



## Atasu Barajı havzasının (Maçka-Trabzon) su kalitesi Water quality of Atasu Dam basin (Maçka-Trabzon)

Fatma GÜLTEKİN<sup>1\*</sup>, Esra HATİPOĞLU TEMİZEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.  
fatma@ktu.edu.tr, esrahatipoglu@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 26.09.2023  
Kabul Tarihi/Accepted: 19.05.2024

Düzeltilme Tarihi/Revision: 27.03.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.65712  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmada Atasu baraj gölü havzasında ulusal ve uluslararası standartlarda önerilen parametrelere göre su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca uygun olarak baraj gölünü besleyen kollardan ve baraj gölünden iki ay aralıklarla pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) ve çözünmüş oksijen (DO) parametreleri yerinde ölçülmüştür. Belirlenen noktalardan alınan örneklerde ana anyon ve katyonlar, besin elementleri parametreleri (nitrat, nitrit gibi), inorganik kirlenme ve bakteriyolojik parametreler ile iz metaller analiz edilmiştir. Havzadaki suların pH değerinin 6.60-8.78, EC değerinin 42-134  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında olduğu belirlenmiştir. DO değeri yan kollarda su sıcaklığına bağlı olarak mevsimsel değişiklik gösterir. Baraj gölünde 8.11-9.36 mg/L arasında değişir. Havzadaki sular ana anyon katyonları bakımından  $\text{Ca-HCO}_3$ lı su sınıfındadır. Nitrat değerleri 0.7-12.74 mg/L arasında, nitrit değerleri ise 0.01-0.07 mg/L arasında değişir. Atasu Baraj Gölü havzasında yan kollardan ve ana akarsudan alınan örneklerin analiz sonuçları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (2008)'e göre değerlendirildiğinde suların genel şartlar ve oksijenlendirme parametreleri (DO ve KOI) açısından I. Sınıf Su Kalitesinde olduğu belirlenmiştir. Besin Elementleri Parametrelerinden  $\text{NH}_4^+$  değerine göre Baraj gölü dışındaki sular I. sınıf, Baraj gölü yaz mevsiminde II. sınıf su tipindedir.  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  ve toplam fosfor açısından ise II. ve III. sınıf su tipindedir. İz elementlerden Cu ve Ni dışındaki parametreler açısından I. sınıf olduğu belirlenmiştir. İz element konsantrasyonları yağışlı ve kurak dönemde farklılık göstermektedir. Bu farklılık birçok elementte yağışlı dönemde azalma eğilimindedir. 95.45 - 96.56 arasında su kalitesi (WQI) değerlerine sahip havzanın her noktasında su kalitesi mükemmel olarak derecelendirilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Su kalitesi, İz element, Atasu Barajı havzası, Trabzon.

### Abstract

In this study, it was aimed to determine the water quality in the Atasu Dam reservoir basin according to the parameters recommended in national and international standards. In accordance with this purpose, pH, electrical conductivity (EC), total dissolved substance (TDS) and dissolved oxygen (DO) parameters were measured in situ at two-month intervals from the branches feeding the dam lake and the dam lake. Main anions and cations, nutrient parameters (such as nitrate, nitrite), inorganic pollution, bacteriological parameters and trace metals were analyzed in the samples taken from the designated points. It has been determined that the pH value of the waters in the basin is between 6.60 and 8.78 and the EC value is between 42-134  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The DO value varies seasonally depending on the water temperature in the side branches. It varies between 8.11-9.36 mg/L in the dam lake. The waters in the basin are in the water class with  $\text{Ca-HCO}_3$  in terms of main anion cations. Nitrate values vary between 0.7-12.74 mg/L, and nitrite values vary between 0.01-0.07 mg/L. When the analysis results of the samples taken from the side branches and the mainstream in the Atasu Dam reservoir basin were evaluated according to the Water Pollution Control Regulation (2008), it was determined that the waters were of Class I Water Quality in terms of general conditions and oxygenation parameters (DO and COD). According to the  $\text{NH}_4^+$  value, one of the Nutrient Element Parameters, the waters outside the dam lake are class I, and the waters of the dam lake are class II in summer. class is water type. In terms of  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and total phosphorus, it is in II. and III. class is water type. It was determined that trace elements were class I in terms of parameters other than Cu and Ni. Trace element concentrations vary between rainy and dry periods. These differences tend to decrease during the rainy season for many elements. Water quality is rated as excellent at every point in the basin, with water quality (WQI) values between 95.45 and 96.56.

