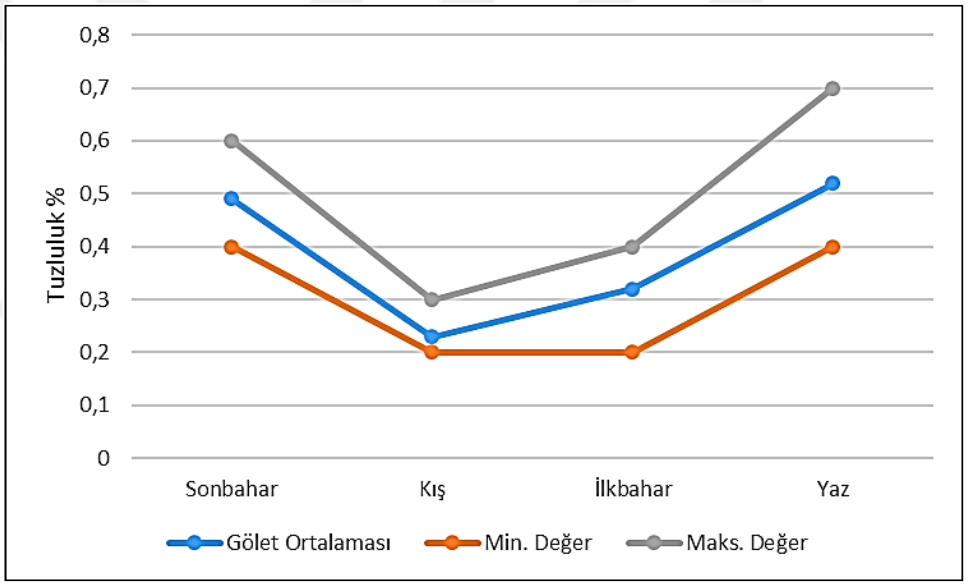
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,3 | 0,3 | 0,3 | $0,3^{cd}$±0,00 | 0,3 | 0,3 |
| Mayıs | 0,4 | 0,4 | 0,4 | $0,4^{bc}$±0,00 | 0,4 | 0,4 |
| Haziran | 0,4 | 0,5 | 0,5 | $0,47^{ab}$±0,06 | 0,4 | 0,5 |
| Temmuz | 0,4 | 0,5 | 0,6 | $0,5^{ab}$±0,10 | 0,4 | 0,6 |
| Ağustos | 0,5 | 0,6 | 0,7 | $0,6^{a}$±0,10 | 0,5 | 0,7 |
| Eylül | 0,5 | 0,6 | 0,6 | $0,57^{a}$±0,06 | 0,5 | 0,6 |
| Ekim | 0,5 | 0,5 | 0,5 | $0,5^{ab}$±0,00 | 0,5 | 0,5 |
| Kasım | 0,4 | 0,4 | 0,4 | $0,4^{bc}$±0,00 | 0,4 | 0,4 |
| Aralık | 0,3 | 0,3 | 0,3 | $0,3^{cd}$±0,00 | 0,3 | 0,3 |
| Ocak | 0,2 | 0,2 | 0,2 | $0,2^{d}$±0,00 | 0,2 | 0,2 |
| Şubat | 0,2 | 0,2 | 0,2 | $0,2^{d}$±0,00 | 0,2 | 0,2 |
| Mart | 0,2 | 0,3 | 0,3 | $0,27^{cd}$±0,06 | 0,2 | 0,3 |
| Yıllık Ortalama | 0,36±0,12 | 0,4±0,14 | 0,42±0,16 | 0,39±0,14 | 0,2 | 0,7 |

**Tablo 7.4** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Tuzluluğun (ppt) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $0,49^{a}$±0,08 | 0,4 | 0,6 |
| Kış | $0,23^{b}$±0,05 | 0,2 | 0,3 |
| İlkbahar | $0,32^{b}$±0,07 | 0,2 | 0,4 |
| Yaz | $0,52^{a}$±0,10 | 0,4 | 0,7 |




**Grafik 7.3** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen tuzluluğun (ppt) aylık değişimi




**Grafik 7.4** Karadere Baraj Gölet'inde tespit edilen Tuzluluğun (ppt) mevsimsel değişimi

### 7.1.3 pH

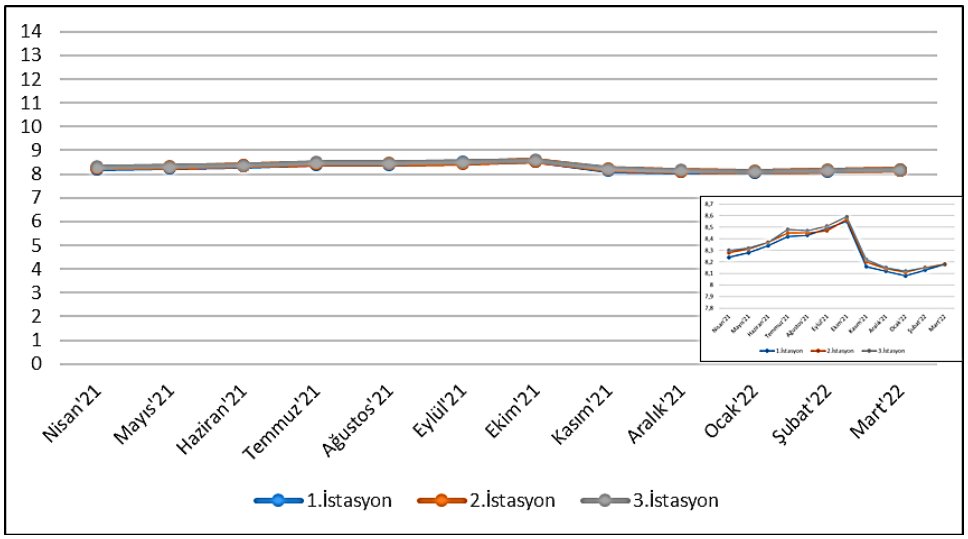
pH değerlerine bakıldığında istasyonlar arası önemli değişiklikler görülmemektedir. En yüksek pH değeri Ekim ayında (ortalama 8,57±0,02), en düşük pH değeri ise Ocak ayında (ortalama 8,10±0,02) ölçülmüştür (Tablo 7.5, Grafik 7.5). Sonbaharda en yüksek seviyesine ulaşan pH kış mevsiminde sıcaklıkların hızlı düşüşüyle birlikte en düşük seviyesini görmüştür (Tablo 7.6, Grafik 7.6). Göletin yıllık ortalama pH değeri 8,3±0,15 olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.5).

**Tablo 7.5** Karadere Baraj Gölet'inde pH değerinin aylık değişimleri

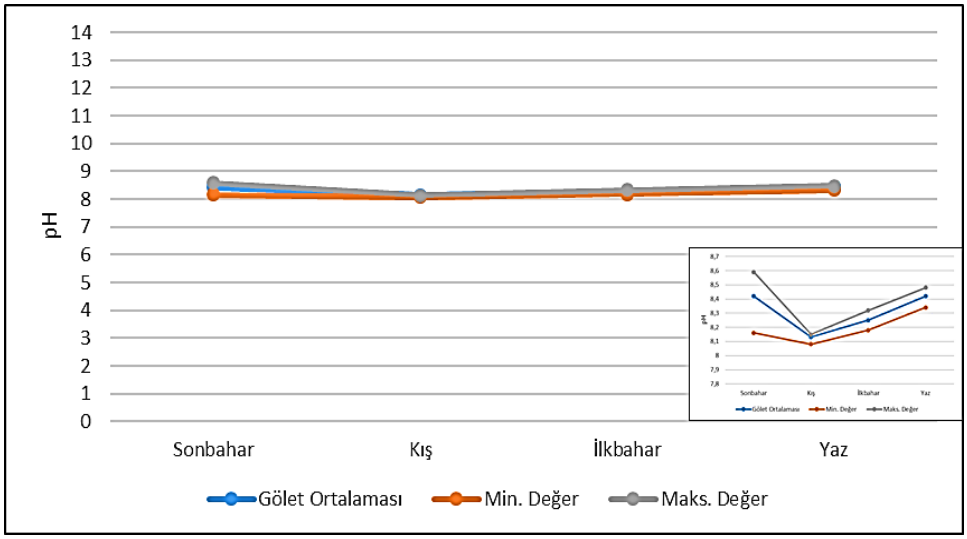
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 8,24 | 8,28 | 8,3 | $8,27^{d}\pm0,03$ | 8,24 | 8,3 |
| Mayıs | 8,28 | 8,31 | 8,32 | $8,30^{cd}\pm0,02$ | 8,28 | 8,32 |
| Haziran | 8,34 | 8,37 | 8,37 | $8,36^{c}\pm0,02$ | 8,34 | 8,37 |
| Temmuz | 8,42 | 8,45 | 8,48 | $8,45^{b}\pm0,03$ | 8,42 | 8,48 |
| Ağustos | 8,43 | 8,45 | 8,47 | $8,45^{b}\pm0,02$ | 8,43 | 8,47 |
| Eylül | 8,49 | 8,47 | 8,51 | $8,49^{b}\pm0,02$ | 8,47 | 8,51 |
| Ekim | 8,55 | 8,57 | 8,59 | $8,57^{a}\pm0,02$ | 8,55 | 8,59 |
| Kasım | 8,16 | 8,2 | 8,22 | $8,19^{e}\pm0,03$ | 8,16 | 8,22 |
| Aralık | 8,12 | 8,14 | 8,15 | $8,14^{ef}\pm0,01$ | 8,12 | 8,15 |
| Ocak | 8,08 | 8,11 | 8,12 | $8,10^{f}\pm0,02$ | 8,08 | 8,12 |
| Şubat | 8,13 | 8,15 | 8,15 | $8,14^{ef}\pm0,01$ | 8,13 | 8,15 |
| Mart | 8,18 | 8,18 | 8,18 | $8,18^{e}\pm0,00$ | 8,18 | 8,18 |
| Yıllık Ortalama | 8,29±0,15 | 8,31±0,15 | 8,32±0,15 | 8,3±0,15 | 8,08 | 8,59 |

**Tablo 7.6** Karadere Baraj Gölet'inde pH değerinin mevsimsel değişimleri

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $8,42^{a}\pm0,17$ | 8,16 | 8,59 |
| Kış | $8,13^{c}\pm0,02$ | 8,08 | 8,15 |
| İlkbahar | $8,25^{b}\pm0,06$ | 8,18 | 8,32 |
| Yaz | $8,42^{a}\pm0,05$ | 8,34 | 8,48 |




**Grafik 7.5** Karadere Baraj Gölet'inde pH değerinin aylık değişimleri




**Grafik 7.6** Karadere Baraj Gölet'inde pH değerinin mevsimsel durumu

### 7.1.4 Sıcaklık (°C)

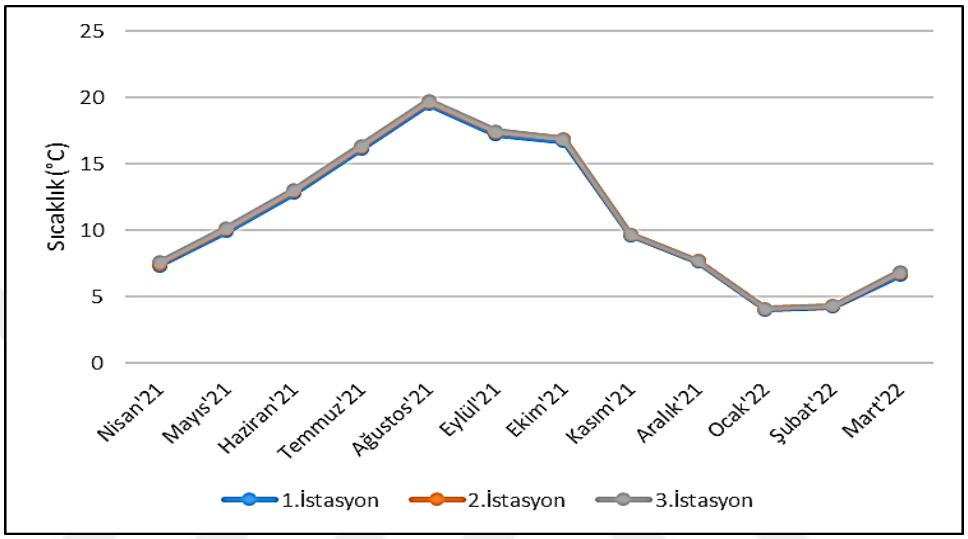
En yüksek sıcaklık değeri ortalama 19,67±0,15 °C ile Ağustos ayında en düşük sıcaklık değeri ise ortalama 4,07±0,06 °C ile Ocak ayında ölçülmüştür (Tablo 7.7, Grafik 7.7). Göletteki sıcaklık değişimleri mevsim normalleri çerçevesinde değişim göstermektedir (Tablo 7.8, Grafik 7.8). İstasyonlar arası sıcaklık farklılıklarının önemsiz kabul edilebileceği gölette yıllık ortalama sıcaklık 11,09±5,23 °C olarak hesaplandı (Tablo 7.7).

**Tablo 7.7** Karadere Baraj Gölet'inde Sıcaklık (ºC) değerlerinin aylık değişimi

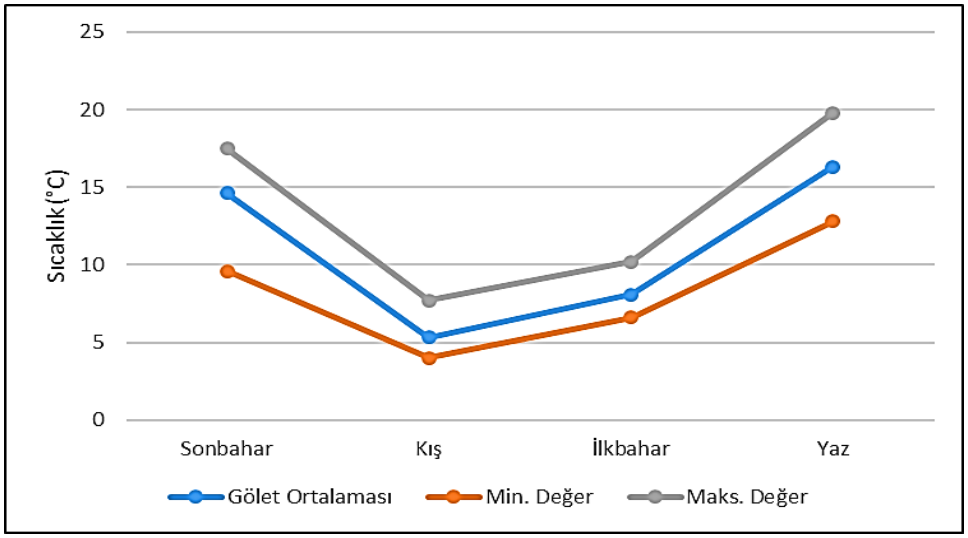
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 7,3 | 7,5 | 7,6 | $7,47^{h}$±0,15 | 7,3 | 7,6 |
| Mayıs | 9,9 | 10,1 | 10,2 | $10,07^{f}$±0,15 | 9,9 | 10,2 |
| Haziran | 12,8 | 13 | 13,1 | $12,97^{e}$±0,15 | 12,8 | 13,1 |
| Temmuz | 16,1 | 16,3 | 16,4 | $16,27^{d}$±0,15 | 16,1 | 16,4 |
| Ağustos | 19,5 | 19,7 | 19,8 | $19,67^{a}$±0,15 | 19,5 | 19,8 |
| Eylül | 17,2 | 17,4 | 17,5 | $17,37^{b}$±0,15 | 17,2 | 17,5 |
| Ekim | 16,7 | 16,9 | 16,9 | $16,83^{c}$±0,12 | 16,7 | 16,9 |
| Kasım | 9,6 | 9,7 | 9,7 | $9,67^{g}$±0,06 | 9,6 | 9,7 |
| Aralık | 7,6 | 7,7 | 7,7 | $7,67^{h}$±0,06 | 7,6 | 7,7 |
| Ocak | 4 | 4,1 | 4,1 | $4,07^{i}$±0,06 | 4 | 4,1 |
| Şubat | 4,2 | 4,3 | 4,3 | $4,27^{i}$±0,06 | 4,2 | 4,3 |
| Mart | 6,6 | 6,8 | 6,9 | $6,77^{i}$±0,15 | 6,6 | 6,9 |
| Yıllık Ortalama | 10,96±5,13 | 11,13±5,16 | 11,18±5,18 | 11,09±5,23 | 4 | 19,8 |

**Tablo 7.8** Karadere Baraj Göleti'nde Sıcaklık (ºC) değerlerinin mevsimsel durumu

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $14,62^{a}\pm3,72$ | 9,6 | 17,5 |
| Kış | $5,33^{b}\pm1,75$ | 4,0 | 7,7 |
| İlkbahar | $8,10^{b}\pm1,51$ | 6,6 | 10,2 |
| Yaz | $16,3^{a}\pm2,90$ | 12,8 | 19,8 |




**Grafik 7.7** Karadere Baraj Göleti'nde Sıcaklık (ºC) değerlerinin aylık durum




**Grafik 7.8** Karadere Baraj Gölet'inde Sıcaklık (ºC) değerlerinin mevsimsel durumu

### 7.1.5 Elektriksel İletkenlik (S/cm)

Yıllık ortalama 274,61±47,84 olan elektriksel iletkenlik, istasyonlar arası önemli farklılıklar göstermemektedir (Tablo 7.9). En yüksek elektriksel iletkenlik değeri Ekim

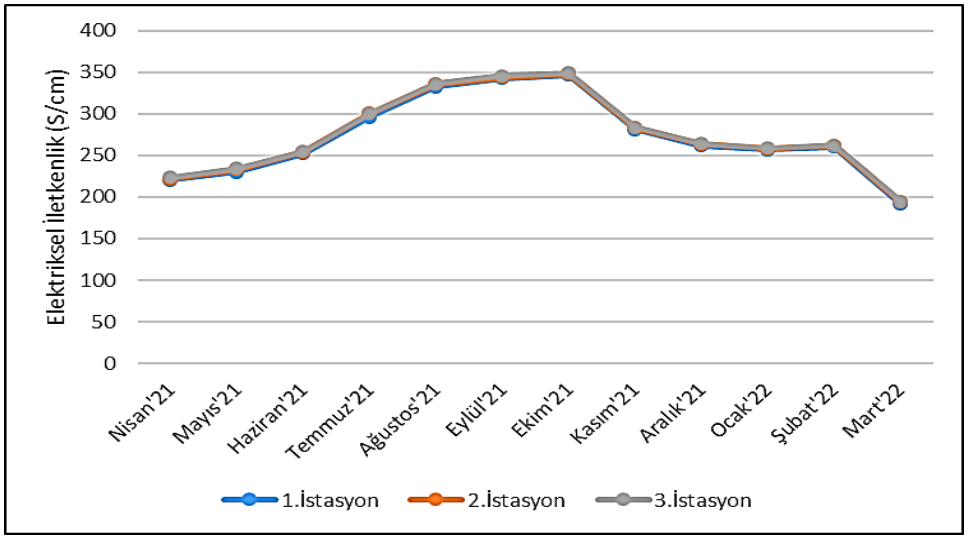
ayında ortalama 348,22±1,62 olarak, en düşük elektriksel iletkenlik değeri ise Mart ayında ortalama 193,69±1,79 olarak ölçülmüştür (Tablo 7.9, Grafik 7.9). Böylece en yüksek değerler sonbaharda en düşük değerler ise ilkbaharda görülmüştür (Tablo 7.10, Grafik 7.10).

**Tablo 7.9** Karadere Baraj Göleti'nde Elektriksel İletkenliğin (S/cm) aylık değişimi

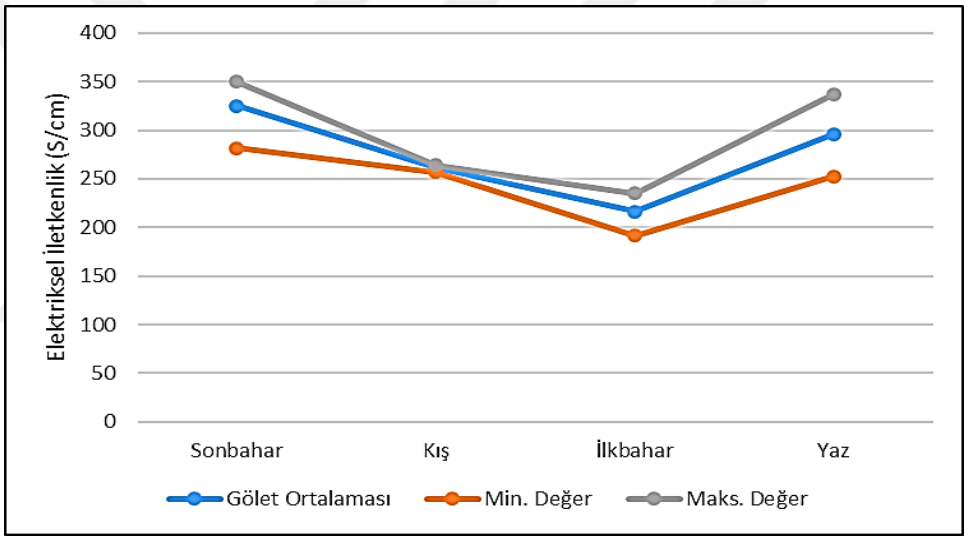
| **Aylar** | **1. İstasyon** | **2. İstasyon** | **3. İstasyon** | **Gölet Ortalaması** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 220,22 | 222,18 | 223,94 | 222,11$^{h}$±1,86 | 220,22 | 223,94 |
| Mayıs | 229,71 | 233,39 | 234,84 | 232,65$^{g}$±2,64 | 229,71 | 234,84 |
| Haziran | 252,56 | 254,27 | 255,23 | 254,02f±1,35 | 252,56 | 255,23 |
| Temmuz | 296,40 | 300,59 | 301,19 | 299,39$^{c}$±2,61 | 296,40 | 301,19 |
| Ağustos | 332,46 | 336,14 | 336,92 | 335,17$^{b}$±2,38 | 332,46 | 336,92 |
| Eylül | 342,46 | 344,27 | 345,94 | 344,22$^{a}$±1,74 | 342,46 | 345,94 |
| Ekim | 346,58 | 348,26 | 349,83 | 348,22$^{a}$±1,62 | 346,58 | 349,83 |
| Kasım | 281,38 | 283,21 | 284,32 | 282,97$^{d}$±1,48 | 281,38 | 284,32 |
| Aralık | 261,52 | 263,59 | 264,19 | 263,1$^{e}$±1,40 | 261,52 | 264,19 |
| Ocak | 257,12 | 258,58 | 259,26 | 258,32$^{e}$±1,09 | 257,12 | 259,26 |
| Şubat | 260,26 | 261,92 | 262,14 | 261,44$^{ef}$±1,03 | 260,26 | 262,14 |
| Mart | 191,68 | 194,26 | 195,13 | 193,69$^{i}$±1,79 | 191,68 | 195,13 |
| Yıllık Ortalama | 272,7±49,20 | 275,01±49,24 | 276,01±49,31 | 274,61±47,84 | 191,68 | 349,83 |

**Tablo 7.10** Karadere Baraj Göleti'nde Elektriksel İletkenliğin (S/cm) mevsimsel değişimi

| **Mevsim** | **Gölet Ortalaması** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | 325,14$^{a}$±31,71 | 281,38 | 349,83 |
| Kış | 260,95$^{b}$±2,34 | 257,12 | 264,19 |
| İlkbahar | 216,15$^{c}$±17,55 | 191,68 | 234,84 |
| Yaz | 296,20$^{a}$±35,27 | 252,56 | 336,92 |




**Grafik 7.9** Karadere Baraj Göleti'nde Elektriksel İletkenliğin (S/cm) aylık değişimi




**Grafik 7.10** Karadere Baraj Göleti'nde Elektriksel İletkenliğin (S/cm) mevsimsel değişimi

### 7.1.6 Askıda Katı Madde (mg/L)

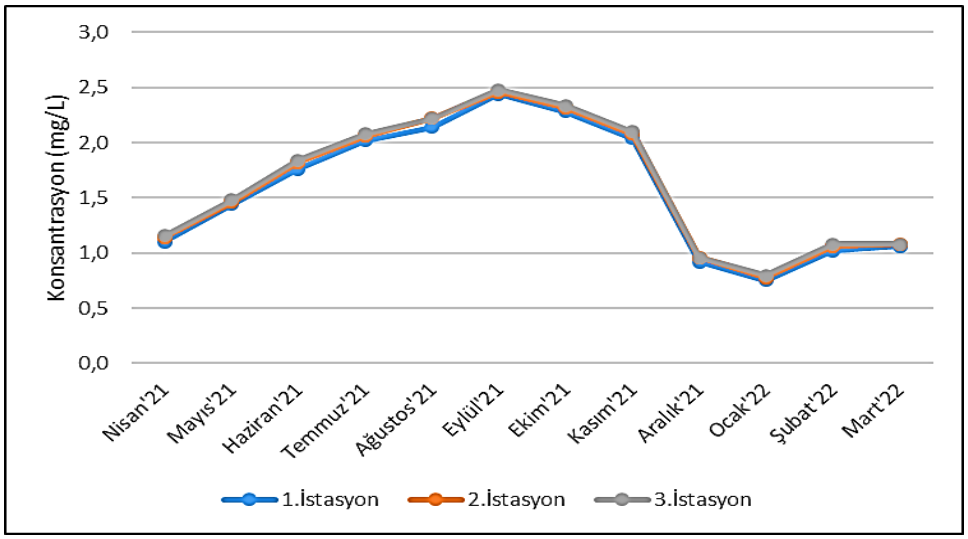
Askıda katı madde miktarı, ani bir düşüşle en düşük ölçüldüğü Ocak (ortalama 0,78±0,02 mg/L) ayından sonra kademeli olarak yükselmeye başladı. Eylül ayında (ortalama 0,46±0,02 mg/L) en yüksek seviyesine ulaştı (Tablo 7.11, Grafik 7.11). Mevsimsel olarak bakıldığında en yüksek seviye sonbaharda ölçülmüşken en düşük seviye onu takip eden kış mevsiminde ölçülmüştür (Tablo 7.12, Grafik 7.12). Gölette ölçülen yıllık ortalama askıda katı madde miktarı 1,61±0,58 mg/L olarak hesaplandı.

**Tablo 7.11** Karadere Baraj Göleti'nde AKM miktarının ( mg/L) aylık değişimi

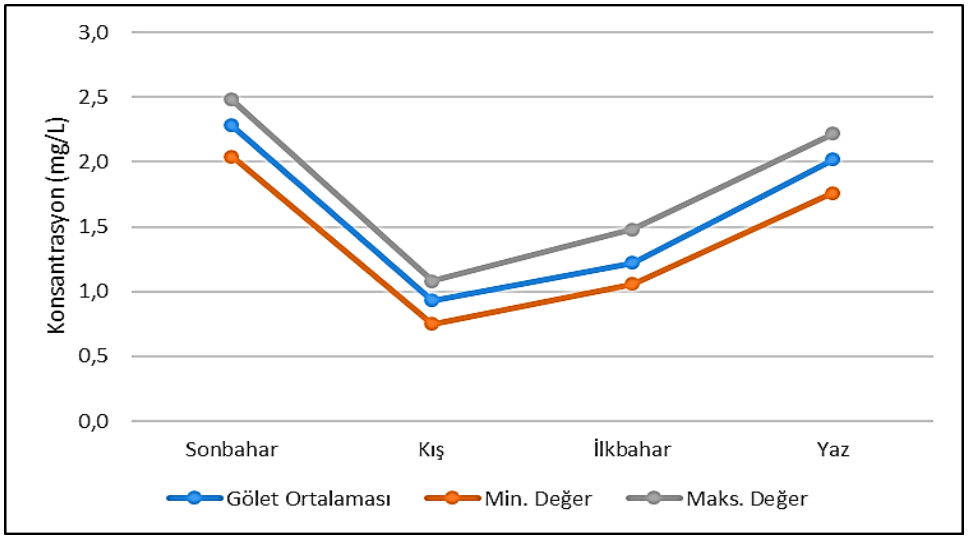
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 1,1 | 1,14 | 1,16 | $1,13^{g}$±0,03 | 1,1 | 1,16 |
| Mayıs | 1,44 | 1,46 | 1,48 | $1,46^{f}$±0,02 | 1,44 | 1,48 |
| Haziran | 1,76 | 1,82 | 1,84 | $1,81^{e}$±0,04 | 1,76 | 1,84 |
| Temmuz | 2,02 | 2,06 | 2,08 | $2,05^{d}$±0,03 | 2,02 | 2,08 |
| Ağustos | 2,14 | 2,22 | 2,22 | $2,19^{c}$±0,05 | 2,14 | 2,22 |
| Eylül | 2,44 | 2,46 | 2,48 | $2,46^{a}$±0,02 | 2,44 | 2,48 |
| Ekim | 2,28 | 2,32 | 2,34 | $2,31^{b}$±0,03 | 2,28 | 2,34 |
| Kasım | 2,04 | 2,08 | 2,1 | $2,07^{d}$±0,03 | 2,04 | 2,1 |
| Aralık | 0,92 | 0,96 | 0,96 | $0,95^{h}$±0,02 | 0,92 | 0,96 |
| Ocak | 0,75 | 0,78 | 0,8 | $0,78^{i}$±0,02 | 0,75 | 0,8 |
| Şubat | 1,02 | 1,06 | 1,08 | $1,05^{g}$±0,03 | 1,02 | 1,08 |
| Mart | 1,06 | 1,08 | 1,08 | $1,07^{g}$±0,01 | 1,06 | 1,08 |
| Yıllık Ortalama | 1,58±0,60 | 1,62±0,60 | 1,64±0,60 | 1,61±0,58 | 0,75 | 2,48 |

**Tablo 7.12** Karadere Baraj Göleti'nde AKM miktarının ( mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $2,28^{a}$±0,17 | 2,04 | 2,48 |
| Kış | $0,93^{d}$±0,12 | 0,75 | 1,08 |
| İlkbahar | $1,22^{c}$±0,18 | 1,06 | 1,48 |
| Yaz | $2,02^{b}$±0,17 | 1,76 | 2,22 |




**Grafik 7.11** Karadere Baraj Göleti'nde AKM miktarının ( mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.12** Karadere Baraj Göleti'nde AKM miktarının ( mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.7 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)

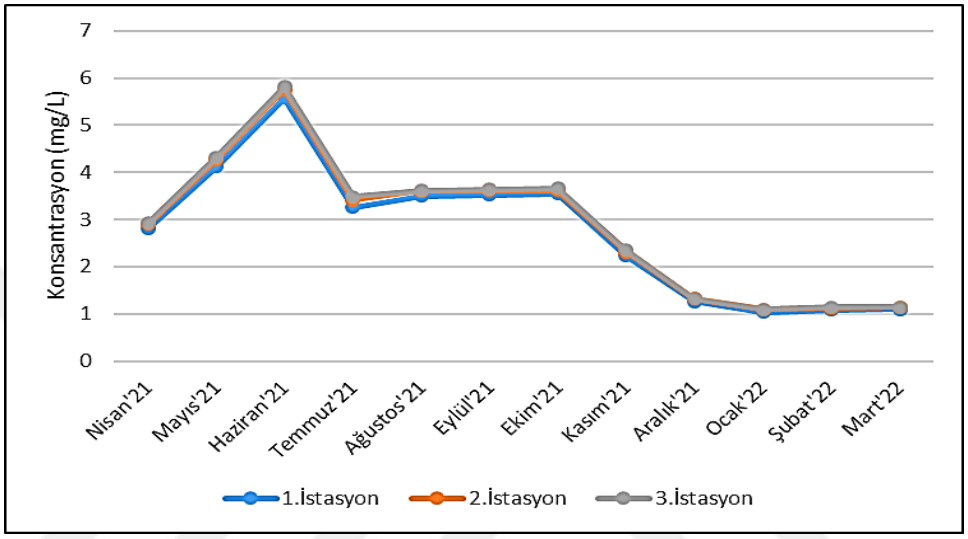
Kademeli değişim gösteren kimyasal oksijen ihtiyacı kış mevsiminde en düşük yaz mevsiminde en yüksek seviyelerine ulaştı (Tablo 7.14, Grafik 7.14). En düşük ortalama 1,08±0,03 mg/L ile Ocak ayında, en yüksek ortalama 5,72±0,12 mg/L ile Haziran ayında ölçülmüştür (Tablo 7.13, Grafik 7.13). Göletin yıllık ortalama kimyasal oksijen ihtiyacı 2,83±1,43 mg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.13).

**Tablo 7.13** Karadere Baraj Göleti'nde KOİ değerlerinin (mg/L) aylık değişimi

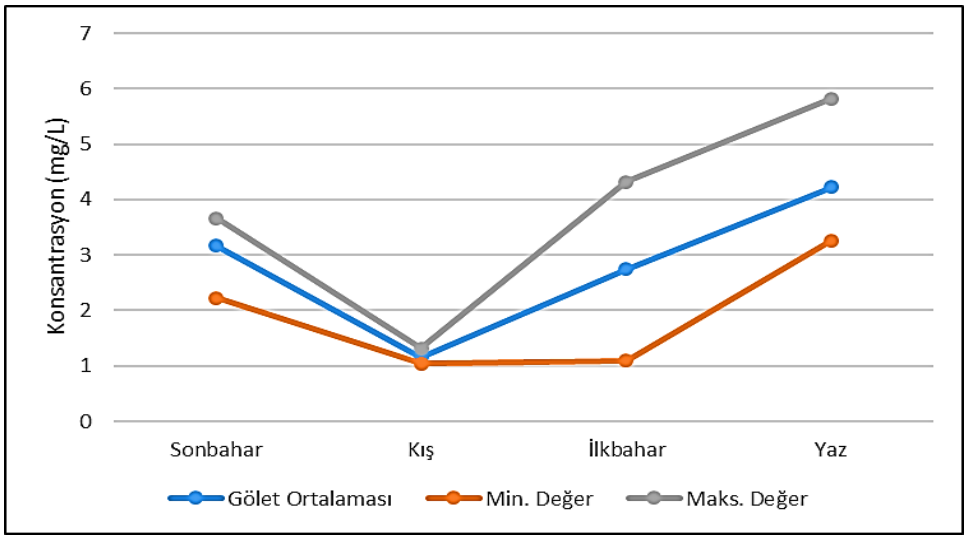
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 2,8 | 2,9 | 2,93 | $2,88^{e}$±0,07 | 2,8 | 2,93 |
| Mayıs | 4,12 | 4,28 | 4,32 | $4,24^{b}$±0,11 | 4,12 | 4,32 |
| Haziran | 5,58 | 5,76 | 5,82 | $5,72^{a}$±0,12 | 5,58 | 5,82 |
| Temmuz | 3,26 | 3,42 | 3,48 | $3,39^{d}$±0,11 | 3,26 | 3,48 |
| Ağustos | 3,5 | 3,6 | 3,62 | $3,57^{cd}$±0,06 | 3,5 | 3,62 |
| Eylül | 3,52 | 3,62 | 3,64 | $3,59^{cd}$±0,06 | 3,52 | 3,64 |
| Ekim | 3,54 | 3,62 | 3,66 | $3,61^{c}$±0,06 | 3,54 | 3,66 |
| Kasım | 2,23 | 2,32 | 2,35 | $2,30^{f}$±0,06 | 2,23 | 2,35 |
| Aralık | 1,26 | 1,32 | 1,32 | $1,30^{g}$±0,03 | 1,26 | 1,32 |
| Ocak | 1,04 | 1,1 | 1,1 | $1,08^{h}$±0,03 | 1,04 | 1,1 |
| Şubat | 1,08 | 1,12 | 1,14 | $1,11^{gh}$±0,03 | 1,08 | 1,14 |
| Mart | 1,1 | 1,14 | 1,14 | $1,13^{gh}$±0,02 | 1,1 | 1,14 |
| Yıllık Ortalama | 2,75±1,44 | 2,85±1,48 | 2,88±1,50 | 2,83±1,43 | 1,04 | 5,82 |

**Tablo 7.14** Karadere Baraj Göleti'nde KOİ değerlerinin (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $3,17^{ab}$±0,65 | 2,23 | 3,66 |
| Kış | $1,16^{c}$±0,11 | 1,04 | 1,32 |
| İlkbahar | $2,75^{b}$±1,35 | 1,10 | 4,32 |
| Yaz | $4,23^{a}$±1,13 | 3,26 | 5,82 |




**Grafik 7.13** Karadere Baraj Göleti'nde KOİ değerlerinin (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.14** Karadere Baraj Göleti'nde KOİ değerlerinin (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.8 Biyolojik Oksijen İhtiyacı (mg/L)

Biyolojik oksijen ihtiyacının en düşük ölçüldüğü ay Mart ayıdır (ortalama 0,03±0,01 mg/L). En yüksek ölçüldüğü ay ise ortalama 1,57±0,12 mg/L ile Haziran ayıdır (Tablo

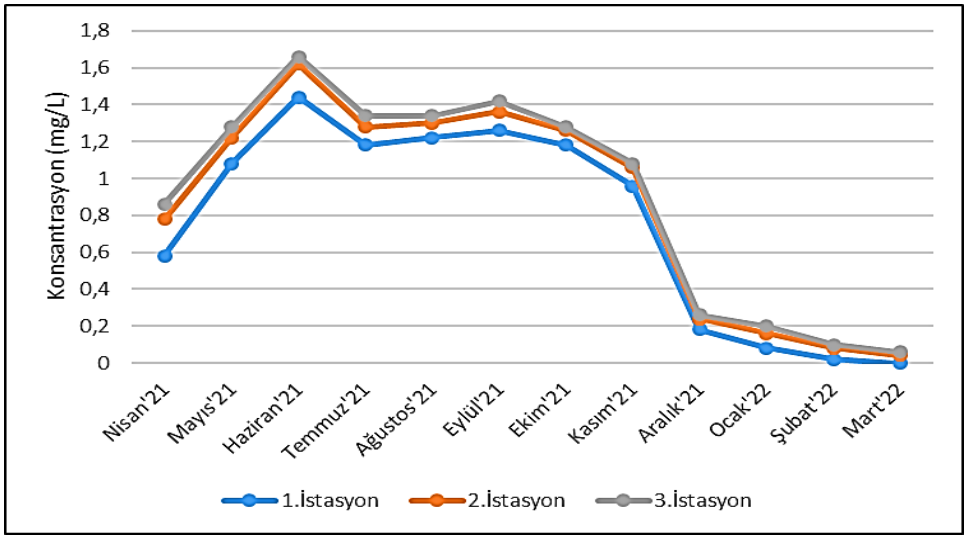
7.15, Grafik 7.15). İlkbahara girerken en düşük seviyesinde olan BOİ yaza girerken en yüksek seviyesine ulaştı (Tablo 7.16, Grafik 7.16). Yıllık ortalama 0,85±0,55 mg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.15).

**Tablo 7.15** Karadere Baraj Göleti'nde BOİ miktarının (mg/L) aylık değişimi

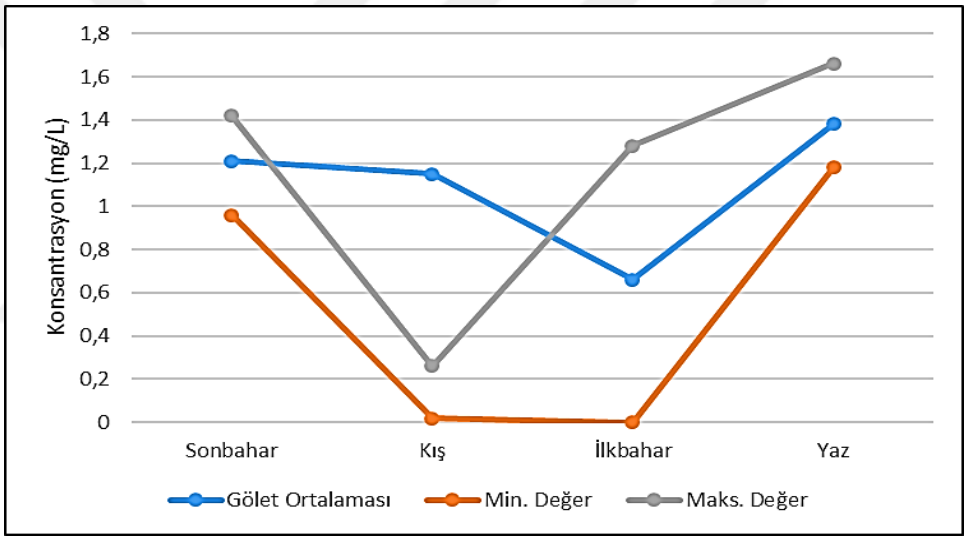
| **Aylar** | **1. İstasyon** | **2. İstasyon** | **3. İstasyon** | **Gölet Ortalaması** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,58 | 0,78 | 0,86 | $0,74^{d}$±0,14 | 0,58 | 0,86 |
| Mayıs | 1,08 | 1,22 | 1,28 | $1,19^{bc}$±0,10 | 1,08 | 1,28 |
| Haziran | 1,44 | 1,62 | 1,66 | $1,57^{a}$±0,12 | 1,44 | 1,66 |
| Temmuz | 1,18 | 1,28 | 1,34 | $1,27^{bc}$±0,08 | 1,18 | 1,34 |
| Ağustos | 1,22 | 1,3 | 1,34 | $1,29^{b}$±0,06 | 1,22 | 1,34 |
| Eylül | 1,26 | 1,36 | 1,42 | $1,35^{ab}$±0,08 | 1,26 | 1,42 |
| Ekim | 1,18 | 1,26 | 1,28 | $1,24^{bc}$±0,05 | 1,18 | 1,28 |
| Kasım | 0,96 | 1,06 | 1,08 | $1,03^{c}$±0,06 | 0,96 | 1,08 |
| Aralık | 0,18 | 0,24 | 0,26 | $0,23^{e}$±0,04 | 0,18 | 0,26 |
| Ocak | 0,08 | 0,16 | 0,2 | $0,15^{e}$±0,06 | 0,08 | 0,2 |
| Şubat | 0,02 | 0,08 | 0,1 | $0,07^{e}$±0,04 | 0,02 | 0,1 |
| Mart | 0 | 0,04 | 0,06 | $0,03^{e}$±0,01 | 0 | 0,06 |
| Yıllık Ortalama | 0,77±0,55 | 0,87±0,58 | 0,91±0,59 | 0,85±0,55 | 0 | 1,66 |

**Tablo 7.16** Karadere Baraj Göleti'nde BOİ miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| **Mevsim** | **Gölet Ortalaması** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $1,21^{a}$±0,15 | 0,96 | 1,42 |
| Kış | $1,15^{c}$±0,08 | 0,02 | 0,26 |
| İlkbahar | $0,66^{b}$±0,51 | 0,00 | 1,28 |
| Yaz | $1,38^{a}$±0,17 | 1,18 | 1,66 |




**Grafik 7.15** Karadere Baraj Göleti'nde BOİ miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.16** Karadere Baraj Göleti'nde BOİ miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.9 Klorür (mg/L)

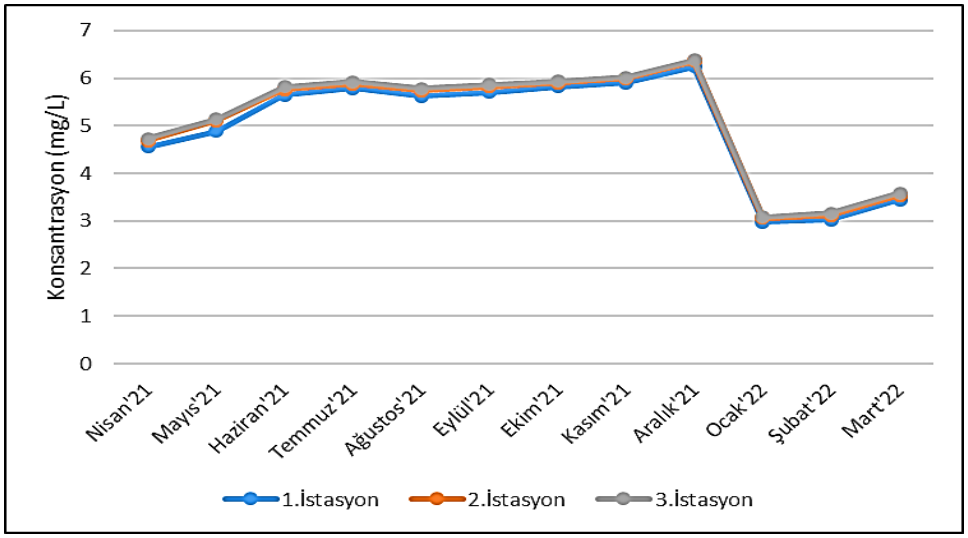
Düzenli bir şekilde yükselen klorür Aralık ayında (ortalama 6,33±0,08 mg/L) en yüksek seviyesine ulaşırken ani bir düşüşle Ocak ayında (ortalama 3,04±0,05 mg/L) yılın en düşük seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 7.17, Grafik 7.17). Mevsimsel olarak bakıldığında en düşük ve en yüksek seviye aynı mevsim içerisinde, kış mevsiminde, izlenmiştir (Tablo 7.18, Grafik 7.18). Yıllık ortalama klorür seviyesi 5,05±1,16 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.17).

**Tablo 7.17** Karadere Baraj Göleti'nde Klorür miktarının (mg/L) aylık değişimleri

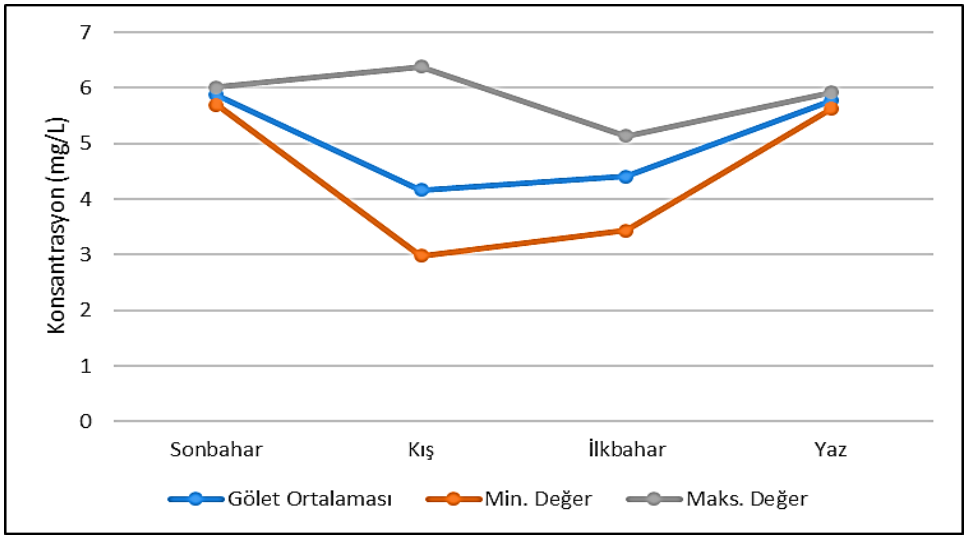
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 4,56 | 4,68 | 4,73 | $4,66^{e}$±0,09 | 4,56 | 4,73 |
| Mayıs | 4,88 | 5,1 | 5,14 | $5,04^{d}$±0,14 | 4,88 | 5,14 |
| Haziran | 5,64 | 5,76 | 5,82 | $5,74^{bc}$±0,09 | 5,64 | 5,82 |
| Temmuz | 5,78 | 5,88 | 5,92 | $5,86^{bc}$±0,07 | 5,78 | 5,92 |
| Ağustos | 5,62 | 5,74 | 5,78 | $5,71^{c}$±0,08 | 5,62 | 5,78 |
| Eylül | 5,7 | 5,82 | 5,86 | $5,79^{bc}$±0,08 | 5,7 | 5,86 |
| Ekim | 5,82 | 5,9 | 5,94 | $5,89^{bc}$±0,06 | 5,82 | 5,94 |
| Kasım | 5,9 | 6,0 | 6,02 | $5,97^{b}$±0,06 | 5,9 | 6,02 |
| Aralık | 6,24 | 6,36 | 6,38 | $6,33^{a}$±0,08 | 6,24 | 6,38 |
| Ocak | 2,98 | 3,06 | 3,08 | $3,04^{g}$±0,05 | 2,98 | 3,08 |
| Şubat | 3,02 | 3,12 | 3,16 | $3,1^{g}$±0,07 | 3,02 | 3,16 |
| Mart | 3,44 | 3,54 | 3,58 | $3,52^{f}$±0,07 | 3,44 | 3,58 |
| Yıllık Ortalama | 4,96±1,19 | 5,08±1,19 | 5,12±1,19 | 5,05±1,16 | 2,98 | 6,38 |

**Tablo 7.18** Karadere Baraj Göleti'nde Klorür miktarının (mg/L) mevsimsel değişimleri

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $5,88^{a}$±0,10 | 5,70 | 6,02 |
| Kış | $4,16^{b}$±1,63 | 2,98 | 6,38 |
| İlkbahar | $4,41^{c}$±0,69 | 3,44 | 5,14 |
| Yaz | $5,77^{ab}$±0,10 | 5,62 | 5,92 |




**Grafik 7.17** Karadere Baraj Göleti'nde Klorür miktarının (mg/L) aylık değişimleri




**Grafik 7.18** Karadere Baraj Göleti'nde Klorür miktarının (mg/L) mevsimsel değişimleri

### 7.1.10 Fosfat (mg/L)

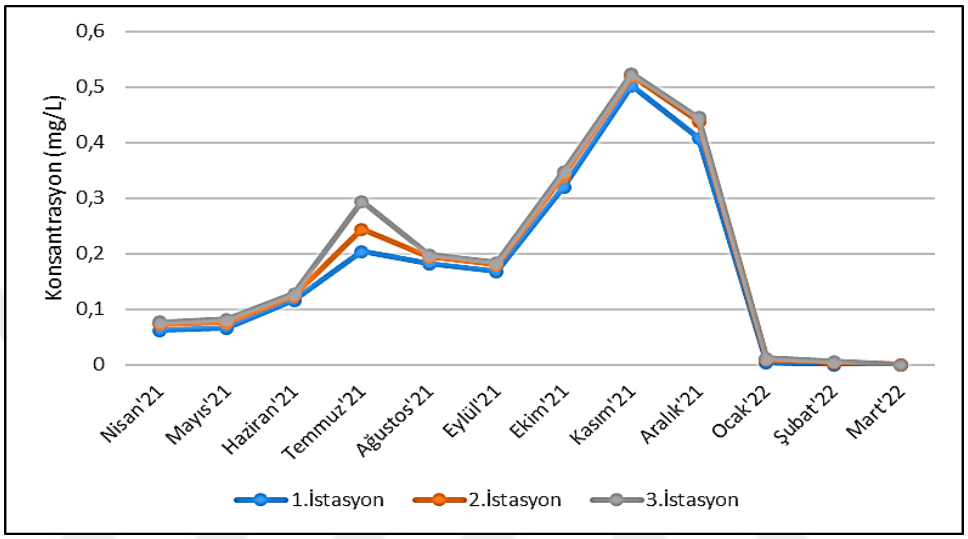
Göletteki fosfat seviyesi Kasım ayında en yüksek seviyesinde (ortalama 0,52±0,011 mg/L) ölçülmüştür. Ocak ayında (ortalama 0,01±0,004 mg/L) aniden düşmüştür. Şubat ayında en düşük seviyesinde (ortalama 0,003±0,003 mg/L) ölçüldükten sonra Mart ayında hiçbir istasyondan fosfat verisi alınamamıştır (Tablo 7.19, Grafik 7.19). İlkbaharda en düşük seviyesinde ölçülen fosfat, sonbaharda en yüksek seviyesine ulaşmıştır (Tablo 7.20, Grafik 7.20). Yıllık ortalama fosfat seviyesi 0,18±0,17 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.19).

**Tablo 7.19** Karadere Baraj Göleti'nde Fosfat miktarının (mg/L) aylık değişimi

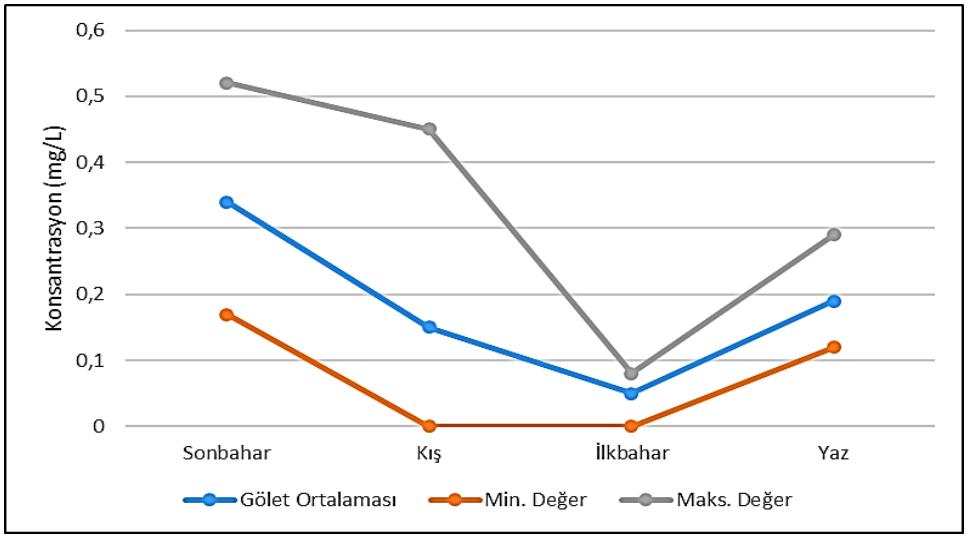
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,062 | 0,073 | 0,077 | $0,07^{g}$±0,008 | 0,062 | 0,077 |
| Mayıs | 0,066 | 0,076 | 0,082 | $0,08^{g}$±0,008 | 0,066 | 0,082 |
| Haziran | 0,116 | 0,124 | 0,128 | $0,12^{f}$±0,006 | 0,116 | 0,128 |
| Temmuz | 0,204 | 0,244 | 0,294 | $0,25^{d}$±0,05 | 0,204 | 0,294 |
| Ağustos | 0,182 | 0,194 | 0,198 | $0,19^{e}$±0,008 | 0,182 | 0,198 |
| Eylül | 0,168 | 0,18 | 0,184 | $0,18^{e}$±0,008 | 0,168 | 0,184 |
| Ekim | 0,32 | 0,34 | 0,348 | $0,34^{c}$±0,014 | 0,32 | 0,348 |
| Kasım | 0,502 | 0,52 | 0,524 | $0,52^{a}$±0,011 | 0,502 | 0,524 |
| Aralık | 0,408 | 0,438 | 0,445 | $0,43^{b}$±0,020 | 0,408 | 0,445 |
| Ocak | 0,004 | 0,01 | 0,012 | $0,01^{h}$±0,004 | 0,004 | 0,012 |
| Şubat | 0,00 | 0,004 | 0,006 | $0,003^{h}$±0,003 | 0,00 | 0,006 |
| Mart | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $0,00^{h}$±0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Yıllık Ortalama | 0,17±0,17 | 0,18±0,17 | 0,19±0,18 | 0,18±0,17 | 0,000 | 0,524 |

**Tablo 7.20** Karadere Baraj Göleti'nde Fosfat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $0,34^{a}\pm0,15$ | 0,17 | 0,52 |
| Kış | $0,15^{b}\pm0,21$ | 0,00 | 0,45 |
| İlkbahar | $0,05^{b}\pm0,04$ | 0,00 | 0,08 |
| Yaz | $0,19^{ab}\pm0,06$ | 0,12 | 0,29 |




**Grafik 7.19** Karadere Baraj Göleti'nde Fosfat miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.20** Karadere Baraj Göleti'nde Fosfat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.11 Sülfat (mg/L)

Sülfat parametresi için gölette çok ciddi değişimler gözlenmemektedir. En yüksek sülfat seviyesi (ortalama 81,38±2,78 mg/L) Haziran ayında ölçülmüştür. En düşük

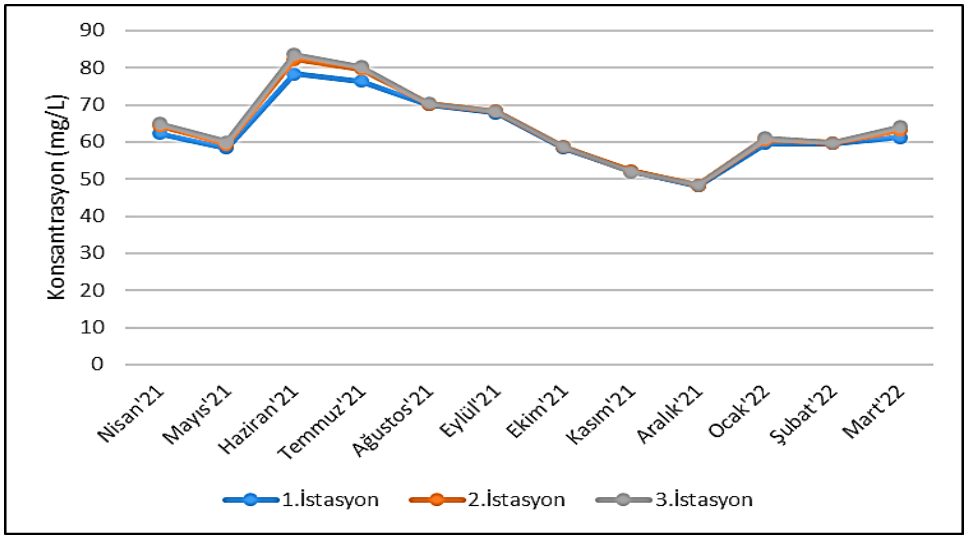
seviyeye ise (ortalama 48,29±0,10 mg/L) Aralık ayında rastlanmaktadır (Tablo 7.21, Grafik 7.21). Mevsimsel ortalamalar birbirine yakın olmakla birlikte sülfatın en düşük seviyesi kış mevsiminde, en yüksek seviyesi yaz mevsiminde görülmektedir (Tablo 7.22, Grafik 7.22). Yıllık ortalama sülfat seviyesi 63,65±9,52 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.21).

**Tablo 7.21** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfat miktarının (mg/L) aylık değişimi

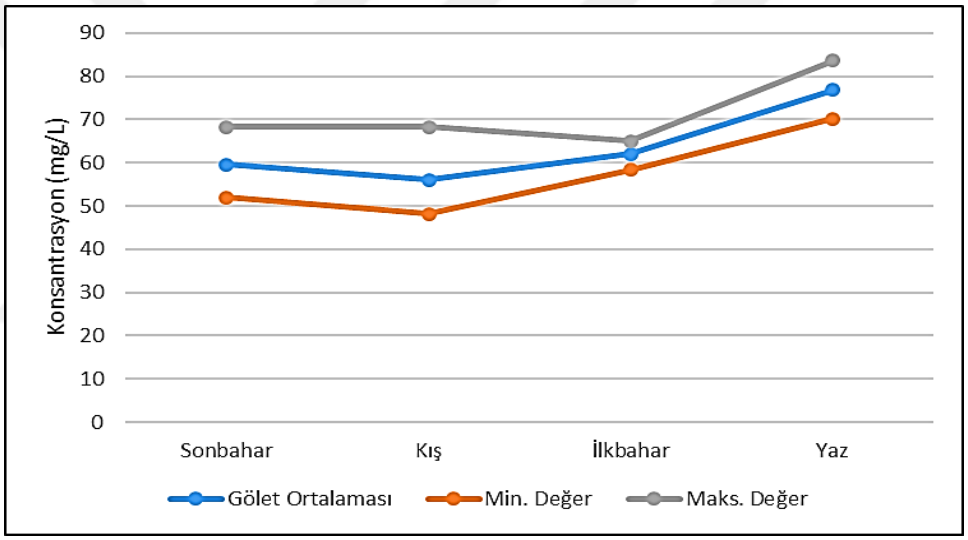
| **Aylar** | **1. İstasyon** | **2. İstasyon** | **3. İstasyon** | **Gölet Ortalaması** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 62,28 | 64,43 | 65,01 | 63,91c±1,44 | 62,28 | 65,01 |
| Mayıs | 58,4 | 59,43 | 60,01 | 59,28de±0,81 | 58,4 | 60,01 |
| Haziran | 78,28 | 82,22 | 83,64 | 81,38a±2,78 | 78,28 | 83,64 |
| Temmuz | 76,36 | 79,67 | 80,32 | 78,78a±2,12 | 76,36 | 80,32 |
| Ağustos | 70,14 | 70,32 | 70,38 | 70,28b±0,12 | 70,14 | 70,38 |
| Eylül | 67,86 | 68,28 | 68,36 | 68,17b±0,27 | 67,86 | 68,36 |
| Ekim | 58,44 | 58,68 | 58,74 | 58,62e±0,16 | 58,44 | 58,74 |
| Kasım | 52,22 | 52,31 | 52 | 52,18f±0,16 | 52 | 52,31 |
| Aralık | 48,18 | 48,32 | 48,38 | 48,29g±0,10 | 48,18 | 48,38 |
| Ocak | 59,56 | 60,64 | 61,07 | 60,42cde±0,78 | 59,56 | 61,07 |
| Şubat | 59,6 | 59,68 | 59,74 | 59,67de±0,07 | 59,6 | 59,74 |
| Mart | 61,2 | 63,23 | 64,1 | 62,84cd±1,49 | 61,2 | 64,1 |
| Yıllık Ortalama | 62,71±9,00 | 63,93±9,99 | 63,65±10,31 | 63,65±9,52 | 48,18 | 83,64 |

**Tablo 7.22** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| **Mevsim** | **Gölet Ortalaması** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $59,65^{b}$±6,97 | 52,00 | 68,36 |
| Kış | $56,13^{b}$±5,90 | 48,18 | 68,36 |
| İlkbahar | $62,01^{b}$±2,38 | 58,40 | 65,01 |
| Yaz | $76,81^{a}$±5,32 | 70,14 | 83,64 |




**Grafik 7.21** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfat miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.22** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.12 Sülfit (mg/L)

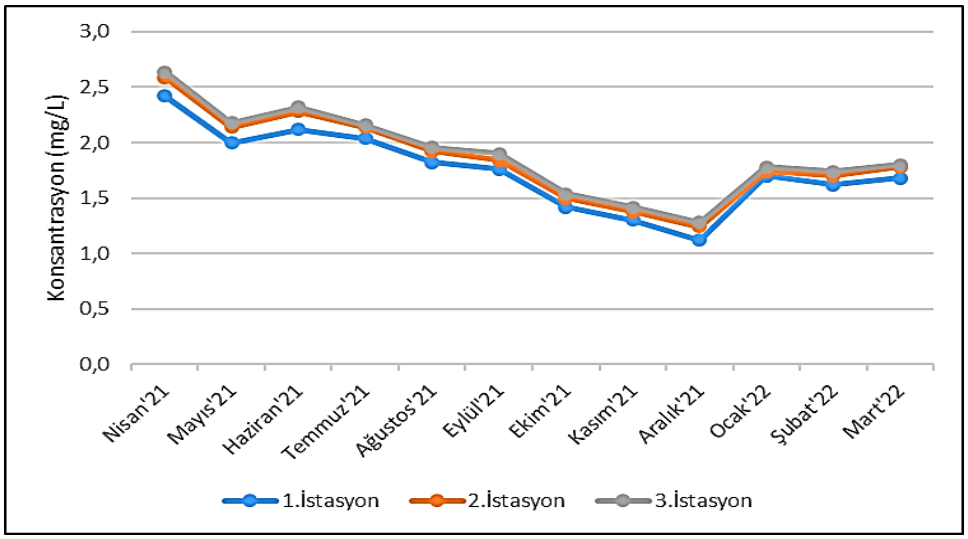
En düşük seviyesi (ortalama 1,21±0,08 mg/L) Aralık ayında ölçülen sülfit Ocak ayı ile birlikte yükselişe geçmiştir. Nisan ayında en yüksek (ortalama 2,55±0,11 mg/L) seviyede ölçülmüştür (Tablo 7.23, Grafik 7.23). Ortalama değerleri çok yakın olmakla birlikte en düşük seviye kış, en yüksek seviye yaz mevsiminde görülmektedir (Tablo 7.24, Grafik 7.24). Yıllık ortalama sülfit seviyesi 1,83±0,38 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.23).

**Tablo 7.23** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfit miktarının (mg/L) aylık değişimi

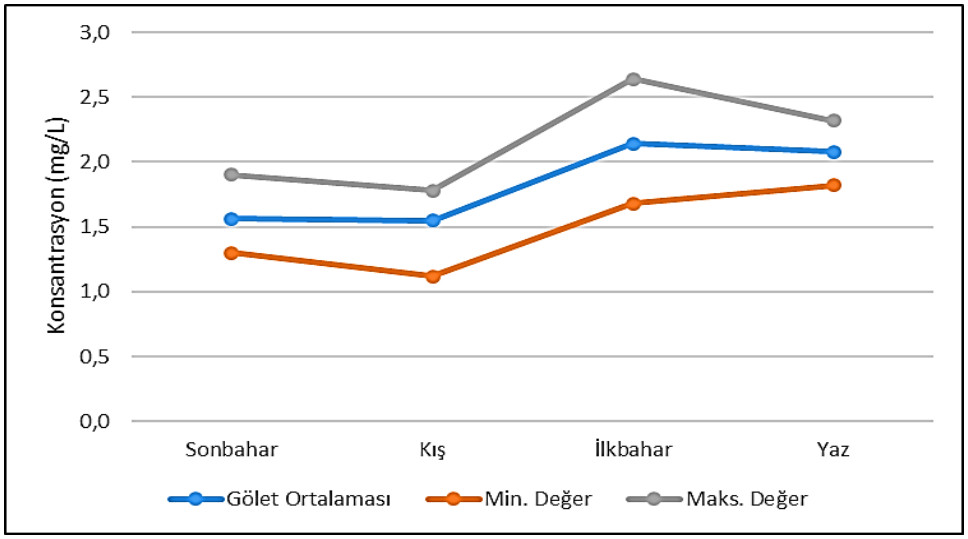
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 2,42 | 2,59 | 2,64 | $2,55^{a}$±0,11 | 2,42 | 2,64 |
| Mayıs | 2,00 | 2,14 | 2,18 | $2,10^{bc}$±0,09 | 2,00 | 2,18 |
| Haziran | 2,12 | 2,28 | 2,32 | $2,24^{b}$±0,11 | 2,12 | 2,32 |
| Temmuz | 2,04 | 2,14 | 2,16 | $2,11^{bc}$±0,06 | 2,04 | 2,16 |
| Ağustos | 1,82 | 1,92 | 1,96 | $1,90^{cd}$±0,07 | 1,82 | 1,96 |
| Eylül | 1,76 | 1,84 | 1,90 | $1,83^{d}$±0,07 | 1,76 | 1,90 |
| Ekim | 1,42 | 1,50 | 1,54 | $1,49^{ef}$±0,06 | 1,42 | 1,54 |
| Kasım | 1,30 | 1,38 | 1,42 | $1,37^{fg}$±0,06 | 1,30 | 1,42 |
| Aralık | 1,12 | 1,24 | 1,28 | $1,21^{g}$±0,08 | 1,12 | 1,28 |
| Ocak | 1,70 | 1,74 | 1,78 | $1,74^{d}$±0,04 | 1,70 | 1,78 |
| Şubat | 1,62 | 1,70 | 1,74 | $1,67^{de}$±0,06 | 1,62 | 1,74 |
| Mart | 1,68 | 1,78 | 1,80 | $1,75^{d}$±0,06 | 1,68 | 1,80 |
| Yıllık Ortalama | 1,75±0,37 | 1,85±0,39 | 1,89±0,39 | 1,83±0,38 | 1,12 | 2,64 |

**Tablo 7.24** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfit miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $1,56^{b}$±0,22 | 1,30 | 1,90 |
| Kış | $1,55^{b}$±0,26 | 1,12 | 1,78 |
| İlkbahar | $2,14^{a}$±0,36 | 1,68 | 2,64 |
| Yaz | $2,08^{a}$±0,16 | 1,82 | 2,32 |




**Grafik 7.23** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfit miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.24** Karadere Baraj Göleti'nde Sülfit miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.13 Sodyum (mg/L)

Gölette sodyum miktarının Nisan ayında yükselişe geçtiğini görüyoruz. En yüksek seviyesi Haziran ayında (ortalama 76,40±0,63 mg/L) ölçülen sodyum Temmuz ayında düşüşe başladı. Eylül'den itibaren pek de farklı sonuçlar vermeyen sodyumun en düşük seviyesi (ortalama 39,09±0,08 mg/L) Ekim ayında ölçüldü (Tablo 7.25, Grafik 7.15).

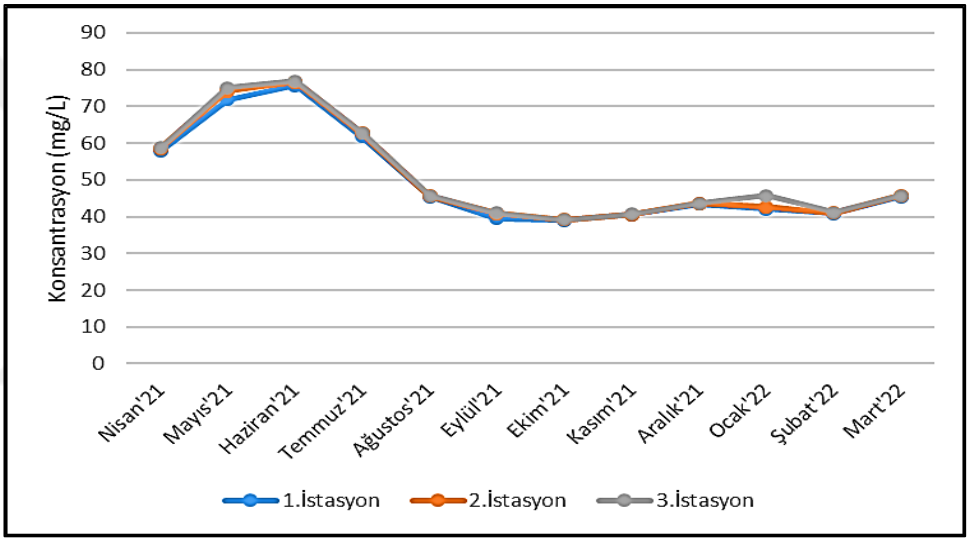
**Tablo 7.25** Karadere Baraj Göleti'nde Sodyum miktarının (mg/L) aylık değişimi

| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 57,78 | 58,61 | 58,67 | $58,35^{d}$±0,50 | 57,78 | 58,67 |
| Mayıs | 71,80 | 74,22 | 75,08 | $73,70^{b}$±1,70 | 71,8 | 75,08 |
| Haziran | 75,68 | 76,64 | 76,88 | $76,40^{a}$±0,63 | 75,68 | 76,88 |
| Temmuz | 61,78 | 62,64 | 62,80 | $62,41^{c}$±0,55 | 61,78 | 62,80 |
| Ağustos | 45,48 | 45,62 | 45,70 | $45,60^{e}$±0,11 | 45,48 | 45,70 |
| Eylül | 39,50 | 40,86 | 41,02 | $40,46^{f}$±0,83 | 39,50 | 41,02 |
| Ekim | 39,00 | 39,12 | 39,16 | $39,09^{f}$±0,08 | 39,00 | 39,16 |
| Kasım | 40,50 | 40,60 | 40,64 | $40,58^{f}$±0,07 | 40,50 | 40,64 |
| Aralık | 43,50 | 43,62 | 43,66 | $43,59^{e}$±0,08 | 43,50 | 43,66 |
| Ocak | 42,04 | 42,64 | 45,72 | $43,47^{e}$±1,97 | 42,04 | 45,72 |
| Şubat | 40,84 | 41,02 | 41,10 | $4,99^{f}$±0,13 | 40,84 | 41,10 |
| Mart | 45,48 | 45,70 | 45,76 | $45,65^{e}$±0,15 | 45,48 | 45,76 |
| Yıllık Ortalama | 50,28±13,09 | 50,94±13,56 | 50,86±13,58 | 50,86±13,03 | 39,00 | 76,88 |

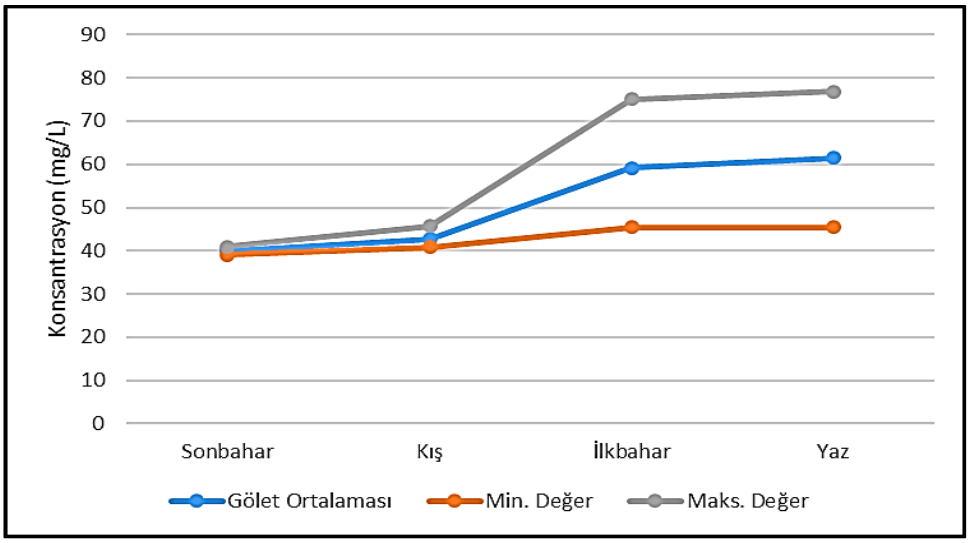
**Tablo 7.26** Karadere Baraj Göleti'nde Sodyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | 40,04[b]±0,83 | 39,00 | 41,02 |
| Kış | 42,68[b]±1,61 | 40,84 | 45,72 |
| İlkbahar | 59,23[a]±12,20 | 45,48 | 75,08 |
| Yaz | 61,47[a]±13,36 | 45,48 | 76,88 |

Yazın en yüksek seviyede olan sodyum sonbaharın başlamasıyla en düşük seviyeye gerilemiştir (Tablo 7.26, Grafik 7.26). Yıllık ortalama sodyum miktarı 50,86±13,03 mg/L olarak hesaplanmıştır.




**Grafik 7.25** Karadere Baraj Göleti'nde Sodyum miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.26** Karadere Baraj Göleti'nde Sodyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.14 Potasyum (mg/L)

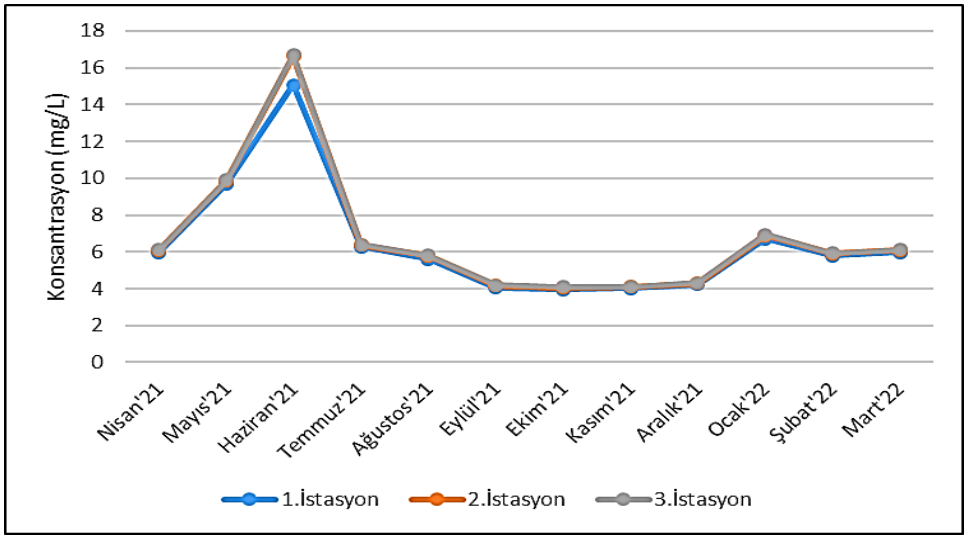
Gölette en düşük potasyum seviyesi Ekim ayında ortalama 4,03±0,08 mg/L olarak ölçülmüştür. En yüksek potasyum seviyesi ise Haziran ayında ani bir yükselişle ortalama 16,13±0,91 mg/L olarak ölçülmüştür (Tablo 7.27, Grafik 7.27). Bu sonuçlara göre yaz mevsimi gölette potasyum seviyesinin en yüksek ölçüldüğü mevsim olmuştur (Tablo 7.28, Grafik 7.28). Gölette yıllık ortalama potasyum seviyesi 6,62±3,32 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.27).

**Tablo 7.27** Karadere Baraj Göleti'nde Potasyum miktarının (mg/L) aylık değişimi

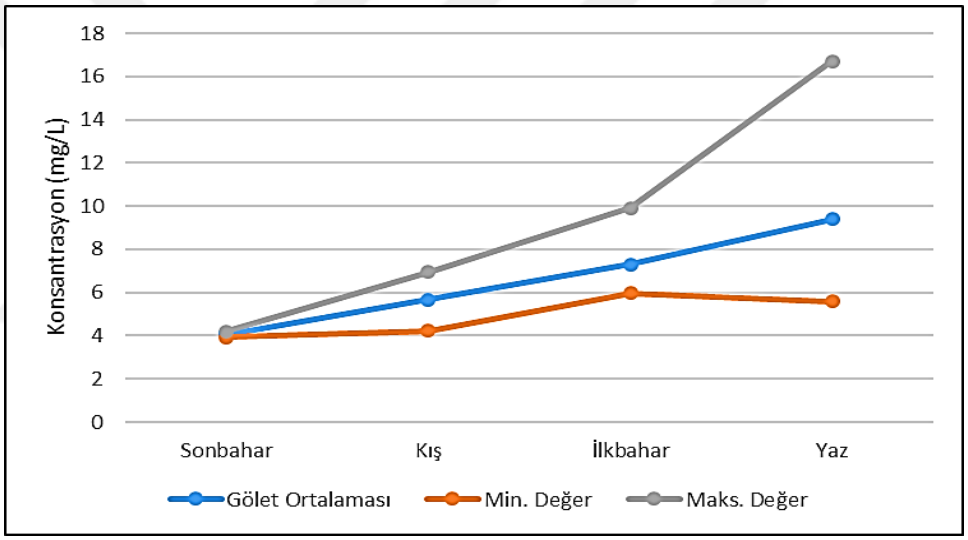
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 5,96 | 6,08 | 6,12 | 6,05c$^{d}$±0,08 | 5,96 | 6,12 |
| Mayıs | 9,7 | 9,88 | 9,92 | 9,83$^{b}$±0,12 | 9,7 | 9,92 |
| Haziran | 15,08 | 16,62 | 16,7 | 16,13$^{a}$±0,91 | 15,08 | 16,7 |
| Temmuz | 6,28 | 6,36 | 6,4 | 6,35$^{cd}$±0,06 | 6,28 | 6,4 |
| Ağustos | 5,6 | 5,78 | 5,82 | 5,73$^{d}$±0,12 | 5,6 | 5,82 |
| Eylül | 4,06 | 4,16 | 4,21 | 4,14$^{e}$±0,08 | 4,06 | 4,21 |
| Ekim | 3,94 | 4,06 | 4,1 | 4,03$^{e}$±0,08 | 3,94 | 4,1 |
| Kasım | 4 | 4,1 | 4,12 | 4,07$^{e}$±0,06 | 4 | 4,12 |
| Aralık | 4,22 | 4,3 | 4,32 | 4,28$^{e}$±0,05 | 4,22 | 4,32 |
| Ocak | 6,7 | 6,9 | 6,96 | 6,85$^{c}$±0,14 | 6,7 | 6,96 |
| Şubat | 5,8 | 5,9 | 5,94 | 5,88$^{d}$±0,07 | 5,8 | 5,94 |
| Mart | 5,96 | 6,08 | 6,12 | 6,05$^{cd}$±0,08 | 5,96 | 6,12 |
| Yıllık Ortalama | 6,44±3,16 | 6,68±3,53 | 6,73±3,54 | 6,62±3,32 | 3,94 | 16,7 |

**Tablo 7.28** Karadere Baraj Göleti'nde Potasyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | 4,08$^{b}$±0,08 | 3,94 | 4,21 |
| Kış | 5,67$^{b}$±1,13 | 4,22 | 6,96 |
| İlkbahar | 7,31$^{ab}$±1,89 | 5,96 | 9,92 |
| Yaz | 9,40$^{a}$±5,08 | 5,60 | 16,70 |




**Grafik 7.27** Karadere Baraj Göleti'nde Potasyum miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.28** Karadere Baraj Göleti'nde Potasyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.15 Toplam Sertlik (mg/L)

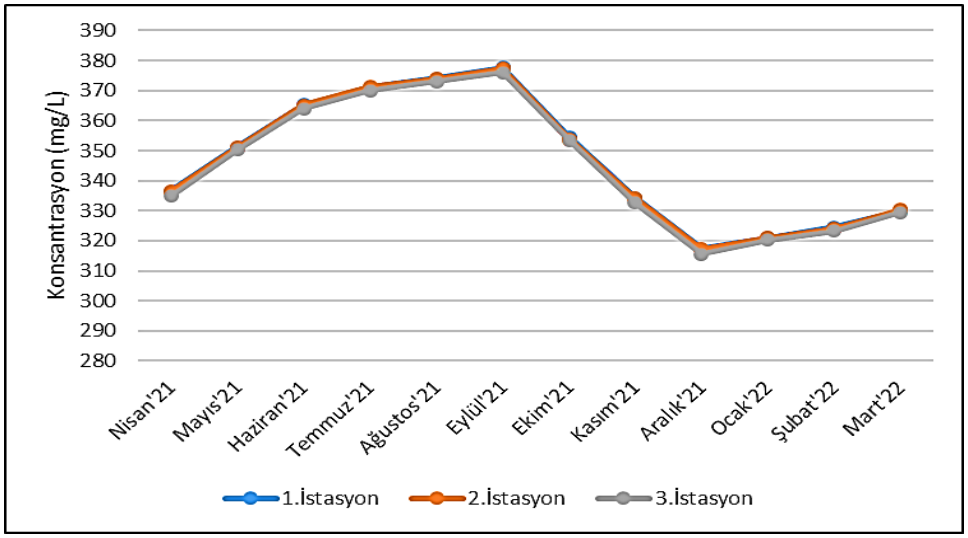
Aralık ayında (ortalama 316,71±0,96 mg/L) en düşük seviyesinde izlenen toplam sertlik, Ocak ayından itibaren agresif çıkışların olmadığı düzenli bir yükselişe geçti. 376,97±0,87 mg/L ile Eylül ayında en yüksek seviyesine ulaştı (Tablo 7.29, Grafik 7.29). En yüksek seviyesine Eylül ayında ulaşmasına rağmen toplam sertliğin en yüksek seviyede izlendiği mevsim yaz mevsimi (ortalama 369,78±3,99 mg/L) oldu (Tablo 7.30, Grafik 7.30). Yıllık ortalama toplam sertlik seviyesi 346,01±21,27 mg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.29).

**Tablo 7.29** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Sertlik miktarının (mg/L ) aylık değişimi

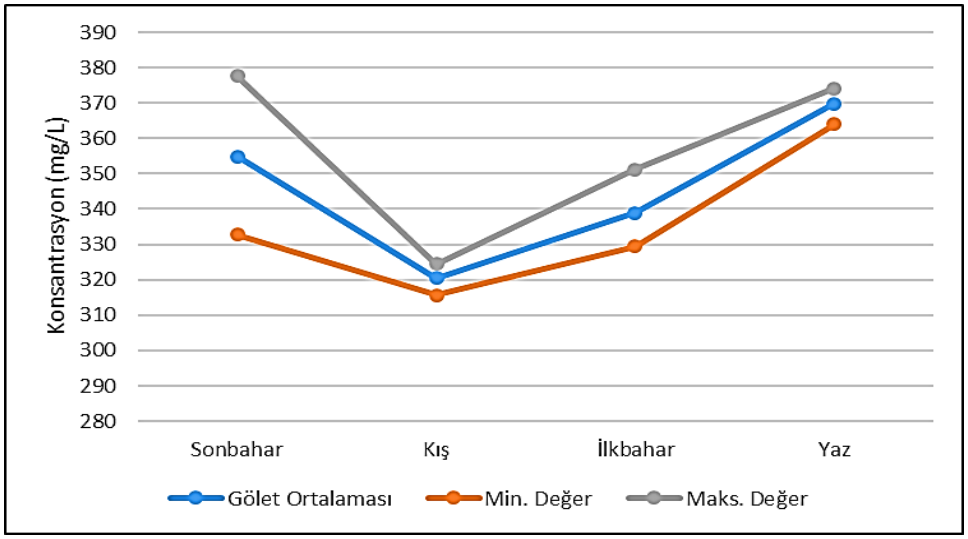
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 336,54 | 336,36 | 334,98 | $335,96^{g}\pm0,85$ | 334,98 | 336,54 |
| Mayıs | 351,26 | 350,98 | 350,29 | $350,84^{f}\pm0,50$ | 350,29 | 351,26 |
| Haziran | 365,34 | 365,06 | 363,96 | $364,77^{d}\pm0,73$ | 363,96 | 365,34 |
| Temmuz | 371,12 | 371,29 | 370,08 | $370,83^{c}\pm0,65$ | 370,08 | 371,29 |
| Ağustos | 374,12 | 373,96 | 373,06 | $373,71^{b}\pm0,57$ | 373,06 | 374,12 |
| Eylül | 377,64 | 377,29 | 375,98 | $376,97^{a}\pm0,87$ | 375,98 | 377,64 |
| Ekim | 354,64 | 353,84 | 353,52 | $354,0^{e}\pm0,58$ | 353,52 | 354,64 |
| Kasım | 334,28 | 334,08 | 332,72 | $333,69^{h}\pm0,85$ | 332,72 | 334,28 |
| Aralık | 317,34 | 317,18 | 315,6 | $316,71^{l}\pm0,96$ | 315,60 | 317,34 |
| Ocak | 321,04 | 320,98 | 320,32 | $320,78^{k}\pm0,40$ | 320,32 | 321,04 |
| Şubat | 324,52 | 324,08 | 323,18 | $323,93^{j}\pm0,68$ | 323,18 | 324,52 |
| Mart | 330,04 | 330,31 | 329,42 | $329,92^{i}\pm0,46$ | 329,42 | 330,31 |
| Yıllık Ortalama | 346,49±21,92 | 346,28±21,88 | 345,26±21,90 | 346,01±21,27 | 315,6 | 377,64 |

**Tablo 7.30** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Sertlik miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $354,89^{b}\pm18,76$ | 332,72 | 377,64 |
| Kış | $320,47^{d}\pm3,20$ | 315,60 | 324,52 |
| İlkbahar | $338,91^{c}\pm9,34$ | 329,42 | 351,26 |
| Yaz | $369,78^{a}\pm3,99$ | 363,96 | 374,12 |




**Grafik 7.29** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Sertlik miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.30** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Sertlik miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.16 Toplam Alkalinite (mg/L)

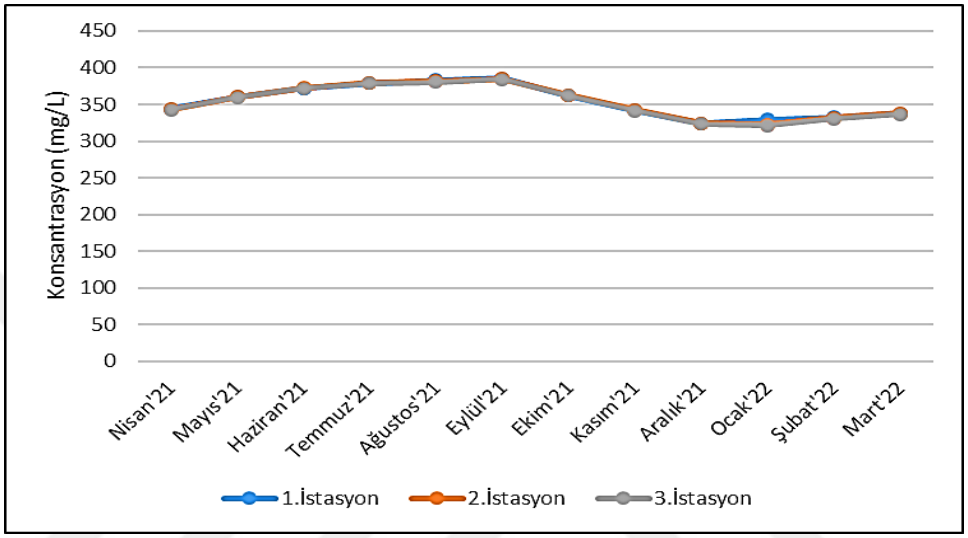
Toplam alkalinitenin en düşük ölçüldüğü ay ortalama 324,08±0,49 mg/L ile Aralık ayıdır. En yüksek ortalama 384,86±0,77 mg/L ile Eylül ayında ölçüldü (Tablo 7.31, Grafik 7.31). En yüksek izlendiği mevsim, ortalama 377,81±4,47 mg/L ile yaz mevsimidir (Tablo 7.32, Grafik 7.32). Yıllık ortalama toplam alkalinite değeri 353,68±21,92 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.31).

**Tablo 7.31** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Alkalinite miktarının (mg/L) aylık değişimi

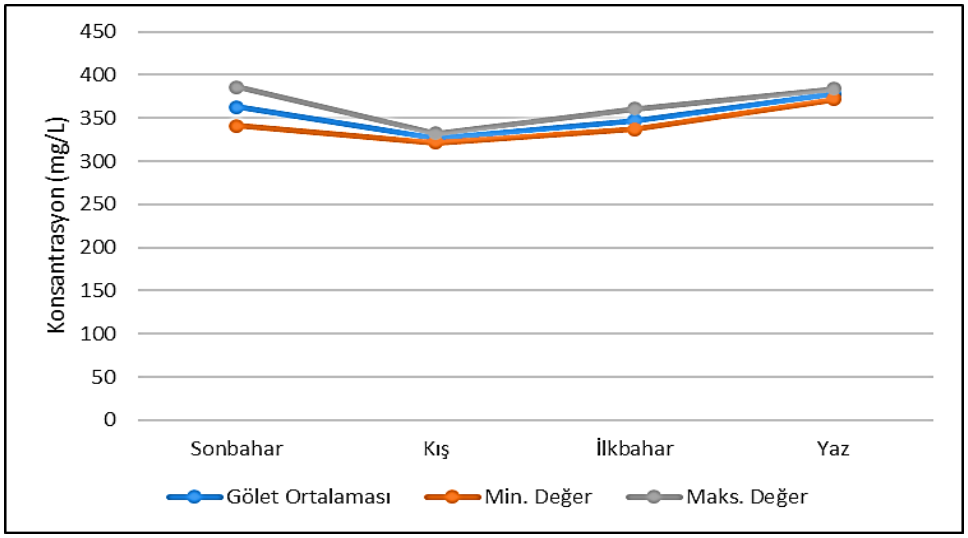
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Min. Değer | Maks. Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 344,2 | 343,74 | 342,51 | 343,48e±0,87 | 342,51 | 344,2 |
| Mayıs | 360,16 | 360,61 | 359,74 | 360,17d±0,43 | 359,74 | 360,61 |
| Haziran | 372,18 | 372,61 | 371,72 | 372,17c±0,44 | 371,72 | 372,61 |
| Temmuz | 379,14 | 379,72 | 379,05 | 379,30b±0,36 | 379,05 | 379,72 |
| Ağustos | 383,66 | 381,75 | 380,49 | 381,97ab±1,60 | 380,49 | 383,66 |
| Eylül | 385,68 | 384,74 | 384,15 | 384,86a±0,77 | 384,15 | 385,68 |
| Ekim | 362,28 | 362,5 | 362,05 | 362,28d±0,22 | 362,05 | 362,5 |
| Kasım | 342,16 | 342,72 | 341,16 | 642,01ef±0,79 | 341,16 | 342,72 |
| Aralık | 324,46 | 324,26 | 323,52 | 324,08h±0,49 | 323,52 | 324,46 |
| Ocak | 329,76 | 323,04 | 321,16 | 324,65h±4,52 | 321,16 | 329,76 |
| Şubat | 332,66 | 331,94 | 330,15 | 331,58g±1,29 | 330,15 | 332,66 |
| Mart | 338,2 | 337,96 | 336,82 | 337,66f±0,74 | 336,82 | 338,2 |
| Yıllık Ortalama | 354,54±22,05 | 353,80±22,68 | 352,71±22,96 | 353,68±21,92 | 321,16 | 385,68 |

**Tablo 7.32** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Alkalinite miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | 363,05[b]±18,57 | 341,16 | 385,68 |
| Kış | 326,77[d]±4,32 | 321,16 | 332,66 |
| İlkbahar | 347,10[c]±10,14 | 336,82 | 360,61 |
| Yaz | 377,81[a]±4,47 | 371,72 | 383,66 |




**Grafik 7.31** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Alkalinite miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.32** Karadere Baraj Göleti'nde Toplam Alkalinite miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.17 Magnezyum (mg/L)

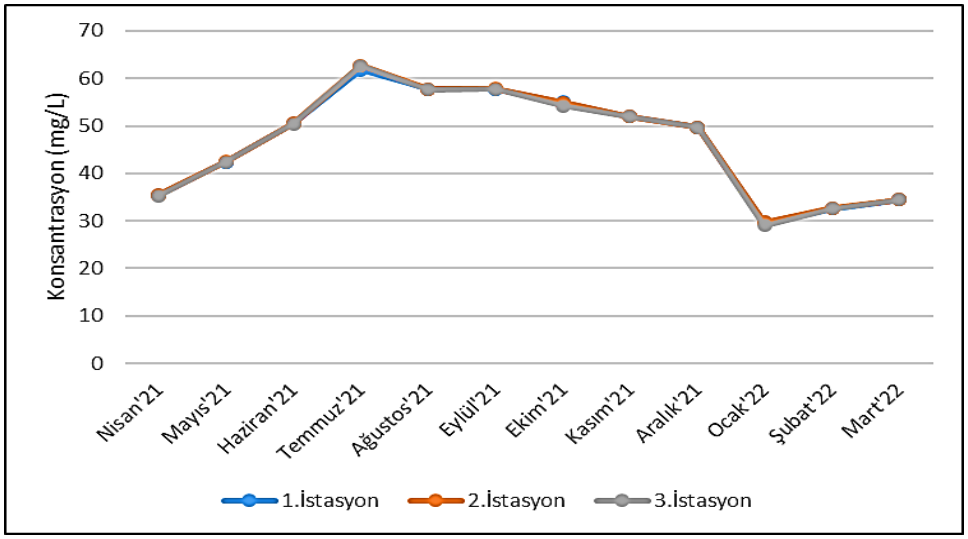
Magnezyum değeri en düşük Ocak ayında (ortalama 29,49±0,44 mg/L) ölçülmüştür. Temmuz ayında ise en yüksek seviyede (ortalama 62,38±0,57 mg/L) ölçülmüştür (Tablo 7.33, Grafik 7.33). En düşük mevsimsel ortalama kış, en yüksek ise yaz mevsiminde izlenmiştir (Tablo 7.34, Grafik 7.34). Yıllık ortalama magnezyum seviyesi 46.60±10.94 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.33).

**Tablo 7.33** Karadere Baraj Göleti'nde Magnezyum miktarının (mg/L) aylık değişimi

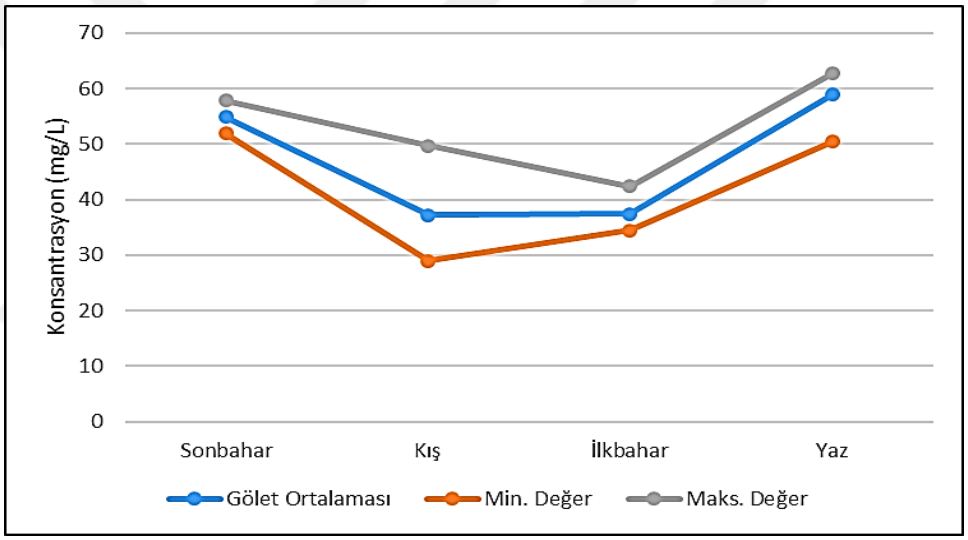
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Min. Değer | Maks. Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 35,52 | 35,48 | 35,31 | 35,44h±0,11 | 35,31 | 35,52 |
| Mayıs | 42,34 | 42,44 | 42,38 | 42,39g±0,05 | 42,34 | 42,44 |
| Haziran | 50,48 | 50,56 | 50,44 | 50,49e±0,06 | 50,44 | 50,56 |
| Temmuz | 61,72 | 62,74 | 62,68 | 62,38a±0,57 | 61,72 | 62,74 |
| Ağustos | 57,70 | 57,74 | 57,68 | 57,71b±0,03 | 57,68 | 57,74 |
| Eylül | 57,78 | 57,84 | 57,76 | 57,79b±0,04 | 57,76 | 57,84 |
| Ekim | 54,98 | 54,87 | 54,23 | 54,69c±0,40 | 54,23 | 54,98 |
| Kasım | 51,98 | 51,96 | 51,94 | 51,96d±0,02 | 51,94 | 51,98 |
| Aralık | 49,68 | 49,70 | 49,66 | 49,68f±0,02 | 49,66 | 49,70 |
| Ocak | 29,74 | 29,76 | 28,98 | 29,49k±0,44 | 28,98 | 29,76 |
| Şubat | 32,62 | 32,64 | 32,60 | 32,62j±0,02 | 32,60 | 32,64 |
| Mart | 34,42 | 34,48 | 34,44 | 34,45i±0,03 | 34,42 | 34,48 |
| Yıllık Ortalama | 46,58±11,16 | 46,68±11,28 | 46,51±11,35 | 46.60±10.94 | 28,98 | 62,74 |

**Tablo 7.34** Karadere Baraj Göleti'nde Magnezyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $54,82^{a}$±2,54 | 51,94 | 57,84 |
| Kış | $37,26^{b}$±9,41 | 28,98 | 49,70 |
| İlkbahar | $37,42^{b}$±3,75 | 34,42 | 42,44 |
| Yaz | $58,86^{a}$±5,19 | 50,44 | 62,74 |




**Grafik 7.33** Karadere Baraj Göleti'nde Magnezyum miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.34** Karadere Baraj Göleti'nde Magnezyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.18 Kalsiyum (mg/L)

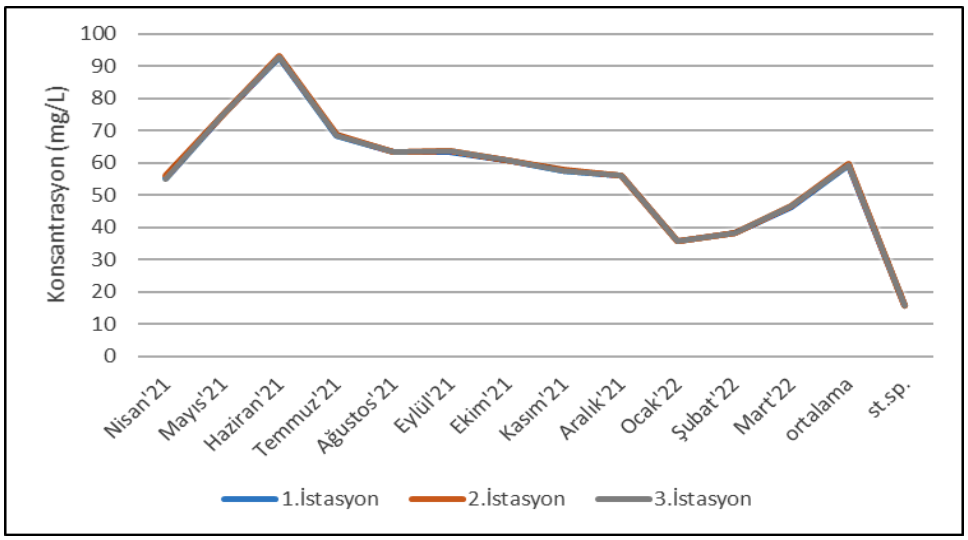
Gölette en yüksek kalsiyum Haziran ayında (ortalama 93,03±0,30 mg/L) ölçüldü. Ocak ayında (ortalama 35,79±0,09 mg/L) en düşük seviyesine gelmiştir (Tablo 7.35, Grafik 7.35). Ortalamanın en düşük olduğu mevsim kış, en yüksek olduğu mevsim yaz mevsimidir (Tablo 7.36, Grafik 7.36). Yıllık ortalama kalsiyum miktarı 59,60±15,20 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.35).

**Tablo 7.35** Karadere Baraj Göleti'nde Kalsiyum miktarının (mg/L) aylık değişimi

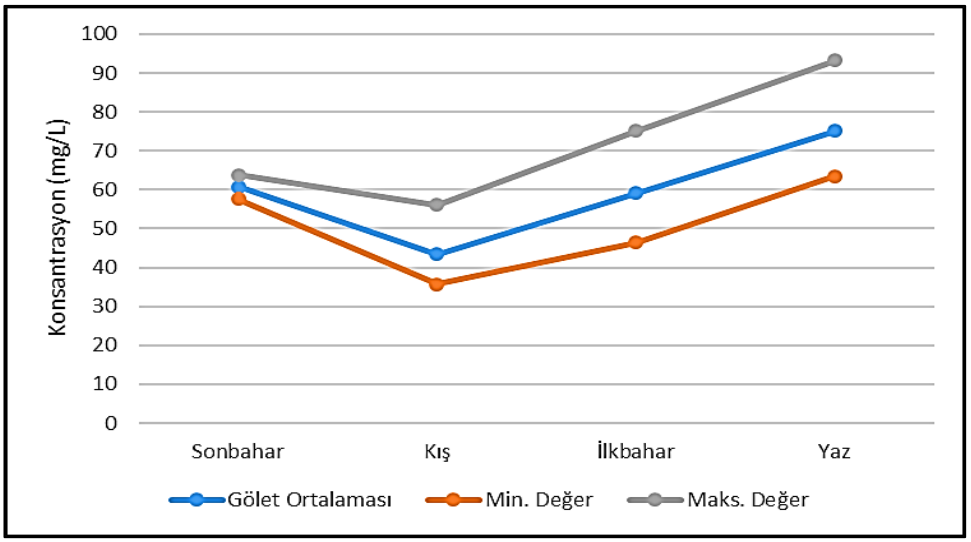
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 55,52 | 56,24 | 55,08 | $55,61^{g}$±0,59 | 55,08 | 56,24 |
| Mayıs | 75,14 | 75,2 | 75,12 | $75,15^{b}$±0,04 | 75,12 | 75,2 |
| Haziran | 92,72 | 93,32 | 93,06 | $93,03^{a}$±0,30 | 92,72 | 93,32 |
| Temmuz | 68,68 | 68,72 | 68,66 | $68,69^{c}$±0,03 | 68,66 | 68,72 |
| Ağustos | 63,5 | 63,6 | 63,54 | $63,55^{d}$±0,05 | 63,5 | 63,6 |
| Eylül | 63,58 | 63,8 | 63,66 | $63,68^{d}$±0,11 | 63,58 | 63,8 |
| Ekim | 60,9 | 60,95 | 60,91 | $60,92^{e}$±0,03 | 60,9 | 60,95 |
| Kasım | 57,66 | 57,87 | 57,56 | $57,70^{f}$±0,16 | 57,56 | 57,87 |
| Aralık | 56,06 | 56,18 | 56,08 | $56,11^{g}$±0,06 | 56,06 | 56,18 |
| Ocak | 35,72 | 35,9 | 35,76 | $35,79^{i}$±0,09 | 35,72 | 35,9 |
| Şubat | 38,4 | 38,44 | 38,38 | $38,41^{e}$±0,03 | 38,38 | 38,44 |
| Mart | 46,44 | 46,6 | 46,52 | $46,52^{h}$±0,08 | 46,44 | 46,6 |
| Yıllık Ortalama | 59,53±15,61 | 59,73±15,68 | 59,53±15,68 | 59,60±15,20 | 35,72 | 93,32 |

**Tablo 7.36** Karadere Baraj Göleti'nde Kalsiyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $60,77^{c}$±2,60 | 57,56 | 63,80 |
| Kış | $43,44^{b}$±9,57 | 35,72 | 56,18 |
| İlkbahar | $59,10^{a}$±12,67 | 46,44 | 75,20 |
| Yaz | $75,09^{b}$±13,64 | 63,50 | 93,32 |




**Grafik 7.35** Karadere Baraj Göleti'nde Kalsiyum miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.36** Karadere Baraj Göleti'nde Kalsiyum miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.19 Nitrit (mg/L)

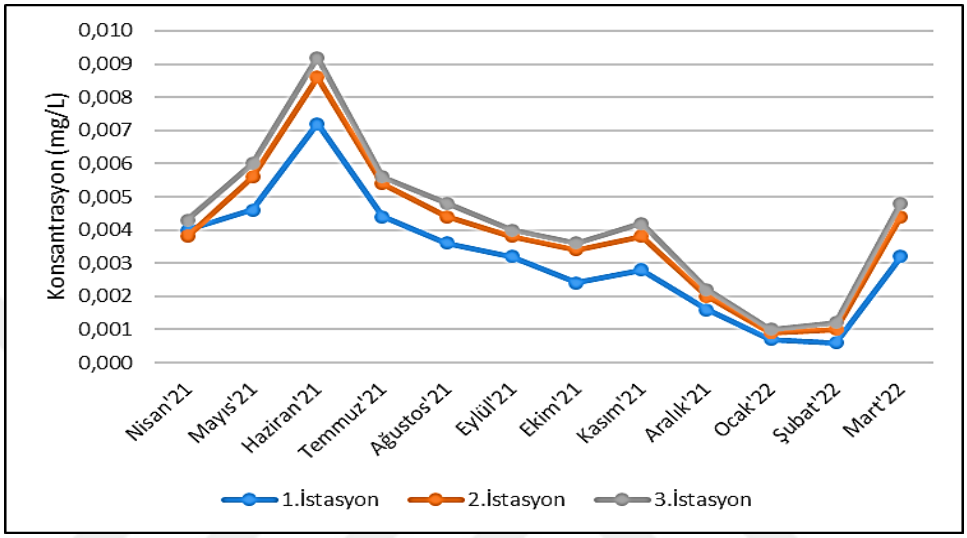
Göletteki en düşük nitrit seviyesi ortalama 0,0009±0,0001 mg/L ile Ocak ayında ölçülmüştür. En yüksek nitrit seviyesi 0,0083±0,001 mg/L ile Haziran ayında ölçülmüştür (Tablo 7.37, Grafik 7.37). En yüksek mevsimsel ortalamanın da yine yaz mevsiminde olduğu izlenmektedir (Tablo 7.38, Grafik 7.38). Yıllık ortalama nitrit seviyesi 0,0037±0,002 mg/L olarak hesaplanmıştır (Tablo 7.37).