**Keywords:** Water Quality, Trace element, Atasu Dam hasin, Trabzon.

### 1 Giriş

Yerüstü ve yeraltısularının kalitesi kullanıcıları ve ekosistem açısından son derece önemlidir. Suyun kalitesini madencilik çalışmaları, yer altı depolama tanklarından kaynaklı sızıntılar, uygunsuz endüstriyel uygulamalar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli atıkların yüzey ve yer altına enjeksiyonu gibi birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörler su toplama havzasında en üst noktadan başlayarak en alt noktaya kadar etkisini gösterebilir. Artırılarak kullanılan yerüstü sularının kalitesinde su toplama havzası içerisindeki tüm faktörlerin etkisi dikkate alınmaktadır.

Yüzey suyu ve yeraltısuyu kalitesi hem doğal hem de insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle uzun süredir bozulmaktadır. Su

kalitesini etkileyen doğal faktörler hidrolojik, atmosferik, iklimsel, topografik ve litolojik faktörlerdir [1],[2] Su kalitesini olumsuz etkileyen antropojenik faaliyetler ise madencilik, hayvancılık, atık üretimi ve bertarafı (endüstriyel, belediye ve tarım), arazi kullanımı değişikliği nedeniyle toprak erozyonu [3] ve ağır metal kirliliği [4],[5] olarak sıralanabilir.

Su kaynaklarında en çok rastlanan kirletici maddeler nitrat, nitrit, amonyak formundaki azot bileşikler, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir [6]. Ancak kimyasal su kirliliğinin en tehlikeli boyutunu canlı organizmalar için potansiyel birer tehlike olan ağır metal birikimi oluşturur [4]. Sularla sürekli olarak taşınan ağır metaller aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

tabakasının absorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğu için suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir.

Su kaynaklarındaki kalite değişimlerini incelemek için pek çok yöntem ve matematiksel model geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde yağış, sıcaklık, debi, nitrat, DO ve TDS gibi su kalitesi parametreleri değişken olarak kullanılmaktadır. Uzun süre ölçülmüş kalite ve debi parametreleri uygun analiz ve modelleme yöntemiyle yorumlanarak su kaynaklarının planlanmasında ve yönetiminde kullanılmaktadır. Su kalitesinin nicel değerlendirmesi, verimli su kaynakları yönetiminin temel yönlerinden biridir. Su kalitesi sınıflamalarında su kalitesi parametrelerinin hepsinin sınıflarına izin verilen sınırları içerisinde bulunması çok nadir karşılaşılan bir durumdur. Çoğu zaman bir su numunesi bir su kalitesi parametresi için bir sınıfa bir başka su kalitesi parametresi için başka bir sınıfa dahil olmaktadır. Su kalitesini her biri birçok parametre içeren çok sayıda örnekten değerlendirmek zordur [7]. Bu durumu biraz olsun kolaylaştırmak için araştırmacılar su kalitesi endeksi (WQI) kavramını geliştirmiştir ve birçok ülkede son birkaç on yıldan beri kullanılmaktadır. WQI'nin hesaplanması, su kalitesinin bir göstergesi olarak tek bir değer üretmek için fiziksel-kimyasal-biyolojik değişkenlerin entegrasyonuna dayanır [8],[9]. Su kalitesini analiz etmek için, bireysel parametrelerin istatistiksel analizleri, çok stresli su kalitesi endeksleri gibi farklı yaklaşımlar göz önünde bulundurulmuştur [10]. WQI modelleri, su kalitesinin kalitesini gösteren tek bir değer, yani su kalitesi endeksi üretmek için zamansal ve mekansal olarak değişen büyük su kalitesi veri kümelerinin analizine izin veren toplama işlevlerine dayanmaktadır. Kullanımları nispeten kolay olduğu ve karmaşık su kalitesi veri setlerini anlaşılması kolay tek bir su kalitesi ölçüm değerine dönüştürdükleri için su yönetim/tedarik kurumları için çekicidirler [11]. Belli bir alandaki toplam su kalitesini kısa sürede ve verimli bir şekilde kolayca değerlendirebilen çok sayıda su kalitesi endeksi oluşturulmuştur [12]-[15]. Bu endeksler, su kalitesi parametrelerinin düzenleyici standartlarla karşılaştırılmasına dayanır ve bir kaynağın su kalitesine tek bir değer verir [13],[16].