**Tablo 7.37** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrit miktarının (mg/L) aylık değişimi

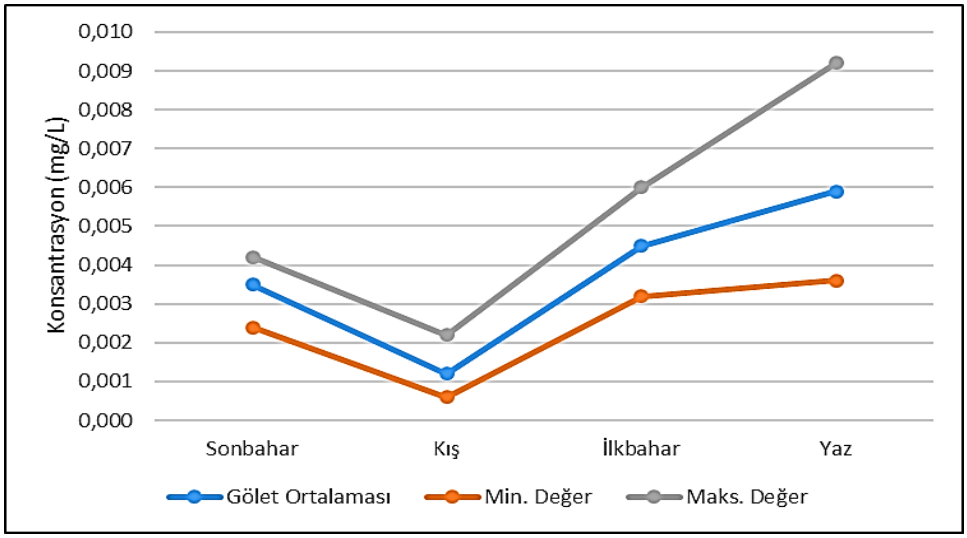
| **Aylar** | **1. İstasyon** | **2. İstasyon** | **3. İstasyon** | **Gölet Ortalaması** | **Min. Değer** | **Maks. Değer** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,0040 | 0,0038 | 0,0043 | $0,004^{bcd}$±0,0002 | 0,0038 | 0,0043 |
| Mayıs | 0,0046 | 0,0056 | 0,0060 | $0,0054^{b}$±0,0007 | 0,0046 | 0,0060 |
| Haziran | 0,0072 | 0,0086 | 0,0092 | $0,0083^{a}$±0,0010 | 0,0072 | 0,0092 |
| Temmuz | 0,0044 | 0,0054 | 0,0056 | $0,0051^{bc}$±0,0006 | 0,0044 | 0,0056 |
| Ağustos | 0,0036 | 0,0044 | 0,0048 | $0,0043^{bcd}$±0,0006 | 0,0036 | 0,0048 |
| Eylül | 0,0032 | 0,0038 | 0,0040 | $0,0036^{bcde}$±0,0004 | 0,0032 | 0,0040 |
| Ekim | 0,0024 | 0,0034 | 0,0036 | $0,0031^{de}$±0,0006 | 0,0024 | 0,0036 |
| Kasım | 0,0028 | 0,0038 | 0,0042 | $0,0036^{cde}$±0,0007 | 0,0028 | 0,0042 |
| Aralık | 0,0016 | 0,0020 | 0,0022 | $0,0019^{ef}$±0,0003 | 0,0016 | 0,0022 |
| Ocak | 0,0007 | 0,0009 | 0,0010 | $0,0009^{f}$±0,0001 | 0,0007 | 0,0010 |
| Şubat | 0,0006 | 0,0010 | 0,0012 | $0,0009^{f}$±0,0003 | 0,0006 | 0,0012 |
| Mart | 0,0032 | 0,0044 | 0,0048 | $0,0041^{bcd}$±0,0008 | 0,0032 | 0,0048 |
| Yıllık Ortalama | 0,0032±0,0018 | 0,0039±0,0021 | 0,0042±0,0022 | 0,0037±0,0020 | 0,0006 | 0,0092 |

**Tablo 7.38** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrit miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | 0,0035$^{b}$±0,0006 | 0,0024 | 0,0042 |
| Kış | 0,0012$^{c}$±0,0006 | 0,0006 | 0,0022 |
| İlkbahar | 0,0045$^{ab}$±0,0009 | 0,0032 | 0,0060 |
| Yaz | 0,0059$^{a}$±0,0020 | 0,0036 | 0,0092 |




**Grafik 7.37** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrit miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.38** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrit miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.20 Nitrat (mg/L)

Haziran ayında (ortalama 11,88±0,16 mg/L) en yüksek seviyesine ulaşan nitrat miktarı, Temmuz ayında (ortalama 5,33±0,08 mg/L) ani bir düşüş gösterdi. En düşük seviyesi ise (ortalama 0,47±0,02 mg/L) Şubat ayında ölçüldü (Tablo 7.39, Grafik

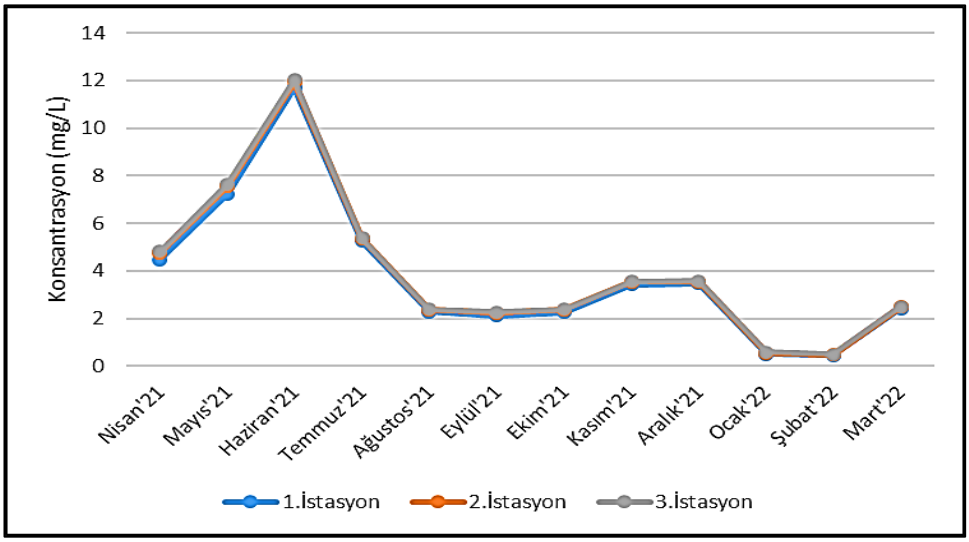
7.39). Nitrat miktarının en düşük ölçüldüğü mevsim kış mevsimi, en yüksek ölçüldüğü mevsim ise yaz mevsimidir (Tablo 7.40, Grafik 7.40). Yıllık ortalama Nitrat miktarı 3,89±3,10 mg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.39).

**Tablo 7.39** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrat miktarının (mg/L) aylık değişimi

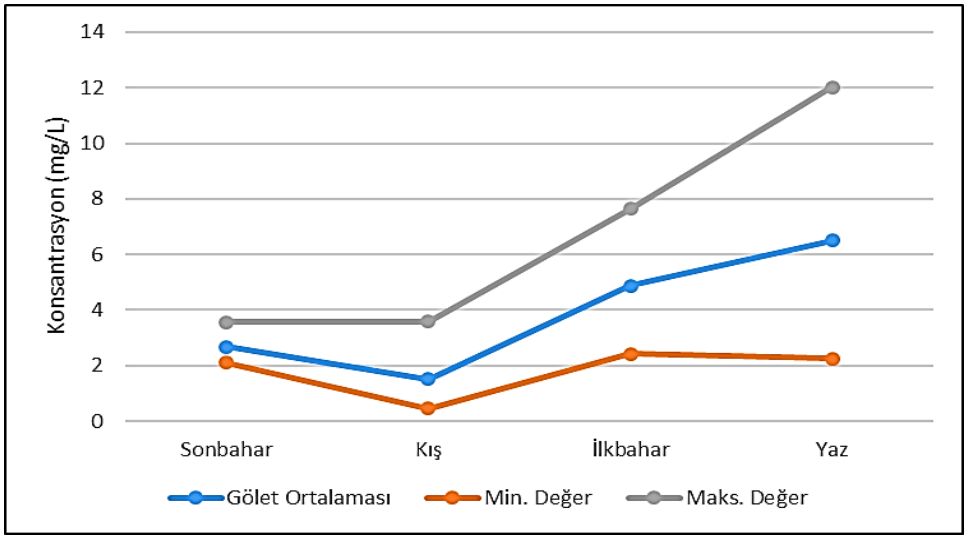
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 4,48 | 4,74 | 4,82 | $4,68^{d}$±0,18 | 4,48 | 4,82 |
| Mayıs | 7,22 | 7,56 | 7,64 | $7,47^{b}$±0,22 | 7,22 | 7,64 |
| Haziran | 11,7 | 11,92 | 12,02 | $11,88^{a}$±0,16 | 11,7 | 12,02 |
| Temmuz | 5,24 | 5,36 | 5,38 | $5,33^{c}$±0,08 | 5,24 | 5,38 |
| Ağustos | 2,26 | 2,36 | 2,38 | $2,33^{f}$±0,06 | 2,26 | 2,38 |
| Eylül | 2,1 | 2,22 | 2,26 | $2,19^{f}$±0,08 | 2,1 | 2,26 |
| Ekim | 2,24 | 2,36 | 2,38 | $2,33^{f}$±0,08 | 2,24 | 2,38 |
| Kasım | 3,42 | 3,54 | 3,56 | $3,51^{e}$±0,08 | 3,42 | 3,56 |
| Aralık | 3,46 | 3,54 | 3,58 | $3,53^{e}$±0,06 | 3,46 | 3,58 |
| Ocak | 0,48 | 0,54 | 0,58 | $0,53^{g}$±0,05 | 0,48 | 0,58 |
| Şubat | 0,45 | 0,47 | 0,49 | $0,47^{g}$±0,02 | 0,45 | 0,49 |
| Mart | 2,42 | 2,48 | 2,51 | $2,47^{f}$±0,05 | 2,42 | 2,51 |
| Yıllık Ortalama | 3,79±3,14 | 3,92±3,21 | 3,97±3,23 | 3,89±3,10 | 0,45 | 12,02 |

**Tablo 7.40** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $2,68^{bc}$±0,63 | 2,10 | 3,56 |
| Kış | $1,51^{c}$±1,51 | 0,45 | 3,58 |
| İlkbahar | $4,87^{ab}$±2,18 | 2,42 | 7,64 |
| Yaz | $6,51^{a}$±4,23 | 2,26 | 12,02 |




**Grafik 7.39** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrat miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.40** Karadere Baraj Göleti'nde Nitrat miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.21 Amonyum Azotu

Amonyum azotu miktarının aylara göre farlılıkları olduğu gibi istasyonlar arasında da farklılıklar gösterdiği tespit edildi. Özellikle 1.istasyonda ölçülen değerler diğer istasyonlara göre önemli farklılıklara sahip. Gölette ölçülen amonyum azotu miktarının en düşük (ortalama 0,0001±0,0001 mg/L) olduğu ay Şubat ayıdır. En yüksek ölçüldüğü ay ise (ortalama 0,0016±0,0006 mg/L) Haziran ayıdır. Haziran ayından sonra düzenli düşüş gösteren amonyum azotu miktarı Kasım ayı ile birlikte tekrar yükselişe geçti. Aralık ayından sonra ani bir düşüşle Ocak ve Şubat aylarında yılın en düşük seviyeleri ölçüldü. Gölette yıllık ortalama amonyum azotu miktarı 0,0008±0,0006 mg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.41, Grafik 7.41).

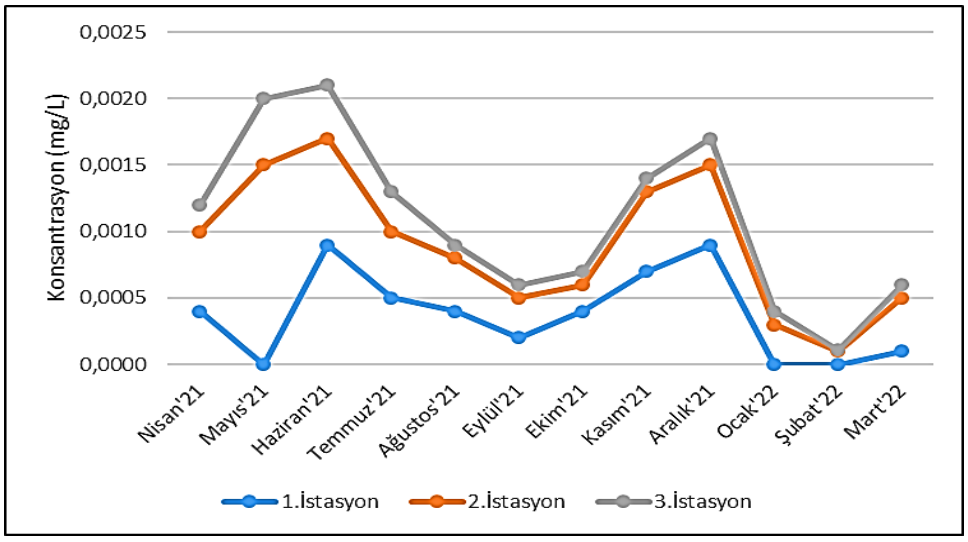
Gölette amonyum azotunun mevsimsel değişimlerine bakıldığında yaz ve kış mevsimlerinde ay bazında birbirine yakın değerlerde, iki pik noktası görüyoruz. Ancak istasyonlardaki farklılıklar ve mevsimin başı ile sonu arasındaki farklılıklar, mevsimsel ortalamaların normal görünmesine neden oluyorlar. Bu durumda en düşük amonyum azotu seviyesi kış mevsiminde (ortalama 0,0006±0,0007 mg/L), en yüksek amonyum azotu seviyesi yaz mevsiminde (ortalama 0,0011±0,0006 mg/L) hesaplandı (Tablo 7.42, Grafik 7.42).

**Tablo 7.41** Karadere Baraj Göleti'nde Amonyum Azotu miktarının (mg/L) aylık değişimi

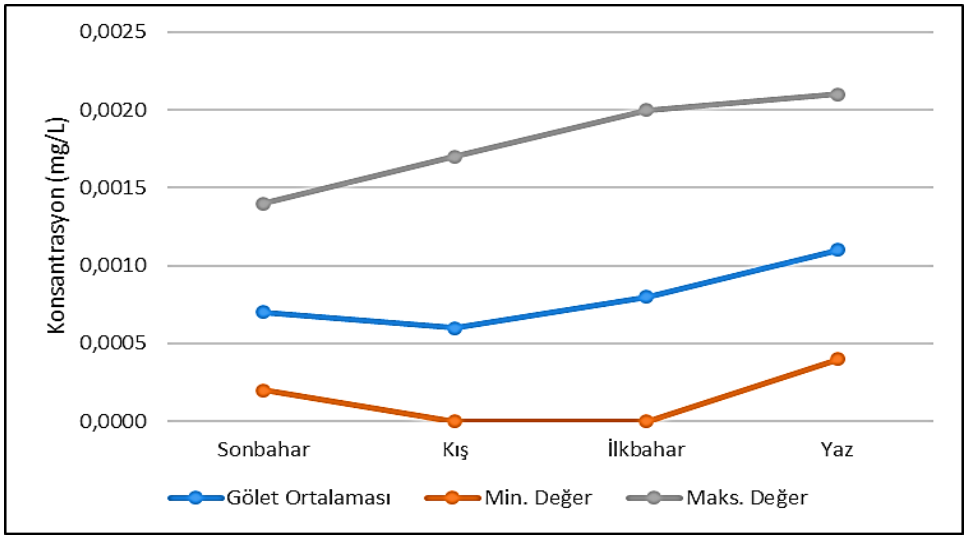
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Min. Değer | Maks. Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,0004 | 0,0010 | 0,0012 | $0,0009^{abcd}$±0,0004 | 0,0004 | 0,0012 |
| Mayıs | 0,0000 | 0,0015 | 0,0020 | $0,0012^{a}$±0,0010 | 0,0000 | 0,0020 |
| Haziran | 0,0009 | 0,0017 | 0,0021 | $0,0016^{ab}$±0,0006 | 0,0009 | 0,0021 |
| Temmuz | 0,0005 | 0,0010 | 0,0013 | $0,0009^{abcd}$±0,0004 | 0,0005 | 0,0013 |
| Ağustos | 0,0004 | 0,0008 | 0,0009 | $0,0007^{abcd}$±0,0003 | 0,0004 | 0,0009 |
| Eylül | 0,0002 | 0,0005 | 0,0006 | $0,0004^{cd}$±0,0002 | 0,0002 | 0,0006 |
| Ekim | 0,0004 | 0,0006 | 0,0007 | $0,0006^{bcd}$±0,0002 | 0,0004 | 0,0007 |
| Kasım | 0,0007 | 0,0013 | 0,0014 | $0,0011^{abcd}$±0,0004 | 0,0007 | 0,0014 |
| Aralık | 0,0009 | 0,0015 | 0,0017 | $0,0014^{abc}$±0,0004 | 0,0009 | 0,0017 |
| Ocak | 0,0000 | 0,0003 | 0,0004 | $0,0002^{cd}$±0,0001 | 0,0000 | 0,0004 |
| Şubat | 0,0000 | 0,0001 | 0,0001 | $0,0001^{d}$±0,0001 | 0,0000 | 0,0001 |
| Mart | 0,0001 | 0,0005 | 0,0006 | $0,0004^{cd}$±0,0003 | 0,0001 | 0,0006 |
| Yıllık Ortalama | 0,0004±0,0003 | 0,0009±0,0005 | 0,0011±0,0006 | 0,0008±0,0006 | 0,0000 | 0,0021 |

**Tablo 7.42** Karadere Baraj Göleti'nde Amonyum Azotu miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $0,0007^{a}$±0,0004 | 0,0002 | 0,0014 |
| Kış | $0,0006^{a}$±0,0007 | 0,0000 | 0,0017 |
| İlkbahar | $0,0008^{a}$±0,0007 | 0,0000 | 0,0020 |
| Yaz | $0,0011^{a}$±0,0006 | 0,0004 | 0,0021 |




**Grafik 7.41** Karadere Baraj Göleti'nde Amonyum Azotu miktarının (mg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.42** Karadere Baraj Göleti'nde Amonyum Azotu miktarının (mg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.22 Demir (mg/L)

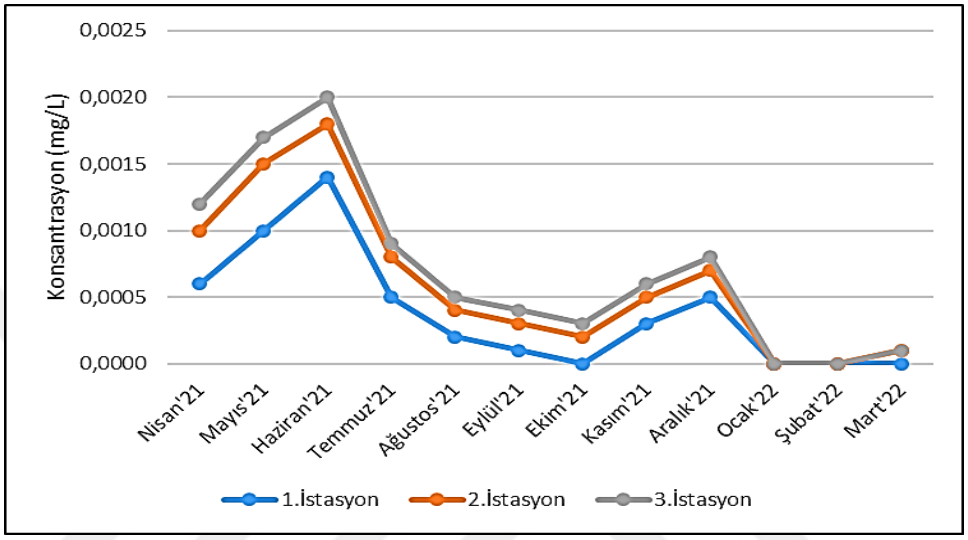
Ocak ve Şubat aylarında her bir istasyonda 0 (sıfır) olarak ölçüldü. En düşük demir miktarı Mart ayında (ortalama 0,0001±0,0001 µg/L) ölçüldü. Demirin en yüksek seviyede olduğu ay Haziran ayıdır (ortalama 0,0017±0,0003 µg/L). Yıllık ortalama demir miktarı 0,0006±0,0006 µg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.43, Grafik 7.43). Demir miktarının en düşük olduğu mevsim kış, en yüksek olduğu mevsim yaz mevsimidir (Tablo 7.44, Grafik 7.44).

**Tablo 7.43** Karadere Baraj Göleti'nde Demir miktarının (µg/L) aylık değişimi

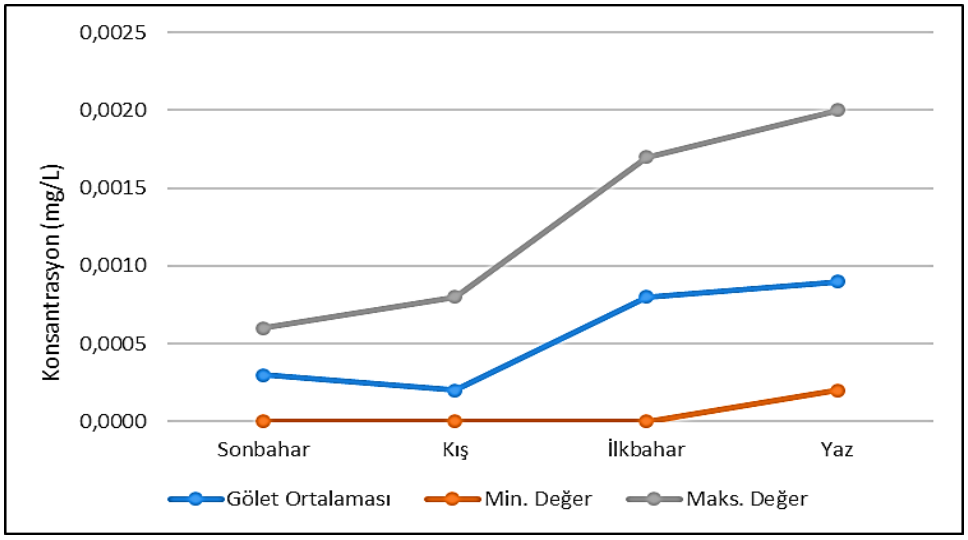
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Min. Değer | Maks. Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,0006 | 0,0010 | 0,0012 | $0,0009^{bc}$±0,0003 | 0,0006 | 0,0012 |
| Mayıs | 0,0010 | 0,0015 | 0,0017 | $0,0014^{ab}$±0,0004 | 0,0010 | 0,0017 |
| Haziran | 0,0014 | 0,0018 | 0,0020 | $0,0017^{a}$±0,0003 | 0,0014 | 0,0020 |
| Temmuz | 0,0005 | 0,0008 | 0,0009 | $0,0007^{cd}$±0,0002 | 0,0005 | 0,0009 |
| Ağustos | 0,0002 | 0,0004 | 0,0005 | $0,0004^{cde}$±0,0002 | 0,0002 | 0,0005 |
| Eylül | 0,0001 | 0,0003 | 0,0004 | $0,0003^{de}$±0,0002 | 0,0001 | 0,0004 |
| Ekim | 0,00 | 0,0002 | 0,0003 | $0,0002^{de}$±0,0002 | 0,0000 | 0,0003 |
| Kasım | 0,0003 | 0,0005 | 0,0006 | $0,0005^{cde}$±0,0002 | 0,0003 | 0,0006 |
| Aralık | 0,0005 | 0,0007 | 0,0008 | $0,0007^{cd}$±0,0002 | 0,0005 | 0,0008 |
| Ocak | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | $0,0000^{e}$±0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Şubat | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | $0,0000^{e}$±0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Mart | 0,0000 | 0,0001 | 0,0001 | $0,0001^{e}$±0,0001 | 0,0000 | 0,0001 |
| Yıllık Ortalama | 0,0004±0,0004 | 0,0006±0,0006 | 0,0007±0,0005 | 0,0006±0,0006 | 0,0000 | 0,0020 |

**Tablo 7.44** Karadere Baraj Göleti'nde Demir miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | 0,0003$^{b}$±0,0002 | 0,0000 | 0,0006 |
| Kış | 0,0002$^{b}$±0,0003 | 0,0000 | 0,0008 |
| İlkbahar | 0,0008$^{ab}$±0,0006 | 0,0000 | 0,0017 |
| Yaz | 0,0009$^{a}$±0,0006 | 0,0002 | 0,0020 |




**Grafik 7.43** Karadere Baraj Göleti'nde Demir miktarının (µg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.44** Karadere Baraj Göleti'nde Demir miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.23 Kurşun (mg/L)

Kurşun miktarının göletteki değişimi iniş çıkışlar göstermektedir. En yüksek seviyesi Haziran ayında (ortalama 1,90±0,26 µg/L) ölçüldü. Temmuz ayında hızlı bir düşüşe

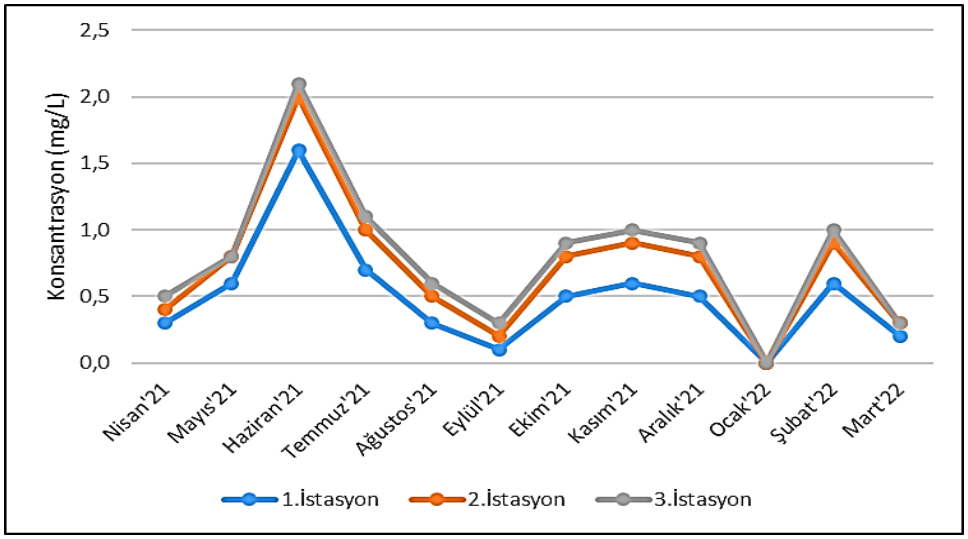
geçen kurşun miktarı Eylül ayında (ortalama 0,20±0,10 µg/L) ölçülebilen en düşük seviyesinde saptandıktan sonra tekrar yükselmeye başladığı belirlendi. Aralık ayından hemen sonra ani bir düşüşle Ocak ayında bütün istasyonlardan 0 (sıfır) olarak ölçüm alındı. Şubat'ta yükselişe geçtiği tespit edildi. Yıllık ortalama kurşun miktarı 0,67±0,49 µg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.45, Grafik 7.45). Ocak ayında hiç kurşun miktarı ölçülemediği halde en düşük kurşun seviyesi ilkbaharda hesaplandı (ortalama 0,47±0,22 µg/L). Temmuz ve Ağustos aylarında önemli bir düşüşe geçmesine rağmen en yüksek kurşun seviyesi yaz mevsiminde (ortalama 1,10±0,66 µg/L) hesaplandı (Tablo 7.46, Grafik 7.46).

**Tablo 7.45** Karadere Baraj Göleti'nde Kurşun miktarının (µg/L) aylık değişimi

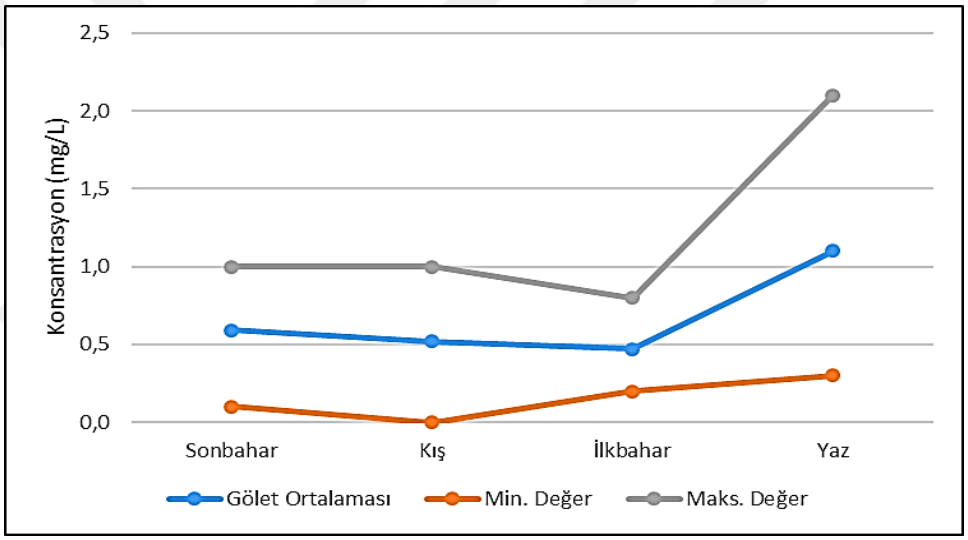
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,3 | 0,4 | 0,5 | $0,40^{cde}$±0,10 | 0,3 | 0,5 |
| Mayıs | 0,6 | 0,8 | 0,8 | $0,73^{bcd}$±0,12 | 0,6 | 0,8 |
| Haziran | 1,6 | 2,0 | 2,1 | $1,90^{a}$±0,26 | 1,6 | 2,1 |
| Temmuz | 0,7 | 1,0 | 1,1 | $0,93^{b}$±0,21 | 0,7 | 1,1 |
| Ağustos | 0,3 | 0,5 | 0,6 | $0,47b^{cde}$±0,15 | 0,3 | 0,6 |
| Eylül | 0,1 | 0,2 | 0,3 | $0,20^{e}$±0,10 | 0,1 | 0,3 |
| Ekim | 0,5 | 0,8 | 0,9 | $0,73^{bcd}$±0,21 | 0,5 | 0,9 |
| Kasım | 0,6 | 0,9 | 1,0 | $0,83^{bc}$±0,21 | 0,6 | 1,0 |
| Aralık | 0,5 | 0,8 | 0,9 | $0,73^{bcd}$±0,21 | 0,5 | 0,9 |
| Ocak | 0,0 | 0,0 | 0,0 | $0,00^{e}$±0,00 | 0,0 | 0,0 |
| Şubat | 0,6 | 0,9 | 1,0 | $0,83^{bc}$±0,21 | 0,6 | 1,0 |
| Mart | 0,2 | 0,3 | 0,3 | $0,27^{de}$±0,06 | 0,2 | 0,3 |
| Yıllık Ortalama | 0,50±0,41 | 0,72±0,52 | 0,79±0,49 | 0,67±0,49 | 0,0 | 2,1 |

**Tablo 7.46** Karadere Baraj Göleti'nde Kurşun miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $0,59^{c}$±0,33 | 0,10 | 1,00 |
| Kış | $0,52^{bc}$±0,42 | 0,00 | 1,00 |
| İlkbahar | $0,47^{a}$±0,22 | 0,20 | 0,80 |
| Yaz | $1,10^{ab}$±0,66 | 0,30 | 2,10 |




**Grafik 7.45** Karadere Baraj Göleti'nde Kurşun miktarının (µg/L) aylık değişimi




Grafik 7.46 Karadere Baraj Göleti'nde Kurşun miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.24 Bakır (mg/L)

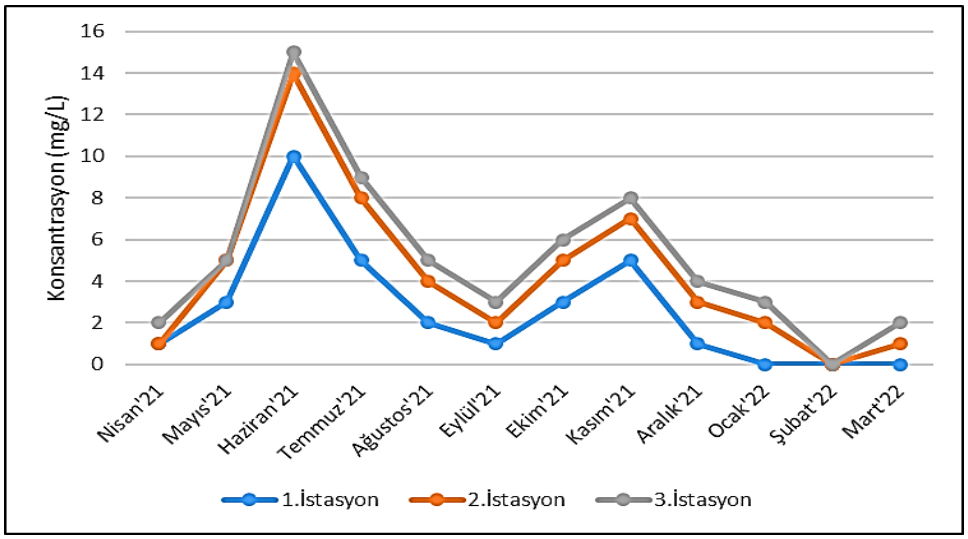
Bakır miktarı da yıl içerisinde dalgalanmalar göstermekle birlikte en yüksek seviyede Haziran ayında (ortalama 13,00±2,65 µg/L), en düşük seviyede ise Mart ayında (ortalama 1,00±1,00 µg/L) ölçüldü. Şubat ayında ise her bir istasyonda 0 (sıfır) olarak ölçüm alındı. Gölette yıllık ortalama bakır miktarı 4,03±3,61 µg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.47, Grafik 7.47). Bakır miktarının en düşük hesaplandığı mevsim kış (ortalama 1,44±1,59 µg/L), en yüksek hesaplandığı mevsim yaz (ortalama 8,00±4,47 µg/L) mevsimidir. Her ne kadar kış ve ilkbahar arasında sakin bir geçiş görünse de sonbahar ve yaz mevsimlerinin geçişleri keskin olmuştur (Tablo 7.48, Grafik 7.48).

**Tablo 7.47** Karadere Baraj Göleti'nde Bakır miktarının (µg/L) aylık değişimi

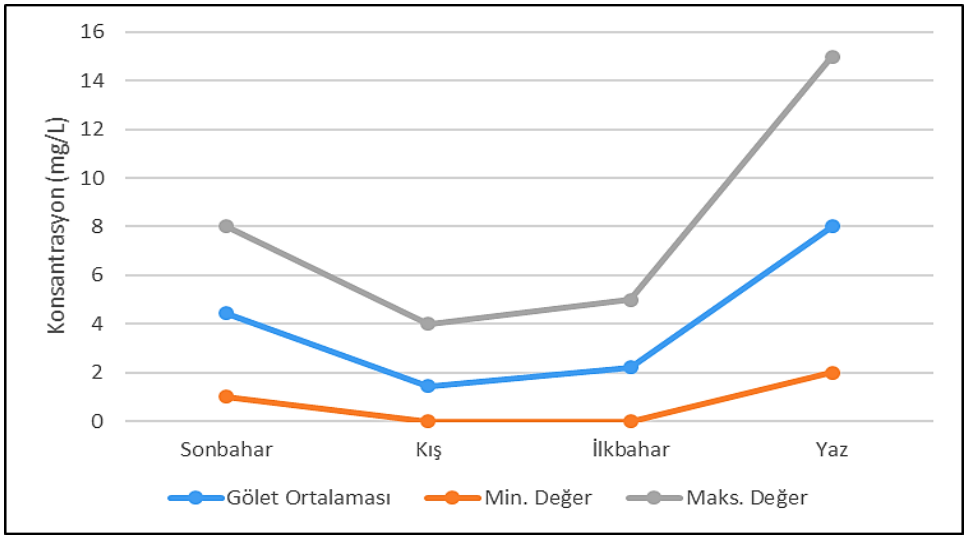
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 1 | 1 | 2 | $1,30^{de}$±0,60 | 1 | 2 |
| Mayıs | 3 | 5 | 5 | $4,33^{bcde}$±0,12 | 3 | 5 |
| Haziran | 10 | 14 | 15 | $13,00^{a}$±2,65 | 10 | 15 |
| Temmuz | 5 | 8 | 9 | $7,33^{b}$±2,08 | 5 | 9 |
| Ağustos | 2 | 4 | 5 | $3,67^{bcde}$±1,53 | 2 | 5 |
| Eylül | 1 | 2 | 3 | $2,00^{de}$±1,00 | 1 | 3 |
| Ekim | 3 | 5 | 6 | $4,67^{bcd}$±1,53 | 3 | 6 |
| Kasım | 5 | 7 | 8 | $6,67^{bc}$±1,53 | 5 | 8 |
| Aralık | 1 | 3 | 4 | $2,67^{cde}$±1,53 | 1 | 4 |
| Ocak | 0 | 2 | 3 | $1,67^{de}$±1,53 | 0 | 3 |
| Şubat | 0 | 0 | 0 | $0,00^{e}$±0,00 | 0 | 0 |
| Mart | 0 | 1 | 2 | $1,00^{de}$±1,00 | 0 | 2 |
| Yıllık Ortalama | 3,44±2,92 | 4,73±3,85 | 5,64±3,85 | 4,03±3,61 | 0 | 15 |

**Tablo 7.48** Karadere Baraj Göleti'nde Bakır miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $4,44^{a}$±2,35 | 1,00 | 8,00 |
| Kış | $1,44^{b}$±1,59 | 0,00 | 4,00 |
| İlkbahar | $2,22^{a}$±1,79 | 0,00 | 5,00 |
| Yaz | $8,00^{a}$±4,47 | 2,00 | 15,00 |




**Grafik 7.47** Karadere Baraj Göleti'nde Bakır miktarının (µg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.48** Karadere Baraj Göleti'nde Bakır miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.25 Kadmiyum (mg/L)

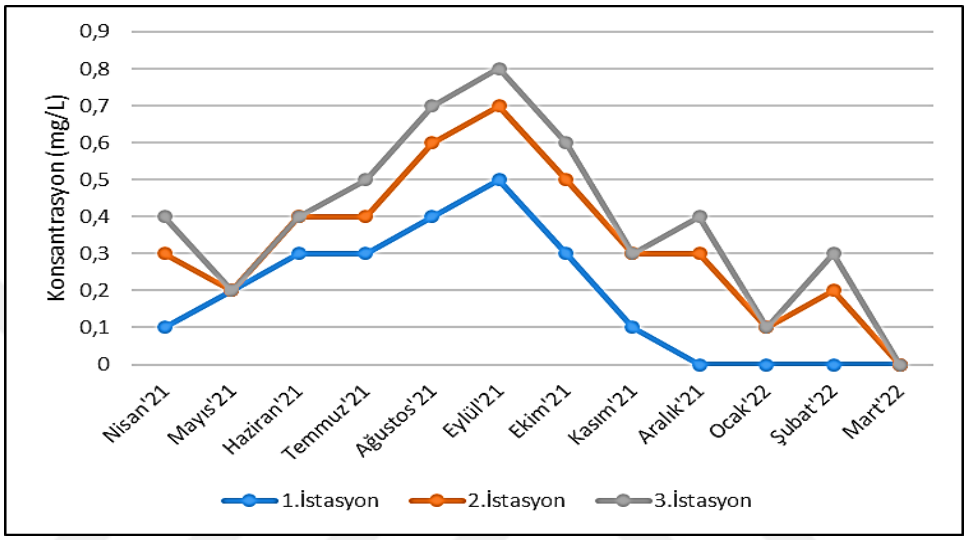
Gölette kadmiyum miktarı en yüksek Eylül ayında ortalama 0,67±0,15 µg/L, Mart ayında ise 0 (sıfır) olarak ölçüldü. En düşük seviyesi ise Ocak ayında ortalama 0,07±0,06 µg/L olarak ölçüldü. Yıllık ortalama kadmiyum miktarı 0,30±0,20 µg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.49, Grafik 7.49). Kış (ortalama 0,16±0,15 µg/L) ve ilkbaharda (ortalama 0,16±0,16 µg/L) en düşük seviyesinde olan kadmiyum miktarı sonbaharda en yüksek seviyesinde (ortalama 0,46±0,22 µg/L) ölçüldü (Tablo 7.50, Grafik 7.50).

**Tablo 7.49** Karadere Baraj Göleti'nde Kadmiyum miktarının (µg/L) aylık değişimi

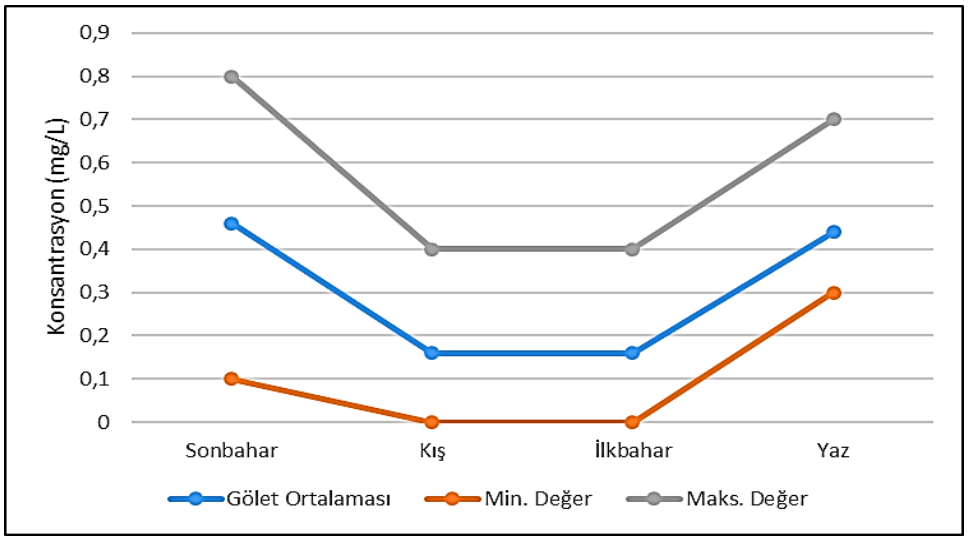
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,1 | 0,3 | 0,4 | $0,27^{bcde}$±0,15 | 0,1 | 0,4 |
| Mayıs | 0,2 | 0,2 | 0,2 | $0,20^{bcde}$±0,00 | 0,2 | 0,2 |
| Haziran | 0,3 | 0,4 | 0,4 | $0,37^{bcde}$±0,06 | 0,3 | 0,4 |
| Temmuz | 0,3 | 0,4 | 0,5 | $0,40^{bcd}$±0,10 | 0,3 | 0,5 |
| Ağustos | 0,4 | 0,6 | 0,7 | $0,57^{ab}$±0,15 | 0,4 | 0,7 |
| Eylül | 0,5 | 0,7 | 0,8 | $0,67^{a}$±0,15 | 0,5 | 0,8 |
| Ekim | 0,3 | 0,5 | 0,6 | $0,47^{abc}$±0,15 | 0,3 | 0,6 |
| Kasım | 0,1 | 0,3 | 0,3 | $0,23^{bcde}$±0,12 | 0,1 | 0,3 |
| Aralık | 0,0 | 0,3 | 0,4 | $0,23^{bcde}$±0,21 | 0,0 | 0,4 |
| Ocak | 0,0 | 0,1 | 0,1 | $0,07^{de}$±0,06 | 0,0 | 0,1 |
| Şubat | 0,0 | 0,2 | 0,3 | $0,17^{cde}$±0,15 | 0,0 | 0,3 |
| Mart | 0,0 | 0,0 | 0,0 | $0,00^{e}$±0,00 | 0,0 | 0,0 |
| Yıllık Ortalama | 0,18±0,18 | 0,33±0,20 | 0,39±0,24 | 0,30±0,20 | 0,0 | 0,8 |

**Tablo 7.50** Karadere Baraj Göleti'nde Kadmiyum miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | 0,46[a]±0,22 | 0,10 | 0,80 |
| Kış | 0,16[b]±0,15 | 0,00 | 0,40 |
| İlkbahar | 0,16[b]±0,14 | 0,00 | 0,40 |
| Yaz | 0,44[a]±0,13 | 0,30 | 0,70 |




**Grafik 7.49** Karadere Baraj Göleti'nde Kadmiyum miktarının (µg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.50** Karadere Baraj Göleti'nde Kadmiyum miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.26 Cıva (mg/L)

Göletteki cıva miktarı yıl içerisinde dalgalı seyretmektedir. Haziran ayında cıva miktarı ortalama 0,013±0,003 µg/L ile en yüksek seviyesinde ölçüldü. Ocak ayında

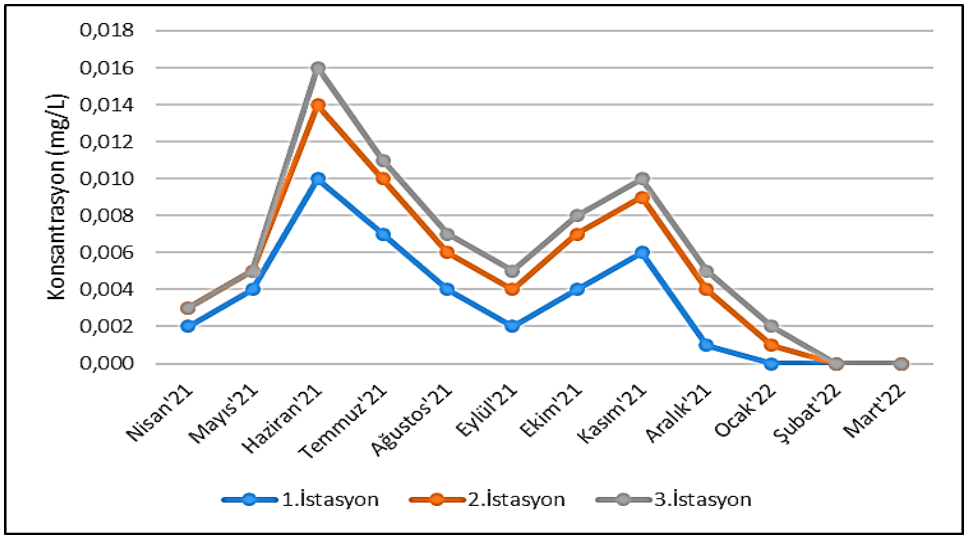
ortalama 0,001±0,001 µg/L ile en düşük seviyesinde ölçüldü. Şubat ve Mart aylarında gölette cıva miktarı 0 (sıfır) olarak ölçüldü. Yıllık ortalama cıva miktarı 0,005±0,004 µg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.51, Grafik 7.51). Kış mevsiminde göletteki en düşük (ortalama 0,001±0,002 µg/L) cıva seviyesi izlenmektedir. En yüksek yaz mevsiminde ortalama 0,009±0,004 µg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.52, Grafik 7.52).

**Tablo 7.51** Karadere Baraj Göleti'nde Cıva miktarının (µg/L) aylık değişimi

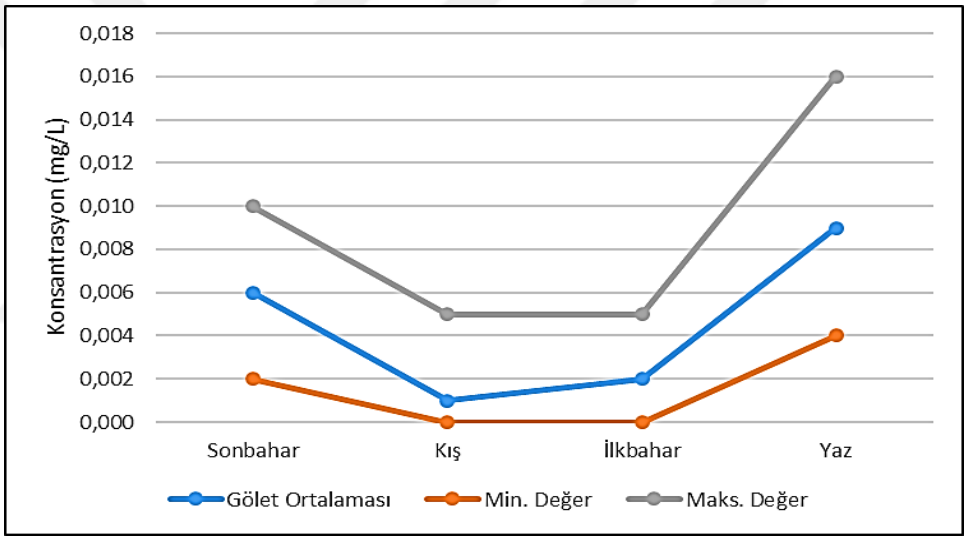
| **Aylar** | **1. İstasyon** | **2. İstasyon** | **3. İstasyon** | **Gölet Ortalaması** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0,002 | 0,003 | 0,003 | $0,003^{def}$±0,001 | 0,002 | 0,003 |
| Mayıs | 0,004 | 0,005 | 0,005 | $0,005^{bcdef}$±0,001 | 0,004 | 0,005 |
| Haziran | 0,010 | 0,014 | 0,016 | $0,013^{a}$±0,003 | 0,010 | 0,016 |
| Temmuz | 0,007 | 0,010 | 0,011 | $0,009^{ab}$±0,002 | 0,007 | 0,011 |
| Ağustos | 0,004 | 0,006 | 0,007 | 0,006b$^{cde}$±0,002 | 0,004 | 0,007 |
| Eylül | 0,002 | 0,004 | 0,005 | $0,004^{cdef}$±0,002 | 0,002 | 0,005 |
| Ekim | 0,004 | 0,007 | 0,008 | $0,006^{bcd}$±0,002 | 0,004 | 0,008 |
| Kasım | 0,006 | 0,009 | 0,010 | $0,008^{bc}$±0,002 | 0,006 | 0,010 |
| Aralık | 0,001 | 0,004 | 0,005 | $0,003^{def}$±0,002 | 0,001 | 0,005 |
| Ocak | 0,000 | 0,001 | 0,002 | $0,001^{ef}$±0,001 | 0,000 | 0,002 |
| Şubat | 0,000 | 0,000 | 0,000 | $0,000^{f}$±0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Mart | 0,000 | 0,000 | 0,000 | $0,000^{f}$±0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Yıllık Ortalama | 0,003±0,003 | 0,005±0,004 | 0,006±0,005 | 0,005±0,004 | 0,000 | 0,016 |

**Tablo 7.52** Karadere Baraj Göleti'nde Cıva miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

| **Mevsim** | **Gölet Ortalaması** | **Minimum Değer** | **Maksimum Değer** |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $0,006^{a}$±0,003 | 0,002 | 0,010 |
| Kış | $0,001^{b}$±0,002 | 0,000 | 0,005 |
| İlkbahar | $0,002^{b}$±0,002 | 0,000 | 0,005 |
| Yaz | $0,009^{a}$±0,004 | 0,004 | 0,016 |




**Grafik 7.51** Karadere Baraj Göleti'nde Cıva miktarının (µg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.52** Karadere Baraj Göleti'nde Cıva miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.27 Nikel (µg/L)

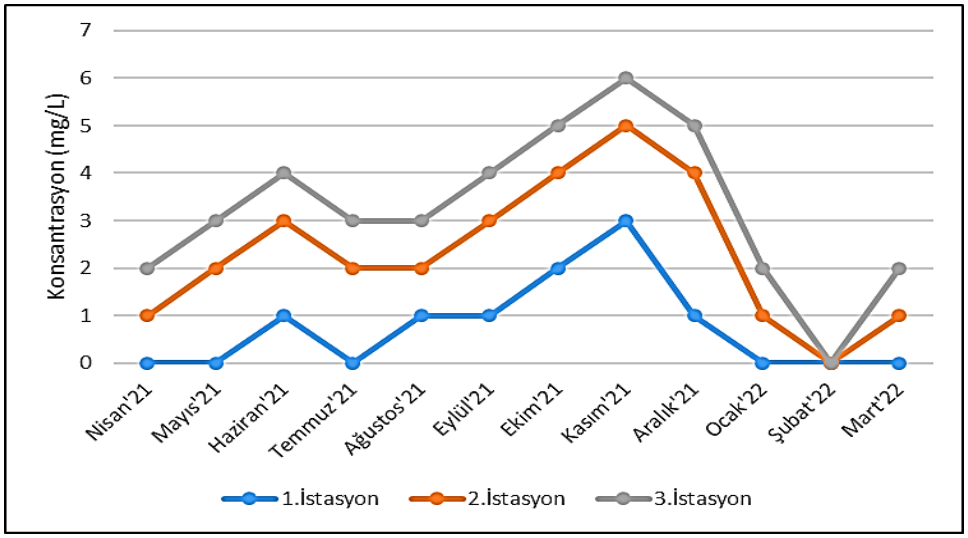
Şubat ayında gölette nikel seviyesi 0 (sıfır) ölçüldü. Ocak, Mart ve Nisan aylarında ise yılın en düşük (ortalama 1,00±1,00 µg/L) nikel seviyesi ölçüldü. En yüksek seviyede nikel miktarı Kasım ayında (ortalama 4,67±1,53 µg/L) ölçüldü. Yıllık ortalama nikel miktarı 2,11±1,34 µg/L olarak hesaplandı (Tablo 7.53, Grafik 7.53). En düşük nikel seviyesi kış mevsiminde (ortalama 1,22±1,09 µg/L), en yüksek nikel seviyesi sonbaharda (ortalama 3,67±1,58 µg/L) hesaplandı (Tablo 7.54, Grafik 7.54).

**Tablo 7.53** Karadere Baraj Göleti'nde Nikel miktarının (µg/L) aylık değişimi

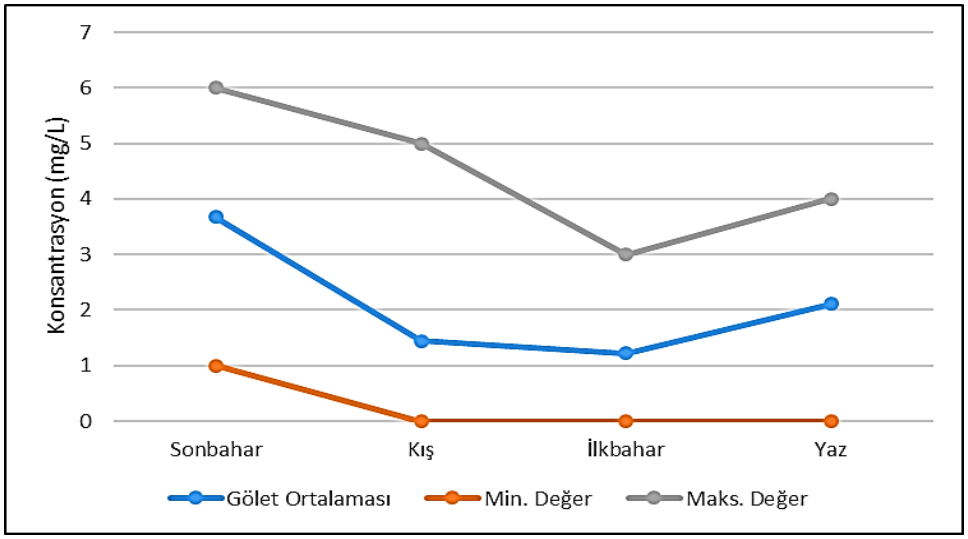
| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 0 | 1 | 2 | $1,00^{ab}$±1,00 | 0 | 2 |
| Mayıs | 0 | 2 | 3 | $1,67^{ab}$±1,53 | 0 | 3 |
| Haziran | 1 | 3 | 4 | $2,67^{ab}$±1,53 | 1 | 4 |
| Temmuz | 0 | 2 | 3 | $1,67^{ab}$±1,53 | 0 | 3 |
| Ağustos | 1 | 2 | 3 | $2,00^{ab}$±1,00 | 1 | 3 |
| Eylül | 1 | 3 | 4 | $2,67^{ab}$±1,53 | 1 | 4 |
| Ekim | 2 | 4 | 5 | $3,67^{ab}$±1,53 | 2 | 5 |
| Kasım | 3 | 5 | 6 | $4,67^{aba}$±1,53 | 3 | 6 |
| Aralık | 1 | 4 | 5 | $3,33^{ab}$±2,08 | 1 | 5 |
| Ocak | 0 | 1 | 2 | $1,00^{ab}$±1,00 | 0 | 2 |
| Şubat | 0 | 0 | 0 | $0,00^{b}$±0,00 | 0 | 0 |
| Mart | 0 | 1 | 2 | $1,00^{ab}$±1,00 | 0 | 2 |
| Yıllık Ortalama | 0,75±0,97 | 2,33±1,50 | 3,25±1,66 | 2,11±1,34 | 0 | 6 |

**Tablo 7.54** Karadere Baraj Göleti'nde Nikel miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $3,67^{a}$±1,58 | 1,0 | 6,0 |
| Kış | $1,44^{b}$±1,88 | 0,0 | 5,0 |
| İlkbahar | $1,22^{b}$±1,09 | 0,0 | 3,0 |
| Yaz | $2,11^{ab}$±1,27 | 0,0 | 4,0 |




**Grafik 7.53** Karadere Baraj Göleti'nde Nikel miktarının (µg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.54** Karadere Baraj Göleti'nde Nikel miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

### 7.1.28 Çinko (mg/L)

Haziran ayında en yüksek seviyesinde (ortalama 23,0±2,65 µg/L) ölçülen çinko miktarı, takip eden aylarda düşüşe geçmekle birlikte, Eylül ayından sonra tekrar yükselişe geçmektedir. Kasım ayında ikinci en yüksek (ortalama 16,67±1,53 µg/L) seviyesine ulaştıktan sonra Aralık ayı ile birlikte ani bir düşüş göstermektedir. Mart ayında ise en düşük (ortalama 0,67±0,58 µg/L) seviyesindedir (Tablo 7.55, Grafik 7.55).

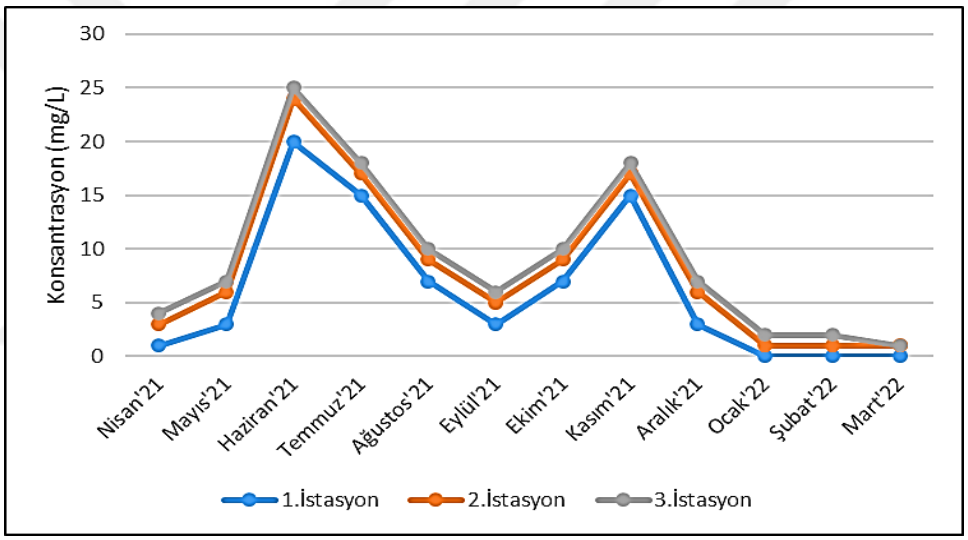
**Tablo 7.55** Karadere Baraj Göleti'nde Çinko miktarının (µg/L) aylık değişimi

| Aylar | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nisan | 1 | 3 | 4 | $2,67^{d}$±1,53 | 1 | 4 |
| Mayıs | 3 | 6 | 7 | $5,33^{cd}$±2,08 | 3 | 7 |
| Haziran | 20 | 24 | 25 | $23,0^{a}$±2,65 | 20 | 25 |
| Temmuz | 15 | 17 | 18 | $16,67^{b}$±1,53 | 15 | 18 |
| Ağustos | 7 | 9 | 10 | $8,67^{c}$±1,53 | 7 | 10 |
| Eylül | 3 | 5 | 6 | $4,67^{cd}$±1,53 | 3 | 6 |
| Ekim | 7 | 9 | 10 | $8,67^{c}$±1,53 | 7 | 10 |
| Kasım | 15 | 17 | 18 | $16,67^{b}$±1,53 | 15 | 18 |
| Aralık | 3 | 6 | 7 | $5,33^{cd}$±2,08 | 3 | 7 |
| Ocak | 0 | 1 | 2 | $1,00^{d}$±1,00 | 0 | 2 |
| Şubat | 0 | 1 | 2 | $1,00^{d}$±1,00 | 0 | 2 |
| Mart | 0 | 1 | 1 | $0,67^{d}$±0,58 | 0 | 1 |
| Yıllık Ortalama | 6,17±6,87 | 8,25±7,44 | 9,17±7,53 | 7,86±7,19 | 0 | 25 |

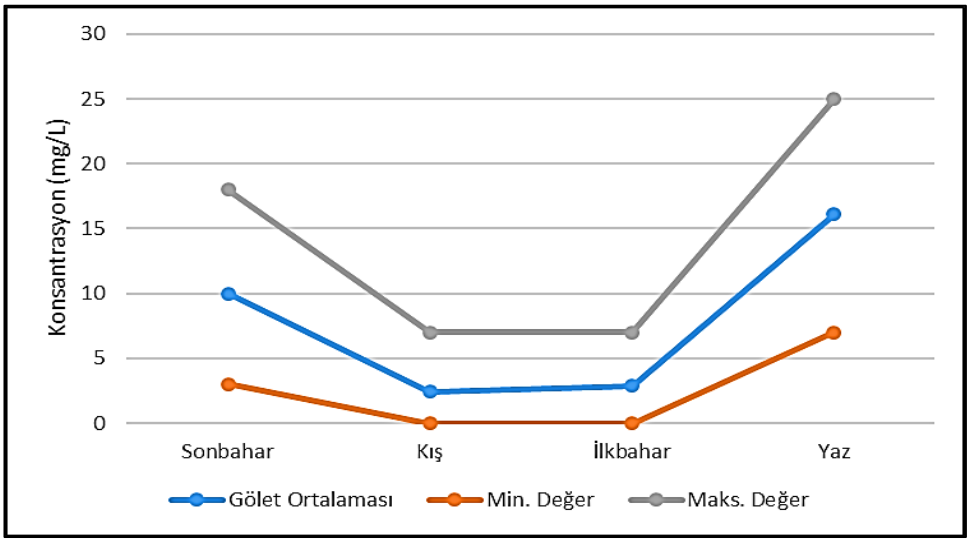
Göletteki çinko seviyesi ani iniş ve çıkışları ile dikkat çekmektedir. Kış mevsimine girerken ani bir düşüşle en düşük mevsimsel seviyesinde ortalama 2,44±2,51 µg/L ölçülürken, yaz mevsimine girerken ani bir sıçrayışla en yüksek mevsimsel seviyesinde 16,11±6,45 µg/L ölçülmektedir.

**Tablo 7.56** Karadere Baraj Göleti'nde Çinko miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

| Mevsim | Gölet Ortalaması | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|
| Sonbahar | $10,00^{b}$±5,45 | 3,00 | 18,00 |
| Kış | $2,44^{c}$±2,51 | 0,00 | 7,00 |
| İlkbahar | $2,89^{bc}$±2,42 | 0,00 | 7,00 |
| Yaz | $16,11^{a}$±6,45 | 7,00 | 25,00 |




**Grafik 7.55** Karadere Baraj Göleti'nde Çinko miktarının (µg/L) aylık değişimi




**Grafik 7.56** Karadere Baraj Göleti'nde Çinko miktarının (µg/L) mevsimsel değişimi

## 7.2 Sitotoksik Analizler

Bir yıl süresince, aylık periyotlar şeklinde her üç istasyondan toplanan numunelerin önce fizikokimyasal analizleri yapıldı. Analizi yapılan her bir örnekten, 15 mL su numunesi sitotoksik çalışmalarda kullanılmak üzere falkon tüplere alınarak 2-8ºC'da çalışma gününe kadar saklandı. Sitotoksisite çalışmaları üç grup halinde, her dört ay bir grup oluşturacak şekilde planlanarak, çalışıldı. Hücre kültürlerinde MTT ve LDH analizleri yapılmak suretiyle hücrelerin gölet suyuna verdiği sitotoksik tepkiler ölçüldü. Sitotoksik analizler yapılırken Live Dead analiz yöntemi ile kültürlerdeki hücre canlılığını görülmesi sağlandı. Yine Sitotoksik analizleri desteklemek için histo-kimyasal boyama (HE) ile kültürdeki canlı hücrelerin görüntüleri alındı. Sonuçlar birbiri ile ve fizikokimyasal analiz sonuçları ile mukayese edildi.

### 7.2.1 MTT Analizleri

MTT analizi sonucu hücre kültürlerinden alınan örneklere ve kontrollere ait absorbans değerleri kullanılarak yüzde canlılıklar ve standart sapmaları hesaplandı. Grafikleri oluşturuldu. Her ay için MTT öncesi ve sonrası görüntülemelerin faz contrast mikroskobu ile fotoğrafları alındı.

Mart ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 96,4 oranında, en yüksek % canlılık ise 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 167,23 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 0,2 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 110,45 oranında, en yüksek 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 167,41 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 84,437 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 3.günde 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 179,65 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Mart ayında en düşük % canlılık 1.günde 3.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 3.İstasyonda 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi (Grafik 7.57, Şekil 7.1, Şekil 7.2).

Nisan ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 84,171 oranında, en yüksek % canlılık ise 0,2 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 143,54 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 0,75 µL/mL doz uygulanan

kültürde 1.günde 81,767 oranında, en yüksek 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 145,02 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 81,111 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 3.günde 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 136,62 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Nisan ayında en düşük % canlılık 1.günde 3.İstasyonda 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 2.İstasyonda 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi (Grafik 7.57, Şekil 7.3, Şekil 7.4).

Mayıs ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 0,2 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 79,899 oranında, en yüksek % canlılık ise 2 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 100,05 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 59,538 oranında, en yüksek 0,2 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 104,58 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 3.günde 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 67,631 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 1.günde 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 117,11 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Mayıs ayında en düşük % canlılık 3.günde 2.İstasyonda 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 1.günde 3.İstasyonda 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi. İstasyonların 3.gün çalışmalarında % canlılık oranlarının 1.güne göre düşüş gösterdiği gözlendi (Grafik 7.57, Şekil 7.5, Şekil 7.6).

Haziran ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 85,658 oranında, en yüksek % canlılık ise 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 132,88 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 70,962 oranında, en yüksek 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 118,28 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 3.günde 2 µL/mL doz uygulanan kültürde 73,154 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 1.günde yine 2 µL/mL doz uygulanan kültürde 100,67 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Haziran ayında en düşük % canlılık 3.günde 3.İstasyonda 2 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 1.İstasyonda 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi. Ayrıca 1.İstasyonun 3.gün çalışmasında % canlılık oranlarında 1.güne göre artış gözlenirken 2. ve 3.İstasyonların

3.gün testlerinde % canlılık oranlarında 1.güne göre düşüş olduğu gözlendi (Grafik 7.58, Şekil 7.7, Şekil 7.8).

Temmuz ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 71,717 oranında, en yüksek % canlılık ise 1 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 111,34 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 1 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 84,551 oranında, en yüksek 0,2 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 111,51 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 2 µL/mL doz uygulanan kültürde 53,377 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 3.günde yine 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 106,93 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Temmuz ayında en düşük % canlılık 1.günde 3.İstasyonda 2 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 2.İstasyonda 0,2 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi. Haziran ayının tersine 1.İstasyonun 3.gün çalışmasında % canlılık düşüş gösterirken diğer istasyonlarda 3.gün çalışmasında % canlılık artış göstermiştir (Grafik 7.58, Şekil 7.9, Şekil 7.10).

Ağustos ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 53,983 oranında, en yüksek % canlılık ise 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 137,0 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 76,091 oranında, en yüksek 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 129,08 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 38,152 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 3.günde yine 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 137,57 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Ağustos ayında en düşük % canlılık 1.günde 3.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise yine 3.günde 3.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi (Grafik 7.58, Şekil 7.11, Şekil 7.12).

Eylül ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 71,796 oranında, en yüksek % canlılık ise 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 108,62 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 2 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 73,464 oranında, en yüksek 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 132,6 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 3.günde

2 µL/mL doz uygulanan kültürde 82,795 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 1.günde yine 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 122,49 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Eylül ayında en düşük % canlılık 3.günde 1.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 1.günde 3.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi. Eylül ayında 1.İstasyonda 3.gün çalışmasında % canlılık düşük ve yüksek dozlarda düşüşe geçerken ara dozlarda yükselmiştir. 2.İstasyonda 0,5 µL/mL ve 3.İstasyonda 1 µL/mL dozlarında 3.günde % canlılık yükselirken diğer dozlarda düşmüştür (Grafik 7.59, Şekil 7.13, Şekil 7.14).

Ekim ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 71,549 oranında, en yüksek % canlılık ise 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 106,876 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 64,5496 oranında, en yüksek yine 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 116,618 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde 83,1281 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 3.günde 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 119,173 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Ekim ayında en düşük % canlılık 1.günde 2.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 3.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi. Ekim ayında % canlılık tüm istasyonlarda genel itibariyle 3.gün çalışmasında yükselmiştir (Grafik 7.59, Şekil 7.15, Şekil 7.16).

Kasım ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 5 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 43,0901 oranında, en yüksek % canlılık ise 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 131,814 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 2 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 56,9385 oranında, en yüksek yine 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 135,461 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 36,7382 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 3.günde 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 140,979 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Kasım ayında en düşük % canlılık 1.günde 3.İstasyonda 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 3.İstasyonda 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi. Kasım ayında % canlılık 3.gün çalışmasında 0,2 µL/mL ve 0,5 µL/mL dozlarda düşüş gösterirken diğer dozlarda

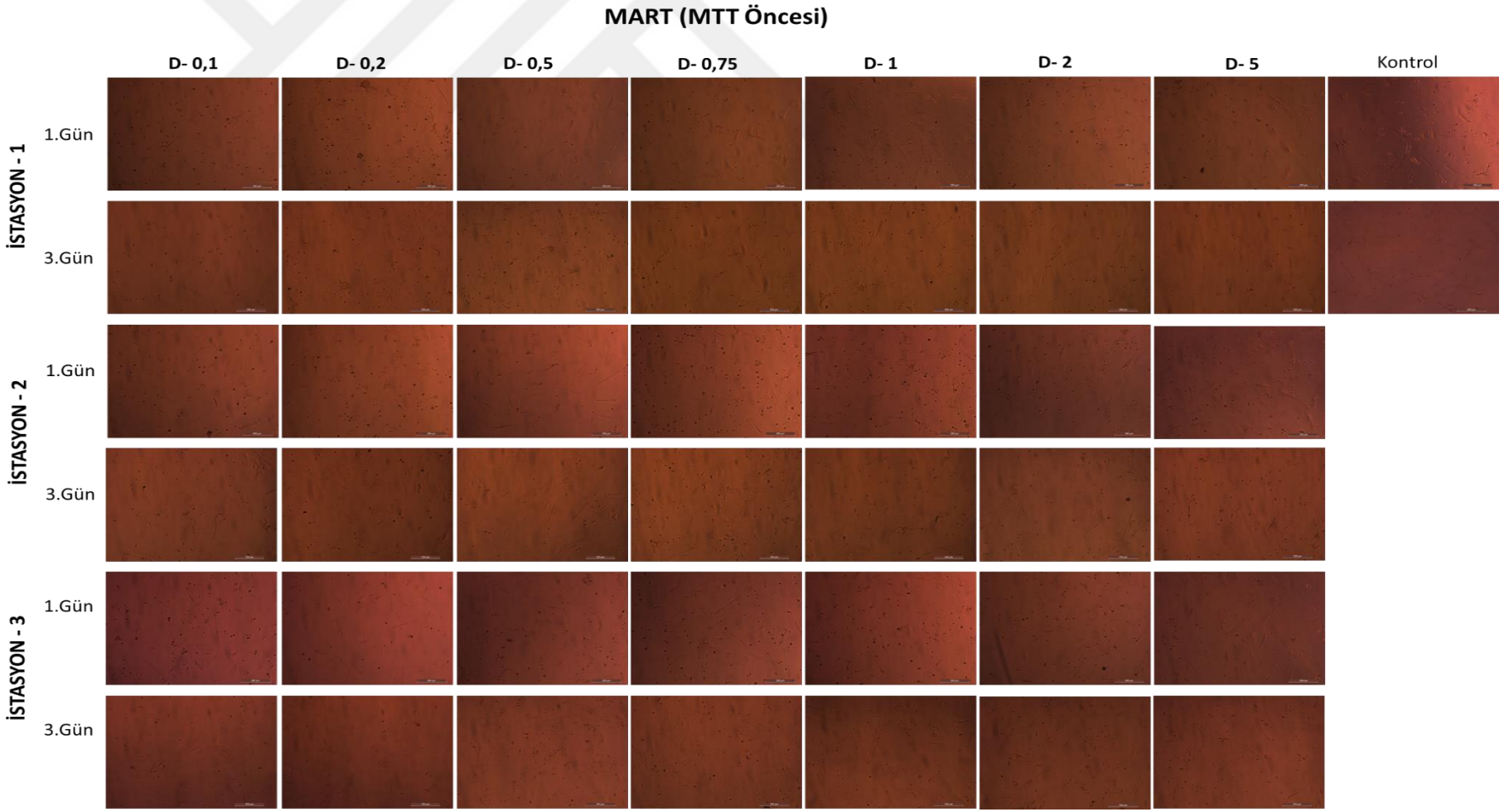
yükselmiştir. En önemli yükseliş tüm istasyonlarda 0,1 µL/mL ve 5 µL/mL doz eklenen kültürlerde gözlenmiştir (Grafik 7.59, Şekil 7.17, Şekil 7.18).

Aralık ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 1 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 76,54321 oranında, en yüksek % canlılık ise 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 109,1958 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 88,52999 oranında, en yüksek 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 116,9413 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 77,96771 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 3.günde 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 111,5359 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Aralık ayında en düşük % canlılık 1.günde 1.İstasyonda 1 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 2.İstasyonda 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi. Aralık ayında 3.gün çalışmasında her bir istasyonda % canlılık bazı dozlarda düşüş gösterse de genel itibariyle az da olsa yükselmiştir (Grafik 7.60, Şekil 7.19, Şekil 7.20).

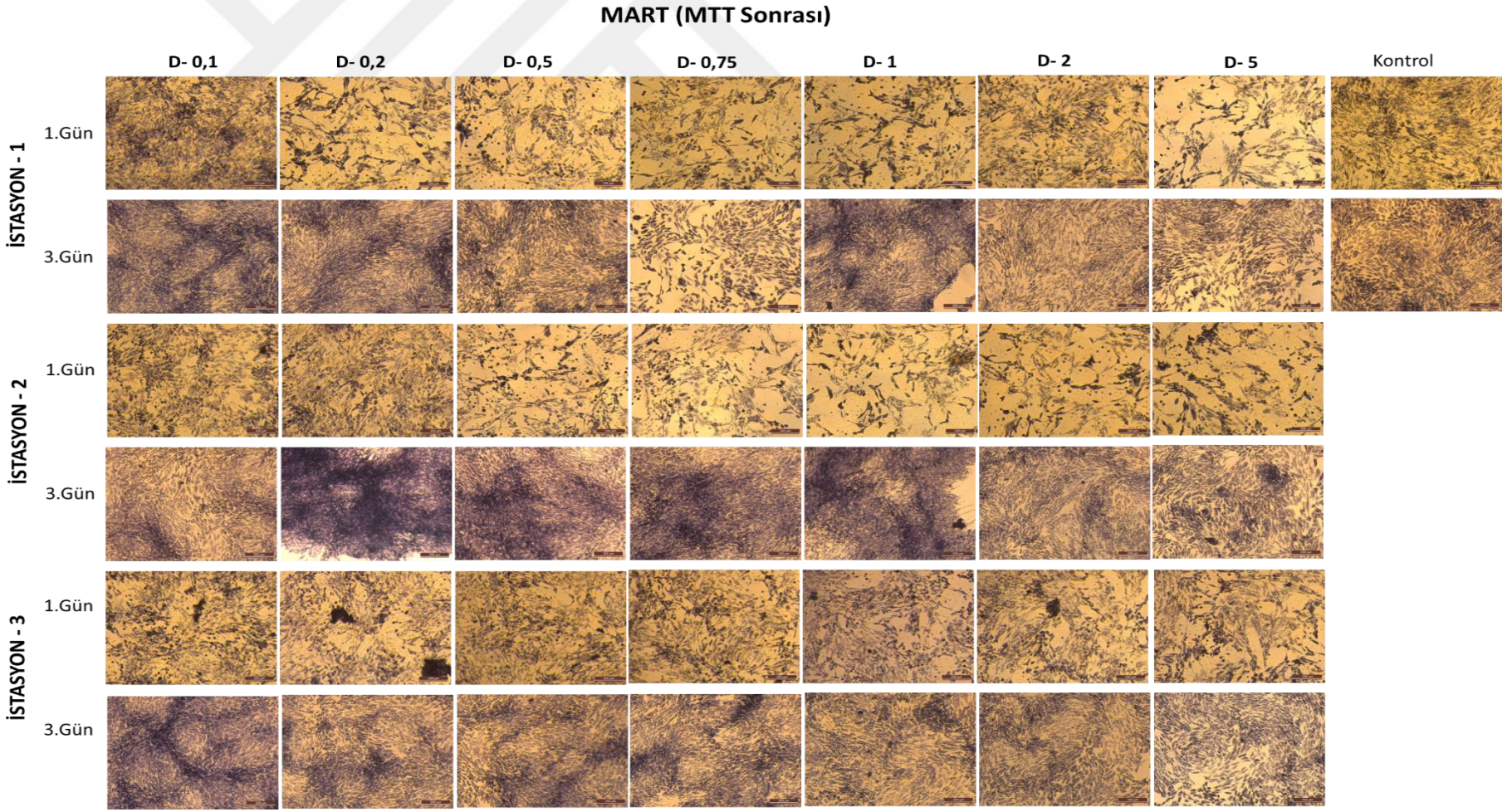
Ocak ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 2 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 95,821 oranında, en yüksek % canlılık ise 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 134,9703 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 89,95209 oranında, en yüksek 0,2 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 136,408 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 2 µL/mL doz uygulanan kültürde 88,68502 µL/mL oranında, en yüksek % canlılık 3.günde 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 144,7894 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Ocak ayında en düşük % canlılık 1.günde 3.İstasyonda 2 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 3.İstasyonda 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi (Grafik 7.60, Şekil 7.21, Şekil 7.22).

Şubat ayında en düşük % canlılık 1.İstasyonda 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 91,94699 oranında, en yüksek % canlılık ise yine 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 166,8293 oranında gözlendi. 2.İstasyonda en düşük 1 µL/mL doz uygulanan kültürde 1.günde 78,34275 oranında, en yüksek 0,1 µL/mL doz uygulanan kültürde 3.günde 151,3182 oranında % canlılık gözlendi. 3.İstasyonda en düşük % canlılık 1.günde 0,75 µL/mL doz uygulanan kültürde 88,59316 µL/mL oranında, en

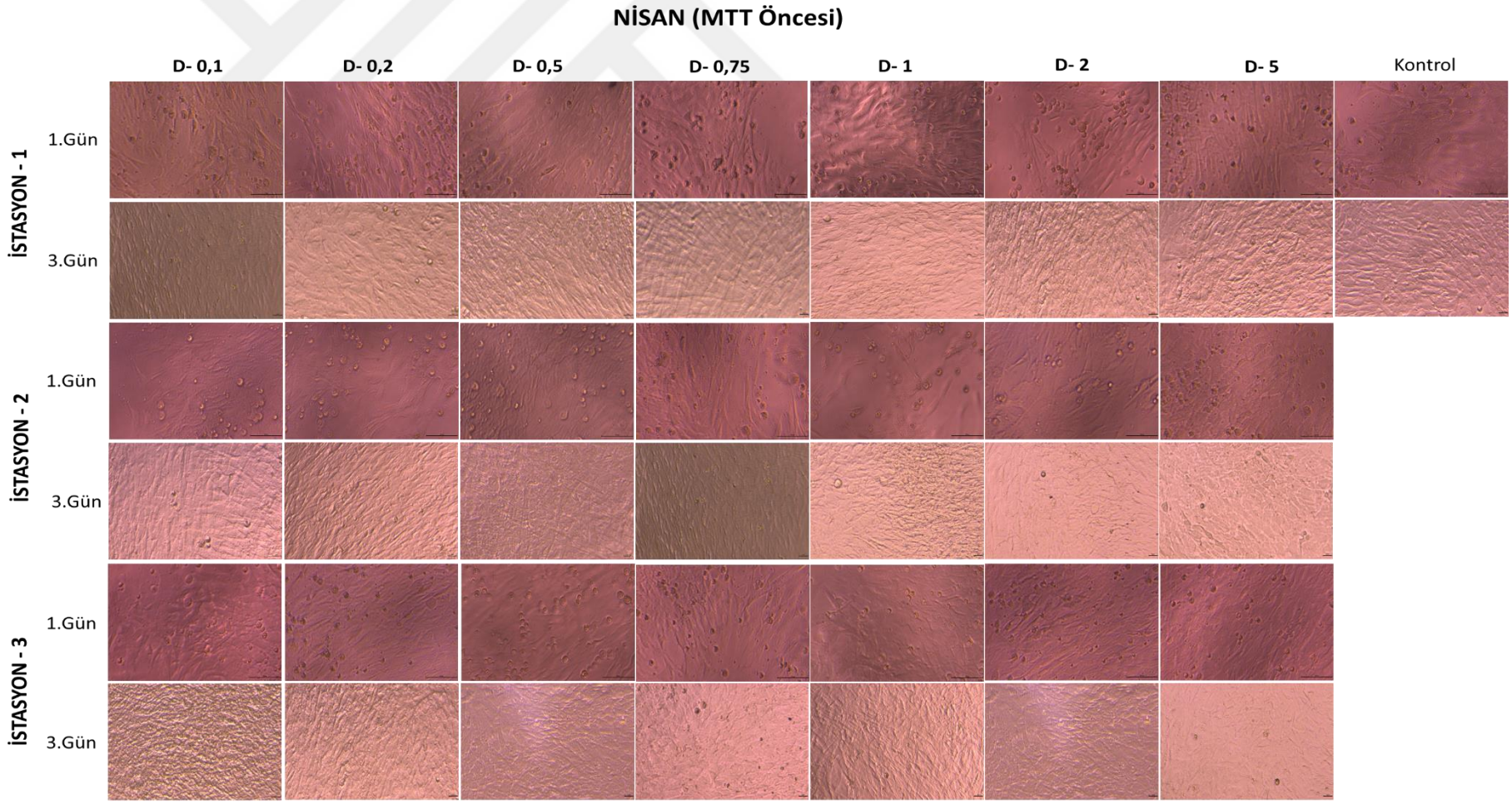
yüksek % canlılık 3.günde 0,2 µL/mL doz uygulanan kültürde 152,8714 oranında gözlendi. Göletin geneline bakıldığında Şubat ayında en düşük % canlılık 1.günde 2.İstasyonda 1 µL/mL doz uygulanan kültürde, en yüksek % canlılık ise 3.günde 1.İstasyonda 0,5 µL/mL doz uygulanan kültürde gözlendi (Grafik 7.60, Şekil 7.23, Şekil 7.24).