Son yıllarda hem yüzeysuyu hem de yeraltısu kalitesini belirlemede çok sayıda araştırmacı [17]-[29] su kalitesi indekslerinden yararlanmıştır. Bu çalışmalarda WQI değeri belirlemede genellikle çözünmüş oksijen (DO), elektriksel iletkenlik (EC), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), nitrat, nitrit, fosfat, toplam sertlik ve turbidite gibi parametreler kullanılmıştır.

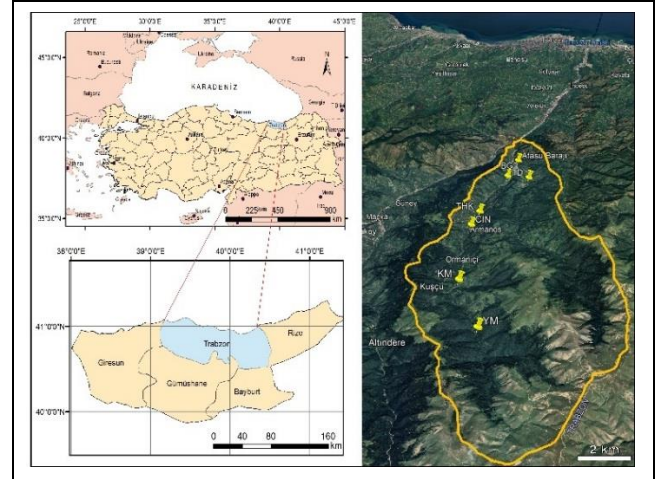
Bu çalışmada Trabzon İli'ne içme-kullanma suyunu sağlayan Atası Baraj gölü havzasının su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Havzada su kalitesine yönelik az sayıda çalışma yapılmıştır [30]-[33]. Bu çalışmalarda Haziran 2002 ile Haziran 2003 tarihleri arasında barajı besleyen iki koldan alınan su örneklerinde 17 parametre analiz edilmiş ve bulanıklık, toplam sertlik (TH) ve ortofosfat değerlerinin içme suyu standartları ve Kıta içi Su Kriterlerine göre yüksek olduğu belirtilmiştir [30]. Başka bir çalışmada [31] ise bazı aylarda ölçülen toplam sertlik, bulanıklık, orto-fosfat, deterjan ve bazı ağır metal konsantrasyonlarının Yerüstü su kalitesi yönetmeliği (YSKY) [34], İçme Suyu Standartları (TS 266) [35] ve Dünya Sağlık Örgütü [36] tarafından önerilen standart değerlerin üstünde, diğer parametrelerin ise kabul edilebilir kalite değerleri seviyesinde olduğu belirtilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarına göre Atası Barajı Havzasında yüzey sularının kimyasal özellikleri ve özellikle içmesuyu olarak kullanılan

baraj gölünün su kalitesini ortaya koyan güncel bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada Trabzon İli'nin içme-kullanma suyunu sağlayan Atası Baraj gölü havzasında su kalitesi Kanada Su Kalite İndeksi (CWQI) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

## 2 Materyal ve metot

### 2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı Trabzon'un Ortahisar, Yomra ve Akçaabat ilçelerine içme suyu sağlayan Atası Barajı havzasını kapsamakta ve 40° 35'-40° 51' kuzey enlemleri ile 39° 38'-39° 47' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of study area.