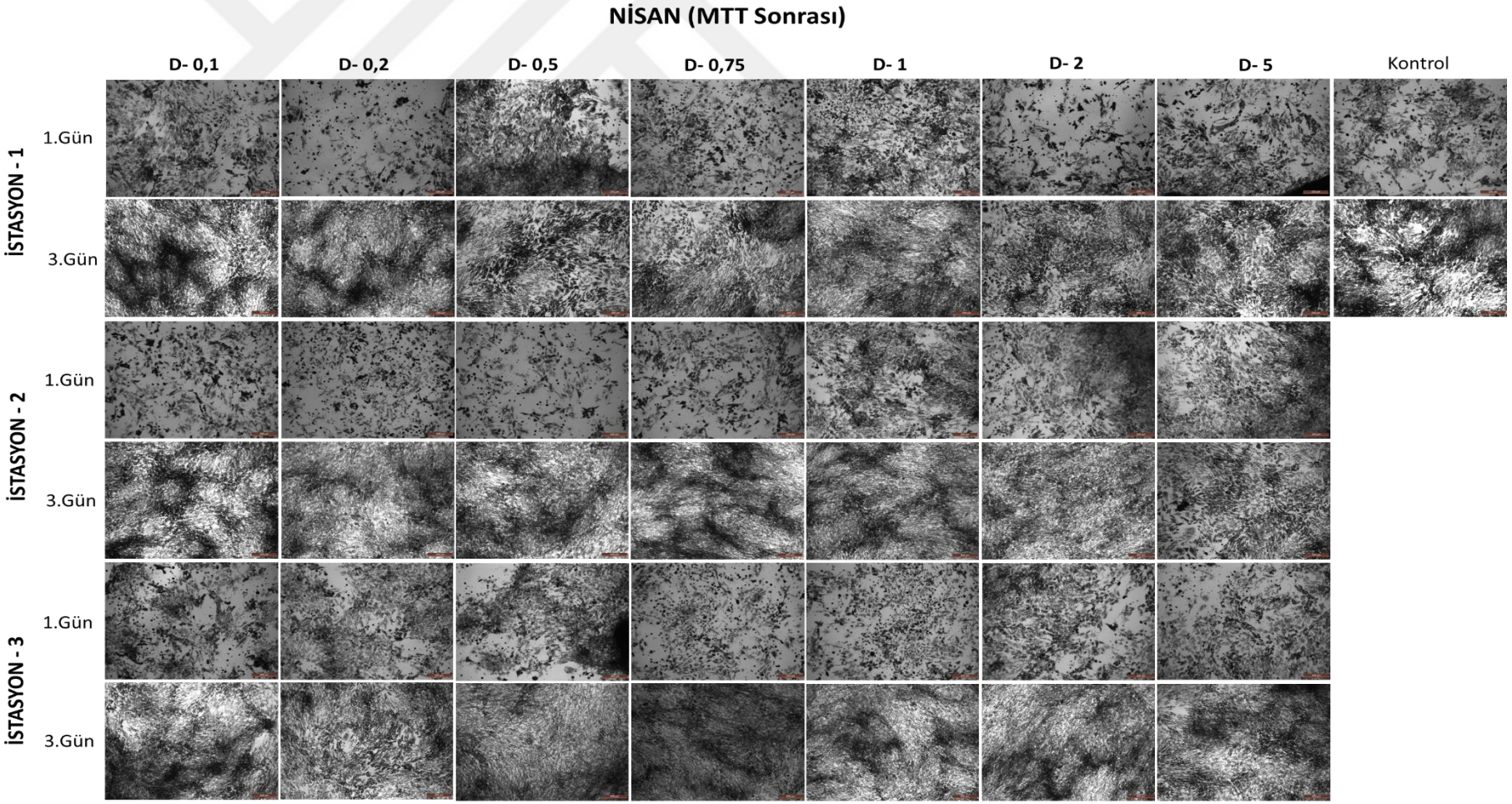

**Şekil 7.1** Mart ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



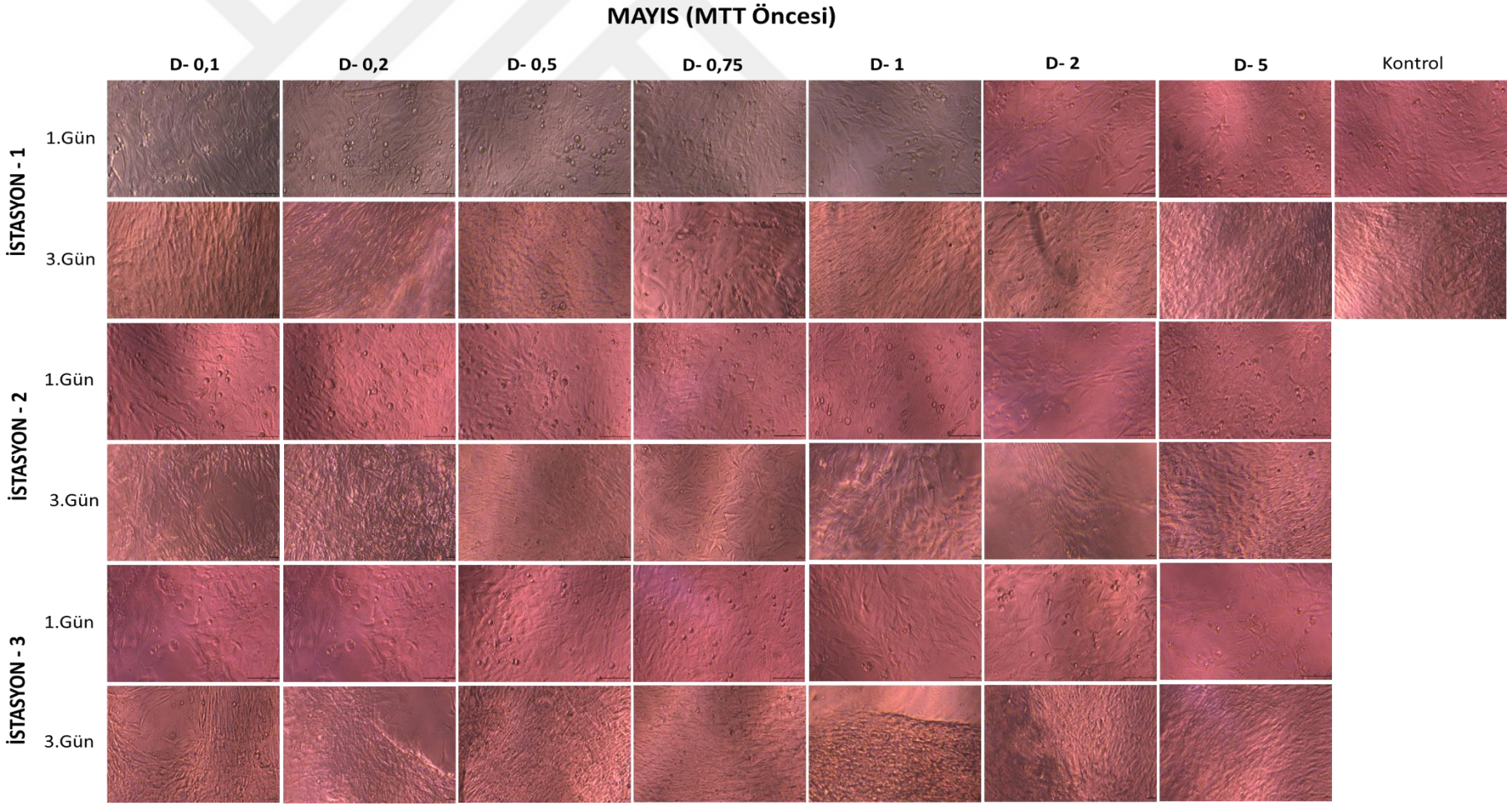

**Şekil 7.2** Mart ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



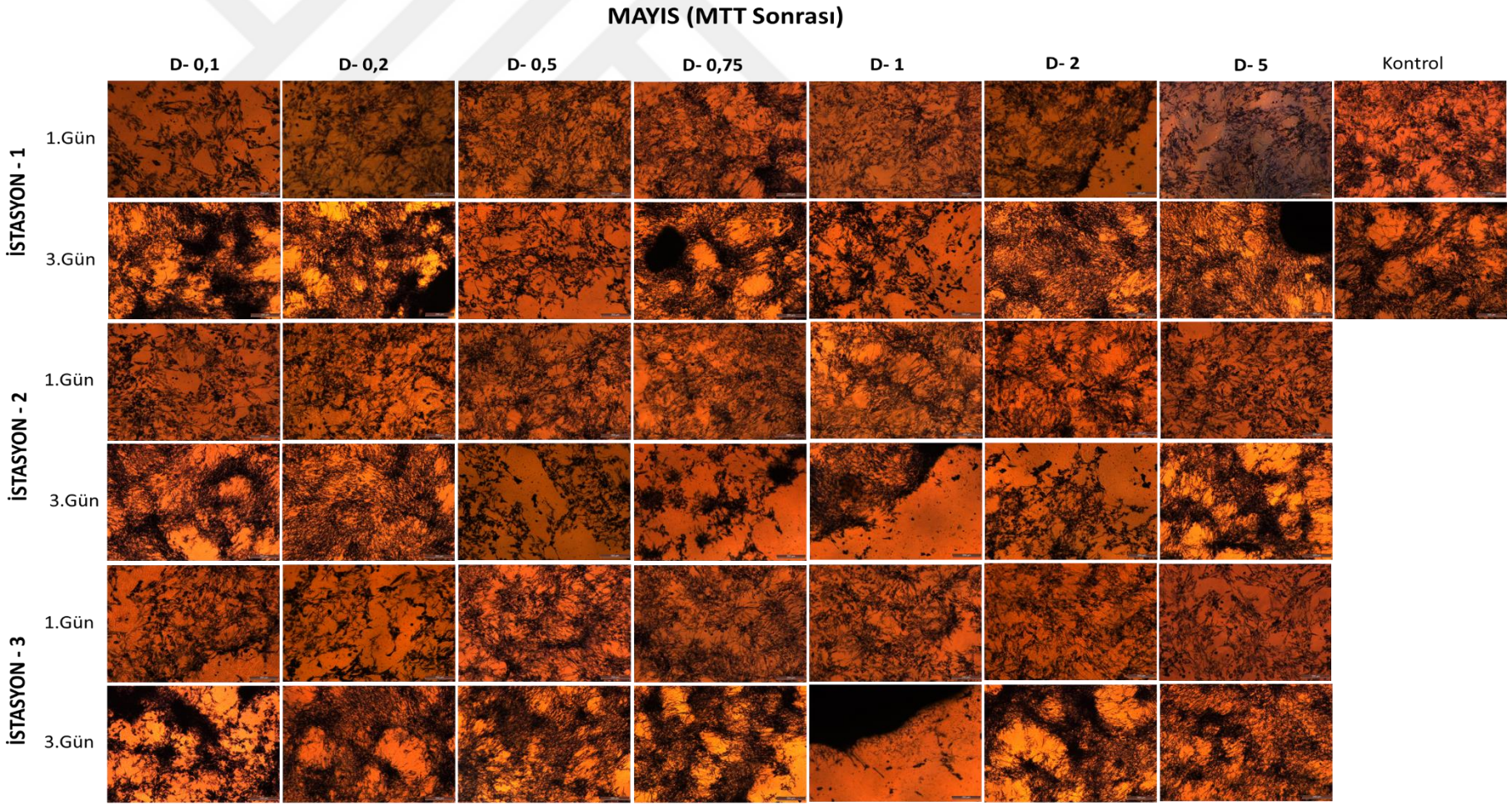

**Şekil 7.3** Nisan ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



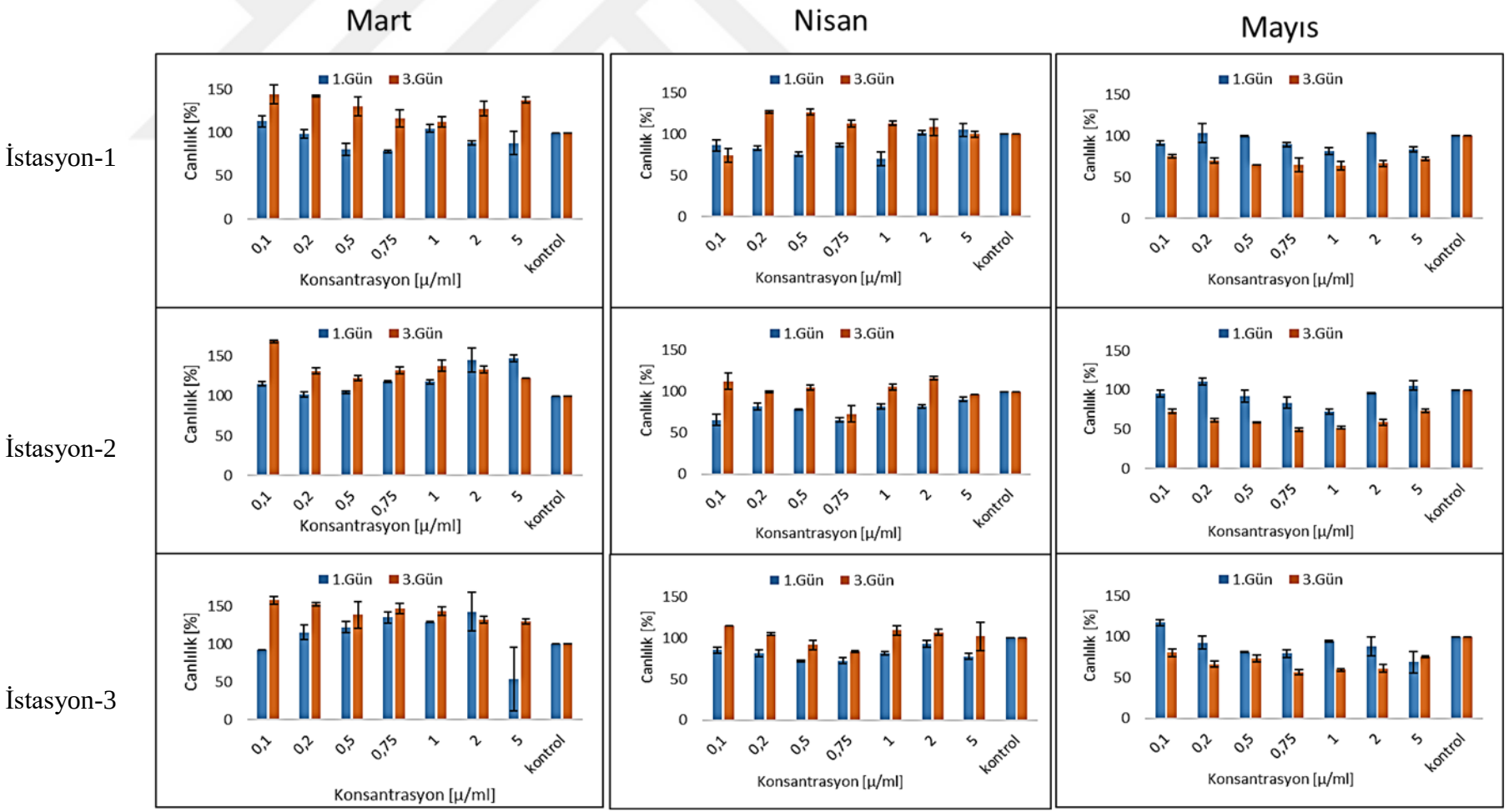

**Şekil 7.4** Nisan ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



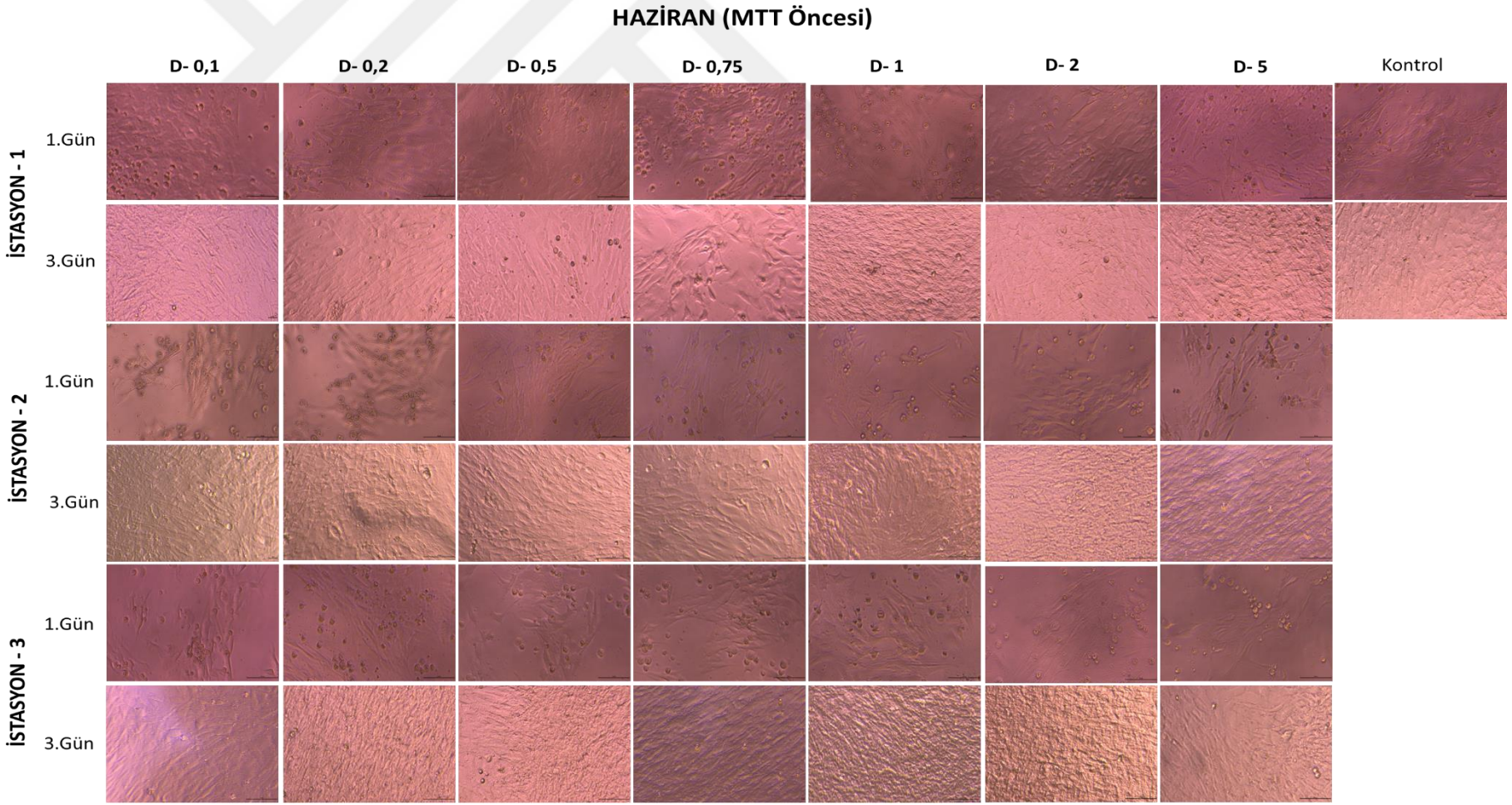

**Şekil 7.5** Mayıs ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



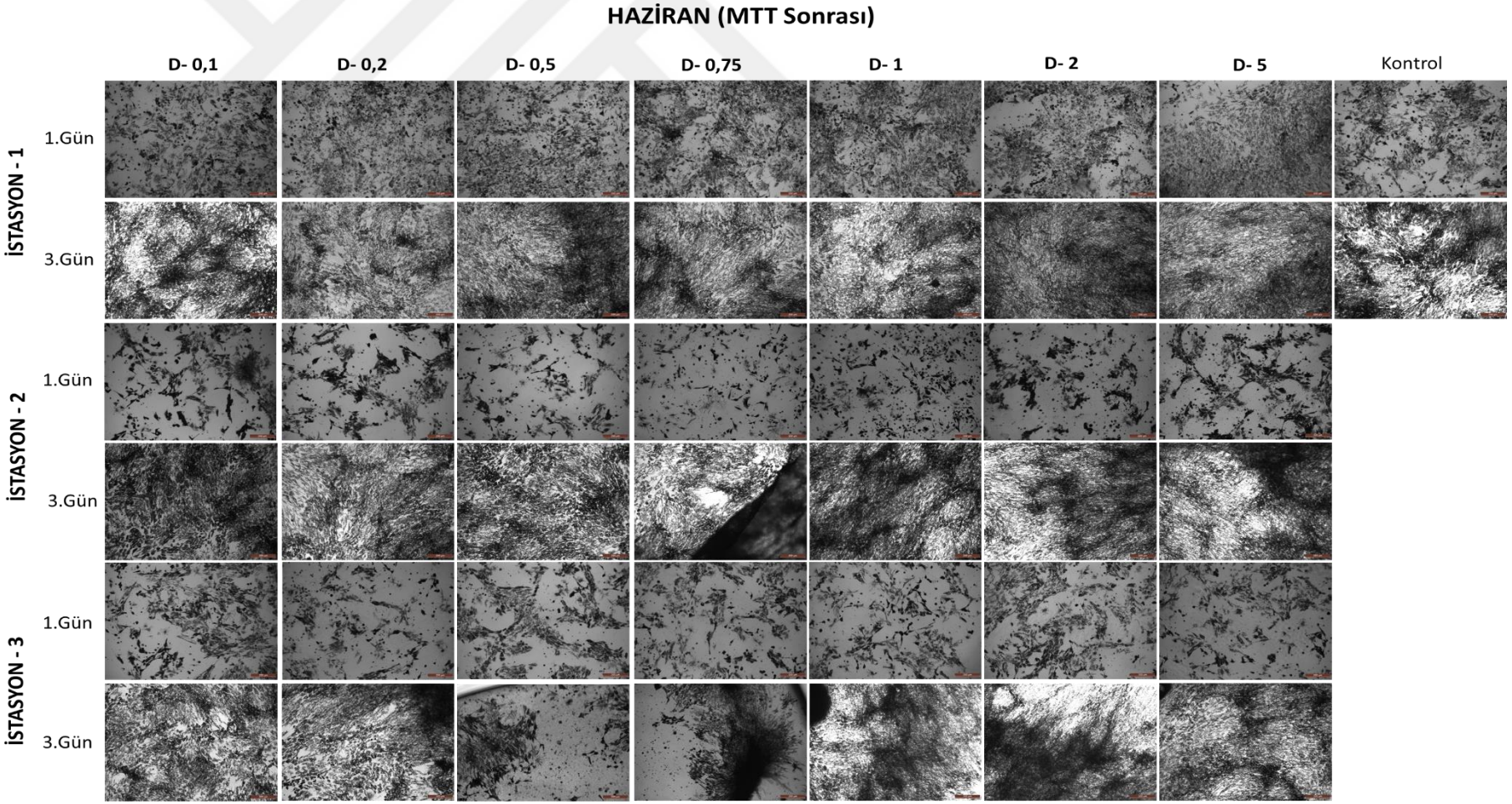

**Şekil 7.6** Mayıs ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



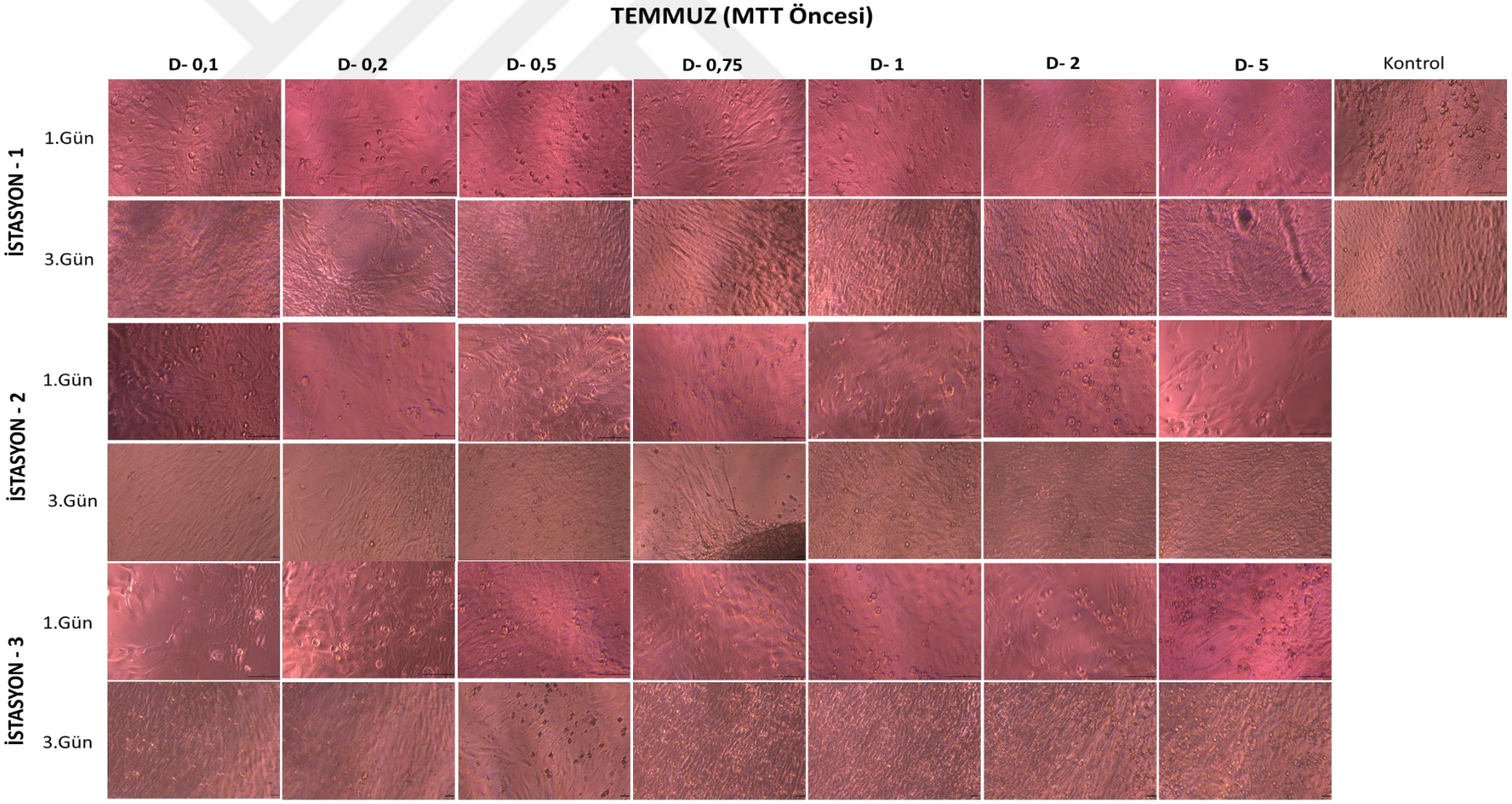

**Grafik 7.57** İlkbahar numunelerine ait hücre kültürlerinde yapılan MTT analizlerinin grafikle değerlendirilmesi



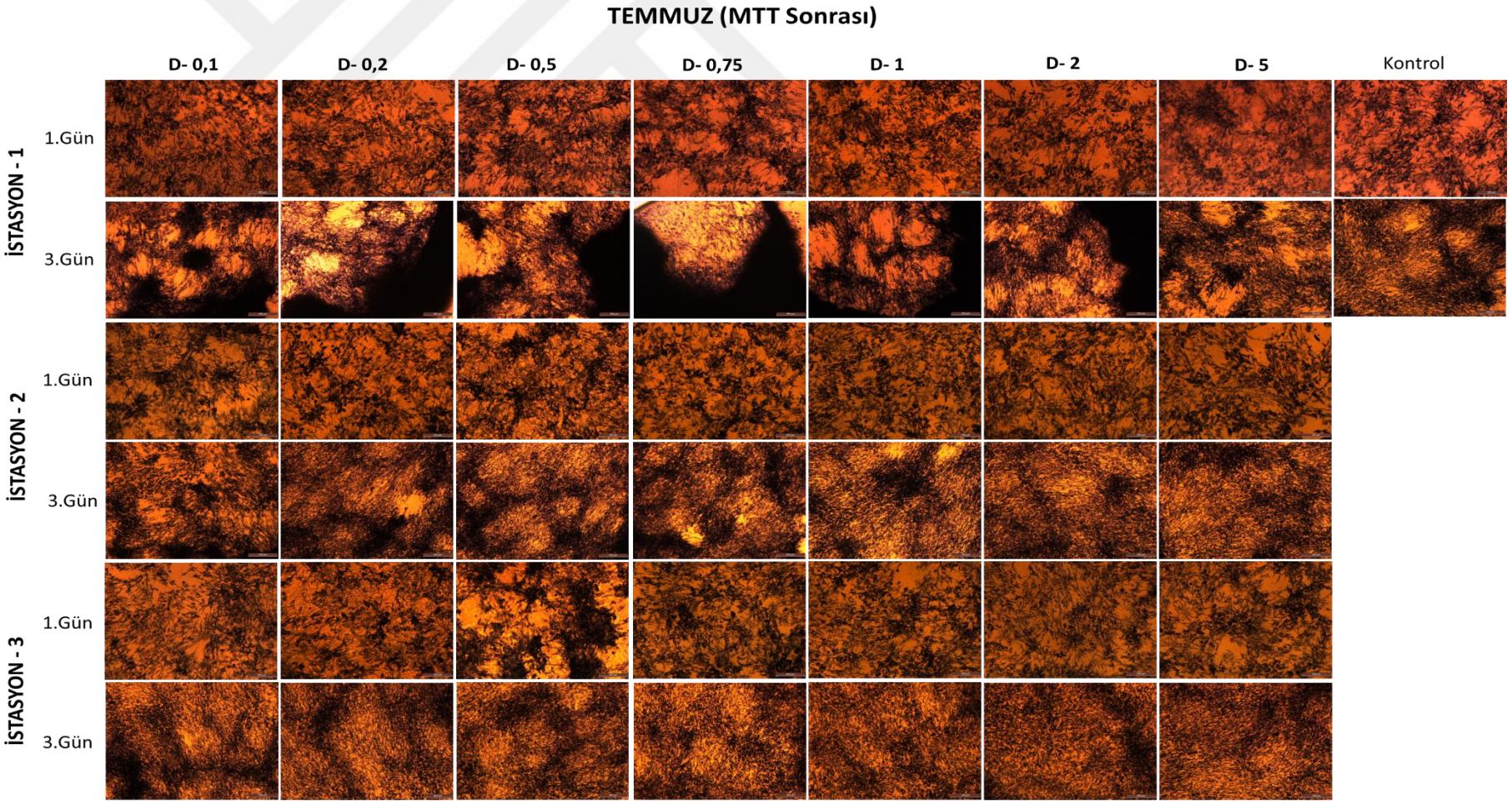

**Şekil 7.7** Haziran ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



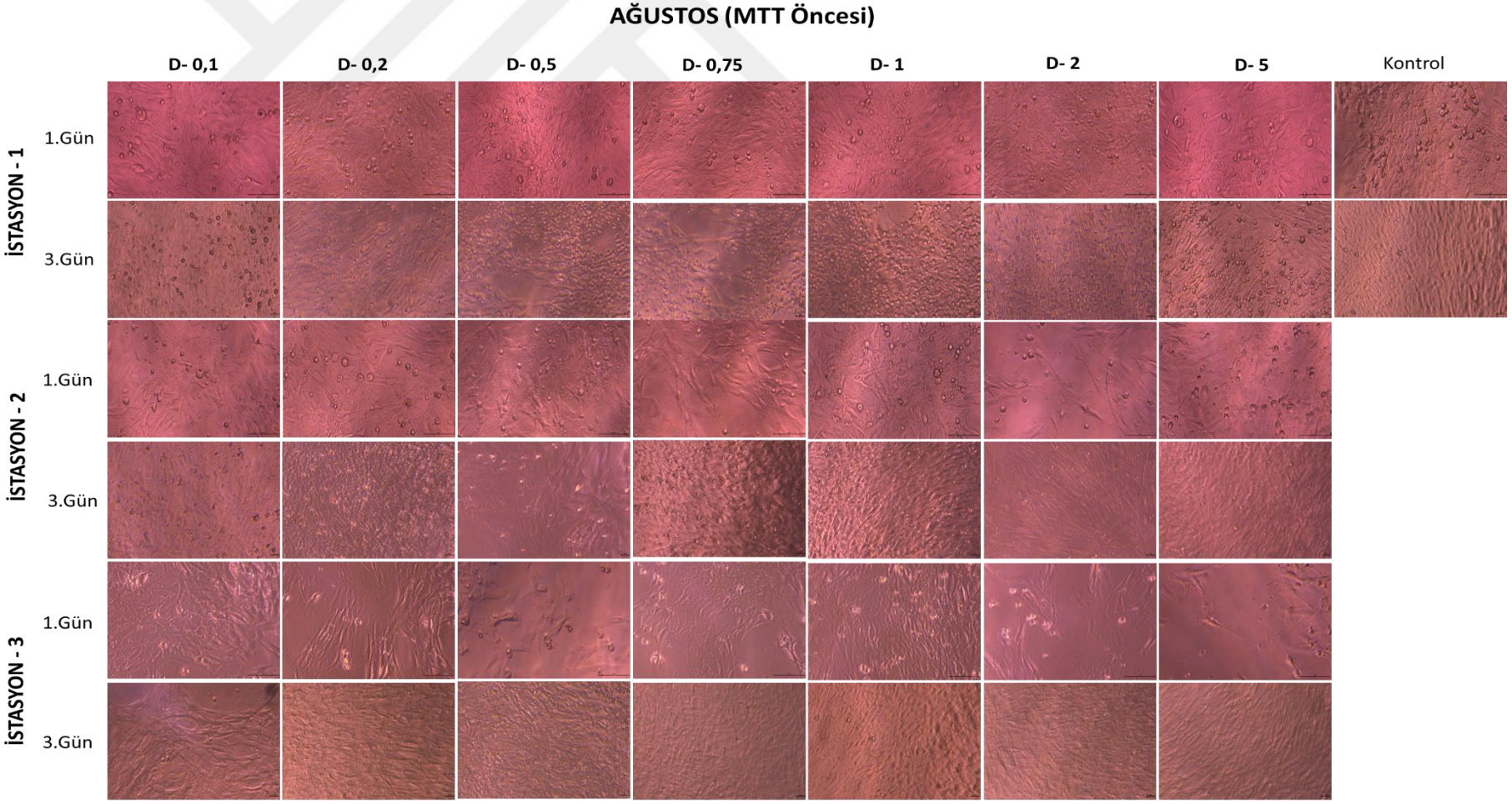

**Şekil 7.8** Haziran ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



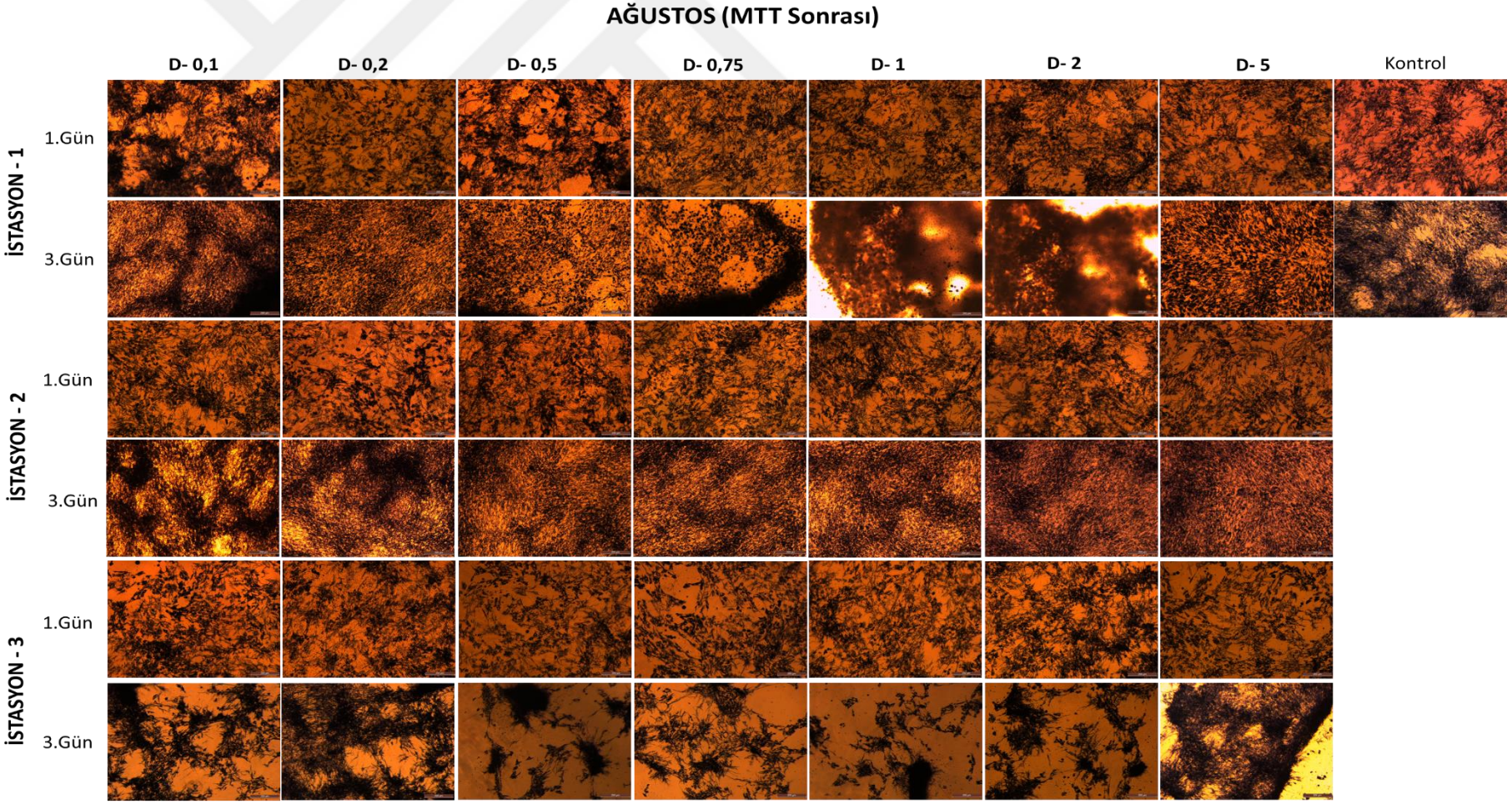

**Şekil 7.9** Temmuz ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



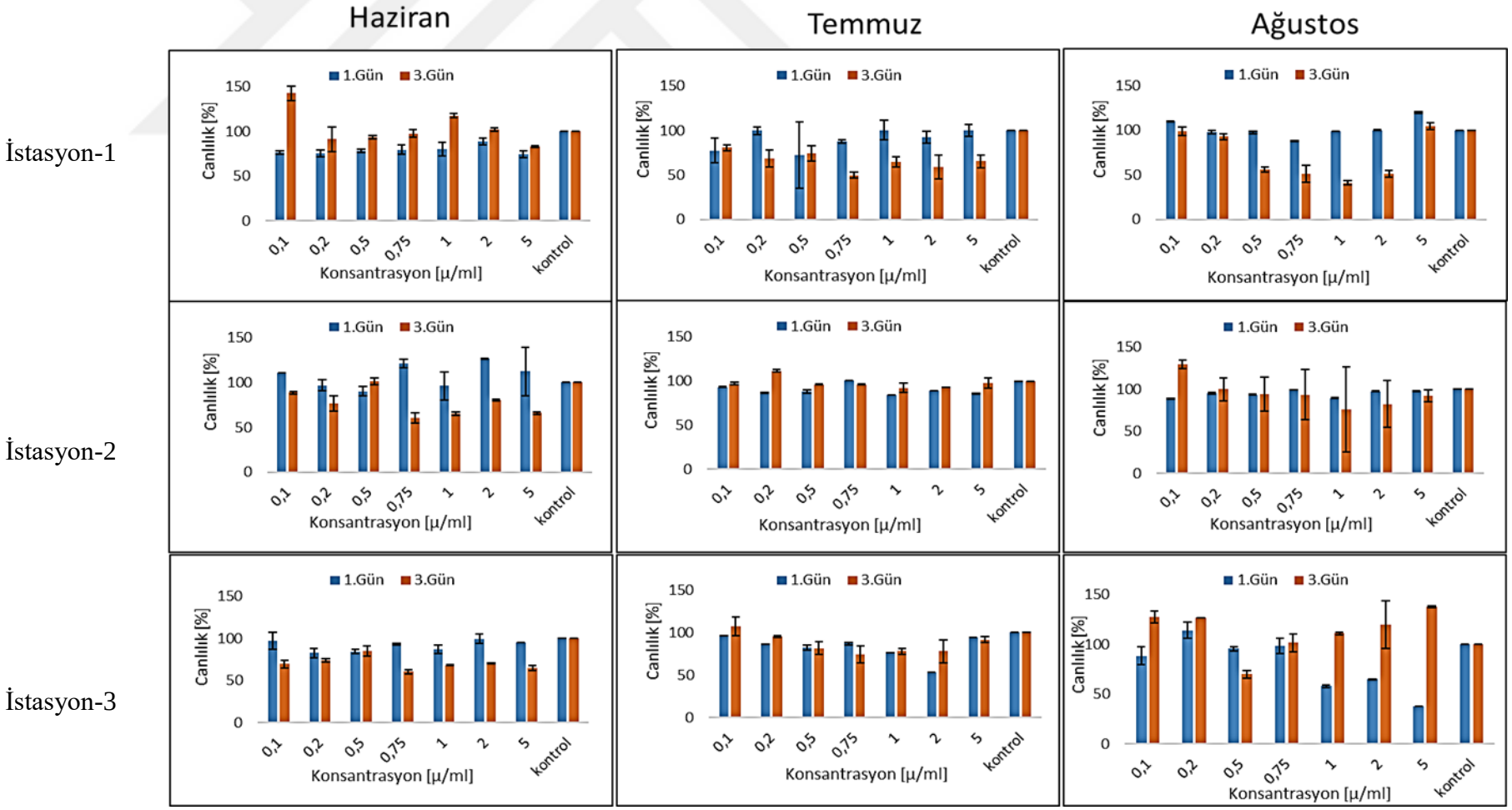

**Şekil 7.10** Temmuz ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



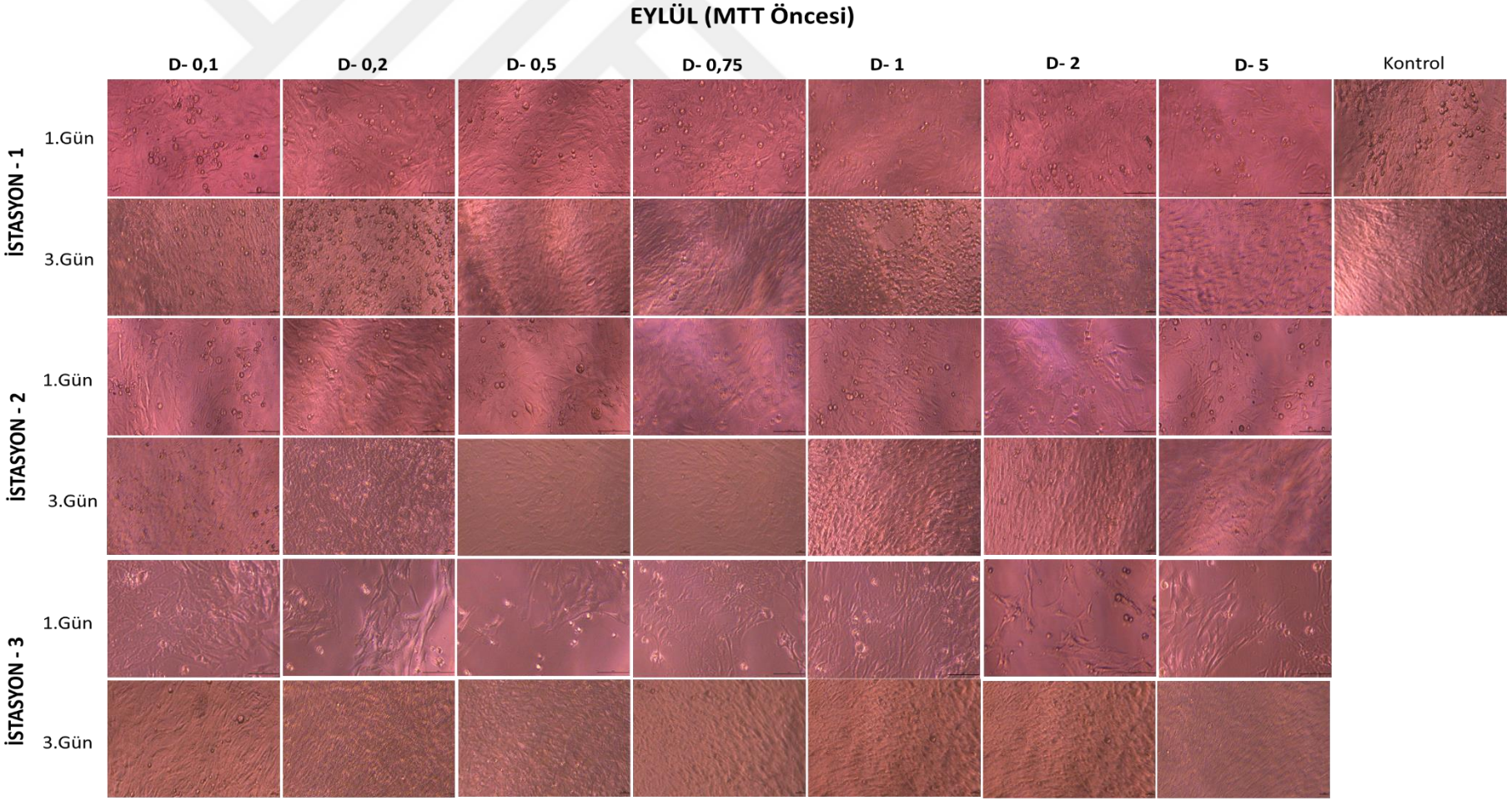

**Şekil 7.11** Ağustos ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



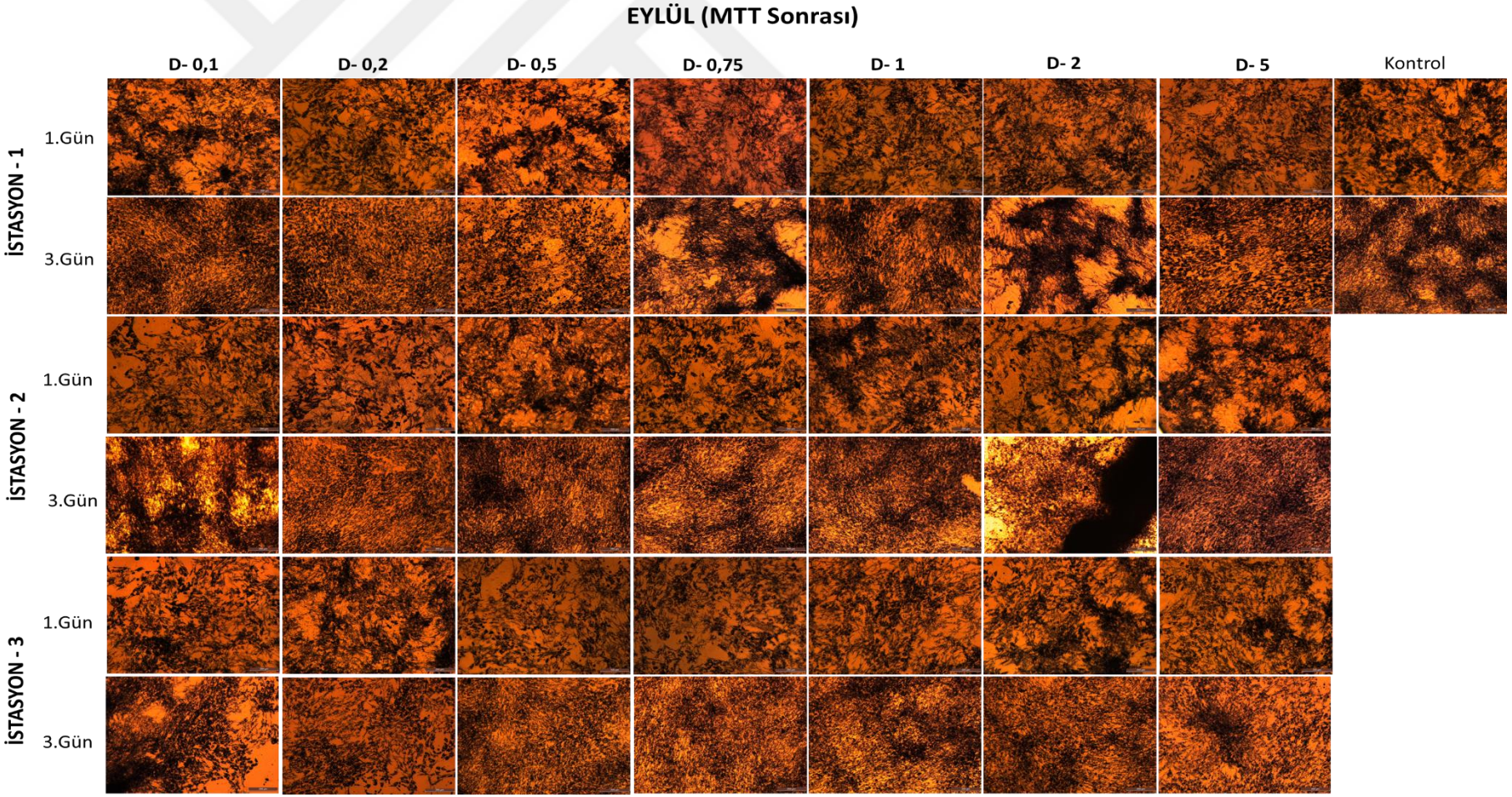

**Şekil 7.12** Ağustos ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



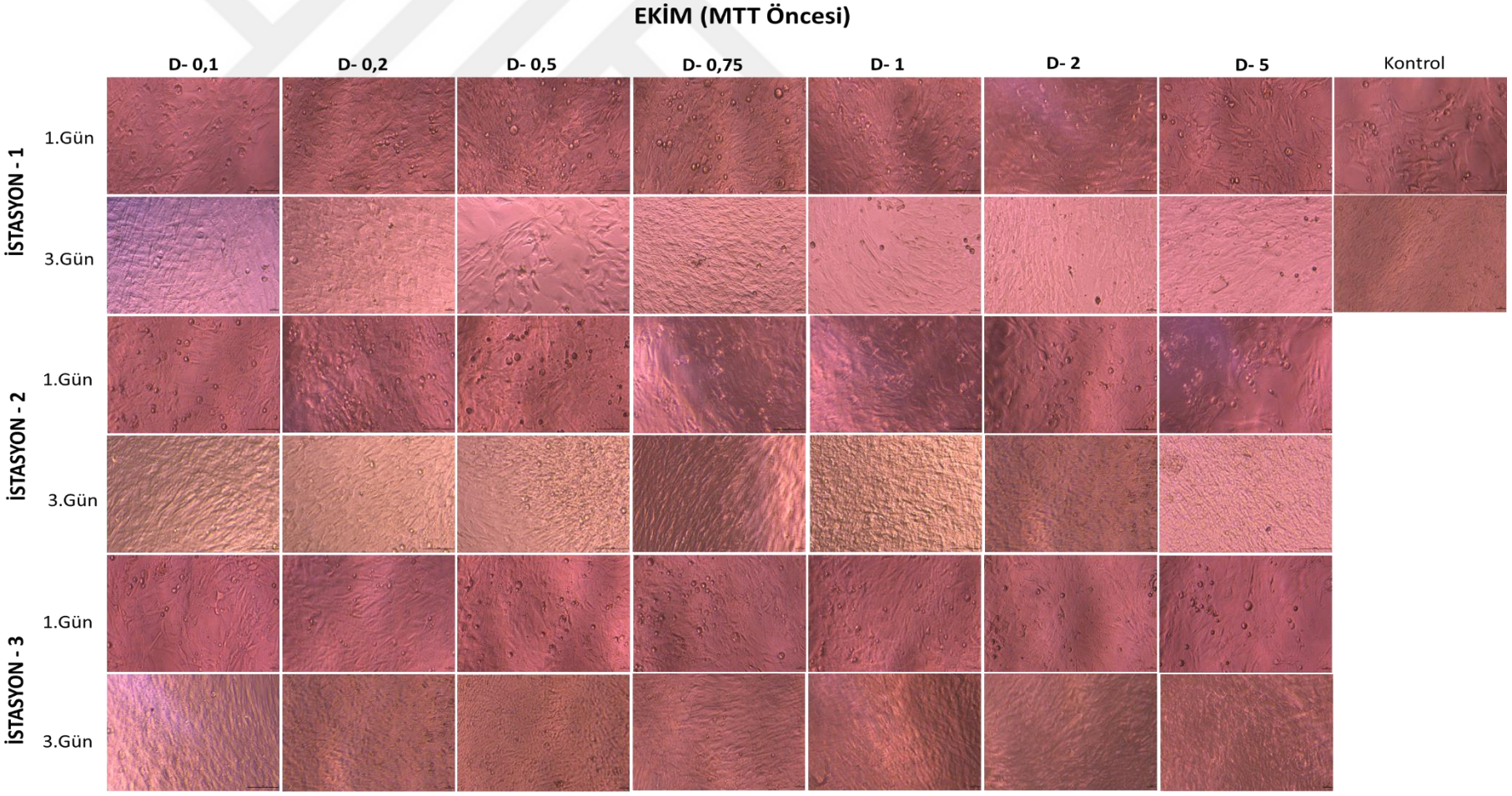

**Grafik 7.58** Yaz numunelerine ait hücre kültürlerinde yapılan MTT analizlerinin grafikle değerlendirilmesi



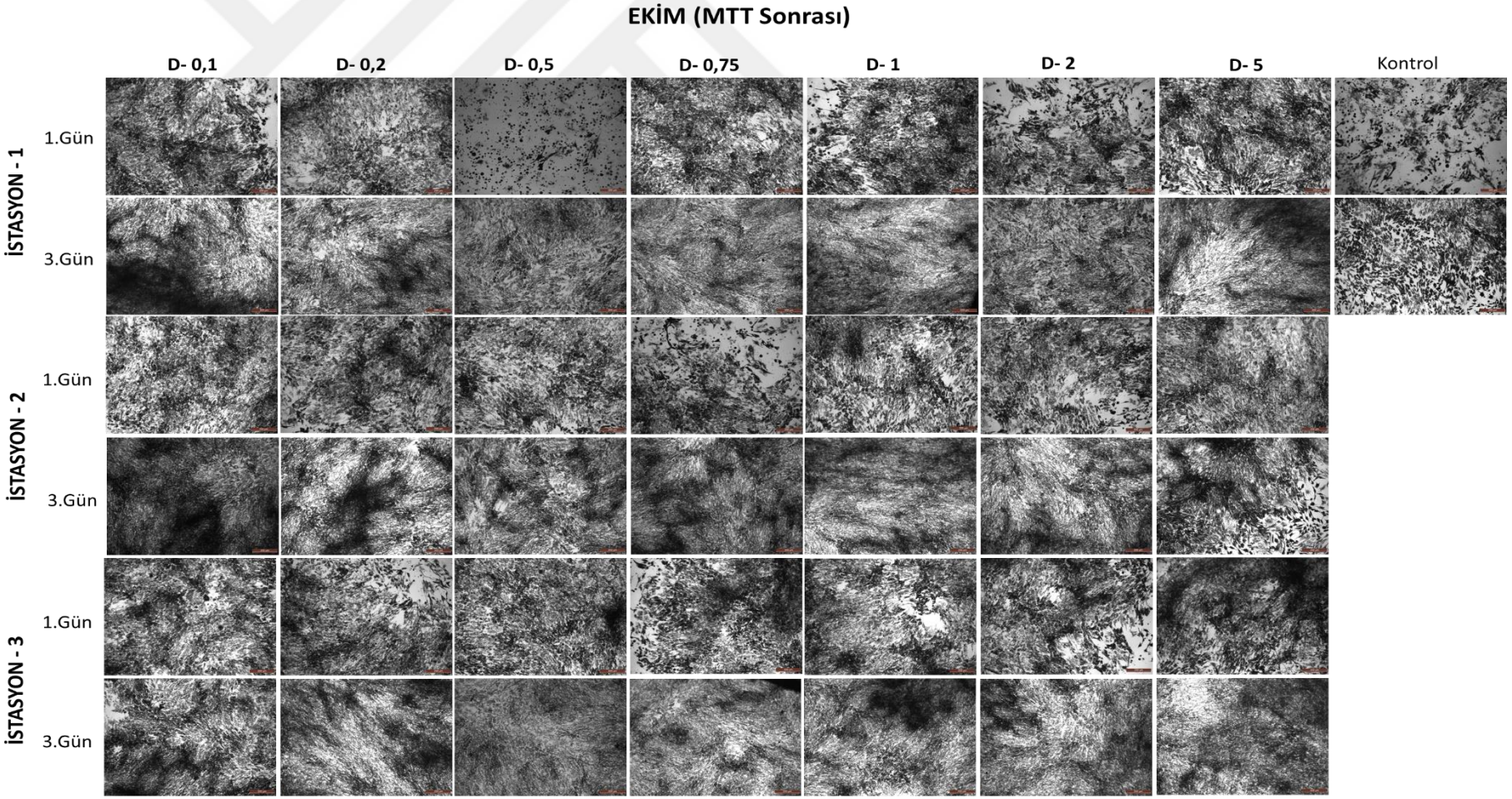

**Şekil 7.13** Eylül ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



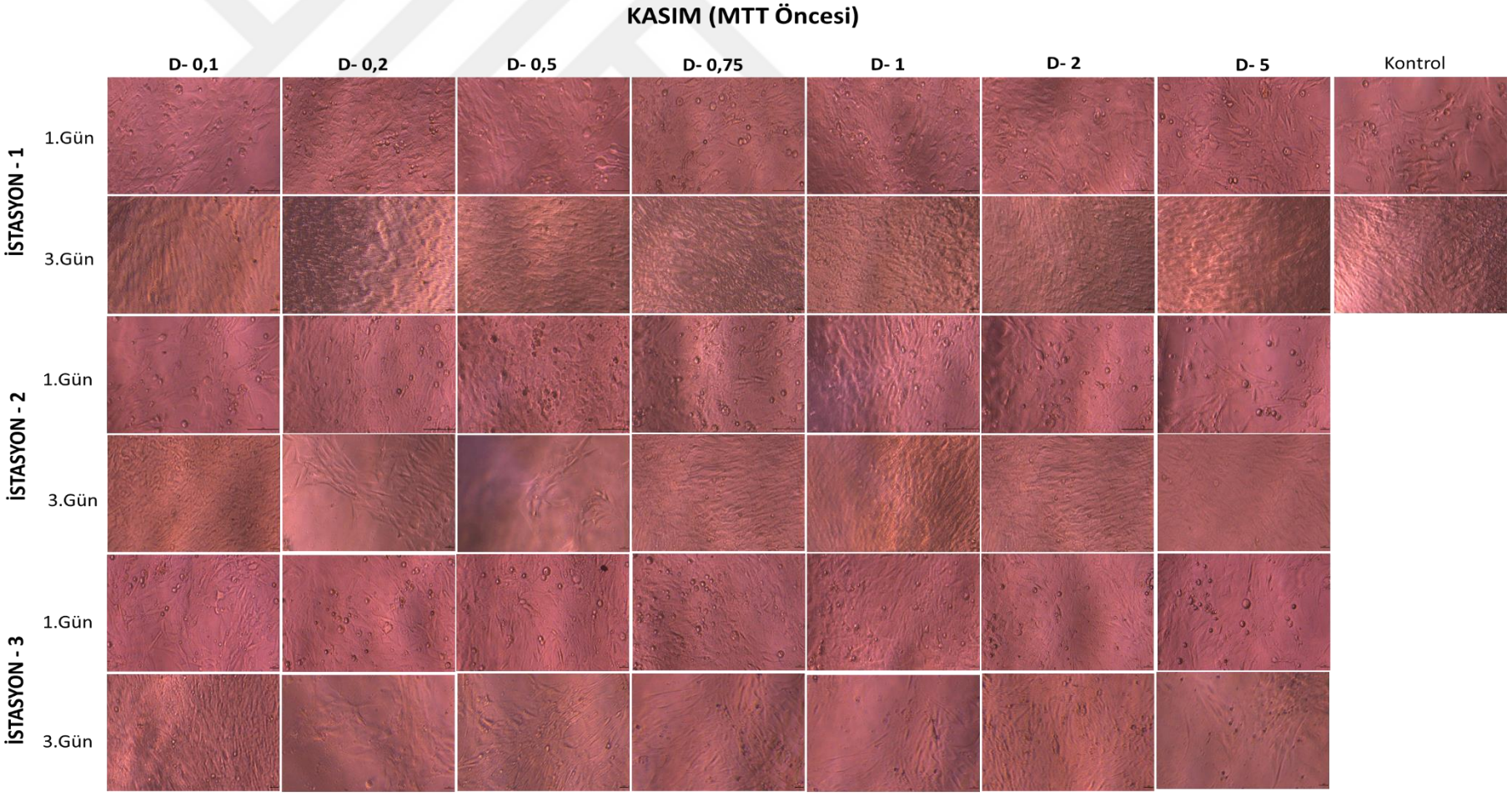

**Şekil 7.14** Eylül ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



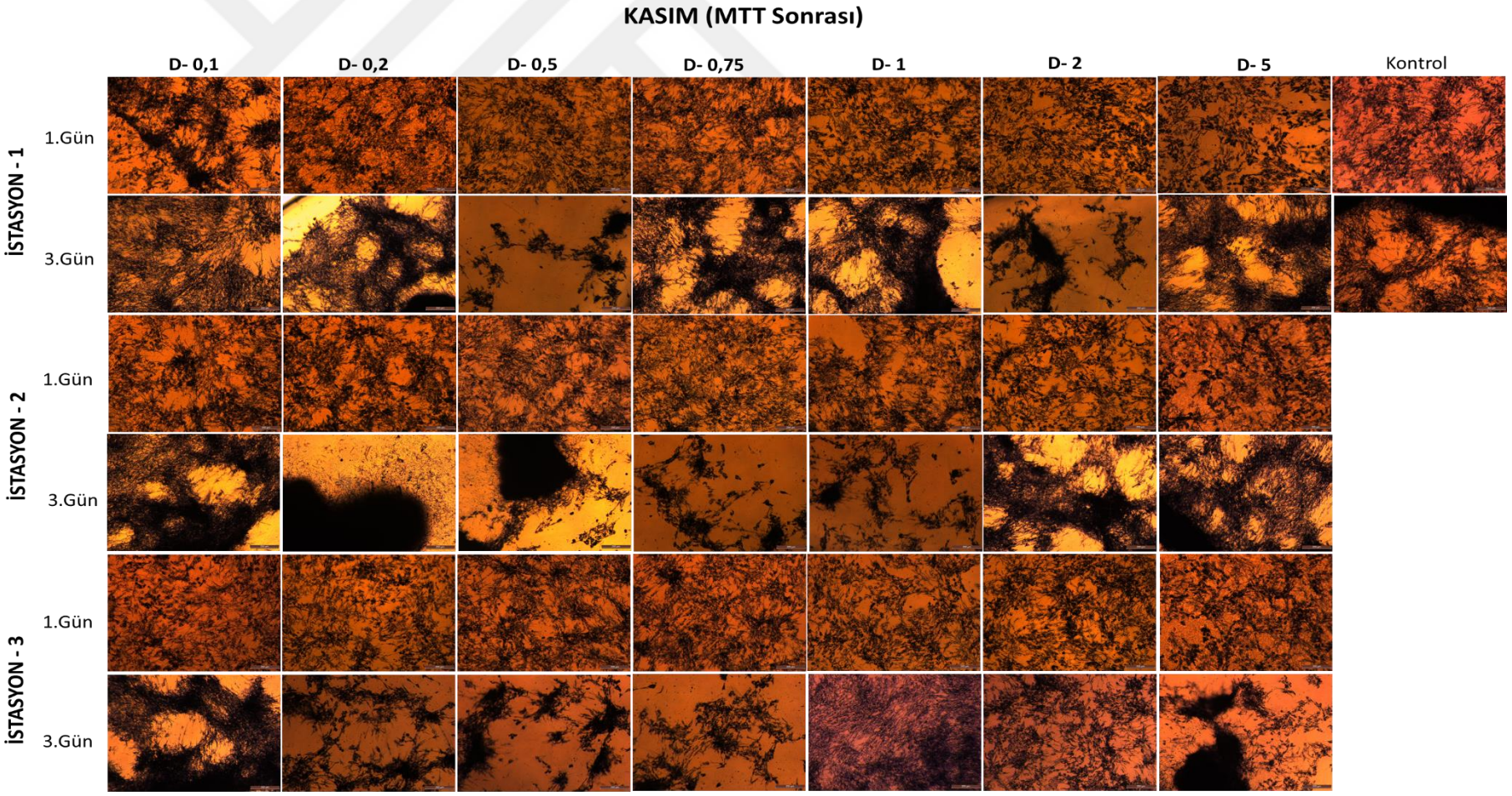

**Şekil 7.15** Ekim ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



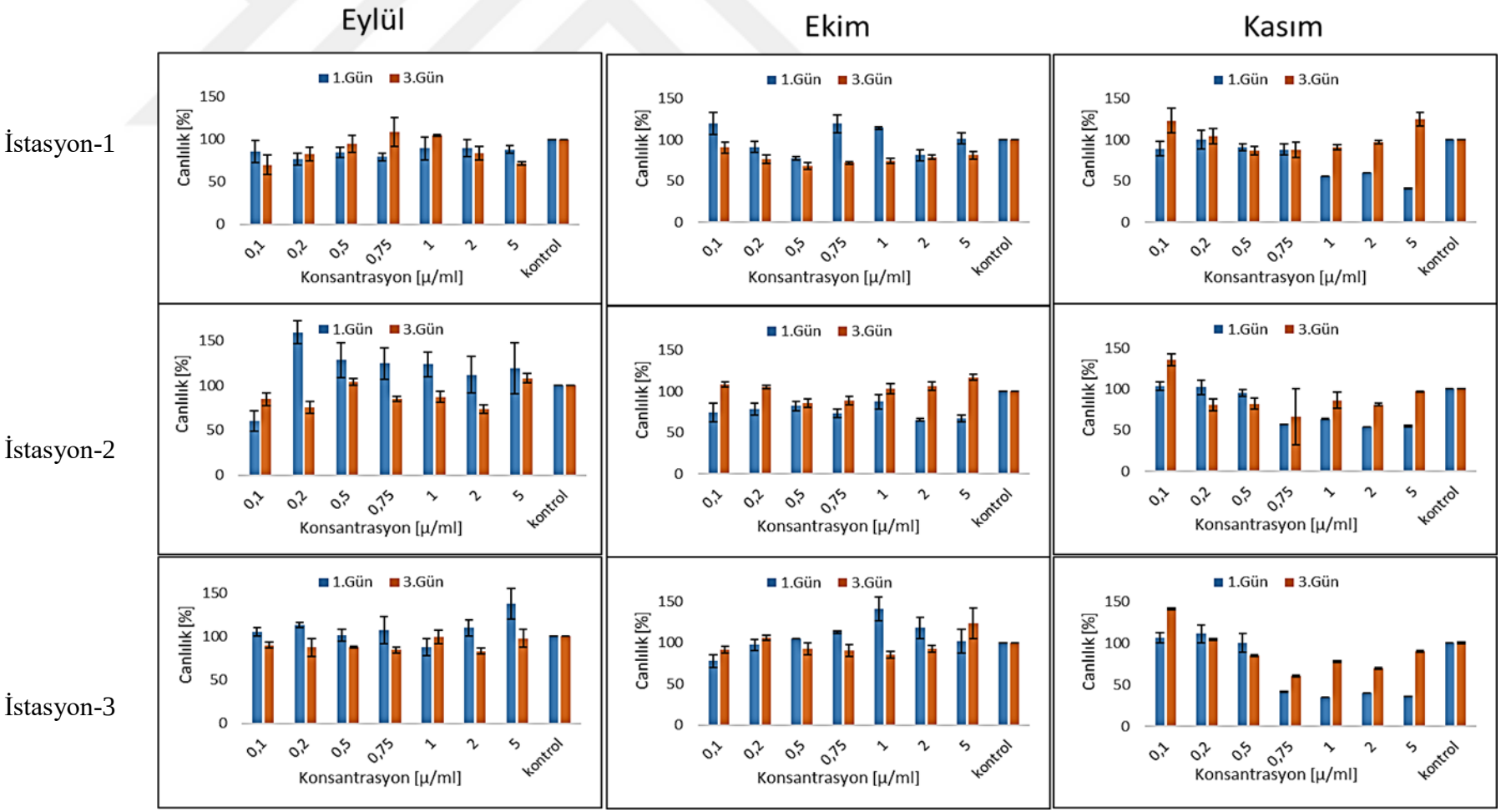

**Şekil 7.16** Ekim ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



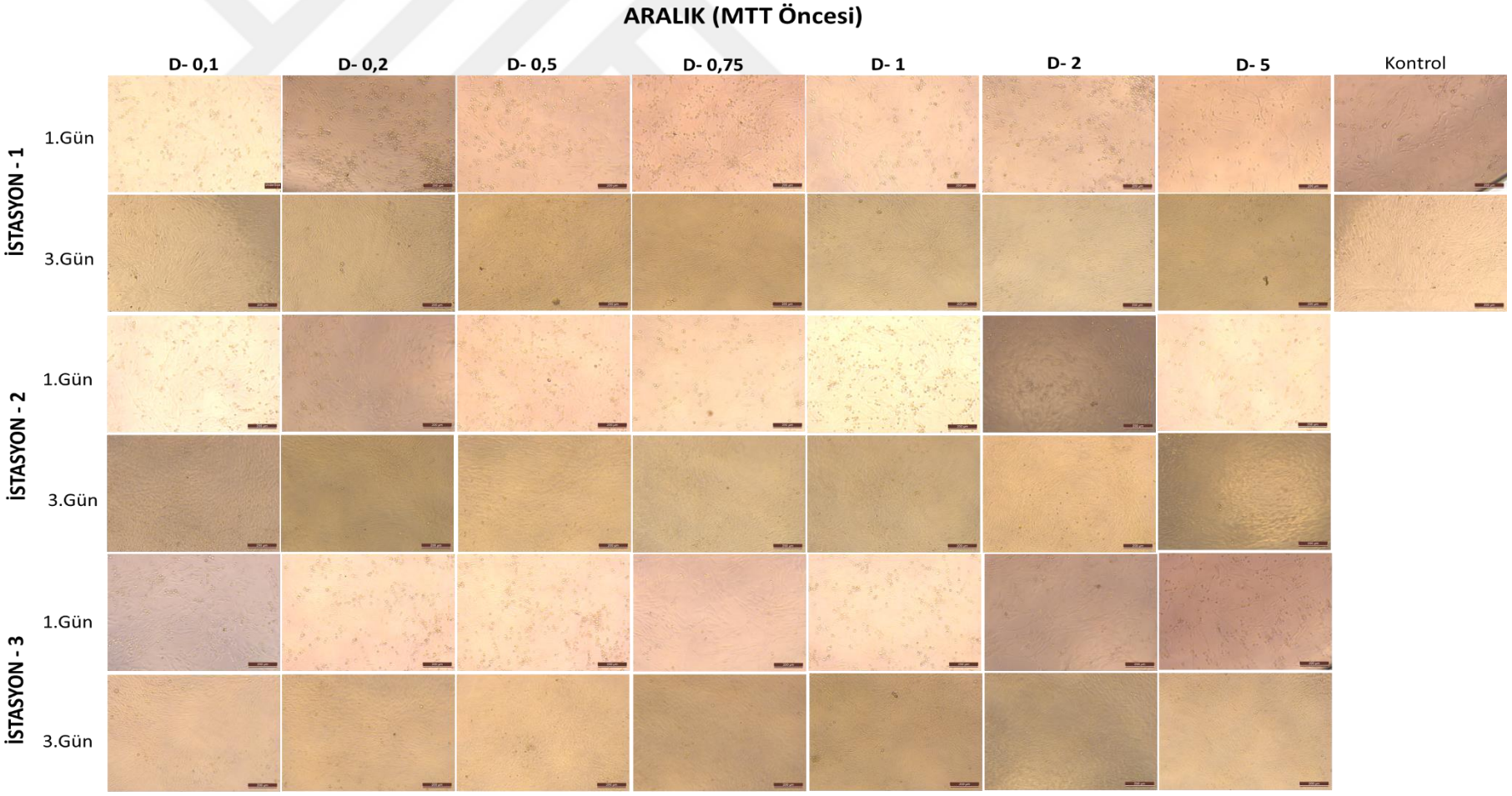

**Şekil 7.17** Kasım ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



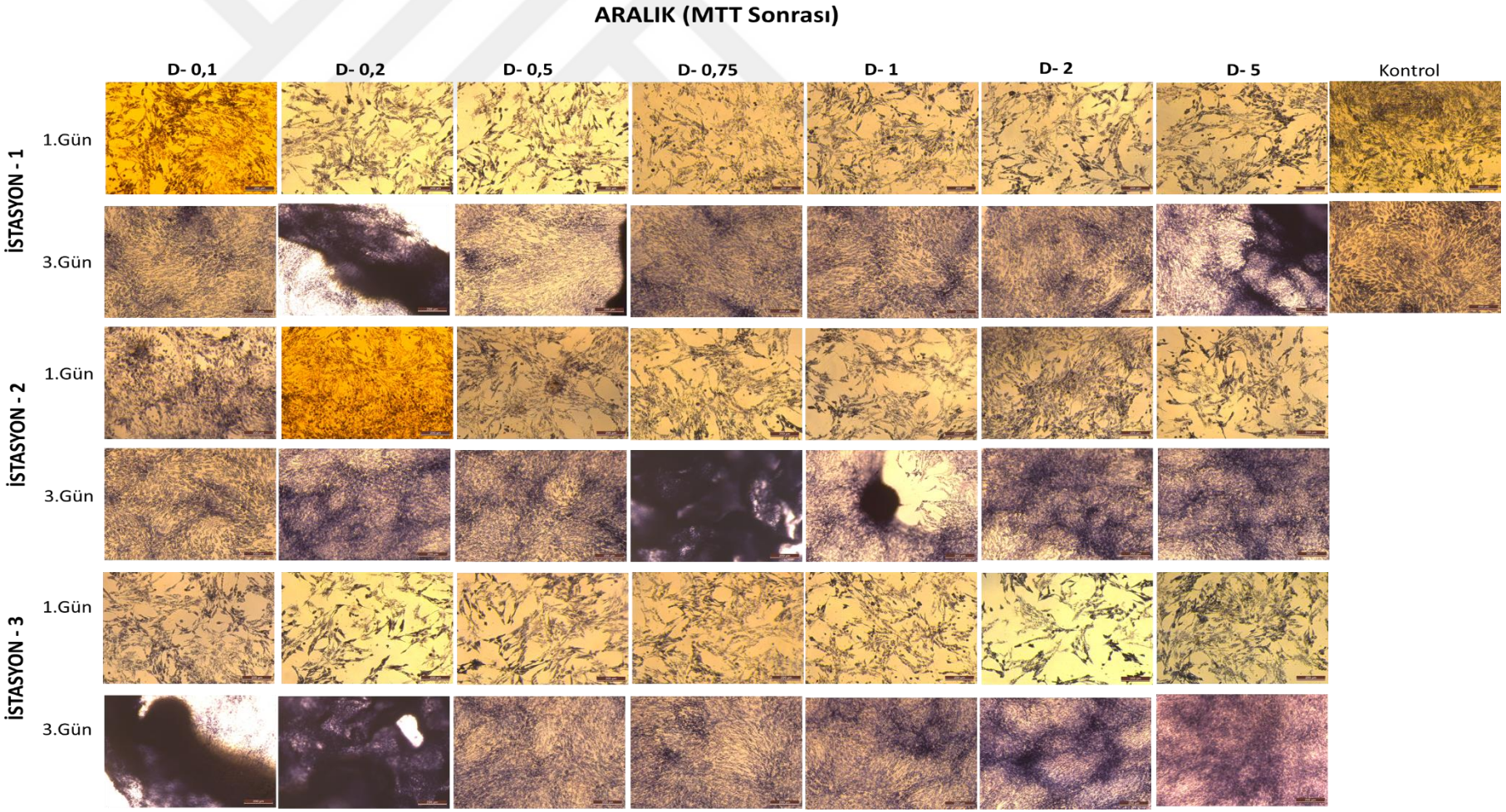

**Şekil 7.18** Kasım ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



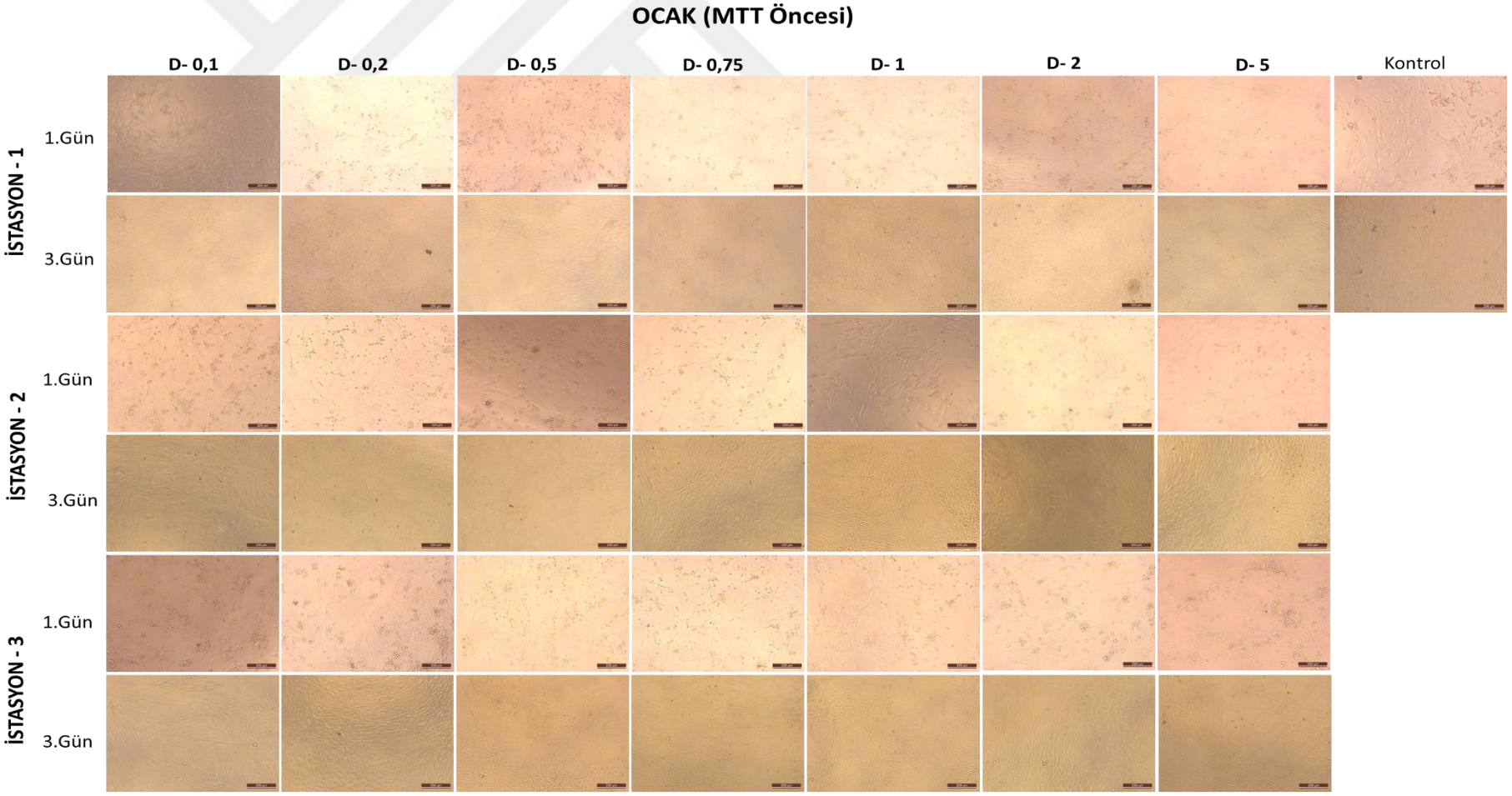

**Grafik 7.59** Sonbahar numunelerine ait hücre kültürlerinde yapılan MTT analizlerinin grafikle değerlendirilmesi



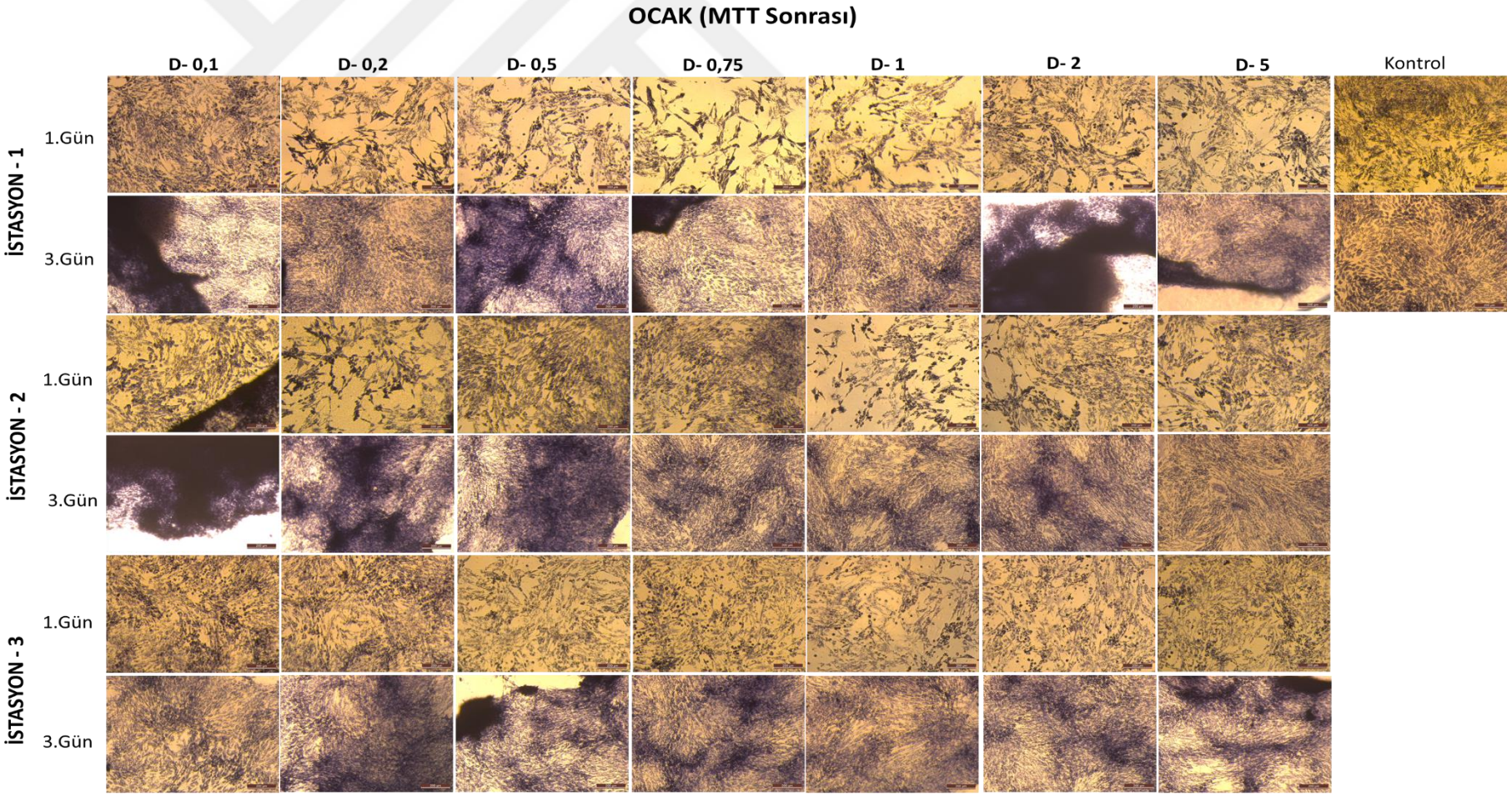

**Şekil 7.19** Aralık ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



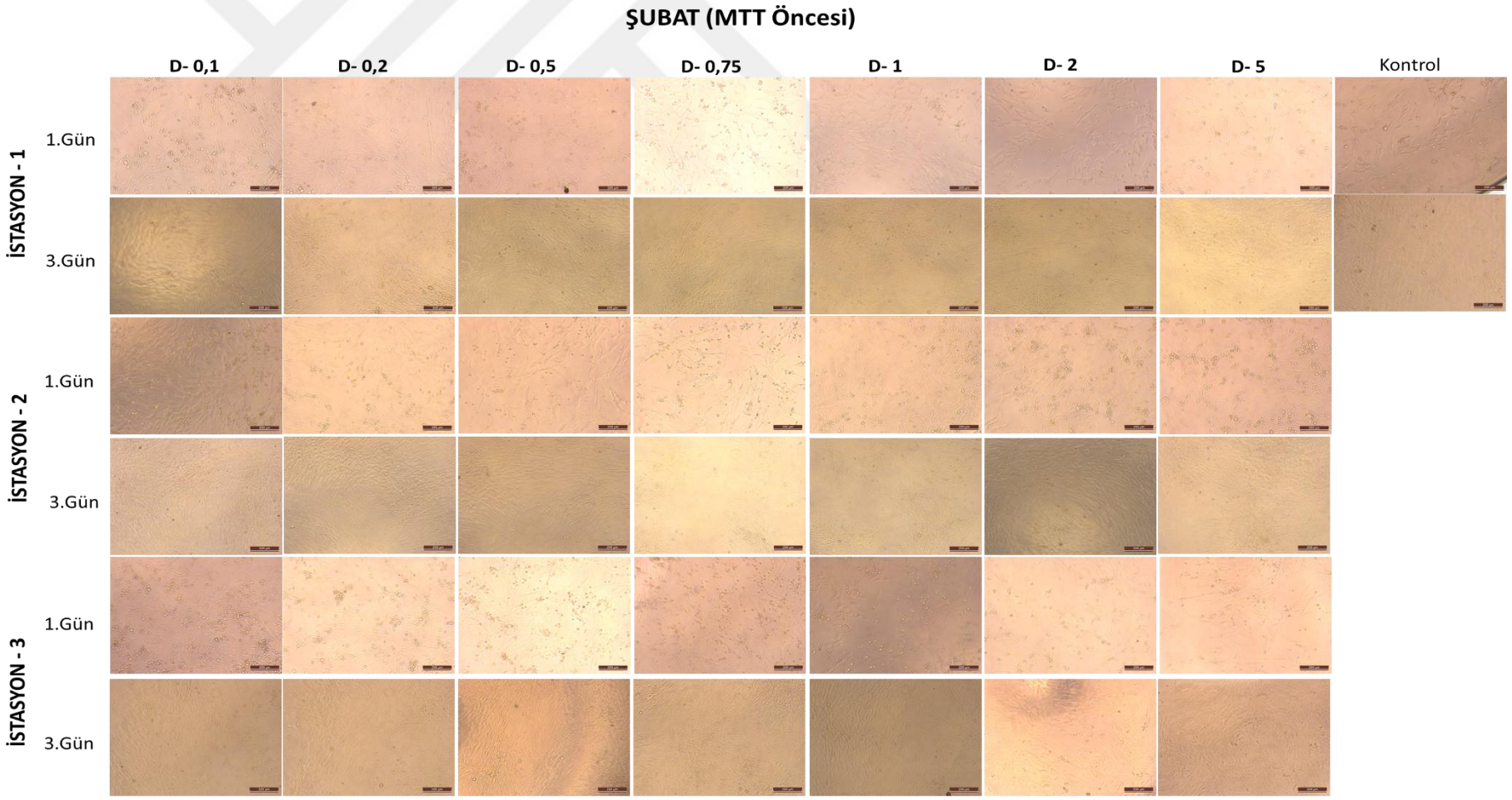

**Şekil 7.20** Aralık ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü



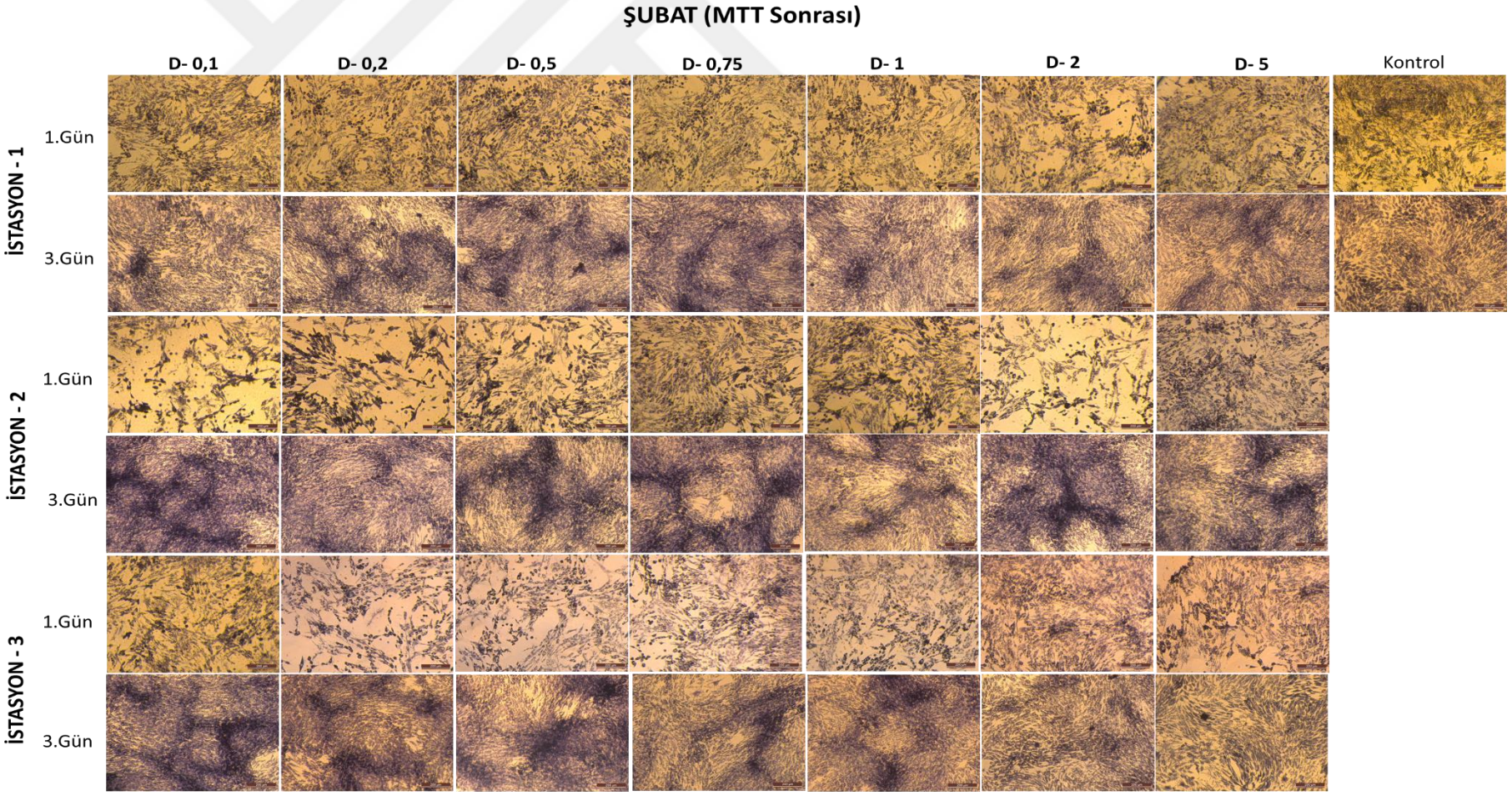

**Şekil 7.21** Ocak ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



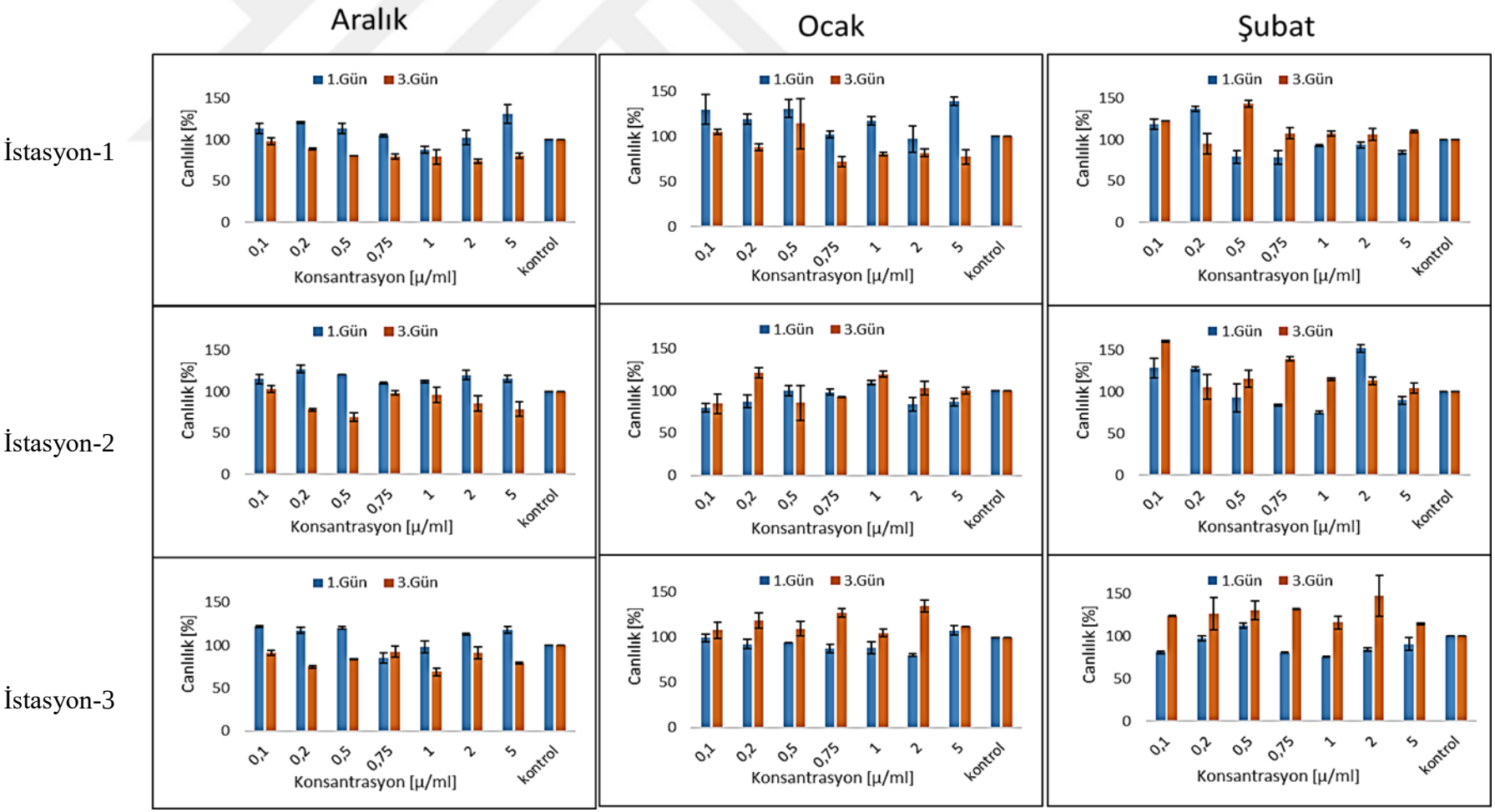

**Şekil 7.22** Ocak ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü




**Şekil 7.23** Şubat ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT öncesi hücrelerin görünümü



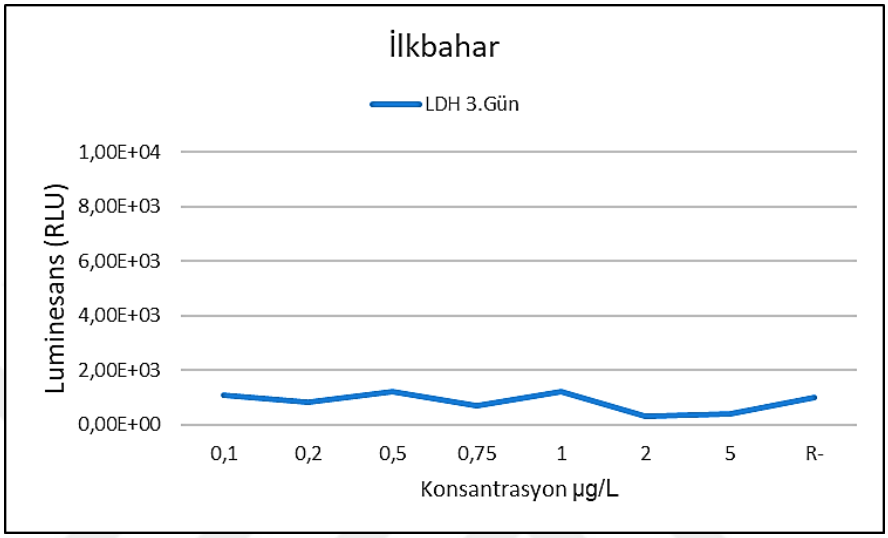

**Şekil 7.24** Şubat ayı numunelerine ait hücre kültürlerinde MTT sonrası oluşan formazan kristallerinin görünümü




**Grafik 7.60** Kış numunelerine ait hücre kültürlerinde yapılan MTT analizlerinin grafikle değerlendirilmesi

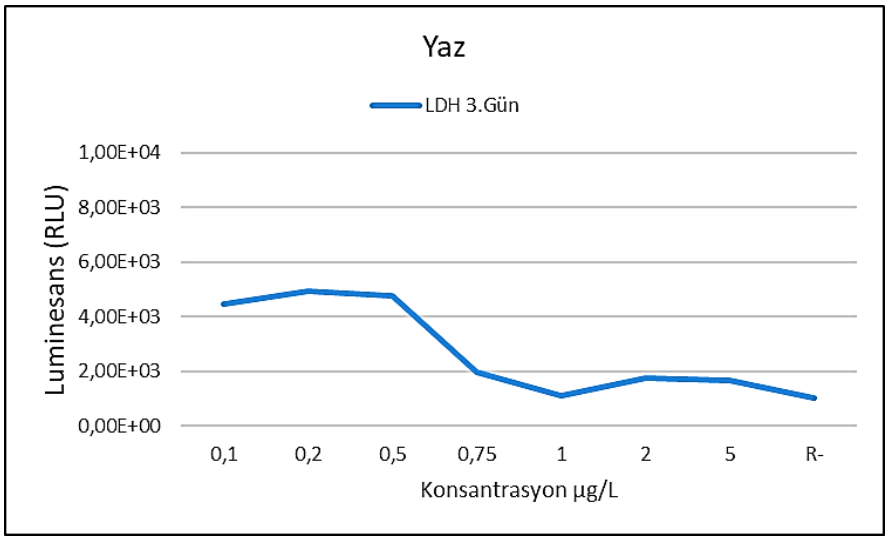
### 7.2.2 LDH Analizleri

İlkbahar numunesi ile yapılan hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesi en yüksek 1230 RLU ile 2µL/mL doz uygulanan kültürde ölçüldü (Grafik 7.61).



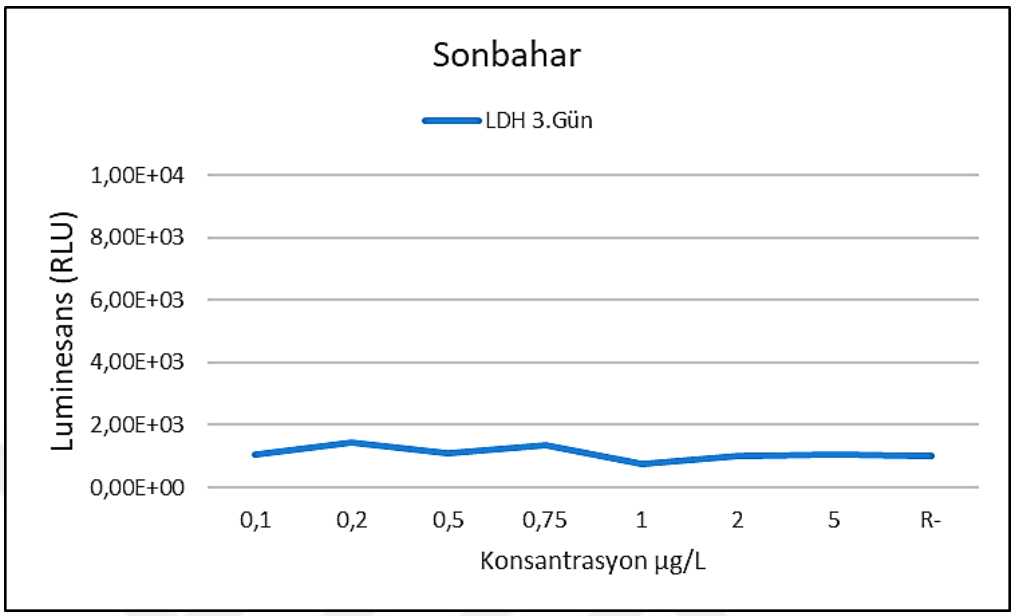

**Grafik 7.61** İlkbahar numunelerine ait hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesinin RLU değerleri

Yaz numunesi ile yapılan hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesi en yüksek 4923,75 RLU ile 0,2µL/mL doz uygulanan kültürde ölçüldü (Grafik 7.62).



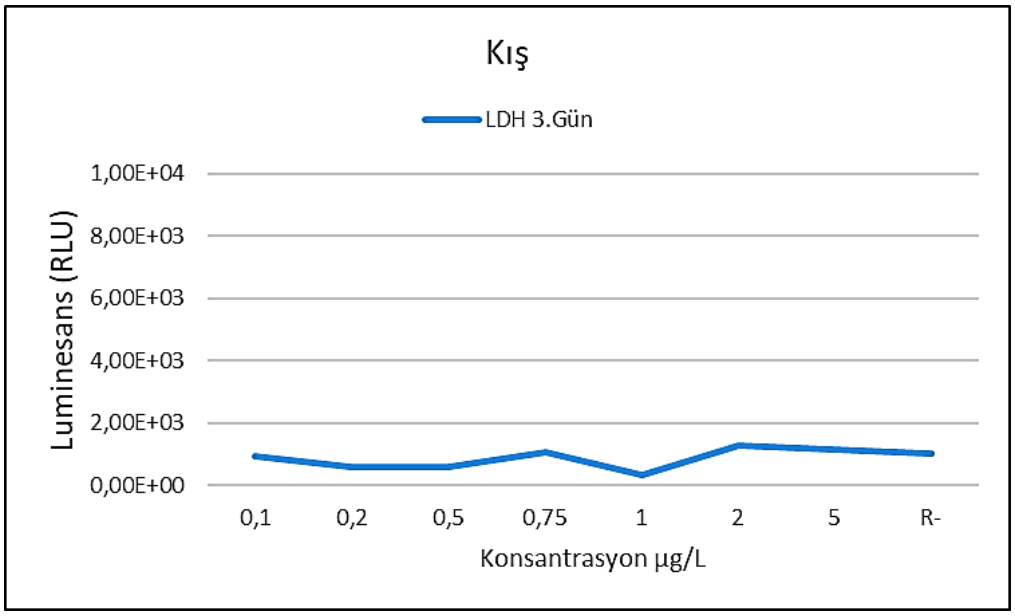

**Grafik 7.62** Yaz numunelerine ait hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesinin RLU değerleri

Sonbahar numunesi ile yapılan hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesi en yüksek 1359,38 RLU ile 0,75µL/mL doz uygulanan kültürde ölçüldü (Grafik 7.63).




**Grafik 7.63** Sonbahar numunelerine ait hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesinin RLU değerleri

Kış numunesi ile yapılan hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesi en yüksek 1268,75 RLU ile 2 µL/mL doz uygulanan kültürde ölçüldü (Grafik 7.64).

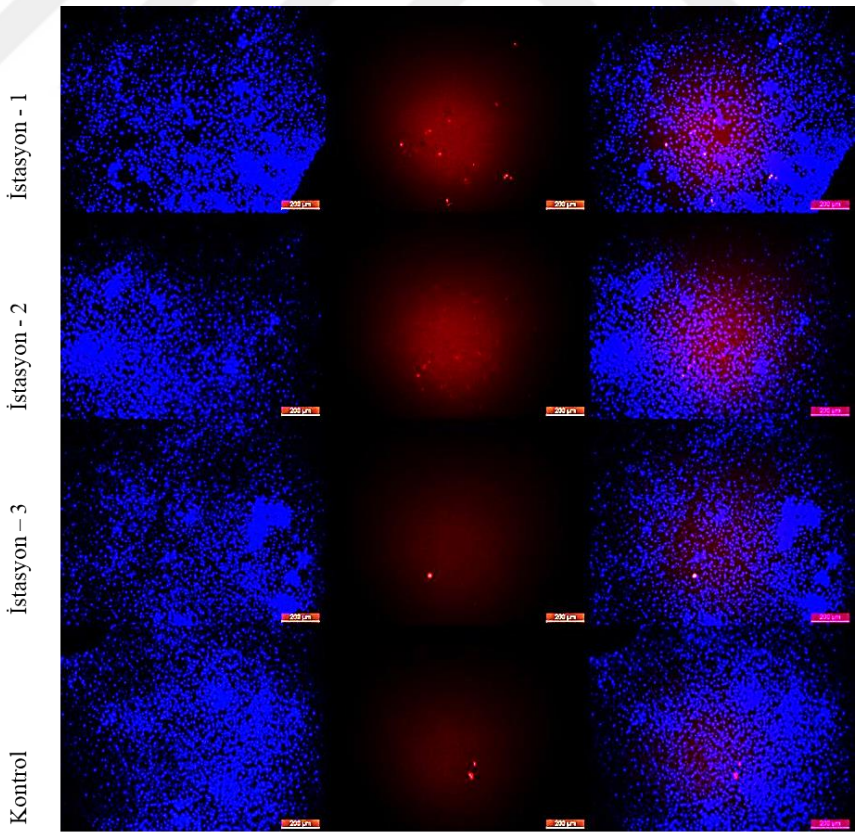



**Grafik 7.64** Kış numunelerine ait hücre kültürü çalışmasında LDH aktivitesinin RLU değerleri

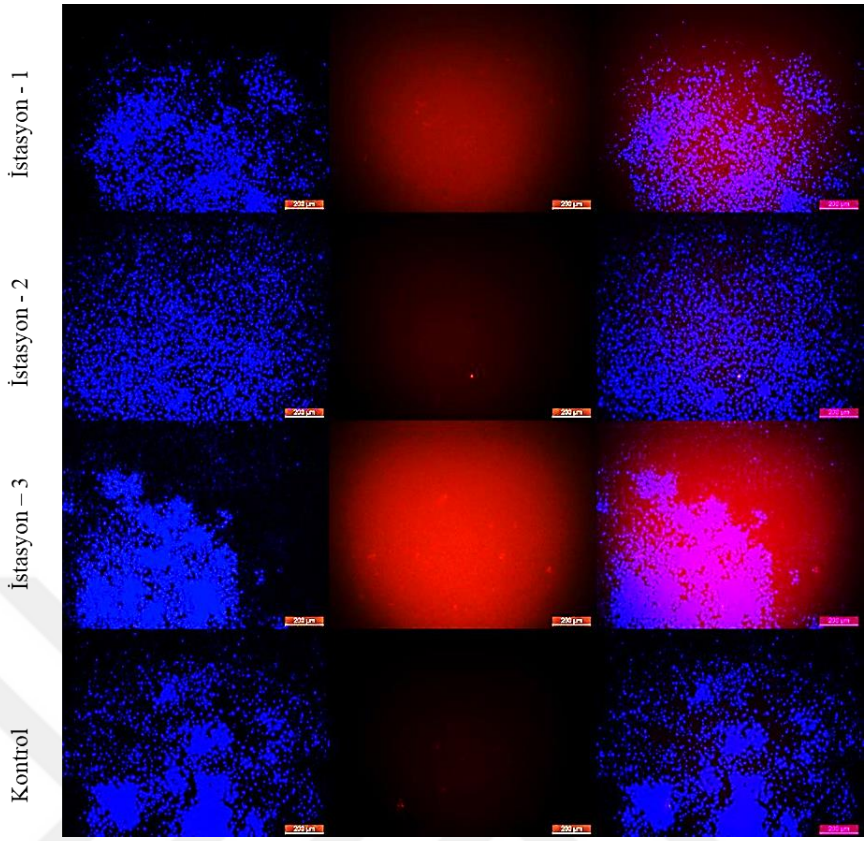
### 7.2.3 Live – Dead Analizleri

Live Dead analizleri yapılırken gölet suyu mevsimsel olarak değerlendirilmiştir. Hoechst 33342 ile boyanan canlı hücreler mavi floresan yansıma ile görülmektedir. PI ile boyanan apoptotik/nekrotik hücreler kırmızı floresan yansıma ile görülmektedir. Her iki boyamanın birlikte görüntüsü mavi-kırmızı floresan yansıma şeklinde görülmektedir.

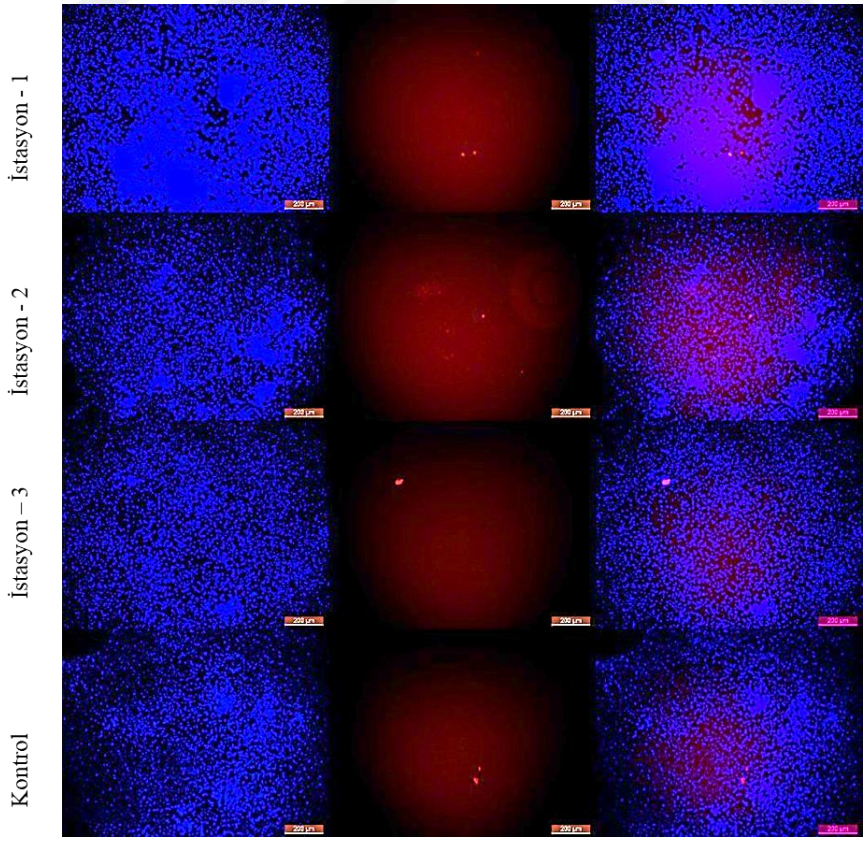
İlkbahar numuneleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Şekil 7.25'de verilmiştir. Yaz numuneleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Şekil 7.26'da verilmiştir. Sonbahar numuneleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Şekil 7.27'de verilmiştir. Kış numuneleri ile yapılan çalışmanın sonuçları Şekil 7.28'de verilmiştir. Fotoğraflar Hoechst 33342, PI ve bunların üst üste görüntülerini içermektedir. Gölet suyu maruziyetine uğrayan hücrelerde canlı hücre ve apoptotik/nekrotik hücre miktarları kontrol grubu hücreler ile hemen hemen aynı oranda görülmektedir.



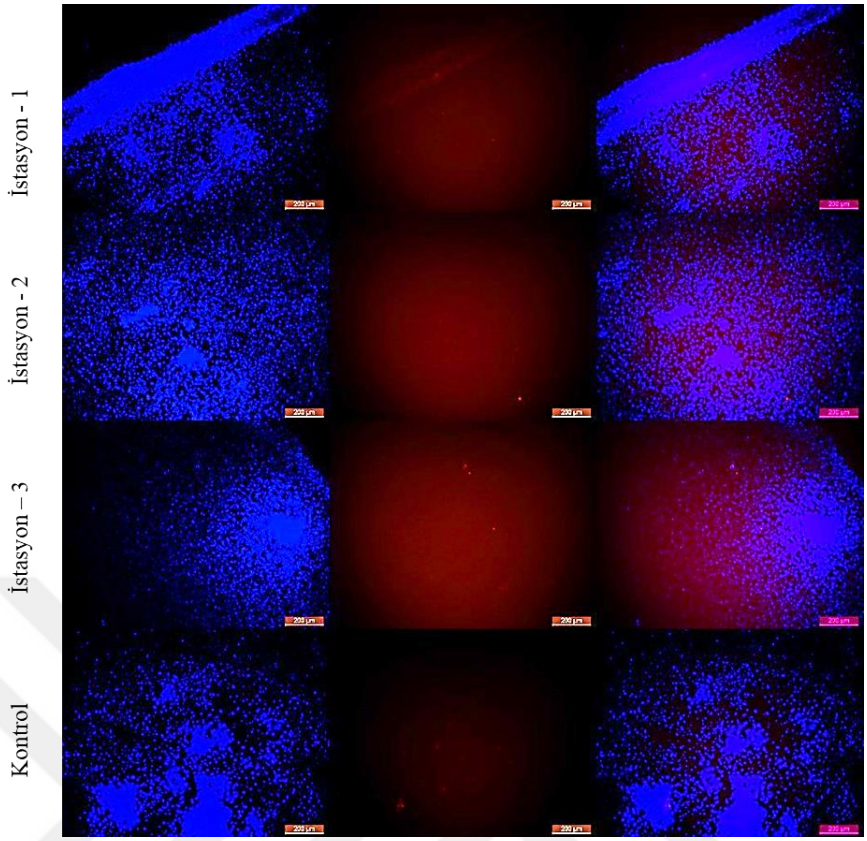

**Şekil 7.25** İlkbahar numunelerinde Live-Dead analizi sonucu




**Şekil 7.26** Yaz numunelerinde Live-Dead analizi sonucu




**Şekil 7.27** Sonbahar numunelerinde Live-Dead analizi sonucu



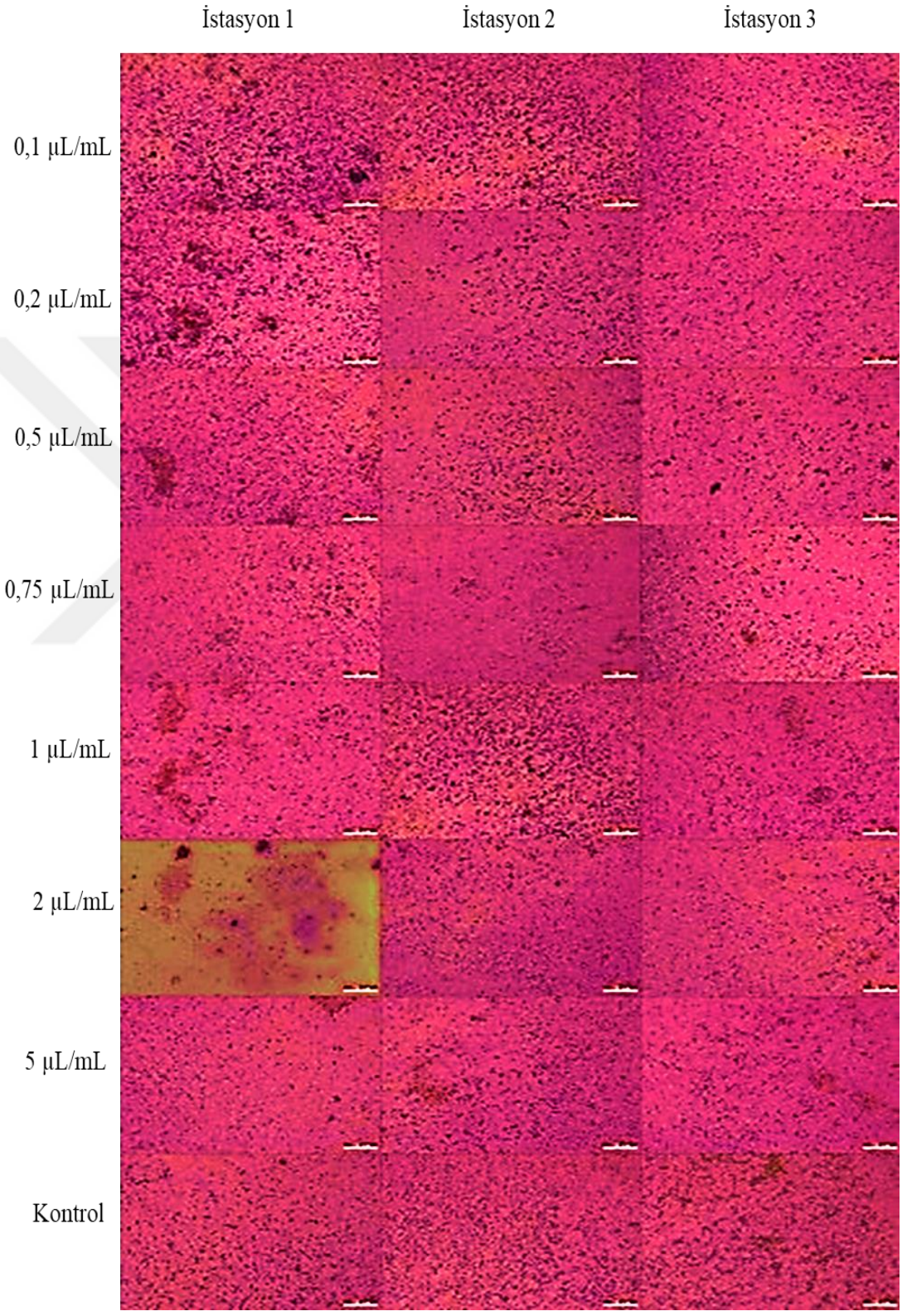

**Şekil 7.28** Kış numunelerinde Live-Dead analizi sonucu

### 7.2.4 Hematoksilen Boyama

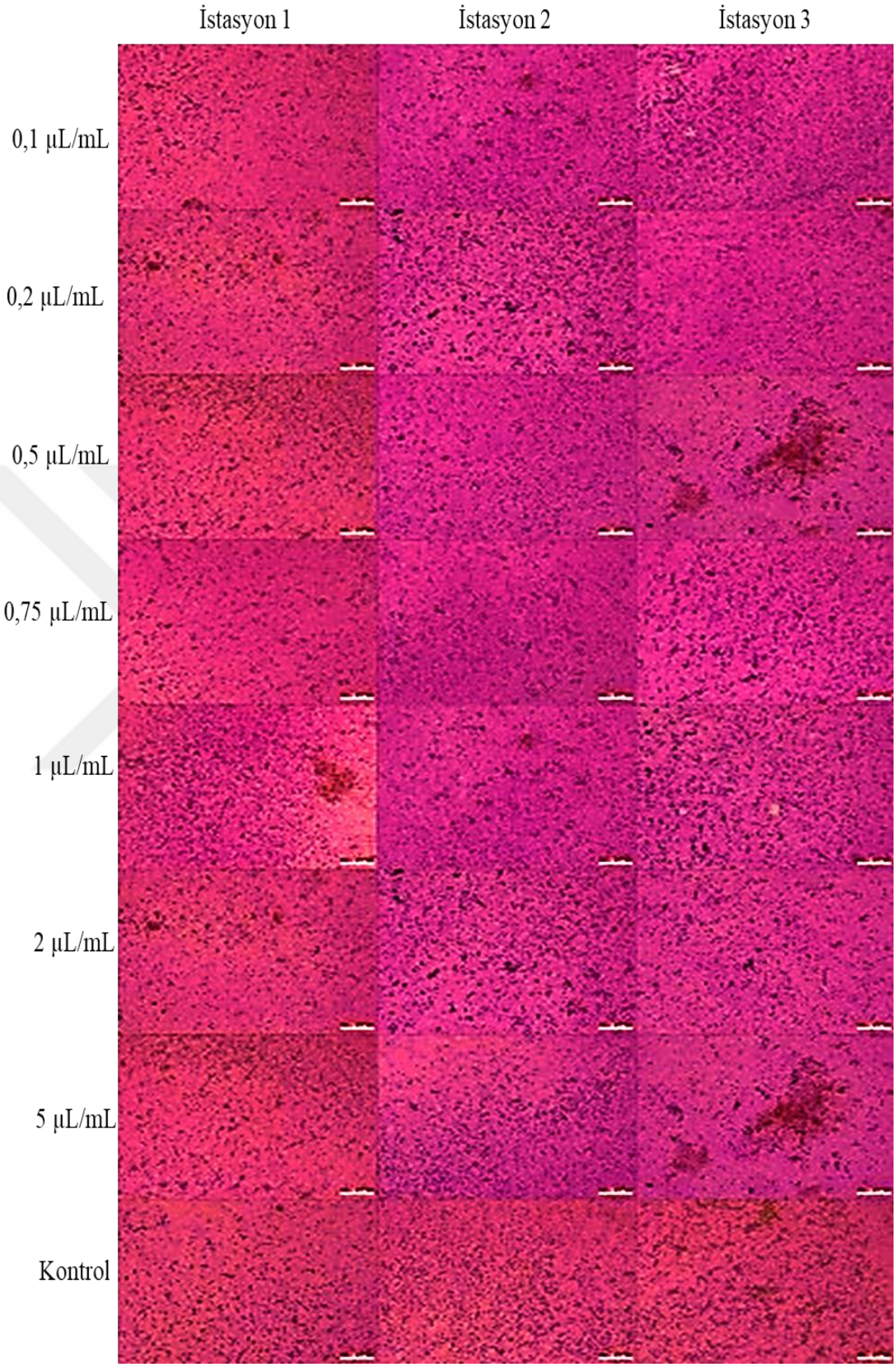
Boyamada önce hücre çekirdeği ve kalsiyum çöküntüleri gibi yapıları boyayan, bazik bir boya olan, bu hematoksilen çözeltisi kullanılır. Daha sonra hücreler, sitoplazma ve hücre dışı matris gibi temel yapıları pembe-kırmızı renkte boyayan ve asidik bir boya olan eozin ile boyanır.

İlkbahar; gölet suyunun farklı dozlarına maruz kalan hücre kültüründe yapılan HE histolojik boyamasının mikroskobik görüntüleri Şekil 7.29'da verilmiştir. Yaz; gölet suyunun farklı dozlarına maruz kalan hücre kültüründe yapılan HE histolojik boyamasının mikroskobik görüntüleri Şekil 7.30'da verilmiştir. Sonbahar; gölet suyunun farklı dozlarına maruz kalan hücre kültüründe yapılan HE histolojik boyamasının mikroskobik görüntüleri Şekil 7.31'de verilmiştir. Kış; gölet suyunun farklı dozlarına maruz kalan hücre kültüründe yapılan HE histolojik boyamasının mikroskobik görüntüleri Şekil 7.32'de verilmiştir. Görüntüler kontrol boyamasına göre incelendiğinde dozların bir kısmında kontrolle aynı oranlarda hücre miktarı

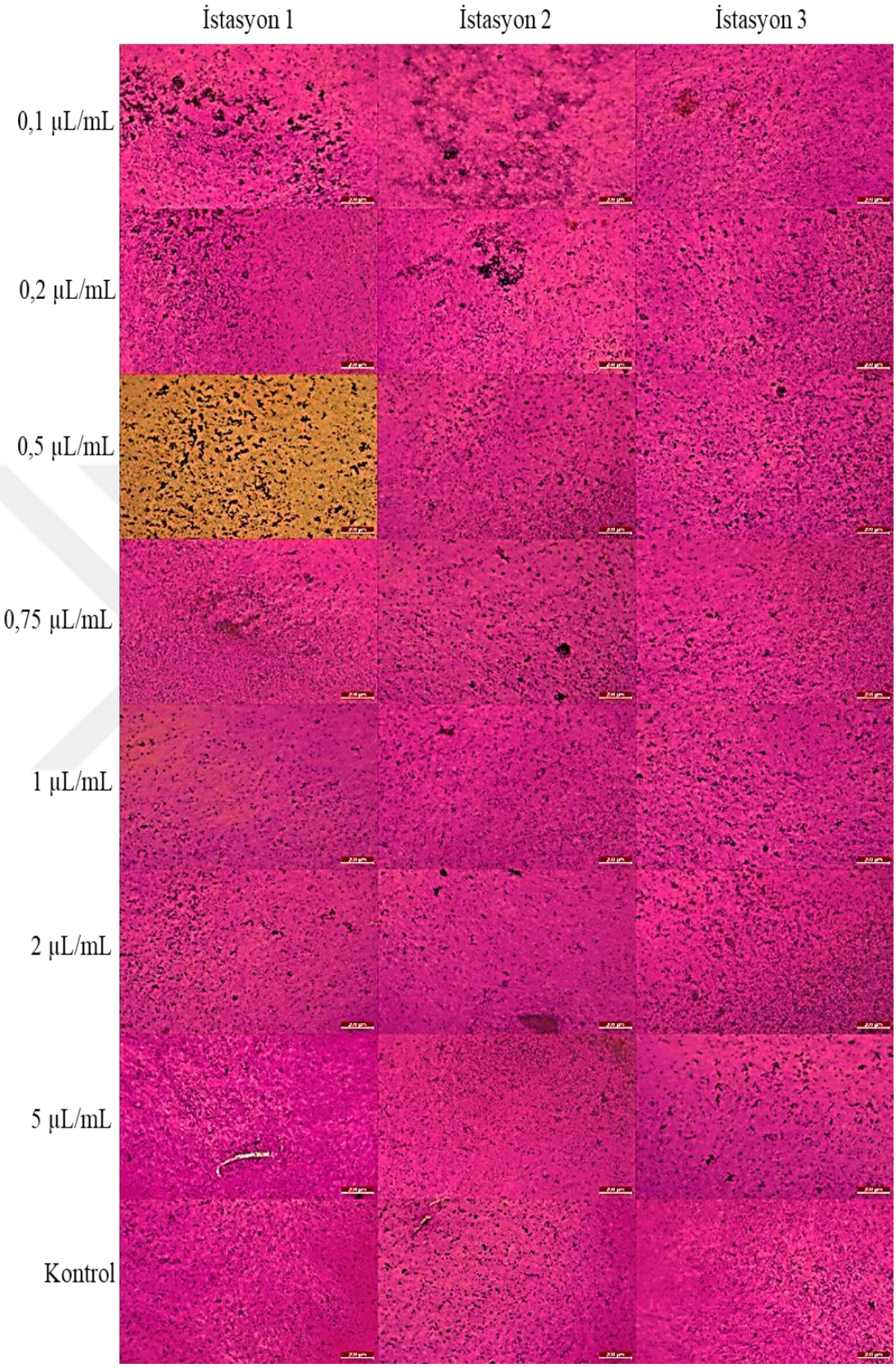
görülmekle birlikte birçok farklı doz uygulanan kültürün kontrolden daha fazla hücre içerdiği izlenmiştir.



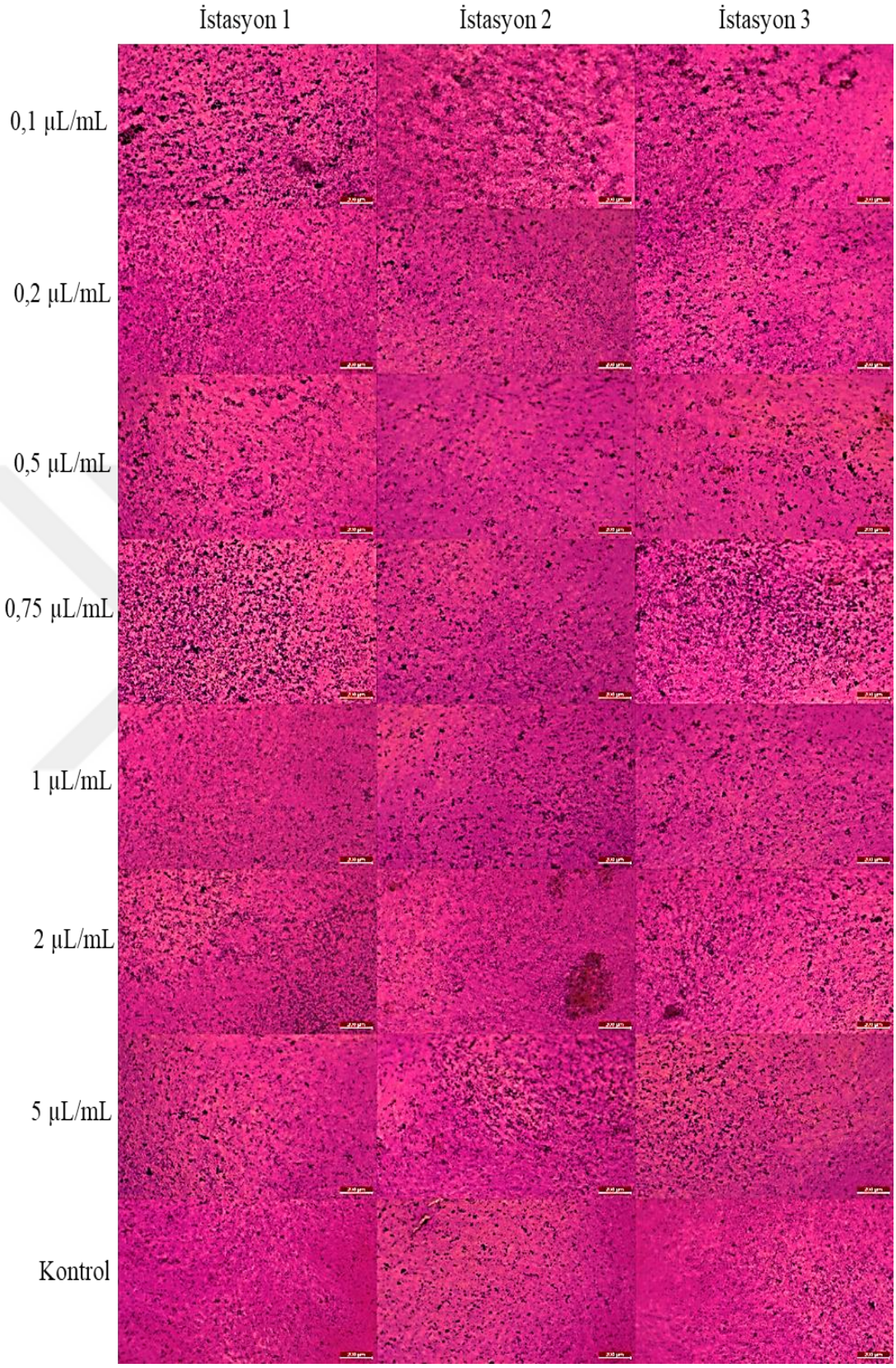

**Şekil 7.29** İlkbahar numunelerine ait hücre kültürlerinde HE boyama




**Şekil 7.30** Yaz numunelerine ait hücre kültürlerinde HE boyama




**Şekil 7.31** Sonbahar numunelerine ait hücre kültürlerinde HE boyama




**Şekil 7.32** Kış numunelerine ait hücre kültürlerinde HE boyama

## 7.3 Sediment Analizleri

Göller dış kaynaklı kirleticilerin birikmesine karşı hassas yapılara sahiptir ve bu kirleticiler göl ekosistemini bozabilir, su kalitesini düşürebilir ve gölün doğal temizleme kapasitesini aşan yükler oksijen eksikliği gibi sorunlara neden olabilir. Göle giren suların içerdikleri kirleticiler, ağır metaller, parçalanması zor pestisidler gibi maddelerin birikmesine neden olabilir. Askıdaki maddeler göl tabanına çöker ve gölün dolmasına yol açar. Kolayca parçalanabilen organik maddeler, gölün doğal temizleme kapasitesiyle uzaklaştırılabilir. Ancak gölün bu kapasitesini aşan organik yükler, göldeki oksijenin tükenmesine ve gölün anaerobik bir duruma dönüşmesine yol açabilir.

Karadere Baraj Göleti'nde beş farklı istasyondan alınan sediment numunelerinin analizlerinde Toplam Azot miktarı %0,204 - %0,241 arasında ölçülmüştür. Toplam Karbon miktarı ise %3,513 - %4,06 arasında ölçülmüştür (Tablo 7.57).

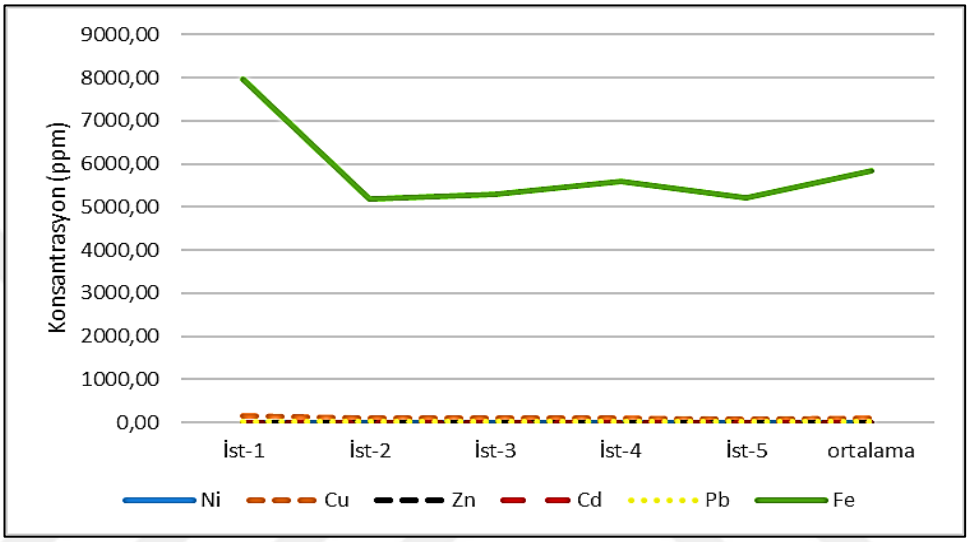
**Tablo 7.57** Karadere Baraj Göleti sedimentinde toplam organic azot ve toplam karbon miktarları

| | Toplam Azot (%) | Toplam Karbon (%) |
|---|---|---|
| İstasyon 1 | 0,241 | 4,019 |
| İstasyon 2 | 0,235 | 4,060 |
| İstasyon 3 | 0,204 | 3,513 |
| İstasyon 4 | 0,206 | 3,931 |
| İstasyon 5 | 0,214 | 3,729 |
| Ortalama | 0,220 | 3,850 |

Sedimentte kirliliğe neden olan ağır metaller potansiyel toksik elementler (PTE) olarak adlandırılırlar. Karadere Baraj Göleti'nde tespit edilen PTE'lerin konsantrasyonları Nikel (4,51 ppt), Bakır (165,1218 ppt), Çinko (2,218 ppt), Kurşun (14,76925 ppt), Demir (7946,75 ppt) için 1.İstasyonda en yüksek seviyelerinde ölçülmüştür. Kadmiyum (0,56875 ppt) ise en yüksek 2.İstasyonda ölçülmüştür. P, S, Mg, Ca, K, Na element miktarları sediment içerisindeki konsantrasyonları ölçüldü ve Tablo 7.58'de verilmiştir. Sedimentte ölçülen ağır metallerin sıralaması Fe>Cu>Pb>Ni>Zn>Cd şeklindedir (Grafik 7.65; Tablo 7.58).