Trabzon Maçka ilçesinde Galyan Deresi üzerinde inşa edilen Atası Barajı havzasında dağınık köy yerleşimleri bulunmaktadır. Havzada akış gösteren en önemli yüzey suyu Galyan Deresi'dir. Dere suları 2300 rakımlı dağlardan doğarak kuzey yönlü akışını sürdürürken sürekli ve mevsimlik akış gösteren birçok yan kolları da bünyesine katmaktadır. En önemli yan kol Temelli Mahallesi'nde ana kol ile birleşen Şimsirli Deresi'dir. Galyan Deresi havzasının üst kotlarında mera alanları ve bu alanlarda yazları konaklanan yayla yerleşimleri mevcuttur.

Alanda kışları ılık, yazları sıcak iklim hüküm sürer ve bölgede dört mevsim yağış görülmektedir. Maçka Meteoroloji istasyonu 2014-2020 yılları arası verilerine göre yıllık ortalama yağış 731 mm'dir (Tablo 1). Maksimum yağış değeri Mayıs ayında 94 mm, minimum yağış değeri ise Şubat ayında 33 mm olarak gerçekleşmiştir. Sıcaklık verilerine göre, ortalama sıcaklığın en düşük olduğu ay 2 °C ile Ocak, ortalama sıcaklığın en yüksek olduğu ay ise 16 °C ile Ağustos ayıdır. Thornthwaite [37] yöntemi ile potansiyel buharlaşma- terleme (Etp) değeri yıllık toplam 613 mm, gerçek buharlaşma- terleme (Etr) değeri ise yıllık toplam 606 mm olarak belirlenmiştir. Buharlaşma terleme yolu ile havzaya düşen yağışın yaklaşık %75'i tekrar atmosfere geri dönmektedir.

### 2.2 Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları jeoloji haritasının arazide kontrolü, örnekleme ve yerinde ölçüm çalışmaları olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Trabzon/Maçka ilçesine ait 2014-2020 yılları arası aylık sıcaklık ve yağış değerleri.

Table 1. Monthly temperature and precipitation values of Trabzon / Maçka district between 2014-2020.

| Aylar                         | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | Yıllık |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| Ort. Sıcaklık (°C)            | 2  | 5  | 5  | 8  | 12 | 14 | 15 | 16 | 14 | 10 | 7  | 4  | 9      |
| Aylık Ort. Yağış Miktarı (mm) | 66 | 33 | 56 | 54 | 94 | 71 | 56 | 49 | 66 | 71 | 48 | 67 | 731    |

Arazi çalışmaları ile Atası Barajı'nı besleyen yerüstü sularının yerleri tespit edilmiş ve Galyan Dere'sinin yan kollarından ve ana dere üzerinden analiz yapılmak üzere su alınacak noktalar belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. İnceleme alanında ölçüm ve örnekleme yapılan noktalar.

Table 2. Points where measurement and sampling were performed in the study area.

| Örnek Noktaları  | Örnek Kodu | Kot (m) | Koordinatlar |            |
|------------------|------------|---------|--------------|------------|
| Yüzüncüyıl Mez.  | YYM        | 1075    | 40°43'99"K   | 39°41'40"D |
| Kuşçu Mevki      | KM         | 848     | 40°45'44"K   | 39°40'39"D |
| Cinalı Mevki     | CM         | 564     | 40°48'07"K   | 39°40'37"D |
| Taşhan Köprüsü   | THK        | 583     | 40°48'44"K   | 39°40'51"D |
| Şimşirli Deresi  | ŞD         | 411     | 40°50'28"K   | 39°42'40"D |
| Atası Baraj Gölü | BG         | 337     | 40°50'35"K   | 39°41'44"D |

Baraj gölünü besleyen yan kollar üzerinde belirlenen noktalarda ve baraj gölünden, iki ayda bir olmak üzere su kalitesi parametreleri analizleri için örnekleme ve yerinde ölçüm çalışmaları yapılmıştır. İz element analizleri için yağışlı ve kurak periyotta olmak üzere iki kez örnekleme yapılmıştır. Su örnekleme ve ölçüm çalışmaları Ekim 2019 tarihinde başlamış, iki ay aralıklarla örnekleme ve ölçüm yapılması planlanmıştır. Ancak pandemi nedeniyle 2020 yılında çalışmalar iş programına uygun gerçekleştirilememiş, Nisan ve Mayıs aylarında ölçüm ve örnekleme yapılamamıştır. Aradaki zamanı kapatmak amacıyla Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ölçüm ve örnekleme yapılarak arazi çalışmaları tamamlanmıştır.