**Tablo 7.58** Karadere Baraj Göleti sedimentinde ağır metal analiz sonuçları (ppm)

| | Ni | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | P | S | Mg | Ca | K | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İst-1 | 4,51 | 165,12 | 2,22 | 0,35 | 14,77 | 7946,75 | 53,04 | 0,42 | 35038,50 | 12354,75 | 2953,00 | 456,75 |
| İst-2 | 3,66 | 95,42 | 1,50 | 0,57 | 12,62 | 5177,75 | 32,79 | 111,03 | 22458,50 | 12331,00 | 1796,25 | 329,50 |
| İst-3 | 4,05 | 93,61 | 1,59 | 0,54 | 12,94 | 5284,50 | 34,90 | 61,30 | 23876,32 | 12851,80 | 1353,56 | 0,26 |
| İst-4 | 4,48 | 90,04 | 1,81 | 0,52 | 13,74 | 5584,25 | 33,56 | 58,95 | 23818,25 | 12335,00 | 1645,50 | 335,75 |
| İst-5 | 4,22 | 76,83 | 1,70 | 0,63 | 13,66 | 5209,75 | 49,11 | 98,27 | 21857,00 | 12318,50 | 1986,75 | 346,00 |
| ortalama | 4,18 | 104,20 | 1,76 | 0,52 | 13,55 | 5840,60 | 40,68 | 65,99 | 25409,71 | 12438,21 | 1947,01 | 293,65 |




**Grafik 7.65** Karadere Baraj Göleti sedimentinde analiz sonuçlarına göre ağır metallerin konsantrasyonları

Sedimentteki ağır metal kontaminasyonunu değerlendirebilmek için çok çeşitli ekolojik indeksler kullanılmaktadır (Ahirvar vd., 2023; Fural ve Kükrer, 2021; Kelderman vd., 2005; Şener vd., 2023; Ustaoğlu vd., 2022a; Ustaoğlu vd., 2022b; Varol vd., 2022). Bu tez çalışmasında ağır metal birikimini değerlendirmek için insan kaynaklı etkilerin değerlendirilmesinde kullanılan kontaminasyon faktörü (CF), zenginleştirme faktörü (EF) ve jeoakümülasyon indeksi ($I_{geo}$), ekolojik risk değerlendirilmesinde kullanılan potansiyel kirlilik indeksi (PLI) ve ekolojik risk faktörü ($E_r^i$) indeksleri Excell'de hesaplandı. Her bir değerlendirme indeksi için grafikler hazırlandı.

### 7.3.1 Kontaminasyon Faktörü (CF)

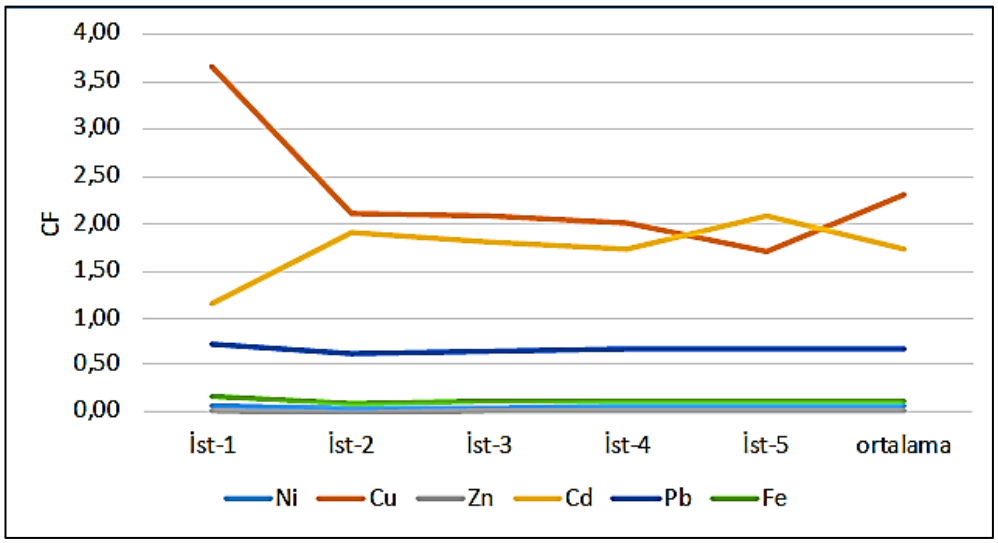
Sediment örneklerinin kontaminasyon faktörleri hesaplanırken her bir ağır metal için Turekian ve Wedepohl (1961)'de verilen shale değerleri kullanılmıştır (Denklem 7.1).

HE: ağır metalin konsantrasyonu, HEB: ağır metalin yer kabuğu değerini (shale) ifade etmektedir. CF değerlerine göre sedimentteki ağır metaller Cu>Cd>Pb>Fe>Ni>Zn şeklinde sıralanmaktadır. CF < 1 düşük kontaminasyonu; 1 ≤ CF < 3 orta derecede kontaminasyonu; 3 ≤ CF < 6 gözle görülür kirlenmeyi; CF > 6 büyük kontaminasyonu ifade eder (Hakanson 1980). Karadere Baraj Göleti'nde Cu (1,71 – 2,12) ve Cd (1,15 – 2,08) için orta derecede kontaminasyon seviyesi gözlenmektedir. Ayrıca Cu'nun (3,67) 1.İstasyonda gözle görülür kirlenme seviyesinde olduğu belirlendi. Diğer PTE konsantrasyonları değerlendirildiğinde CF oranlarına göre kontaminasyon riski taşımadıkları söylenebilir (Tablo 7.59, Grafik 7.65).

$$CF = \frac{C_{HE}}{C_{HEB}} \qquad (7.1)$$

**Tablo 7.59** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre CF oranları

| | Ni | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|
| İst-1 | 0,066 | 3,669 | 0,023 | 1,153 | 0,738 | 0,168 |
| İst-2 | 0,054 | 2,120 | 0,016 | 1,896 | 0,631 | 0,110 |
| İst-3 | 0,060 | 2,080 | 0,017 | 1,797 | 0,647 | 0,112 |
| İst-4 | 0,066 | 2,001 | 0,019 | 1,738 | 0,687 | 0,118 |
| İst-5 | 0,062 | 1,707 | 0,018 | 2,084 | 0,683 | 0,110 |
| Ortalama | 0,062 | 2,316 | 0,019 | 1,734 | 0,677 | 0,124 |




**Grafik 7.66** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre CF oranlarının değişimi

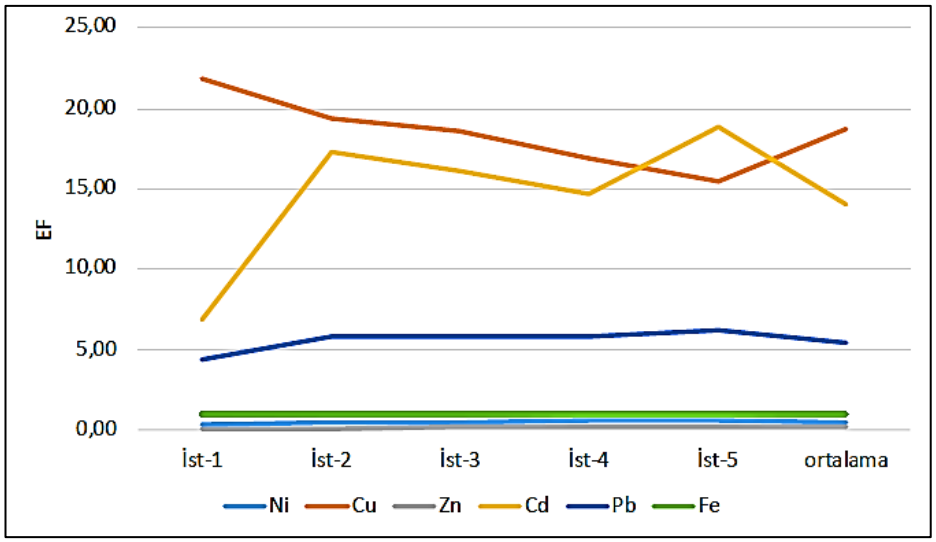
### 7.3.2 Zenginleştirme Faktörü (EF)

Zenginleştirme faktörü, ağır metallerin sedimentte oluşturduğu kirlilik seviyelerinin gelişimini insan kaynaklı veya doğal olarak değerlendirebilmek için yaygın kullanılan bir hesaplamadır (Ustaoğlu vd., 2022b). Hesaplamada kullanılan $C_{HE}$: ağır metalin konsantrasyonu; $C_{ref}$: referans elementin konsantrasyonu; $B_{HEB}$: ağır metalin yer kabuğu değeri; $B_{ref}$: referans elementin yer kabuğu değerini ifade eder (Denklem 7.2). Sediment örneklerinde ağır metallerin EF değer aralıkları ve ortalama değerleri Tablo 7.60'ta verilmiştir. EF < 2 minimum zenginleştirmeyi; 2 ≤ EF < 5 orta düzeyde zenginleştirmeyi; 5 ≤ EF < 20 önemli zenginleştirmeyi; 20 ≤ EF < 40 çok yüksek zenginleştirmeyi ve EF ≥ 40 son derece yüksek zenginleştirmeyi işaret eder (Sutherland 2000). Karadere Baraj Göleti'nde Fe, Ni ve Zn'nin varlığı EF değeri 1,5'tan küçük olduğundan doğal süreçler sebebiyle (yerkabuğu, kayaçlar gibi) oluşmuş olması muhtemeldir. Cu, Cd ve Pb'nin EF değeri ise 5 – 20 arasındadır ve önemli zenginleştirmeyi ifade eder; yani antropojenik etkiden varlıklarını artırdıklarını (fosfatlı gübreler, pestisitler gibi) söyleyebiliriz. Cu'nun 1.İstasyondaki sonucunu değerlendirdiğimizde (EF=21,79) ise gölet sedimentinde Cu için çok yüksek zenginleştirmeden bahsedebiliriz (Tablo 7.60, Grafik 7.66).

$$EF = \frac{C_{HE} \,/\, C_{ref}}{B_{HEB} \,/\, B_{ref}} \qquad (\mathbf{7.2})$$

**Tablo 7.60** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre EF değerleri

| | **Ni** | **Cu** | **Zn** | **Cd** | **Pb** | **Fe** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| İst-1 | 0,39 | 21,79 | 0,14 | 6,85 | 4,39 | 1,00 |
| İst-2 | 0,49 | 19,33 | 0,14 | 17,28 | 5,75 | 1,00 |
| İst-3 | 0,53 | 18,58 | 0,15 | 16,05 | 5,78 | 1,00 |
| İst-4 | 0,56 | 16,91 | 0,16 | 14,69 | 5,81 | 1,00 |
| İst-5 | 0,56 | 15,47 | 0,16 | 18,88 | 6,19 | 1,00 |
| ortalama | 0,50 | 18,71 | 0,15 | 14,01 | 5,47 | 1,00 |




**Grafik 7.67** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre EF değerlerinin değişimi

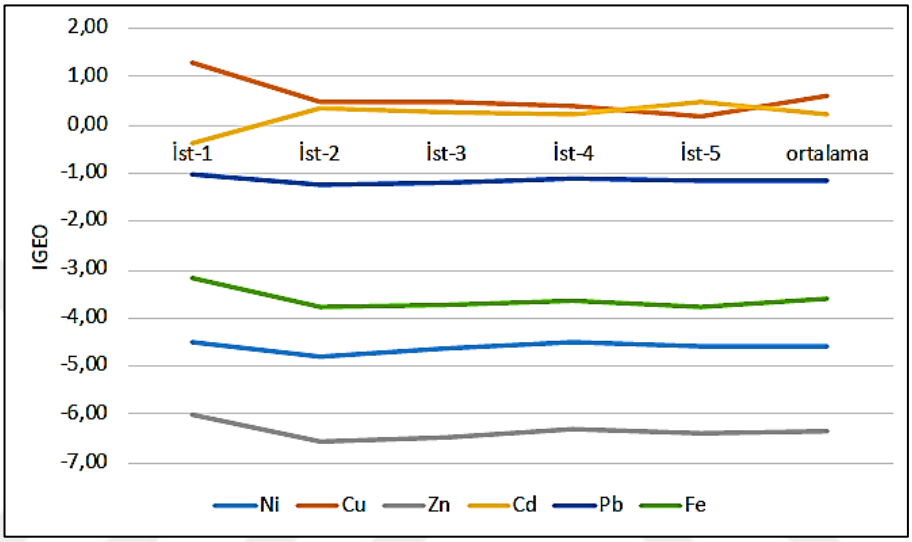
### 7.3.3 Jeoakümülasyon İndeksi ($I_{geo}$)

Sedimentteki PTE'lerin kaynaklarının antropojenik olup olmadığının belirlenmesinde kullanılan ve Müller (1969) tarafından tanımlanan bir hesaplamadır (Denklem 7.3). Hesaplamada kullanılan $C_{HE}$: ağır metalin ölçülen değerini; $B_{HEB}$: ölçülen ağır metalin yer kabuğu değerini ve 1.5 faktörü, arka plan matris korelasyon değerini ifade eder. Igeo < 0 ise kirlenmemişliği; 0 ≤ Igeo < 1 ise kirlenmemişlik ila orta derecede kirlilik arasını; 1 ≤ Igeo < 2 ise orta derecede kirliliği; 2 ≤ Igeo < 3 orta derecede ila önemli derecede kirlilik arasını; 3 ≤ Igeo < 4 ise önemli derecede kirliliği; 4 ≤ Igeo < 5 önemli ila çok ileri derecede kirliliği; 5 ≤ Igeo çok ileri derecede kirliliği işaret eder (Müller 1969). $I_{geo}$ hesaplamaları sonucu elde edilen PTE'lerin birikim indisleri Tablo 7.61'de verilmiştir. Karadere Baraj Göleti'nde PTE'lerin doğal kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte 1. İstasyonda Cu (1,29) için orta derecede kirlenmişlikten, diğer dört istasyonda ise Cu (0,19 – 0,63) ve Cd (0,21 – 0,47) için az kirlenmişlikten bahsetmek mümkün görünmektedir (Tablo 7.61, Grafik 7.67).

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_{HE}}{1{,}5 \cdot B_{HEB}} \qquad (\mathbf{7.3})$$

**Tablo 7.61** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre $I_{geo}$ değerleri

| | Ni | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|
| İst-1 | -4,50 | 1,29 | -6,01 | -0,38 | -1,02 | -3,16 |
| İst-2 | -4,80 | 0,50 | -6,57 | 0,34 | -1,25 | -3,77 |
| İst-3 | -4,65 | 0,47 | -6,49 | 0,26 | -1,21 | -3,74 |
| İst-4 | -4,51 | 0,42 | -6,30 | 0,21 | -1,13 | -3,66 |
| İst-5 | -4,60 | 0,19 | -6,39 | 0,47 | -1,14 | -3,76 |
| ortalama | -4,61 | 0,63 | -6,34 | 0,21 | -1,15 | -3,60 |




**Grafik 7.68** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre Igeo değerlerinin değişimi

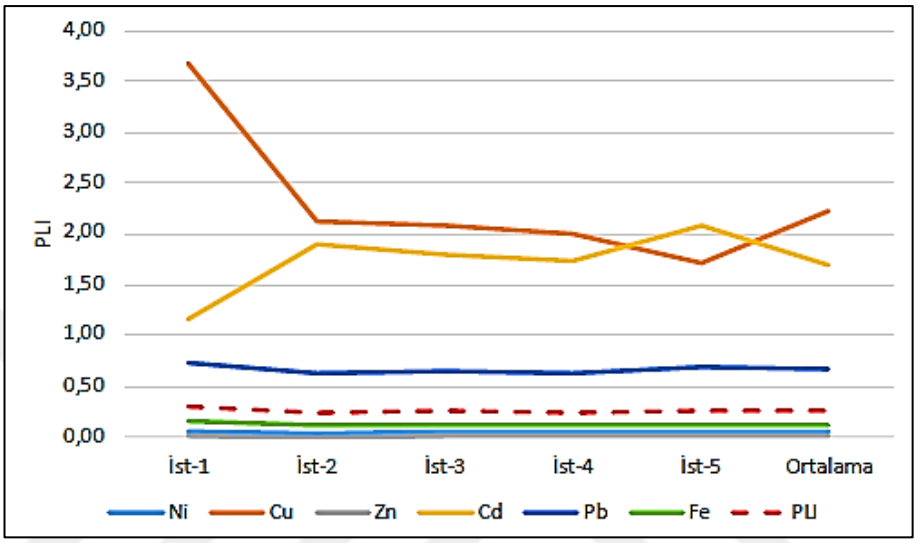
### 7.3.4 Potansiyel Kirlilik İndeksi (PLI)

Ağır metallere bağlı olarak sediment kalitesini belirlemek amacıyla Tomlinson vd. (1980) tarafından tanımlanmıştır. Sedimentteki bütün PTE'lerin ölçüm sonuçlarının, her istasyon için ayrı olamk üzere, birbirleri ile çarpıldıktan sonra 1/toplam örnek sayısı kuvvetinin alınması ile hesaplanır (Denklem 7.4) (Fural ve Kükrer, 2021; Ustaoğlu vd., 2022b). PLI < 1 düşük seviyeli kirliliği; 1≤PLI < 2 orta seviyede kirliliği; 2 ≤ PLI < 3 önemli seviyede kirliliği; PLI≥3 çok yüksek seviyede kirliliği ifade eder (Tomlinson vd., 1980). PLI değerlerinin 1 seviyesini aşmış olmasının gelecekteki muhtemel kirlilik riskelerine işaret ettiği bildirilmiştir (Fural ve Kükrer, 2021). Karadere Baraj Göleti'nde ise PLI değerleri 0,25 – 0,31 arasında hesaplanmıştır. Bu değerler 1 seviyesinin oldukça altındadır (Tablo 7.62, Grafik 7.68).

$$PLI = (C_{Ni} * C_{Cu} * C_{Zn} * C_{Cd} * C_{Pd} * C_{Fe})^{1/6} \qquad (7.4)$$

**Tablo 7.62** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre PLI değerleri

| | Ni | Cu | Zn | Cd | Pb | Fe | PLI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İst-1 | 0,07 | 3,67 | 0,02 | 1,15 | 0,74 | 0,17 | 0,31 |
| İst-2 | 0,05 | 2,12 | 0,02 | 1,90 | 0,63 | 0,11 | 0,25 |
| İst-3 | 0,06 | 2,08 | 0,02 | 1,80 | 0,65 | 0,11 | 0,25 |
| İst-4 | 0,06 | 2,00 | 0,02 | 1,73 | 0,62 | 0,12 | 0,25 |
| İst-5 | 0,06 | 1,71 | 0,02 | 2,08 | 0,68 | 0,11 | 0,26 |
| Ortalama | 0,06 | 2,23 | 0,02 | 1,70 | 0,66 | 0,12 | 0,26 |




**Grafik 7.69** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre PLI değerlerinin değişimi

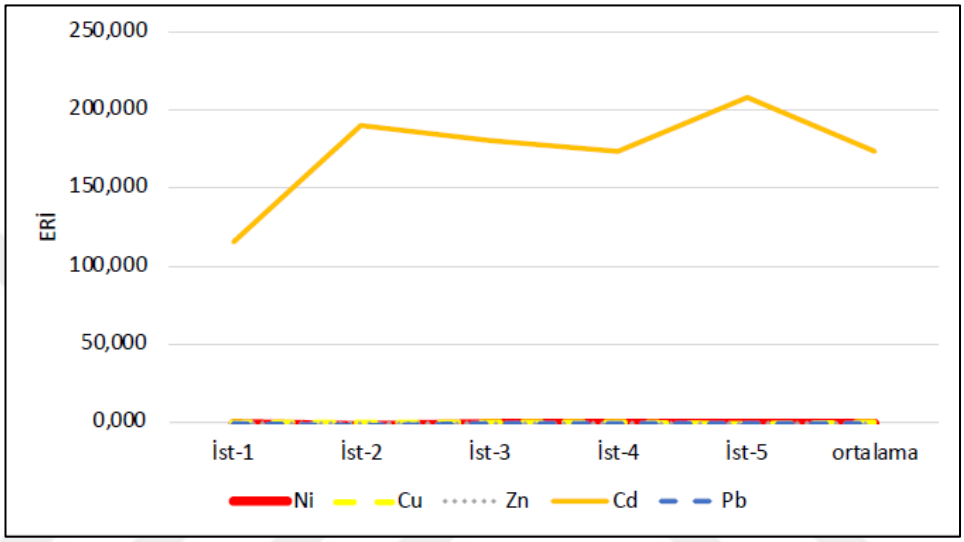
### 7.3.5 Ekolojik Risk Faktörü İndeksi ($E_r^i$)

Ekolojik risk faktörü indeksi, sedimentteki ağır metallerin toksisitesi, taşınması ve dönüşümüne ilişkin kapsamlı bir ekolojik risk değerlendirmesidir (Hakanson, 1980). Hesaplamadaki $T_r^i$: toksik etki faktörüdür; CF kontaminasyon faktörüdür (Denklem 7.5). Toksik etki faktörü sekiz element için bildirilmiştir (Hg = 40, Cd = 30, As = 10, Cu = Pb = Ni = 5, Cr = 2, Zn = 1). Alınan sonuçlara göre $E_r^i < 40$ düşük ekolojik riski; $40 \leq E_r^i < 80$ orta derecede ekolojik riski; $80 \leq E_r^i < 160$ belirgin ekolojik riski; $160 \leq E_r^i < 320$ yüksek ekolojik riski; $320 \geq E_r^i$ büyük ekolojik riski ifade eder (Hakanson 1980; Ustaoğlu vd., 2022b). Karadere Baraj Göleti'nde Ni, Cu, Zn ve Pb için çok düşük ekolojik riskten bahsedebiliriz. Cd ise 1. İstasyonda (115,25) belirgin ekolojik riski işaret ederken, 2., 3., 4. ve 5. İstasyonlarda (173,37 – 208,42) yüksek ekolojik riski işaret etmektedir (Tablo 7.63, Grafik 7.69).

$$E_r^i = T_r^i \cdot CF \qquad (7.5)$$

**Tablo 7.63** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre $E_r^i$ değerleri

| | Ni | Cu | Zn | Cd | Pb |
|---|---|---|---|---|---|
| İst-1 | 0,005 | 0,408 | 0,00025 | 115,250 | 0,185 |
| İst-2 | 0,004 | 0,236 | 0,00017 | 189,583 | 0,158 |
| İst-3 | 0,004 | 0,231 | 0,00018 | 179,747 | 0,162 |
| İst-4 | 0,005 | 0,222 | 0,00020 | 173,833 | 0,172 |
| İst-5 | 0,005 | 0,190 | 0,00019 | 208,417 | 0,171 |
| ortalama | 0,005 | 0,257 | 0,00020 | 173,366 | 0,169 |




**Grafik 7.70** Karadere Baraj Göleti'nde ağır metallerin istayonlara göre $E_r^i$ değerlerinin değişimi

## 7.4 Radon Konsantrasyonu Ölçümü

Karadere Baraj Göleti'nden alınan su numunelerinde yapılan Radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları Tablo 7.64'te verilmiştir. Buna göre en yüksek Radon konsantrasyonu 1.İstasyonda ($7 \pm 4$ Bq/m$^3$) izlenmiştir.

**Tablo 7.64** Karadere Baraj Göleti'nde Radon Konsantrasyonu

| | Radon Konsantrasyonu (Bq/m$^3$) |
|---|---|
| İstasyon 1 | 7 ± 4 |
| İstasyon 2 | 5 ± 1 |
| İstasyon 3 | 6 ± 2 |
| İstasyon 4 | 4 ± 1 |
| İstasyon 5 | 5 ± 1 |

# 8. TARTIŞMA

Karadere Baraj Göleti'nin su kalitesini belirlemek maksadıyla bir yıl süresince aylık periyotlar halinde alınan su numuneleri fizikokimyasal parametrelerin belirlenmesi için çalışıldı. Elde edilen veriler ışığında, Orman ve Su İşleri Bakanlığına ait 15/04/2015 tarih ve 29327 sayılı resmi gazetede yayınlanmış olan Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (YSKY) göre her bir parametre için su kalitesi belirlendi.

Mutlu (2019) Zerveli deresinde çözünmüş oksijenin (ÇO) kış aylarında ve ilkbaharın başlarında daha yüksek olduğunu, ancak su sıcaklıklarının yükseldiği Ağustos-Eylül aylarında düştüğünü belirtmektedir. ÇO konsantrasyonu, mikrobiyal aktivite, organik madde, basınç, sıcaklık, örnekleme süresi ve akış minimizasyonu gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Düşük su sıcaklığı dönemlerinde ÇO konsantrasyonundaki artış, daha soğuk sıcaklıklarda artan gaz çözünürlüğüne ve organizmaların metabolik aktivitesinin azalmasına atfedilir. Bu, ÇO seviyeleri ve sıcaklık değişimleri arasında bir ilişki olduğunu gösterir. Karadere Baraj Göleti'nde çözünmüş oksijenin gölette en yüksek olduğu ay ortalama 13,76±0,01 mg/L ile Mayıs ayıdır. En düşük değeri ise ortalama 11,00±0,01 mg/L ile Eylül ayında ölçüldü. ÇO bakımından istasyonlar arasında gözle görülür bir değer farkı bulunmamakla birlikte yıl içerisinde de çok büyük değişimler yaşanmamıştır. Sıcaklığın mevsimler arasında keskin geçişler göstermemesi ve yılın en sıcak aylarında bile gölette su sıcaklığının 20°C'a ulaşmaması ÇO değerlerinin de bu kararlı halini açıklamaktadır.YSKY'ye göre Ç.O. değeri 8 mg/L'den yüksek olan sular I. Sınıf sulardır.

Zerveli deresinde Aralık ve Mart ayları arasında düşük olan suyun tuzluluğu, sıcaklıklar arttıkça yükseldi ve Ağustos ayında düşmeden önce zirveye ulaştı. Tuzluluktaki bu dalgalanmanın yağmur ve buharlaşmadan etkilendiği görülmektedir (Mutlu, 2019). Karadere Baraj Göleti'nde tuzluluk seviyesi en yüksek Ağustos ayında ortalama 0,6±0,1 (%) olarak ölçüldü. Askıda ve çözünmüş olarak bulunan katı maddenin toplamı olan tuzluluk iletkenliğe etki eder. Elektriksel iletkenlik ise en yüksek Eylül ayında ortalama 348,22±1,62 olarak ölçülmüştür. YSKY'ye göre E.İ. değeri 400'ün altında olan sular I. Sınıf sulardır.

Zerveli deresinde pH değerlerinin kış ve bahar aylarında daha düşük olduğu gözlenmiştir. Nisan ayında başlayan kademeli bir artış, Ekim ayında en yüksek pH değerine yol açtı. pH'daki bu artışın biyolojik aktivitelerle, özellikle fotosentetik organizmaların aktivitesiyle ilişkili olduğuna inanılmaktadır. pH, ekosistemin biyolojik bileşimini şekillendirmede önemli bir rol oynar. Düşük pH seviyeleri, sucul organizmalar tarafından toksik elementlerin alımının artmasına neden olabilir (Mutlu, 2019). Karadere Baraj Göleti'nde pH en yüksek Eylül ayında ortalama 8,57±0,02 olarak ölçüldü. pH genel itibariyle yıl içerisinde de çok düşük değerler göstermemiştir. Ancak sadece Eylül ayında bu kadar yüksek olan bu değerle göletin suyu YSKY'e göre III. Sınıf sular içindedir. Gölet suyunun çok sert sular sınıfında yer alıyor olması, tarım azarilerinden gelen fosfatlı ve sülfatlı gübrelerin suyun iyon derişimini, dolayısıyla pH'yı artırdığı öngörülmektedir. Bununla birlikte pH değeri içme ve kullanma suyunun güvenirliliği konusunda doğrudan referans olmamakta ama hijyen kalitesini belirlemekte ayırt edici olmaktadır (MEB, 2011).

Su kalitesi ile ilgili parametrelerin aylık ortalama değerlerindeki zamansal değişiklikler, mevsime bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte, bazı parametrelerde yıllık dalgalanmalar gösterir. Yağış ve hava sıcaklığındaki aylık değişimler su kalitesi dinamiklerini etkilemede rol oynamaktadır (Mutlu, 2019). Gölet suyunun sıcaklık değerleri, en yüksek Ağustos ayında ortalama 19,67±0,15 °C, en düşük Ocak ayında ortalama 4,07±0,06 °C'dir. Bölgenin yıllık yağış verileri Tablo 3.1'de verilmiştir. YSKY'e göre su sıcaklığı 25°C'ın altındaki sular I. Sınıf sulardır. Su sıcaklığının 20°C'ı geçmediği Karadere Baraj Göleti'nde alabalık yetiştiriciliği yapılmaktadır.

**Tablo 8.1** Göller, Göletler, Bataklıklar ve Baraj Haznelerinin Ötrofikasyon Kontrolü Sınır Değerleri

| İstenen Özellikler | Kullanım Alanı | |
|---|---|---|
| | Doğal Koruma Alanı ve Rekreasyon | Çeşitli Kullanımlar için (doğal olararak tuzlu, acı ve sodalı göller dahil) |
| pH | 6,5 - 8,5 | 6 - 10,5 |
| KOİ (mg/L) | 3 | 8 |
| ÇO (mg/L) | 7,5 | 5 |
| AKM (mg/L) | 5 | 15 |
| Toplam koliform sayısı | 1000 | 1000 |
| Toplam azot (mg/L) | 0,1 | 1 |
| Toplam fosfor (mg/L) | 0,005 | 0,1 |
| Klorofil-a (mg/L) | 0,008 | 0,025 |

Alabalık yetiştiriciliğinin yapıldığı gölette, balık yaşamını önemli ölçüde etkileyen askıda katı madde miktarı en yüksek Eylül ayında ortalama 2,46±0,02 mg/L olarak ölçülmüştür. Göller, Göletler, Bataklıklar ve Baraj Haznelerinin Ötrofikasyon Kontrolü Sınır Değerleri tablosuna göre bu miktar balık sağlığını ve yaşamını olumsuz etkileyen seviyenin çok altındadır (Tablo 8.1).

Kimyasal oksijen ihtiyacı suyun içindeki organik madde kirliliğinin bir ölçüsüdür ve mg/L cinsinden belirtilir. KOİ, suda bulunan organik maddenin kimyasal oksidasyonunu sağlamak için gereken çözünmüş oksijen miktarını ifade eder. Hem BOİ hem de KOİ bir yüzey su kaynağının çevresel sağlığının önemli göstergeleridir. Bu göstergeler genellikle atıksu arıtmasında kullanılır, ancak genel su arıtmasında nadiren kullanılır (Patil vd., 2012). Kimyasal oksijen ihtiyacını hesaplarken sudaki kirletici organik yüklerin parçalanması için gereken oksijen miktarı kullanılır (Emin Güzel, 2019). KOİ 25 mg/L'den yüksek seviyede kirliliği gösterirken, 50 mg/L'den yüksek seviyeler ciddi kirliliği ve ayrıca sucul organizmalar için potansiyel bir toksik etkiyi gösterir (Demir vd., 2021; Li vd., 2018) Kimyasal oksijen ihtiyacı en yüksek Haziran ayında ortalama 5,72±0,12 mg/L olarak ölçüldü. YSKY'e göre KOİ miktarı 25 mg/L'nin altındaki sular I. Sınıf sulardır.

Biyolojik oksijen ihtiyacı, yetiştiriciliğin yapıldığı sular için organik kirlenme ölçüsüdür (Atay ve Pulatsü, 2000). Biyokimyasal bozunma süreci ve belirli inorganik maddelerin (örneğin; demir, sülfürler) oksidasyonu için gereken çözünmüş oksijen miktarını ifade eder (Patil vd., 2012). Louros Nehri'nde (Kuzeybatı Yunanistan) akışkan geçişli alabalık yetiştiriciliğinin su kalitesi durumunu ve etkisini değerlendirmek için nehirde mevsimsel olarak alabalık üretimi değerlendirildi. Nehre giren ve deşarj edilen mevsimsel örneklerle su kalitesi parametreleri izlendi. BOİ 0-2 mg/L arasında değişti (Mavraganis vd., 2021). Karadere Baraj Göleti'nde en yüksek BOİ Haziran ayında ortalama 1,57±0,12 mg/L olarak ölçüldü. Bu da göletin organik madde kirliliğine maruz kalmadığını göstermektedir. YSKY'ye göre BOİ miktarı 4 mg/L ve altındaki sular I. Sınıf sulardır.

Karabel, Çaltı ve Tohma derelerinde yapılan çalışmada klor iyonunun suda ve balıkların kanında ters orantılı olarak değiştiği bulunmuştur (Demir vd., 2021). Ayrıca,

ortamdaki klor iyonlarındaki bir artışın, nitrit alımını önleyerek balıkları nitrit zehirlenmesinden koruyabileceği bildirilmiştir (Demir vd., 2021; Yanbo vd., 2006). Klorür miktarı en yüksek Aralık ayında (ortalama 6,33±0,08 mg/L) ölçüldü. YSKY'ye göre Klorür seviyesi 25 mg/L ve altında olan sular I. Sınıf sulardır.

Fosfatlı bileşikler bitki beslenmesi için önemli kaynaklardır. Fosfatın doğal çevrime katılması kayaçlarda meydana gelen fiziksel aşınma ve erozyon ile olur. Fosfor doğal suların yapısında inorganik veya organik fosfat formlarında bulunur. Fosfor suların yapısında fazla miktarda bulunursa pH'ı veya suyun tampon özelliğini değiştirebilir ki bu durumda sucul yaşamı ekiler. Kompleks fosfatların, su sertliğini kısmen de olsa azaltması söz konusudur. Bunun zararlı etkisi bazı toksik kimyasal maddelerin toksisitesinin artması yönünde gözlenebilir (Emin Güzel, 2019).

Gölette fosfat seviyesi Mart ayında sıfır olarak ölçüldü. Nisan ayı ile gölette fosfat görülmeye başlandı (ortalama 0,07±0,008 mg/L). Kademeli yükseliş gösteren fosfat Temmuz ayında hızlı bir yükselişe geçmiştir (ortalama 0,25±0,05 mg/L). Kasım ayında en yüksek seviyesine ulaştı (ortalama 0,52±0,011 mg/L). Aralık ayında tekrar düşüşe geçti (ortalama 0,43±0,020 mg/L). Ocak ayında aniden sıfıra yakın bir seviyeye düşmesi dikkat çekicidir (ortalama 0,01±0,004) (Tablo 7.19). Göletin etrafında tarım arazileri bulunmamakla birlikte, göleti besleyen Karadere çayına bağlanan derelerin çevresinde tarım arazileri bulunmaktadır. Göletin çevresi ise zengin orman kaynakları ve kayalıklarla kaplıdır. Temmuzda birden azalan yağışlar, artan sıcaklık ve baraj göletinin beslediği tarım arazilerindeki artan su kullanımlarıyla birlikte gölette su seviyesi düşmüştür. Ayrıca bölge tarımcısı yılda iki kere gübreleme yapmaktadır. Bunun ilki Haziran ayında ikincisi Eylül – Kasım aralığında yapılmaktadır. Bu sebeple gölette fosfat konsantrasyonun böyle bir seyir gösterdiğini düşünmekteyiz.

YSKY verilerine göre toplam Fosfor miktarının 0,02 mg/L'yi aşmadığı sular I. Sınıf sulardır. Yüksek fosfor kaynakları sularda ötrofikasyona sebep olmaktadır. İki alabalık tesisinin de bulunduğu Karadere Baraj Göleti'nde ötrofikasyona rastlanmamıştır. Bu durum sudaki çözünürlüğü çok az olan Fosfat'ın toplam fosfor miktarına önemli bir katkısının olmadığını göstermektedir. Ayrıca içme suyu kaynağı olarak da kullanılan

baraj suyunun, bu kullanım için uygun fosfat miktarını aşmadığı görülmektedir (Tablo 8.2).

**Tablo 8.2** İçme sularının kimyasal parametrelerinin uluslararası standartlarla karşılaştırılması

| **Parametreler mg/l** | **Türk TSE** | **Avrupa Birliği** | **WHO Dünya Sağlık Örgütü** | **EPA/ USA** | **Almanya /DIN** |
|---|---|---|---|---|---|
| Kalsiyum | 100-200 | 100 | -- | -- | -- |
| Magnezyum | 30-50 | 50 | 30-50 | -- | -- |
| Sodyum | 20-175 | 20-150 | 200 | -- | -- |
| Potasyum | 12 | 12 | -- | -- | -- |
| Alüminyum | 0,2 | 0,2 | 0,2 | -- | -- |
| Demir | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Manganez | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,05 |
| Bakır | 1 | -- | 1 | 1 | 1,3 |
| Çinko | 5 | -- | 5 | 5 | 5 |
| Baryum | 0,3 | 0,1 | 0,7 | 2 | -- |
| Bor | 0,1-0,3 | 1 | 0,3 | -- | -- |
| Klor | 30 | -- | 250 | -- | -- |
| Sülfad | 20 | 250 | 400 | -- | -- |
| Florid | 1 | 1,5 | 1,5 | 4 | 0,2-1,5 |
| Nitrat | 25 | 50 | 10 | 10 | 2-50 |
| Fosfat | 0,4-5 | 0,4-5 | -- | -- | -- |

Sülfat, suyun doğal anyonlarından biri olarak, doğal sulardaki biyolojik üretkenliğin artması için gereklidir (Wang et al., 2021). Doğada bulunmasını jips minerallerine borçludur. Bununla birlikte tarımsal amaçlı gübreler de sülfatın doğaya karışmasının önemli bir sebebidir. Karabel, Çaltı ve Tohma derelerinde yapılan çalışmada, ortalama sülfat seviyeleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin Tohma deresinde (102,340 mg/L) bulunduğu, bunu sırasıyla Karabel (99,160 mg/L) ve Çaltı (95.730 mg/L) derelerinin izlediği belirlendi. Tüm bu değerler I. Sınıf su kalitesini göstermektedir (Demir vd., 2021). Karadere Baraj Gölet'inde en yüksek sülfat seviyesi Haziran ayında ortalama 81,38±2,78 mg/L ölçüldü. YSKY'ye göre sülfat miktarı 200 mg/L ve altında olan sular I. Sınıf sulardır. Sülfit ise en yüksek Nisan ayında ortalama 2,55±0,11 mg/L olarak ölçüldü. Hatay Harbiye'de kaynak suyunda yapılan analizlerde sülfit miktarı ortalama 7,06 mg/L bulunmuştur (Tepe ve Mutlu, 2004). Hasan Çayı'nda (Erzin-Hatay) yapılan çalışmada sülfit miktarı ortalama 1,86 mg/L bulunmuştur. Sülfür genellikle organik bir madde olan proteinlerin yapısında bulunur. Aerobik koşullarda sülfür, zararlı hidrojen sülfit'e dönüşmeden sülfata okside olur. Sülfit ve sülfat

seviyeleri yaz aylarında düşerken, kış aylarında yükselme eğilimindedir. Yapılan araştırmada tehlikeli seviyelerde sülfit ve sülfat tespit edilmediğine değinilmiştir (Tepe vd., 2006).

Karaboğaz Deresi'nde yapılan çalışmada sodyum konsantrasyonu 21,64-68,54 mg/L arasında değişmektedir (Uncumusaoğlu ve Mutlu, 2021). Suların içinde çözünmüş $Na^+$ ve $Cl^-$ iyonlarının bulunması iletkenlik seviyesini belirler. Katyonlar ve anyonların varlığı aynı zamanda alglerin büyüme ve gelişmesini sınırlayıcı bir faktör olarak da görülür. Alpsarı Göleti'nde sodyum konsantrasyonu 53,08 ile 90,56 mg/L arasında ölçülmüştür (Mutlu ve Uncumusaoğlu, 2017). Karadere Baraj Göleti'nde ise sodyum, en yüksek Haziran ayında ortalama 76,40±0,63 mg/L olarak ölçüldü. YSKY'ye göre sodyum seviyesi 125 ve altı olan sular I. Sınıf sulardır.

Batıayaz Deresi'nde yapılan araştırmada, potasyumun ortalama değeri 3,42 mg/L olarak hesaplanırken, ortalama sodyum tuzu değeri ise 3,97 mg/L olarak bulunmuştur. Potasyum ve sodyum değerleri, kış aylarında yükselirken, yaz aylarında ise düşme eğilimi göstermiştir (Mutlu ve Yanık, 2012). Boyd (1998) tarafından belirtildiği üzere, doğal sulardaki potasyum genellikle 1 ile 10 mg/L arasında değişirken, sodyum değeri 2 ile 200 mg/L arasında değişkenlik gösterir. Karadere Baraj Göleti'inde potasyum seviyesi Haziran ayında ani bir yükselişle ortalama 16,13±0,91 mg/L olarak ölçüldü. Gölette potasyumun yıllık ortalaması 6,62±3,32 mg/L'dir. Potasyum miktarının sadece Haziran ayında bu kadar yüksek olmasının sebebi, Karadere çayının çevresindeki tarım arazilerinde potasyum ihtiva eden gübrelerin kullanılmış olması olabilir.

Çiğdem göletinde (Kurnaz vd., 2016) ölçülen toplam alkalinite değerleri 292,68 ile 342,06 mg/L arasındadır. Alpsarı Gölü'nde ölçülen (Mutlu ve Uncumusaoğlu, 2017) toplam alkalinite değerleri ise 326,54 ile 387,12 mg/L arasındadır. Karadere Baraj Göleti'inde toplam alkalinite en yüksek Eylül ayında ortalama 384,86±0,77 mg/L ölçüldü. En yüksek izlendiği mevsim, ortalama 377,81±4,47 mg/L ile yaz mevsimidir. Yıllık ortalama toplam alkalinite değeri 353,68±21,92 mg/L'dir. Toplam sertlik ise Ocak ayından itibaren agresif çıkışların olmadığı düzenli bir yükselişe geçmiştir. 376,97±0,87 mg/L ile Eylül ayında en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Toplam sertliğin

en yüksek seviyede izlendiği mevsim yaz mevsimi (ortalama 369,78±3,99 mg/L) olmuştur. Yıllık ortalama toplam sertlik seviyesi 346,01±21,27 mg/L olarak hesaplanmıştır. Bu seviyelerle gölet suyu çok sert sular sınıfına girmektedir (350mg/L'den fazla $CaCO_3$ içeren sular). Su sertliği tek başına kirlilik göstergesi değildir. Ne var ki sert sular ortamda bulunan toksik maddelerin etkinliğini artırabilirler. Bu sebeple yetiştiricilikte tercih edilmemektedirler (Göksu, 2003).

Kalsiyum ve magnezyum tatlı sulardaki en önemli alkali toprak mineralleridir (Mutlu vd., 2013). Normal suların magnezyum seviyeleri 5 mg/L - 60 mg/L arasında değişmelidir. Hafif sert sularda, 60 - 100 mg/L arasındaki değerler normal kabul edilebilirken, önerilen magnezyum konsantrasyonu 50 mg/L'dir (Taş, 2006). Karadere Baraj Göleti'nde magnezyum en yüksek Temmuz ayında ortalama 62,38±0,57 mg/L ölçüldü. Kalsiyum ise en yüksek Haziran ayında ortalama 93,03±0,30 mg/L ölçüldü. Kalsiyumun maksimum önerilen seviyesi 75 mg/L olarak bildirilmiştir (Taş, 2006). Kalsiyum ve magnezyum sert sularda iyon halinde bulunurlar. Sülfat ve karbonat tuzlarından kaynak alırlar. Yani kalsiyum ve magnezyum iyonlarının konsantrasyonu suyun sertliğini işaret ederler. Çok sert sular sınıfında olan Karadere Baraj Göleti için bu değerler beklenen verilerdir.

Nitrit gölette en yüksek Haziran ayında ortalama 0,0083±0,001 mg/L ölçüldü. YSKY'ye göre bu değer II. Sınıf sular (0,002 – 0,01) kategorisindedir. Yıllık ortalama nitrit seviyesi 0,0037±0,002 mg/L'dir. Balıklar için nitirin yüksek konsantrasyonları tehlikelidir. Hemoglobinin methemoglobine dönüştüğü kahverengi kan hastalığına (nitrit zehirlenmesi) sebep olur. Ne var ki böyle bir zehirlenmenin olabilmesi için sudaki nitrit konsantrasyonunun 0,5 mg/L ve üzerinde olması gerekir. Bu seviye balıklarda büyümeyi yavaşlatarak balığın gelişimini olumsuz etkiler. Ortamın pH, kalsiyum ve klor konsatrasyonları zehirlenmenin etki şiddetini belirleyici rol oynar (Durbarow vd., 1997). Yetiştiricilik yapılan sularda yüksek klor konsantrasyonlarının nitrit konsantrasyonlarını inhibe ettiği, azalttığı bildirilmiştir (Demir vd., 2021). Nitritin sucul hayvanlardaki zehirliliğini etkileyebilen çeşitli çevresel faktörler arasında, en önemlisinin suyun klorür konsantrasyonu olduğuna inanılmaktadır. Bu durum, nitritin özellikle balık ve kerevitlerden klorür iyonunun alınması ile yarışarak emildiği varsayımına dayanmaktadır. Klorür iyonu, solungaç epitel hücrelerinin üst

kısımlarında bikarbonat ($HCO_3^-$) ile yer değiştirir. Nitrit, bu klorür/bikarbonat değişimini sağlayan taşıyıcı proteinlere ilgi göstererek değişim sürecinde klorürün yerini alır. Bu nedenle, çevredeki klorür iyonlarının artması, nitritin alınmasını engelleyerek balık ve kerevitleri nitrit zehirlenmesine karşı koruma altına alabilir (Filazi vd., 2016).

Karadere Baraj Göleti'nde yine Haziran ayında en yüksek seviyesine ulaşan bir başka parametre de nitratdır. Ortalama 11,88±0,16 mg/L ölçüldü. Yıllık ortalama Nitrat miktarı 3,89±3,10 mg/L'dir. Nitrat azotu suda kolay çözünür. Buna karşılık su ürünleri için zararları diğer azotlu bileşiklere göre daha azdır. Yine de nitrit gibi nitrat da yüksek konsantrasyonlarda balıkların osmoregülasyon sistemini bozabilir. Bazı deneylerde en azından uzun süreli 10 mg/L nitrat konsantrasyona maruz kalmanın, duyarlı sucul hayvanlar üzerinde olumsuz etkiler yarattığı görülmüştür. Su tuzluluğu, nitrat iyonunun alınmasını engellediğinden, tatlı sularda yaşayan hayvanların denizlerde yaşayan hayvanlara göre nitrat zehirlenmesine daha duyarlı oldukları gözlenmiştir (Filazi vd., 2016). YSKY'ye göre nitratın 5 mg/L ve altında olduğu sular I. Sınıf sulardır. Yetiştiricilik içinse nitrat sularda 0 – 3 mg/L olmadır. Bu kriterlere göre Karadere Baraj göleti nitrat seviyesi açısından Mayıs ve Haziran aylarında III. Sınıf sular (10 – 20 mg/L) kategorisindedir. Antropojenik etkinin olduğu çokaçık görülmektedir. Mayıs ve özellikle Haziran ayında gözlenen bu durumun yine gübrelemeden kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Amonyum azotunun gölet suyundaki derişimleri de dikkat çekicidir. Sularda rastlanan en zehirli azot bileşiği amonyaktır. Ve yetiştiricilik için ciddi bir sorundur. Amonyak sularda yoğun yemleme, balıkların metabolik artıkları veya su içerisindeki organik materyalin ayrışması sonucu yüksek oranlarda görülebilir. Yetiştiricilikte amonyum azotunun su ürünlerine zarar vermemesi, sudaki iyonik olmayan amonyak konsantrasyonunun 0,22 mg/L'nin altında olması ile mümkündür. pH'ta meydana gelen bir birim yükselme, sudaki iyonik olmayan amonyak konsatrasyonunda on kat artışa sebep olur (Lawson, 1995). Bölgede gübrelemenin yapıldığı Mayıs – Haziran ve Ekim – Kasım aylarında amonyum azotu miktarlarında dikkat çekici yükselmeler gözlendi. Göleti besleyen Karadere çayının da giriş noktası olan 1.İstasyonun her ay için en düşük değerlere sahip olması gübrelemenin amonyum azotu seviyesinin

yükselmesinde çok önemli bir rol oynamadığını göstermektedir. En yüksek Haziran ayında ortalaması 0,0016±0,0006 mg/L iken 3.İstasyonda 0,0021 mg/L ve 2.İstasyonda 0,0017 mg/L ölçülen amonyum azotu aynı tarihte 1.İstasyonda 0,0009 mg/L ölçüldü. Diğer aylarda yapılan ölçümlerde de aynı durum söz konusudur. Alabalık tesislerinin olduğu gölette özellikle su seviyesinin de düştüğü bu tarihlerde sonucun böyle olması olağandır. Yine de gölette amonyum azotu YSKY kriterlerine göre I. Sınıf sular (0,2 mg/L) için istenen değerin çok altında bir seviyededir.

Demir canlılar için en önemli elementlerin başında gelir dersek abartmış olmayız. Kolay elektron alışverişi yapabilme özelliği sayesinde başta oksijen metabolizmasının kontrolü olmak üzere canlıların metabolik faaliyetleri (protein sentezi, RNA, DNA ve enerji üretimi gibi hayati önem taşıyan olaylar) için olmazsa olmazdır. Fakat demirin organizmadan atılım mekanizması mevcut değildir. Bu da demir fazlasının depolanmasına ve toksik etki göstermesine neden olmaktadır (Emin Güzel, 2019). Karadere Baraj göleti'nde Ocak ve Şubat aylarında gölette demir ölçümü her bir istasyonda 0 (sıfır) olarak ölçüldü. En düşük seviyede demir miktarı Mart ayında (ortalama 0,0001±0,0001 µg/L) ölçüldü. Demir miktarının en yüksek seviyede olduğu ay Haziran ayıdır (ortalama 0,0017±0,0003 µg/L). Yıllık ortalama demir miktarı 0,0006±0,0006 µg/L olarak hesaplandı. YSKY kriterlerine göre demirin 300 µg/L'nin altında olduğu sular I. Sınıf sulardır.

Antropojenik kullanımı çok eski tarihlere dayanan kurşun, doğada mineral yapıda ve bol miktarlarda bulunmaktadır. Endüstriyel alanda çokça kullanılan kurşun günlük yaşantımızda da sıkça karşılaştığımız ve yoğun maruziyetinde kaldığımız bir metaldir. İnsan kanında 50 µg/100mL ve üzerinde kurşun bulunması zehirlenmeye sebep olmaktadır (Emin Güzel, 2019). Kurşun miktarının göletteki değişimi iniş çıkışlar göstermektedir. En yüksek seviyesi Haziran ayında (ortalama 1,90±0,26 µg/L) ölçüldü. Temmuz ayında hızlı bir düşüşe geçen kurşun miktarı Eylül ayında (ortalama 0,20±0,10 µg/L) ölçülebilen en düşük seviyesinde saptandıktan sonra tekrar yükselmeye başladı. Aralık ayından hemen sonra ani bir düşüşle Ocak ayında bütün istasyonlardan 0 (sıfır) ölçüm alındı. Şubat'ta yükselişe geçti. Yıllık ortalama kurşun miktarı 0,67±0,49 µg/L'dir. YSKY kriterlerine göre kurşunun 10 µg/L'nin altında olduğu sular I. Sınıf sulardır.

Bakır da demir gibi özellikle memeli metabolizmasında pek çok metabolik olayın (proteinin sentezi, enerji metabolizması, doku rejenerasyonu, kemik dokunun inşası, deri, saç ve gözlerde pigment metabolizması, alyuvarların üretimi gibi) katalizörü görevi görmektedir. Görüldüğü üzere eksikliğinde pek çok sorunlar yaşanması kaçınılmazdır. Ancak bakırın da fazlası toksik etki göstererek hastalıklara ve hatta zehirlenmelere yol açmaktadır. Ayrıca bakırın sudaki konsantrasyonunun artması ciddi amonyak zehirlenmelerine sebep olabilir (Filazi vd., 2016). Bakır miktarı da yıl içerisinde dalgalanmalar göstermekle birlikte en yüksek seviyede Haziran ayında (ortalama 13,00±2,65 µg/L), en düşük seviyede ise Mart ayında (ortalama 1,00±1,00 µg/L) ölçüldü. Şubat ayında ise her bir istasyonda 0 (sıfır) olarak ölçüm alındı. Gölette yıllık ortalama bakır miktarı 4,03±3,61 µg/L olarak hesaplandı. YSKY'ye göre I. Sınıf sularda bakır miktarı 20 µg/L ve altında olmalıdır.

Kadmiyum, yüzey sularında yeraltı sularına göre bir miktar daha fazla bulunabilir. Bunun sebebi endüstriyel atıklar ile kanalizasyon atıkları deşarjı ve fosfatlı gübre kullanımıdır. Kadmiyumun sudaki çözünürlüğü pH değişimlerinden etkilenmektedir. Kadmiyumun toksisitesi bilinmekle beraber, insanlarda öldürücü olan dozun ne kadar olduğu da bilinmiyor. Ancak, düşük konsantrasyonları bile su organizmaları için büyük zararlı etkilere sahiptir. Özellikle çevre kirliliği sorunu yaşanan denizlerde, balıklar gibi besin zincirinin önemli bir halkası tarafından alınarak biriktirildiği ve farklı seviyelerde zararlı ve toksik etkilere neden olduğu gözlemlenmiştir (Asri vd., 2007). Solunum yolu şikayetleri ve dolaşım sistemi bozuklukları bilinen toksik etkileridir. Karadere Baraj Göleti'nde kadmiyum miktarı en yüksek Eylül ayında ortalama 0,67±0,15 µg/L, Mart ayında ise 0 (sıfır) olarak ölçüldü. En düşük seviyesi ise Ocak ayında ortalama 0,07±0,06 µg/L olarak ölçüldü. Yıllık ortalama kadmiyum miktarı 0,30±0,20 µg/L'dir.YSKY'ye göre kadmiyumun 3 µg/L'den az olduğu sular I. Sınıf sulardır.

Yerkabuğunda doğal olarak bulunan cıva, endüstriyel kullanım alanı çok fazla olsa da sağlık açısından oluşturduğu riskler kullanımını sınırlamaktadır. Cıvaya uzun süre maruz kalmak veya 0,5–2 mg miktarda cıvanın yutulması ölümle sonuçlanabilmektedir (Bakar ve Baba, 2009). Göletteki cıva miktarı yıl içerisinde dalgalı seyretmektedir. Haziran ayında cıva miktarı ortalama 0,013±0,003 µg/L ile en

yüksek seviyesinde ölçüldü. Temmuz ayından sonra düşüşe geçen cıva seviyesi, Kasım ayında tekrar yükselişe geçtikten sonra ani bir düşüşle Ocak ayında ortalama 0,001±0,001 µg/L ile en düşük seviyesinde ölçüldü. Şubat ve Mart aylarında gölette cıva miktarı 0 (sıfır) olarak ölçüldü. Yıllık ortalama cıva miktarı 0,005±0,004 µg/L'dir. YSKY kriterlerine göre 0,1 µg/L'nin altında cıva bulunduran sular I. Sınıf sulardır.

Nikel demire benzer ve endüstriyel alanda demire iyi bir alternatif olması sebebiyle sıkça kullanılmaktadır. Uzun süre nikele maruz kalmak, nikelin toksik etkisini ortaya çıkarır. Böylece deride, solunum sisteminde ve dolaşımda bozukluklara sebep olmaktadır. Karasu ırmağında (Sönmez vd., 2012) yapılan bir çalışmada nikel 0,04–0,14 ppm arasında bulunmuş ve az kirli sular sınıfında değerlendirilmiştir. Karadere Baraj Göleti'nde Şubat ayında nikel seviyesi 0 (sıfır) ölçüldü. Ocak, Mart ve Nisan aylarında ise yılın en düşük (ortalama 1,00±1,00 µg/L) nikel seviyesi ölçüldü. En yüksek seviyede nikel miktarı Kasım ayında (ortalama 4,67±1,53 µg/L) ölçüldü. Yıllık ortalama nikel miktarı 2,11±1,34 µg/L'dir. YSKY'ye göre 20 µg/L ve altında nikel içeren sular I. Sınıf sulardır.