Yerinde ölçüm çalışmalarında sahadaki yüzey sularında yağışlı, kurak ve ara dönemleri temsil etmek üzere pH, TDS (Toplam Çözünmüş Madde Miktarı), EC (elektriksel iletkenlik), T (sıcaklık), DO (Çözünmüş Oksijen) ölçümleri dijital HACH-HQ40D çoklu parametre ölçer aleti ile altı kez yapılmıştır. Her arazi çalışmasından önce uygun tampon çözeltiler ile ölçümler esnasında kullanılan problemlerin kalibrasyonları yapılmıştır. Örnek alımında majör iyonlar için 500 ml polietilen şişeler, bakteriyolojik analizler için 500 ml özel plastik şişeler, ağır metaller için 100 ml polietilen şişeler kullanılmıştır (Şekil 2). Örnek alımından önce şişeler ve kapakları 3 kez analizi yapılacak su ile çalkalanmış, ağır metal analizleri için asitleme işlemi yapılmıştır. 0.45 µ'luk filtrelerden geçirilerek alınan örnekler analiz yapılacak laboratuvara soğutulmuş kutularda taşınmıştır. Örnek alma, saklama ve taşıma işlemleri TS EN ISO 5667-3'e [38] göre yapılmıştır.

### 2.3 Laboratuvar çalışmaları

Tespit edilen noktalardan alınan su örnekleri majör iyonlar ve organik maddeler tayini için TS EN ISO 5667-3'ün [38] önerdiği taşıma koşullarında Trabzon İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi (TİSKİ) laboratuvarına, ağır metal tayini için DSİ 22. Bölge Müdürlüğü laboratuvarına ulaştırılmıştır. Fiziko-kimyasal ve ağır metal parametrelerinin analizleri Türk Standartları, Standart Yöntemler ve U.S. Çevre Koruma Ajansı

Standardlarına göre yapılmıştır. Anyonlar ve katyonlar iyon kromografi cihazıyla, ppm ve ppb seviyesinde analiz edilmiştir.



Şekil 2. Ölçüm ve örnekleme çalışmaları.

Figure 2. Measurement and sampling studies.

Alınan kayaç örnekleri KTÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümü laboratuvarında ince kesit haline getirilmiştir. Hazırlanan ince kesitler KTÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Yüzey sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin tanımlanmasında, iyon bollukları dikkate alınarak kimyasal özellikleri incelenmiş ve Schoeller ve Piper diyagramları kullanılarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Çalışma alanında yer alan suların kalite değerlendirilmesinde ise Kanada Su Kalite İndeksi (CWQI) yöntemi uygulanmıştır.

### 2.4 Kanada su kalite indeksi (CWQI)

Bir noktaya ait su kalite parametrelerinin verdiği sonuçları tek tek değerlendirmek ve suyun kalitesi hakkında söz söylemek son derece zor ve karmaşıktır. Bu sebeple yerel halk gibi çoğu paydaş, su kalitesi verileriyle doğrudan ilgilenmemekte ve su kalitesi ile ilgili özetlenmiş net bilginin üzerinde odaklanmaktadır [39]. Su kalitesi ile ilgili ilk bilgiler Horton tarafından [40] Su Kalite İndeksi (WQI) metodu olarak ortaya konmuştur. Bu metot yeni araştırmacılar tarafından geliştirilmeye ve yeni WQI yöntemleri bulunmaya çalışılmıştır. Günümüzde çeşitli WQI metodu bulunmaktadır. Bunlardan Brown ve diğ. [41] tarafından Amerika Ulusal Sağlık Sistemi Vakfı (National Sanitation Foundation) desteği ile geliştirilmiş Su Kalite İndeksi NSFQI (National Sanitation Foundation Water Quality Index), Kanada Çevre Bakanlığı'nın 2001 yılında ortaya koyduğu Kanada Su Kalite İndeksi (CWQI), Hebert [42] tarafından geliştirilen Bakteriolojik ve Fiziko-Kimyasal Su Kalite İndeksi (IQBP) yaygın kullanılan indekslerdir. Bu

çalışmada havzadaki yüzey sularının kalite durumlarının belirlenmesi için yaygın bir şekilde kullanılan CWQI indeksi kullanılmıştır.