Çinko doğada çokça olsa da tek başına bulmak zordur. Genelde bileşikler halinde bulunur. Endüstride geniş kullanım alanları ve metabolizma için geniş fayda aralığı olan çinko da yüksek dozlarda toksiktir. Karasu ırmağında (Sönmez vd., 2012) yapılan çalışmada çinko 0,35–1,32 ppm, Boyalı Baraj Göleti'nde (Mutlu vd., 2021) yapılan çalışmada 4,0 – 19,0 ppb ölçülmüştür. Karadere Baraj Göleti'nde Haziran ayında en yüksek seviyesinde (ortalama 23,0±2,65 µg/L) ölçülen çinko miktarı, Eylül ayından sonra tekrar yükselişe geçmektedir. Kasım ayında ikinci en yüksek (ortalama 16,67±1,53 µg/L) seviyesine ulaştıktan sonra Aralık ayı ile birlikte ani bir düşüş göstermektedir. Mart ayında ise en düşük (ortalama 0,67±0,58 µg/L) seviyesindedir.YSKY kriterlerine göre 200 µg/L ve altında çinko ihtiva eden sular I. Sınıf sulardır.

Karadere Baraj Göleti'nde yapılan fizikokimyasal analizlerin sonuçlarına göre ağır metaller, amonyum azotu, sodyum, sülfat, klorür, BOİ, KOİ, AKM, sıcaklık, tuzluluk ve ÇO değerlerine göre Karadere Baraj Göleti'nin su kalitesi I. Sınıf kategorisindedir.

Nitrit verilerine göre gölet suyu II.Sınıf kategorisindedir. Nitrat ve pH verilerine göre ise gölet suyu III. Sınıf kategorisindedir.

**Tablo 8.3** T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın belirlediği alabalık yetiştiriciliği için su kalite kriterleri

| **ALABALIK YETİŞTİRİCİLİĞİ İÇİN SU KALİTE KRİTERLERİ** | | |
|---|---|---|
| Su Sıcaklığı °C | 9 - 17<br>12 - 16 (Optimal) | – |
| pH | 6,5 - 8,0<br>7 Civarı | (Hafif asitlik 6,5)<br>(Estansif üretim için uygun) |
| Oksijen($O_2$) | 9,2 - 11,5 mg$O_2$/L | Doyma derecesinde |
| Amonyak (NH3) | 1, 0,1 veya 0,02 mg/lt<br>0,005 mg/lt | –<br>Yavrular için |
| Nitrat ($NO_3$) | 1, 0,1 mg/lt<br>2, 0,2 mg/lt<br>(=0,03 veya 0,06 mg N-NO2/lt)<br>0,012 mg N-NO2/lt | Yumuşak sularda<br>Sert sularda<br>Kapalı sistemlerde |
| Klor ($Cl_2$) | 0,01-0,03 mg/lt | |
| Klorid ($Cl^-$) | 50 mg/lt | Yumurta inficari için |
| Hidrojen Sülfür($H_2S$) | 0,002 mg/lt | |
| Karbondioksit ($CO_2$) | 25 mg/lt<br>10 mg/lt | Mümkünse bu değerlerin üzerine çıkılmamalı, |
| Ozon ($O_3$) | 0,02 mg/lt | – |
| Azot ($N_2$) | 110% | Doyumun maksimal toplam gaz basıncı |
| Yüzen ve çöken maddeler | 15-80 mg/lt | – |
| Bakır | 0,006mg/lt<br>0,03 mg/lt<br>ABG 2=100mg/lt $CaCO_3$ | Yumuşak sularda<br>Sert sularda |
| Çinko | 0,005-0,04 mg/lt | Su sertliğine bağlı olarak |
| Demir | 1, 0,3 mg/lt<br>0,1 mg/lt | –<br>Yavrular için |
| Kurşun | 0,3 0,01-0,03 mg/lt | – |
| Civa | 0,005 mg/lt<br>0,0002 mg/lt | – |
| Kadminyum | 0,0004 mg/lt<br>0,003 mg/lt | Yumuşak sularda (ABG<2)<br>Sert sularda (ABG>2) |
| Krom | 0,01 mg/lt<br>0,05 mg/lt | Hexavalent<br>(Trivalent) |
| Siyanit | 0,005-0,25 mg7LT | – |
| Arsen | 0,01-0,5 mg/lt | – |
| Baryum | 5 mg/lt | – |
| Alüminyum | 0,1 mg/lt | – |
| Akarsu hızı | 0,005-0,03 mg/lt | – |
| Bulanıklık | 10 JTU | (=Jackson-Turbitite)<br>Jackson bulanıklık ölçüsü |

Ancak Karadere Baraj Göleti'nde iki tane alabalık tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerden bir tanesi dört yıldır, diğeri ise iki yıldır faaliyet göstermektedir. Alabalık yetiştiriciliği yapılan suların özelliklerinin içme suyu kalitesine denk özellikler taşıdığı bilinmektedir. Tablo 8.3'te verilen Alabalık ve Sazan Balığı Yetiştiriciliği Su Kalitesi Kriterleri incelendiğinde; çalışma yapılan Karadere Baraj Göleti'nin su kalitesinin alabalık yetiştiriciliğine uygun olduğu belirlenmiştir.

Gölet suyunda fizikokimyasal analizlerin yapılması sırasında her dört ayda bir de hücre kültürü ortamında sitotoksisite analizleri yapılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken amaç; gölet suyunun canlı hücreler üzerindeki etkisini görmektir. Böylece bir nevi fizikokimyasal analizlerin sağlaması yapılmış olacaktır. Hücre kültürü ortamında yapılan MTT analizlerinden alınan sonuçlara göre elde edilen bulgular aşağıda yorumlanmıştır.

Mart ayında % canlılık her üç istasyonda 1.günde %100'ün üzerinde çıkmış, 3.günde ise daha da yükselerek %180'lere kadar ulaşmıştır. Nisan ayında 1.günde %81–113 arasında tespit edilen %canlılığın 3.günde %145'lere kadar ulaştığı görüldü. Mayıs ayında 1.günde %73 – 117 arasında izlenen % canlılık 3.günde düşüş göstererek %67–96 arasında izlenmiştir. Bu veriler fizikokimyasal analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında, fizikokimyasal parametrelerin hepsinde Mayıs ayında bir yükselişin olduğu dikkat çekmiştir. Kışın yağan karların erimesiyle ve ilkbahar yağışlarının Mayıs ayında gübrelemenin başladığı tarım arazilerinden, gölet etrafındaki dağlık, ormanlık arazilerden taşınan madde ve minerallerin parametrelerdeki bu yükselişi başlattığını görmekteyiz.

Haziran ayında 1.günde %83-118 arasında izlenen % canlılık 3.günde bazı dozlarda düşme bazı dozlarda yükselme eğiliminde ve %73–108 aralığında izlenmiştir. Temmuz ayında 1.günde %53–111 arasında izlenen % canlılık 3.günde %71–111 aasında ve yükselme eğiliminde izlenmiştir. Ağustos ayında % canlılık 1.günde %38–119 arasında izlenirken 3.günde %53–137 arasında yükseliş eğiliminde gözlenmiştir. Fizikokimyasal parametrelerin konsantrasyonlarında Haziran ayında ciddi bir yükseliş göze çarpmaktadır. Artan sıcaklıkların ve göletten tarım arazilerine yapılan sulama çalışmalarının etkisiyle gölette su seviyesinde önemli ölçüde azalmalar gözlendi. Yine

bu dönemde, Mayıs sonu Haziran başı tarım arazilerinde yapılan gübrelemelerin de parametrelerin bu yükselişinde önemli payı vardır. Temmuz ayı ile birlikte paramtrelerin konsantrasyonlarında gözlenen düşüş hücre kültürü çalışmalarında belirgin bir şekilde izlenmiş, % canlılık oranları Temmuz ayı ile birlikte tekrar yükselişe geçmiştir.

Eylül ayında % canlılık 1.günde %76–122 arasında gözlendi. 3.günde %71–114 arasında 1.gün ve 3.günde hemen hemen aynı seviyelerde seyretmiştir. Ekim ayında 1.günde %64–116 arasında izlenen %canlılık, 3.gün %76–119 seviyelerinde ve 3.günde yükseliş eğiliminde gözlendi. Kasım ayı % canlılık %36–117 arasında izlenirken, 3.gün yükselişe geçerek %66–140 arasında izlendi. Temmuz ayından sonra düşüşe geçen fizikokimyasal parametreler Ekim sonu Kasım başı tarımsal arazilerde yapılan iki gübreleme sonucu tekrar yükselişe geçtiği görülmektedir. Özellikle trofik elementlerin konsatrasyonlarının artmasının hücre canlılığını olumlu yönde etkilediğini düşünüyoruz. Ayrıca fosfat iyonlarındaki artışın, özellikle mitokondriyal işlevleri ve enerji metabolizmasını olumlu yönde etkileyerek bu canlılık artışına katkı sağladığı bildirilmiştir (Emin vd., 2020).

Aralık ayında % canlılık 1.gün %76–107 aralığında iken 3.gün %86–116 arsında izlendi. Her iki günde dozlar karşılaştırıldığında küçük farklarla düşüş veya yükseliş eğilimi izlendi. Ocak ayında 1.günde %86–129 arasında izlenen % canlılık, 3.gün %96–144 arasında önemli bir yükseliş gösterdi. Şubat ayında 1.gün %78–148 aralığında çıkan %canlılık, 3.gün %103–166 arasında izlendi. Aralık ayı ile birlikte fizikokimyasal parametrelerin konsantrasyonlarında gözlenen ciddi düşüşler hücre kültürlerindeki % canlılık oranlarında da kendisini gösterdi. Parametrelerin en düşük konsantrasyonlarının izlendiği Ocak ve Şubat ayları, hücre kültürlerinde yıl boyunca gözlenen en yüksek % canlılık oranlarının da gözlendiği aylar oldu.

Hücre kültürü çalışmalarına total olarak bakıldığında % canlılığın en düşük olduğu aylarda bile gölet suyunun hücrelerde belirgin bir nekroza sebep olmadığı görüldü. Kontrol kültürleri ile karşılaştırıldığında, indüksiyonlu hücrelerde de kontrol hücrelerinde de apoptoz/nekroz normal seyrinde izlendiği gibi gölet suyunun hücre canlılığını koruduğu ve hatta teşvik ettiği gözlendi. Karadere Baraj Göleti'nde

yürütülen çalışmada, fizikokimyasal parametrelerin çoğunluğu I. sınıf su kalitesi özellikleri sergilerken, bazı parametreler ise II. veya III. sınıf su kalitesine işaret etmiştir. Standart testlerin yanı sıra gerçekleştirilen sitotoksik analizlerle, Karadere Baraj Göleti suyunun canlılar ve tarım ürünleri sulamasında kullanılmasının, insanlar üzerinde potansiyel toksik etkilerini belirlemeye yönelik bu çalışmaların sonucu olarak yapılan tespitler, söz konusu su kaynağının tarımsal faaliyetlerde kullanımının güvenilirliği ile suyun insanlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi açısından önemli sonuçlar sunmaktadır.

MTT analizleri ile hücre canlılığı ölçüldü. Peşinden yeni hücre kültürü ortamlarında LDH aktivitesi analizi ile kültürlerde apoptotic/nekrotik hücre ölümleri tespiti yapıldı. Aynı kültür ortamlarında, petrilerin bir kısmında hematoksilen – eosin boyaması ve bir kısmında da Live – Dead analizi yapılarak canlı ve ölü hücreler gözlendi.

İlkbahar numuneleri ile yapılan LDH analizlerinde 310 RLU – 1230 RLU arası düşük luminesans değerleri elde edildi. Aynı hücre kültürü ortamlarında Live – Dead analizi (Hoechst 33342/Propidium iodide boyamaları) ile hücre canlılığı ve apoptotik/nekrotik hücrelerin görüntüleri ışık mikroskobunda görüntülendi. MTT analizilerinde bulunan yüksek hücresel canlılık ile LDH aktivitesi ve Live – Dead analizleri ile HE boyama sonucu gözlenen, apoptotik/nekrotik hücre ölümlerindeki düşük oranlar birbirini destekler niteliktedir.

Yaz numuneleri ile yapılan LDH aktivitesi analizlerinde elde edilen luminesans değerleri 1079 RLU – 4923 RLU arasında bulundu. Alınan bu luminesans değerleri düşük de olsa ilkbahar numunelerinin luminesans değerlerinden daha yüksektir. Bu da yaz aylarındaki fizikokimyasal parametrelerin yükselen konsantrasyonlarını ve MTT analizlerindeki düşüşe geçen % canlılık oranlarını destekleyen sonuçlardır. Live – Dead analizi ve HE boyama ile elde edilen görüntüler de bu durumu desteklemektedir.

Sonbahar numuneleri ile yapılan LDH aktivitesi analizi sonuçlarına göre luminesans değerleri 771 RLU – 1430 RLU arasında bulundu. Haziran ayındaki kadar olmasada Kasım ayında tekrar yükselişe geçen fizikokimyasal parametrelerin konsantrasyonlarının etkisi MTT analizlerinde olduğu gibi LDH aktivitesi analizinde

de kendini göstermiştir. Yaz aylarına göre düşüş gösterse de apoptoz/nekroz oranları sonbaharda biraz daha yüksektir. Live – Dead analizleri ve HE boyama görüntüleri bu durumu desteklemektedir.

Kış numuneleri ile yapılan LDH aktivitesi sonuçlarına göre luminesans değerleri 602 RLU – 1268 RLU arasında bulundu. Kış ayları fizikokimyasal parametrelerin en düşük konsantrasyonlara sahip olduğu ve MTT analizlerinde en yüksek %canlılığın görüldüğü aylardır. Düşük LDH aktivitesi ve Live – Dead analizleri ile HE boyama görüntüleri de bu sonuçlarla paralellik göstermektedir.

Göletteki kirliliği anlamlandırmak ve su kalitesini belirlemek için bu çalışmada kullandığımız bir diğer yöntem de sediment analizleridir. Göletin tamamını temsil eden 5 istasyondan alınan numunelerin analiz sonuçlarına göre; sedimenti etkileyen PTE'lerin antropojenik mi yoksa doğal sebeplerden mi kaynaklandığını ve ekolojik risk değerlendirmelerini yapabilmek için bazı indeks hesaplama yöntemleri kullanıldı.

Mogan Gölü'nde yapılan çalışmada yüzey sediment örneklerinde organik karbon %0.88 - %6.30 arasında değişim göstermiş, toplam azot ise %0,1 - %0,7 arasında değişim göstermiştir (Binici ve Pulatsü, 2021). Cernek gölü'nde toplam organik karbon %1,8 - %2,84 arasında değişim göstermiştir (Cüce ve Bakan, 2017). Mogan ve Cernek gölleri yoğun antropojenik etki altında kalmış ve dip sedimanları organik kirleticiler açısından zenginleşmiş göllerdir. Bu sonuçlarla karşılaştırıldığında Karadere Baraj Göleti sedimanlarında bulunan organik kirleticilerin ortalama değerleri (TA: %0,220; TK: %3,85), kabul edilebilir sınırlardadırlar.

Kontaminasyon faktörü (CF) ve potansiyel kirlilik indeksi (PLI) veya kirlilik yük indisi, sucul sistemlerdeki kirliliği nicel olarak değerlendirmek ve farklı bölgeler veya dönemler arasında kirlilik seviyelerini karşılaştırmak için kullanılan yöntemlerdir. Bu değerlendirmeler, özellikle ağır metaller gibi toksik maddelerin sucul ortamlarda birikimini ve yayılımını anlaşılmasına yardımcı olur. İnsan sağlığına ciddi zararlar verebilen ve su ekosistemlerinde olumsuz etkiler yaratabilen ağır metallerin birikimi suda yaşayan organizmaların sağlığını bozabilir, besin zinciri boyunca yayılabilir ve sonuç olarak insanlara zarar verebilir. PLI genellikle çeşitli PTE'lerin

konsantrasyonlarını içeren bir dizi parametreyi içerir. Bu faktör, farklı kirletici maddelerin etkilerini birleştirerek genel bir kirlilik düzeyini belirlemeye yardımcı olur. Kontaminasyon faktörü ise genellikle bir bölgedeki belirli kirletici maddelerin miktarını değerlendiren bir ölçüttür. Bu indeks, çevresel etkiyi daha spesifik bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olur. Karadere Baraj Göleti'nde CF hesaplamalarına göre Cu ve Cd için kirlilik seviyeleri gözlenmektedir. Sedimentte Cd'nin varlığı zirai faaliyetlerde fosfatlı gübrelerin kullanıldığını düşündürmektedir. Özellikle 1. İstasyonda Cu için yüksek değerler ölçüldü. Gölette 1. İstasyon Karadere deresinin baraja döküldüğü nokta olarak seçilmiştir. Baraj göletinin etrafında yerleşim merkezi veya tarım arazileri olmamakla birlikte Karadere deresine bağlanan diğer dereler yerleşim alanlarına yakındır ve çevrelerinde tarım arazileri bulunmaktadır. Özellikle 1. İstasyonda Cu'nun diğer istasyonlara göre yüksek çıkmış olmasının antropojenik etkiyle akarsu yatağından sürüklenen alüvyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Cd miktarının fazla olmasının nedeni de fosfatlı gübrelerin birikmesi ile barajın kurulduğu yerin toprak özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gölette EF değerlerini incelediğimizde Cu, Cd ve Pb'nin zenginleştirme faktörlerinin 5 – 20 arasında ve önemli zenginleştirme seviyesinde olduğunu görüyoruz. Yine Cu'nun 1.İstasyondaki sonucunu değerlendirdiğimizde (EF=21,79) gölet sedimentinde Cu için çok yüksek zenginleştirmeden bahsedebiliriz. Aynı şekilde $I_{geo}$ sonuçları da 1. İstasyonda Cu (1,29) ile ilgili bir kirliliğin söz konusu olduğunu düşündürmektedir. $E_r^i$ sonuçları ise Cd'un bütün istasyonlarda bir ekolojik risk oluşturabileceğini göstermektedir.

Ancak tüm bunlara mukabil PLI değerleri 0,25 – 0,31 arasında hesaplanmıştır. Bu değerler 1 seviyesinin altındadır. PLI değerlerinin 1 seviyesini aşmış olmasının gelecekteki muhtemel kirlilik riskelerine işaret ettiği bildirilmiştir (Fural ve Kükrer, 2021). Dolayısıyla göletin geneline bakıldığında PTE'lerin sebep olduğu belirgin bir kirlilik görülmemektedir.

Bütün bu indeks hesaplamalarının sonuçları karşılaştırıldığında, baraj göletini besleyen dere ve bu dereye bağlanan diğer derelerden gelen antropojenik etkilerle birlikte, baraj inşasından sonra gölet zemininde ağaç ve bitki kalıntılarını temizleme

çalışmaları yapılmadan göletin suyla doldurulmuş olmasından kaynaklanan etkiler ile PTE konsantrasyonlarının etkilediğini düşünmekteyiz. Gölet zeminindeki ağır organik yük yıllar içerisinde çürümüş ve dip sedimentinin yapısına katılmıştır. Yine akarsuyun taşıdığı kirleticiler PTE'lerin yükünü artımıştır. Bu kadar yüksek metal içeriğinin gölet suyunun kalitesini etkilemesi beklenir. Ne var ki aynı metallerin gölet suyunda tespit edilen miktarları, sedimentteki miktarlarının yanında eser miktarda kalmaktadır. Sedimantasyon hızına bağlı olarak, sediment metal konsantrasyonu mevsimsel olarak değişebilir veya uzun süre sabit kalabilir ve ekolojik riskin en iyi göstergelerinden biri olarak kabul edilir. Ancak sediment metalleri, çözünmüş oksijen, toplam organik-inorganik karbon, pH ve oksidasyon (BOİ, KOİ) azalmasındaki değişiklikler nedeniyle suya geri salınabilir (Fural vd., 2021). Yapılan bu çalışmada bu parametreler için yıl boyunca çok büyük değişimlerin görülmemiş olması nedeniyle sedimentten suya geçişin olmadığını söyleyebiliriz. Ayrıca gölet üzerinde dört yıldır sorunsuz faaliyet gösteren alabalık tesisinin varlığı bu görüşümüzü desteklemektedir. Mevcut kirliliğe bu iki alabalık tesisinin çok az da olsa etkisi olmakla beraber, alabalıkların yaşamını sorunsuz devam ettirebilmeleri, üremeleri ve çoğalmaları için içme suyu kalitesinde suya ihtiyaç olduğu bilinmektedir. Doğal göller ve baraj gölleri, alabalık yetiştiriciliği için uygun su kaynakları olarak kullanılabilir. Özellikle yüksek kesimlerdeki göl suları, soğuk, temiz ve akarsulara göre daha üretken olabilirler, bu nedenle alabalık yetiştiriciliği için elverişli alanlar sunarlar. 1995 yılından itibaren doğal göller ve baraj gölleri, alabalık yetiştiriciliği için yüzer ağ kafes sistemleri kullanılarak başarılı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemde alabalıklar, suyun üstünde bulunan kafeslere yerleştirilir ve bu kafesler göl veya göletlerde yüzer durumda tutulur. Bu yaklaşım, alabalık yetiştiriciliği için etkili ve kontrol edilebilir bir çözüm sunar (URL-2, 2023)

Bu tür değerlendirmeler, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliği açısından büyük öneme sahiptir. Kirlilik faktörü ve kirlilik yük indisi kullanarak sucul sistemlerin sağlığını izlemek ve kirleticilerin etkilerini minimize etmek için uygun tedbirler alınabilir.

Ayrıca Karadere Baraj Göleti'nin suyunda Radon konsanrasyonu ölçümü yapıldı. Radon gazının solunması ve yutulması halinde akciğer ve mide kanserleri için birincil

sağlık riski olduğu düşünülmektedir. Radon suda çözünür bir gazdır, bu nedenle yeraltındaki kayalarda ve toprakta bulunan uranyumun çürümesi sonucu oluşan radon gazı, yer altı su kaynaklarından kolayca geçebilir. Radon, yerüstü sularda çözünen ve yüzeyden havaya salınan bir gazdır. Ancak bir miktar radon suda kalabilir. Üstelik toprak, inşaat malzemeleri ve yeraltı suları radon gazı yayılımının ana kaynaklarıdır. Radon konsantrasyonları, özellikle içme suyunun yeraltı kaynaklarından geldiği bölgelerde veya uranyum açısından zengin kayaların bulunduğu yerlerde önemli sağlık riskine sebep olabilir. Su kaynaklı radon, insanların maruz kaldığı radyasyon dozuna bağlı olarak, sudaki diğer tüm kirleticilerden daha yüksek bir risk olabilir (Kurnaz ve Çetiner, 2016). Bu sebeple göletin tamamını temsil eden 5 istasyondan alınan su numunelerinde Radon konsantrasyon ölçümleri yapıldı. En düşük Radon konsantrasyonu 4 $Bq/m^3$, en yüksek ise 7 $Bq/m^3$ olarak ölçüldü. Gölet ortalaması 5,4 $Bq/m^3$'tür. ABD Çevre Koruma Ajansı ve Avrupa Birliği verilerine göre Radon gazı konsantrasyonu 100 $Bq/m^3$ seviyesine kadar tehdit oluşturmaz (Kurnaz ve Çetiner, 2016).

# 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tatlı su kaynaklarının su kalitesinin klasik yöntemlerle ve sediment analizleri ile belirlenmeye çalışılması günümüze kadar uygulanan yöntemlerdir. Sunulan doktora çalışmasında, bilinen yöntemlere ek olarak, su kalitesinin; memeli canlılar üzerine etkilerinin in vitro analizlerle belirlenmesi amaçlanmış; bir yıl süreyle göleti temsil eden üç istasyondan aylık alınan su örneklerinin fizikokimyasal analizleri, ağır metal kirliliği ve sediment analizi ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım ile rutin yöntemlerle belirlenen su kalitesi derecesi ile su örneklerinin memeliler üzerine olası etkilerinin hızlı bir şekilde tespiti ve su kalitesinin belirlenmesinde canlı hücrelerin kullanımına dayalı testlerin etkinliği araştırılmıştır.

Karadere Baraj Göleti'nde belirlenen üç istasyondan aylık alınan su örneklerinde, in vitro analizler ile eş zamanlı olarak yapılan fizikokimyasal analizler sonucu SWQRM'a göre göletin su kalitesi berlilendi. YSKY kriterlerine göre Karadere Baraj Göleti'nde su kalitesi pH ve nitrat seviyesine göre III. sınıf, nitrit seviyesine göre II. sınıf ve kalan diğer parametrelere göre de I. Sınıf olarak tespit edildi.

Sularda sitotoksik analizler hakkında günümüzde yeterli sayıda çalışma ve sınıflandırma basamaklarını oluşturacak yeterli veri seti yoktur. Bu nedenle, su kalitesinin sınıfını belirlemek için henüz tek başına yeterli kriterleri sağlamamaktadır. Ancak, tez kapsamında elde edilen veriler çok değerleri sonuçlar vermis olup, tek başına fizikokimyasal parametrelerle yapılan kirlilik tespitinin canlılar üzerine etkisinin anlaşılmasında aslında yeterli olmadığını göstermiştir. Örneğin, nitrat ve pH'ye göre III. sınıf özellikleri taşıyan gölette kirliliğin pik yaptığı Haziran ayında, in vitro kültürdeki her doz oranı için yüksek canlılık ve çok düşük apoptoz/nekroz oranları belirlenmiştir. Bu durum, yürürlükteki mevzuata göre Karadere Baraj Göleti'nde alabalık yetiştirilmesinde bazı aylarda bir takım olumsuz durumlar oluşabileceğini belirtmesine rağmen, gölette alabalık yetiştiriciliğinin neden artarak devam ettiğini açıklamaktadır.

Sonuç olarak yapılan bu tez çalışması göstermiştir ki; sitotoksisiteye dayalı analizler ve sediment analizleri bir yıl boyunca göletin bütününü temsil eden üç istasyondan her

ay alınan su örneklerinin fizikokimyasal analizler ile kalite sınıfının ve kullanım amçlarının belirlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Bununla birlikte, günümüzde iki yıl boyunca takip edilmesi gerektiği üzerinde durulan fizikokimyasal ve ağır metal kirlilik analizlerine alternatif olarak hızlı ve güvenilir sonuçlar verebilecek nitelikte oldukları kanısına varılmıştır. Bu sayede, bir su havzasının güvenilirliği hakkında bir hafta gibi kısa bir sürede sonuçlar elde edilebilecektir. Benzer şekilde özellikle iklim değişikliği ve çevresel kirleticilerin etkilerinin takibinde yıllık olarak periyodik yapılmasının hem daha ekonomik hem de canlılığın devamı üzerine etkilerinin doğrudan öğrenilmesi bakımından uygun olacağı önerilmektedir.

## KAYNAKLAR


Abdel-Baki, A. S., Dkhil, M. A., & Al-Quraishy, S. (2011). Bioaccumulation of some heavy metals in tilapia fish relevant to their concentration in water and sediment of Wadi Hanifah, Saudi Arabia. African Journal of Biotechnology, 10(13), 2541-2547.

Affum, A. O., Dede, S. O., Nyarko, B. J. B., Acquaah, S. O., Kwaansa-Ansah, E. E., Darko, G., ... & Fianko, J. R. (2016). Influence of small-scale gold mining and toxic element concentrations in Bonsa river, Ghana: A potential risk to water quality and public health. Environmental Earth Sciences, 75, 1-17.

Ahirvar, B. P., Das, P., Srivastava, V., & Kumar, M. (2023). Perspectives of heavy metal pollution indices for soil, sediment, and water pollution evaluation: An insight. Total Environment Research Themes, 6, 100039.

Åkerblom, G. (1999). Radon legislation and national guidelines (No. SSI--99-18). Swedish Radiation Protection Inst..

Akhtar, N., Syakir Ishak, M. I., Bhawani, S. A., & Umar, K. (2021). Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. Water, 13(19), 2660.

Akkoyunlu, A., & Akiner, M. E. (2012). Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. Ecological Indicators, 18, 501-511.

Ali, A., Lemckert, C. J., Zhang, H., & Dunn, R. J. (2014). Sediment dynamics of a very shallow subtropical estuarine lake. *Journal of Coastal Research*, *30*(2), 351-361.

Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of chemistry,* 2019.

Alzaridi, F. M. N. S., & Kurnaz, A. (2022). Determination of concentration levels of toxic elements and radon in drinking waters consumed in Kastamonu province, Turkey. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 102(19), 8538-8549.

Asri, F. Ö., Sönmez, S., & Çitak, S. (2007). Kadmiyumun çevre ve insan sağliği üzerine etkileri. Derim, 24(1), 32-39.

Atay, D. & Pulatsü, S. (2000). Su kirlenmesi ve kontrolü. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1513, Ders Kitabı, 292 s.*, Ankara.

Atom Kanunu, 2000. Atomic Law of Poland, Journal of Laws of 2019, item 1792 and of 2020, items 284 and 322 (in Polish).

Bai, J., Huang, L., Yan, D., Wang, Q., Gao, H., Xiao, R., & Huang, C. (2011). Contamination characteristics of heavy metals in wetland soils along a tidal ditch of the Yellow River Estuary, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *25*, 671-676.

Bakar, C. & Baba, A., (2009). *Metaller Ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne Ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu*, 1.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, 30 Ekim–1 Kasım 2009, Ürgüp Bld., Kültür Merkezi, Ürgüp/ Nevşehir

Bhat, S. A., Meraj, G., Yaseen, S., & Pandit, A. K. (2014). Statistical assessment of water quality parameters for pollution source identification in Sukhnag stream: an inflow stream of lake Wular (Ramsar Site), Kashmir Himalaya. Journal of Ecosystems, 2014.

Bhateria, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. Sustainable Water Resources Management, 2, 161-173.

Binici, A., & Pulatsü, S. (2021). Mogan Gölü (Ankara)'nde Sediment Taramasının Yüzey Sedimenti Besin Elementlerine Etkisinin Belirlenmesi. *Ziraat Mühendisliği*, (373), 61-68.

Boyd, C. E. (1998). Water quality for pond aquaculture.

Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). Pond aquaculture water quality management. *Springer Science & Business Media*.

Cüce, H., & Bakan, G. (2017). Sığ sularda nutrient seviyelerine sediman kalitesinin etkisinin konumsal olarak değerlendirilmesi: Cernek Gölü örneği. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *5*(5), 546-555.

Demir, T., Mutlu, E., Aydın, S., & Gültepe, N. (2021). Physicochemical water quality of Karabel, Çaltı, and Tohma brooks and blood biochemical parameters of Barbus plebejus fish: assessment of heavy metal concentrations for potential health risks. Environmental monitoring and assessment, 193, 1-15.

Dikmen, B. Y., Aydin, F. G., Tutun, H., & Sevin, S. (2020). Antropojenik Kaynaklı Sucul Toksisitenin Belirlenmesinde Alternatif ve Yeni Bir Yaklaşım Olarak PLHC-1 ve RTG-2 Hücre Hatlarının Kullanılması ve CYP1A1 Biyobelirteci ile Birlikte Değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, *23*(1), 247-258.

Dobrzynska, M. M., Gajowik, A., & Wieprzowski, K. (2023). Radon-occurrence and impact on the health. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, 74(1).

Durbarow, R.M., Crosby,D.M. & Brunson, M.W. (1997). Nitrite in fish ponds. *Southern Regional Aquaculture Center, Publicaton Number: 462.*

Effendi, H. (2016). River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. Procedia Environmental Sciences, 33, 562-567.

Emin, N., Mutlu, E., & Güzel, A. E. (2020). Determination the effectiveness of the cytotoxic analysis on the water quality assessments. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *8*(2), 478-483.

Emin Güzel, A. (2019). *Gümüşsuyu Göleti (Erfelek-Sinop)'nin Su Kalitesinin Değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Kastamonu Üniversitesi).

Emin, N., Koç, A., Durkut, S., Elçin, A. E., & Elçin, Y. M. (2008). Engineering of rat articular cartilage on porous sponges: Effects of TGF-β 1 and microgravity bioreactor culture. *Artificial Cells, Blood Substitutes and Biotechnology*, *36*(2), 123-137.

Erkekoğlu, P., & Baydar, T. (2021). Güncel in vitro sitotoksisite testleri. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy, 41(1*), 45-63.

Falowo, O., Oluwasegunfunmi, V., Akindureni, Y., Olabisi, W., & Aliu, A. (2019). Groundwater physicochemical characteristics and water quality index determination from selected water wells in Akure, Ondo State, Nigeria. *American Journal of Water Resources*, 7(2), 76-88.

Fawell, J., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2003). Contaminants in drinking water: Environmental pollution and health. *British medical bulletin*, 68(1), 199-208.

Filazi, A., Dikmen, B. Y., & Kuzukıran, Ö. (2016). Balık toksikolojisi. Turkiye Klinikleri Veterinary Sciences-Pharmacology and Toxicology-Special Topics, 2, 69-84.

Fotakis, G., & Timbrell, J. A. (2006). In vitro cytotoxicity assays: comparison of LDH, neutral red, MTT and protein assay in hepatoma cell lines following exposure to cadmium chloride. *Toxicology letters, 160(2*), 171–177.

François, D., & Youssef, Z. (2023). Where to measure water quality? Application to nitrogen pollution in a catchment in France. Journal of Environmental Management, 326, 116721.

Fural, Ş., & Kükrer, S. (2021). Sulak alanlarda potansiyel toksik element (PTE) kaynaklı bölgesel ekolojik risk araştırmalarında kullanılan analitik metotlar. Türk Coğrafya Dergisi, (77), 211-222.

Fural, Ş., Kükrer, S., Cürebal, İ., & Aykır, D. (2021). Spatial distribution, environmental risk assessment, and source identification of potentially toxic metals in Atikhisar dam, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment, 193*, 1-16.

Gao, J., Deng, G., Jiang, H., Wen, Y., Zhu, S., He, C., ... & Cao, Y. (2023). Water quality pollution assessment and source apportionment of lake wetlands: A case study of Xianghai Lake in the Northeast China Plain. Journal of Environmental Management, 344, 118398.

Gençer, E., & Başaran, C. (2023). Water quality assessment and pollution of Akarçay River, Türkiye. Kuwait Journal of Science. Doi. https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.07.003

Gómez-Gutiérrez, A., Garnacho, E., Bayona, J. M., & Albaigés, J. (2007). Screening ecological risk assessment of persistent organic pollutants in Mediterranean sea sediments. Environment International, 33(7), 867-876.

Goodyear, K. L., & McNeill, S. (1999). Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macro-invertebrates of different feeding guilds: a review. Science of the Total Environment, 229(1-2), 1-19.

Göksu, M. Z. L., Çevik, F., Fındık, Ö., & Sarıhan, E. (2003). Seyhan Baraj Gölü'ndeki aynalı sazan (Cyprinus carpio L., 1758) ve sudak (Stizostedion lucioperca L., 1758)'larda Fe, Zn, Cd düzeylerinin belirlenmesi. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 20(1), 69-74.

Göksu, M.Z.L. (2003). Su kirliliği (ders kitabı). *Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:7, s.232,* Balcalı – Adana.

Gupta, T., & Paul, M. (2013). The seasonal variation in ionic composition of pond water of Lumding, Assam, India. Current World Environment, 8(1), 127-131.

Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, *14*(8), 975-1001.

Hemachandra, S. C. S. M., & Sewwandi, B. G. N. (2023). Application of water pollution and heavy metal pollution indices to evaluate the water quality in St. Sebastian Canal, Colombo, Sri Lanka. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 20, 100790.

Hossain, M., & Patra, P. K. (2020). Water pollution index–A new integrated approach to rank water quality. Ecological Indicators, 117, 106668.

Huang, G. H., & Xia, J. (2001). Barriers to sustainable water-quality management. *Journal of Environmental Management*, 61(1), 1-23.

Icaga, Y. (2007). Fuzzy evaluation of water quality classification. Ecological Indicators, 7(3), 710-718.

Jaffar, A., M Thamrin, N., Megat Ali, M. S. A., Misnan, M. F., & Mohd Yassin, A. I. (2020). The influence of physico-chemical parameters to determine water quality: a review. *Journal of Electrical And Electronic Systems Research*, 17, 116-121.

Jitar, O., Teodosiu, C., Oros, A., Plavan, G., & Nicoara, M. (2015). Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms from the Romanian sector of the Black Sea. New biotechnology, 32(3), 369-378.

Karakoc, G., Erkoç, F. Ü., & Katırcıoğlu, H. (2003). Water quality and impacts of pollution sources for Eymir and Mogan Lakes (Turkey). Environment International, 29(1), 21-27.

Kelderman, P. (2002). Pollution sources and abatement measures for dredged sediments in the city of Delft (The Netherlands). *European Water Management Online*, *4*(1), 12.

Kelderman, P., Drossaert, W. M. E., Min, Z., Galione, L. S., Okonkwo, L. C., & Clarisse, I. A. (2000). Pollution assessment of the canal sediments in the city of Delft (the Netherlands). *Water Research*, *34*(3), 936-944.

Kelderman, P., Xuedong, Y., & Drossaert, W. M. E. (2005). Sediment pollution with respect to heavy metals and organic micropollutants in the city canals of Delft (The Netherlands)—assessment of a data base of 188 sediment stations. *Hennef: European Water Association (EWA)*.

Kelderman, P., Xuedong, Y., & Drossaert, W. M. E. (2005). Sediment pollution with respect to heavy metals and organic micropollutants in the city canals of Delft (The Netherlands)—assessment of a data base of 188 sediment stations. *Hennef: European Water Association* (EWA).

Koca, Y. B., Koca, S., Yıldız, Ş., Gürcü, B., Osanç, E., Tunçbaş, O., & Aksoy, G. (2005). Investigation of histopathological and cytogenetic effects on Lepomis gibbosus (Pisces: Perciformes) in the Çine stream (Aydın/Turkey) with determination of water pollution. *Environmental Toxicology: An International Journal,* 20(6), 560-571.

Kong, Y., He, W., Shen, J., Yuan, L., Gao, X., Ramsey, T. S., ... & Sun, F. (2023). Adaptability analysis of water pollution and advanced industrial structure in Jiangsu Province, China. Ecological Modelling, 481, 110365.

Kouba, A., Buřič, M., & Kozák, P. (2010). Bioaccumulation and effects of heavy metals in crayfish: a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 211, 5-16.

Kurnaz, A. S. I. L., & Çetiner, M. A. (2016). Exposure assessment of the radon in residential tap water in Kastamonu. *International Journal of Radiation Research*, 14(3), 245.

Kurnaz, A., Mutlu, E., & Uncumusaoğlu, A. A. (2016). Determination of water quality parameters and heavy metal content in surface water of Çiğdem Pond (Kastamonu/Turkey). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(10), 907-913.

Kükrer, S., Şeker, S., Abacı, Z. T., & Kutlu, B. (2014). Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of northern littoral zone of Lake Çıldır, Ardahan, Turkey. Environmental monitoring and assessment, 186, 3847-3857.

Lawson, T.B. (1995). Fundamentals of agriculture engineering. *Chapman and Hall, 335p.,* Newyork.

Li, J., Luo, G., He, L., Xu, J., & Lyu, J. (2018). Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: a review. Critical reviews in analytical chemistry, 48(1), 47-65.

Liu, L., & You, X. Y. (2023). Water quality assessment and contribution rates of main pollution sources in Baiyangdian Lake, northern China. Environmental Impact Assessment Review, 98, 106965.

Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, A. J., ... & Wang, T. (2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. *Environment international*, 77, 5-15.

Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (Eds.). (2019). *Aquaculture: Farming aquatic animals and plants.* John Wiley & Sons.

MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., & Berger, T. A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of environmental contamination and toxicology*, *39*, 20-31.

Maillard, P., & Santos, N. A. P. (2008). A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed–Brazil. Journal of Environmental Management, 86(1), 158-170.

Martius, C., Froebrich, J., & Nuppenau, E. A. (2009). Water resource management for improving environmental security and rural livelihoods in the irrigated Amu Darya lowlands. *In Facing global environmental change: environmental, human, energy, food, health and water security concepts* (pp. 749-761).

Mavraganis, T., Tsoumani, M., Kolygas, M., Chatziefstathiou, M., & Nathanailides, C. (2021). Using seasonal variability of water quality parameters to assess the risk of aquatic pollution from rainbow trout fish farms in Greece. International Journal of Energy and Water Resources, 5, 379-389.

MEB, (2011). *Çevre sağlığı; Suların analiz parametreleri*. 850CK0011, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

MEB, 2013. *Doku Preparatını Boyama. Laboratuvar Hizmetleri*, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2013.

Milovanovic, M. (2007). Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe. *Desalination*, 213(1-3), 159-173.

Mosmann, T. (1983). Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. *Journal of immunological methods*, 65(1-2), 55-63.

Mutlu, E. (2019). Evaluation of spatio-temporal variations in water quality of Zerveli stream (northern Turkey) based on water quality index and multivariate statistical analyses. *Environmental monitoring and assessment*, 191(6), 335.

Mutlu, E., & Uncumusaoğlu, A. A. (2017). Investigation of the water quality of Alpsarı Pond (Korgun-Çankırı). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(6), 1231-1243.

Mutlu, E., & Uncumusaoğlu, A. A. (2017). Investigation of the water quality of Alpsarı Pond (Korgun-Çankırı). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 17(6), 1231-1243.

Mutlu, E., & Yanık, P. (2012). Batıayaz Deresi (Samandağ) Su Kalitesinin Fiziko-Kimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi.

Mutlu, E., Arslan, N., & Tokatlı, C. (2021). Water quality assessment of Yassialan Dam Lake (Karadeniz Region, Turkey) by using principle component analysis and water quality index. *Acta Scientiarum Polonorum-Formatio Circumiectus*, 20(2), 55-65.

Mutlu, E., Arslan, N., & Tokatlı, C. (2021). Water quality assessment of Boyalı Dam Lake (Sinop, Turkey) by using ecological and statistical indicators. Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus, 20(1), 77-85.

Mutlu, E., Arslan, N., & Tokatli, C. (2021). Assessıng Water Qualıty Of Boyalı Dam Lake (Sınop, Turkey) By Usıng Ecologıcal And Statıstıcal Indıcators. *Acta Scientiarum Polonorum: Formatio Circumiectus*, 20(1).

Mutlu, E., Kutlu, B., & Demir, T. (2014). Investigation The Water Qualıty Of Çimenyenice Lake (Hafik-Sivas).

Mutlu, E., Yanık, T., & Demir, T. (2013). Horohon Deresi (Hafik-Sivas) su kalitesi özelliklerinin aylık değişimleri. Alınteri Zirai Bilimleri Dergisi, 25, 45.

Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal* 2: 108-118.

Patil, P. N., Sawant, D. V., & Deshmukh, R. N. (2012). Physico-chemical parameters for testing of water–A review. *International journal of environmental sciences*, 3(3), 1194-1207.

Pittenger, M. F., Discher, D. E., Péault, B. M., Phinney, D. G., Hare, J. M., & Caplan, A. I. (2019). Mesenchymal stem cell perspective: cell biology to clinical progress. *NPJ Regenerative medicine*, 4(1), 22.

Poggi, A., Musso, A., Dapino, I., & Zocchi, M. R. (2014). Mechanisms of tumor escape from immune system: role of mesenchymal stromal cells. Immunology letters, 159(1-2), 55-72.

Prasad, R., & Koch, B. (2016). In vitro Anticancer Activities of Ethanolic Extracts of Dendrobium crepidatum and Dendrobium chrysanthum against T-cell lymphoma. *J. Cytol. Histol*, *7*, 1000432.

Rice, R. G., Robson, C. M., Miller, G. W., & Hill, A. G. (1981). Uses of ozone in drinking water treatment. *Journal-American Water Works Association*, 73(1), 44-57.

Shankar, B. S. (2019). A critical assay of heavy metal pollution index for the groundwaters of Peenya Industrial Area, Bangalore, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(5), 289.

Sharma, S., & Bhattacharya, A. J. A. W. S. (2017). Drinking water contamination and treatment techniques. *Applied water science*, 7(3), 1043-1067.

Simoes, J. P. C., & Schoning, P. (1994). Canine mast cell tumors: a comparison of staining techniques. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 6(4), 458-465.

Sönmez, A., Hisar, O., & Yanık, T. (2012). Karasu Irmağında ağır metal kirliliğinin tespiti ve su kalitesine göre sınıflandırılması. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 43(1), 69-77.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, Sayı: 25687, 31 Aralık 2004

Sun, S., Konar, M., Tang, Q., Fu, G., Fang, C., Wang, J., Ni, Y., & Ma, T. (2023). Tracing surface water pollution in China's supply chain. Journal of Hydrology, 129960.

Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental geology*, *39*, 611-627.

Swartz, R. C. (1999). Consensus sediment quality guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, *18*(4), 780-787.

Şeker,T., 2023. Harici Manyetik Alan Kontrollü Nanoyapılı İlaç Hedeflendirme Taşıyıcısı Tasarımı Ve Uygulamaları. T.C. Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İleri Malzemeler Ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2023.

Şener, E., Şener, Ş., & Bulut, C. (2023). Assessment of heavy metal pollution and quality in lake water and sediment by various index methods and GIS: A case study in Beyşehir Lake, Turkey. Marine Pollution Bulletin, 192, 115101.

Tanjung, R. H. R., & Hamuna, B. (2019). Assessment of water quality and pollution index in coastal waters of Mimika, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 20(2).

Taş, B. (2006). Derbent Baraj Gölü (Samsun) Su Kalitesinin İncelenmesi. Ekoloji, 16(61), 6-15.

Tebliğ. Orman ve Su İşleri Bakanlığından:Yer Üstü Suları, Yer Altı Suları Ve Sedimentten Numune Alma Ve Biyolojik Örnekleme Tebliği, *Resmi Gazete*, sayı: 29274, 21 Şubat 2015

Tepe, Y., & Mutlu, E. (2004). Hatay Harbiye Kaynak Suyu'nun fizikokimyasal özellikleri. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, (006), 77-88.

Tepe, Y., Ateş, A., Mutlu, E., & Töre, Y. (2006). Hasan Çayı (Erzin-Hatay) Su Kalitesi Özellikleri ve Aylık Değişimleri. Su Ürünleri Dergisi, 23(1), 149-154.

Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., & Lecocq, T. (2021). When more is more: taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological reviews*, 96(2), 767-784.

Tokur, O., & AKSOY, A. (2017). In Vitro Sitotoksisite Testleri. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, *6*(1), 112-118.

Tosta, T. A. A., de Faria, P. R., Neves, L. A., & do Nascimento, M. Z. (2019). Computational normalization of H&E-stained histological images: Progress, challenges and future potential. *Artificial intelligence in medicine*, 95, 118-132.

Turekian, K. K., & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological society of America bulletin*, *72*(2), 175-192.

Tzortziou, M., Loughner, C. P., Goldberg, D. L., Judd, L., Nauth, D., Kwong, C. F., ... & Abuhassan, N. (2023). Intimately tracking NO2 pollution over the New York City-Long Island Sound land-water continuum: An integration of shipboard, airborne, satellite observations, and models. Science of The Total Environment, 897, 165144.

Uncumusaoğlu, A. A., & Mutlu, E. (2021). Water quality assessment in Karaboğaz Stream Basin (Turkey) from a multi-statistical perspective. Polish Journal of Environmental Studies, 30(5), 4747-4759.

URL-1: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Alabalık Yetiştiriciliği İçin Su Kalite Kriterleri, pdf, (tarimorman.gov.tr). https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi/2-%20Alabal%C4%B1k%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi%20%C4%B0%C3%A7in%20Su%20Kalite%20Kriterleri.pdf Erişim tarihi 06.08.2023.

URL-2: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Denizcilik, Alabalık Yetiştiriciliği, 2015. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/169249/mod_resource/content/0/Alabal%C4%B1k%20Yetis%CC%A7tiricilig%CC%86i%20II.pdf#:~:text=Bu%20nedenle%20alabal%C4%B1k%20yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Finde%20kullan%C4%B1lacak,kimyasal%20%C3%B6zellikleri%20y%C3%B6n%C3%BCnden%20iyice%20incelenmelidir.&text=Ba%C5%9Fta%20alabal%C4%B1k%20olmak%20%C3%BCzere%20so%C4%9Fuk,ve%20i%C3%A7me%20suyu%20%C3%B6zelliklerine%20sahiptir. Erişim tarihi 09.08.2023.

Ustaoğlu, F., & Tepe, Y. (2019). Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. International Soil and Water Conservation Research, 7(1), 47-56.

Ustaoğlu, F., Islam, M. S., & Tokatli, C. (2022b). Ecological and probabilistic human health hazard assessment of heavy metals in Sera Lake Nature Park sediments (Trabzon, Turkey). Arabian Journal of Geosciences, 15(7), 597.

Ustaoğlu, F., Kükrer, S., Taş, B., & Topaldemir, H. (2022a). Evaluation of metal accumulation in Terme River sediments using ecological indices and a bioindicator species. Environmental Science and Pollution Research, 29(31), 47399-47415.

Varol, M., Ustaoğlu, F., & Tokatlı, C. (2022). Ecological risk assessment of metals in sediments from three stagnant water bodies in Northern Turkey. *Current Pollution Reports*, *8*(4), 409-421.

Vellasamy, S., Sandrasaigaran, P., Vidyadaran, S., George, E., & Ramasamy, R. (2012). Isolation and characterisation of mesenchymal stem cells derived from human placenta tissue. *World journal of stem cells*, 4(6), 53.

Vernay, P., Gauthier-Moussard, C., & Hitmi, A. (2007). Interaction of bioaccumulation of heavy metal chromium with water relation, mineral nutrition and photosynthesis in developed leaves of Lolium perenne L. *Chemosphere*, 68(8), 1563-1575.

Wang, F., Zhang, P., Yan, W., Jia, M., Su, X., Wang, J., & Tian, S. (2023). Riverine organic pollution source and yield from the whole Changjiang river network: Effects of urbanization under changing hydrology. Journal of Hydrology, 620, 129544.

Wang, J., Zhao, X., Wu, A., Tang, Z., Niu, L., Wu, F., Wang, F., Zhao, T. & Fu, Z. (2021). Aggregation and stability of sulfate-modified polystyrene nanoplastics in synthetic and natural waters. Environmental Pollution, 268, 114240.

Wang, Y., Huso, D. I., Harrington, J., Kellner, J., Jeong, D. K., Turney, J., & McNiece, I. K. (2005). Outgrowth of a transformed cell population derived from normal human BM mesenchymal stem cell culture. *Cytotherapy*, 7(6), 509-519.

Xiong, J., Zheng, Y., Zhang, J., Quan, F., Lu, H., & Zeng, H. (2023). Impact of climate change on coastal water quality and its interaction with pollution prevention efforts. Journal of Environmental Management, 325, 116557.

Yanbo, W., Wenju, Z., Weifen, L., & Zirong, X. (2006). Acute toxicity of nitrite on tilapia (Oreochromis niloticus) at different external chloride concentrations. Fish Physiology and Biochemistry, 32, 49-54.

# EKLER

# EKLER

**EK A** Karadere Baraj Göleti ve çevresine ait fotoğraflar




**Şekil 0.1** Karadere Barajı gövdesi, savaklar ve baraj gölü



**Şekil 0.2** Gölette bulunan alabalık tesisleri

**EK A.1** Karadere Baraj Göleti ve çevresine ait fotoğraflar

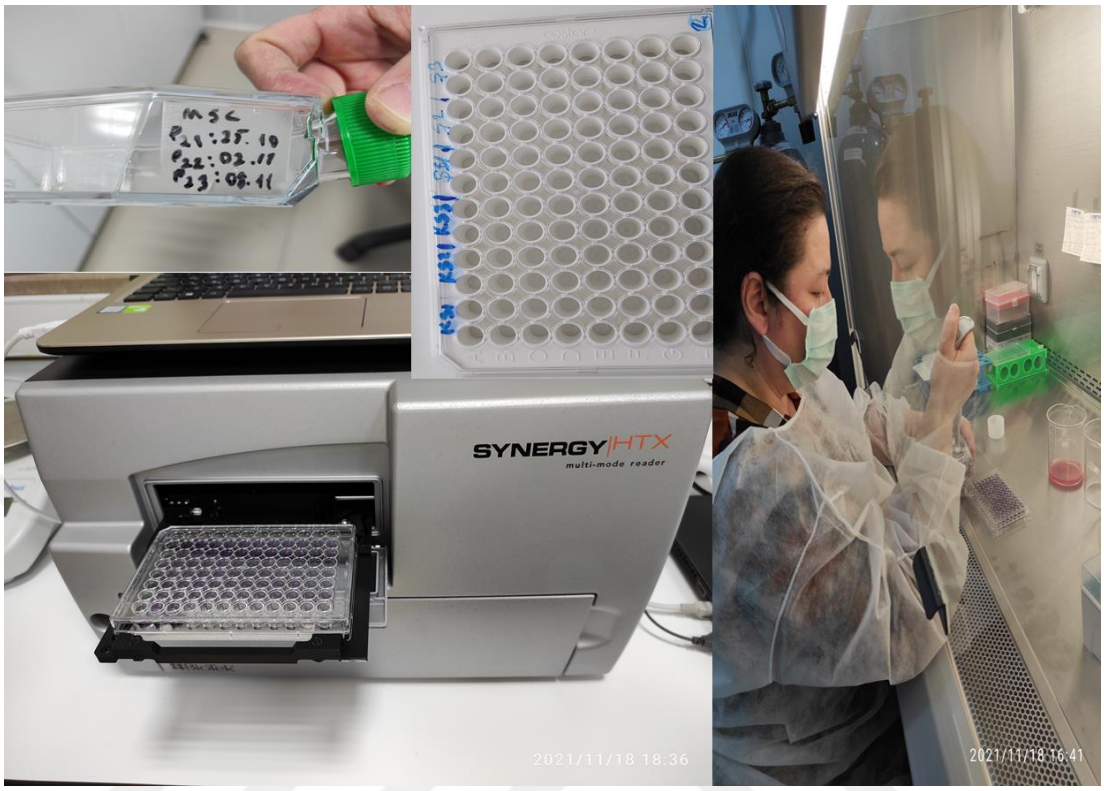



**Şekil 0.3** Göletin çevresinde OGM'nin yol çalışmaları



**Şekil 0.4** Karadere Baraj Göleti ve çevresine ait görüntüler ile bölgenin meşcere haritası

**EK B** Laboratuvar çalışmaları




**Şekil 0.5** Sitotksik analizlerin çalışılması (Doku Kültür Laboratuvarı)