CWQI yöntemine göre bir örnek noktasının WQI değerinin hesaplanabilmesi için en az dört kez o noktadan örnek alınması ve alınan örnekler üzerinde en az dört su kalite parametresi analiz edilmesi gerekir [43]. Oldukça pratik ve uygulaması basit olan CWQI yöntemi karmaşık verilerin sentezlenmesine yardımcı olmakla beraber birçok veriden tek bir indeks değeri oluşturmasından dolayı anlaşılır olmakta ve karar veren kurumlara ise son derece kolaylık sağlamaktadır [43]. CWQI indeksi (1) nolu eşitlikle belirlenmektedir.

$$CWQI = 100 - \left[ \frac{\sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + F_3^2)}}{1,732} \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte yer alan 3 faktör (F1, F2 ve F3) aşağıdaki (2), (3) ve (8) eşitlikleriyle hesaplanır. Kapsam olarak adlandırılan ve F1 simgesi ile tanımlanan faktör çeşitli ülkeler (Türkiye, Kanada, ABD vs), ülkeler birliği (Avrupa Birliği) veya örgütler (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından belirlenen su kalite parametreleri standartlarında verilen limit değerleri (veya hedef değerleri) aşan analizi bulunan parametrelerin sayısının toplam parametre sayısına oranının yüzde olarak ifadesidir. F1 değeri (2) nolu eşitlikle belirlenir.

$$F_1 = \left[ \frac{(\text{Limit Değ. Aşan Deneyi Bul.Param.Sayısı})}{(\text{Toplam Parametre Sayısı})} \right] \times 100 \quad (2)$$

F2 simgesi kullanılan ve frekans olarak adlandırılan ikinci faktör, standartlarda belirlenen limit değerleri aşan analiz sayısının toplam analiz sayısına göre yüzdesini ifade eder ve (3) nolu eşitlikle hesaplanır.

$$F_2 = \left[ \frac{(\text{Limit Değeri Aşan Deney Sayısı})}{(\text{Toplam Deney Sayısı})} \right] \times 100 \quad (3)$$

Genişlik olarak adlandırılan ve F3 simgesi ile tanımlanan 3. faktör üç aşamada tayin edilir. İlk aşamada elde edilen her parametrenin analiz sonuçları her parametreye göre belirlenen limit veya hedef (bu çalışmada TS 266 [35] verdiği limit değerleri kullanılmıştır) değerine uygun olmayan (duruma göre hedef değerinden küçük veya büyük olması istenir) her analiz sonucu için bir sapma değeri hesaplanır. Sapma değeri hesaplamasında eğer analiz değeri limit değerinden büyük olması istenmiyorsa o durumda kalite kriterine uygun olmayan analizler limit değerinden büyük olur ve eşitlik (4) ile hesaplanır. Eğer danieliz değeri limit değerine göre büyük olması isteniyorsa o zaman kalite kriterine uygun olmayan analiz değeri limit değerinden küçük olur ve eşitlik (5) ile belirlenir. Hedef veya limit değeri sıfır olduğu durumlarda eşitlik (6) kullanılmaktadır.

$$Sapma_i = \left[ \frac{\text{Limit Aşan Deney Değeri}_i}{\text{Limit Değeri}} \right] - 1 \quad (4)$$

$$Sapma_i = \left[ \frac{\text{Limit Değeri}}{\text{Limit Aşan Deney Değeri}_i} \right] - 1 \quad (5)$$

$$Sapma_i = \text{Limit Aşan Deney Değeri}_i \quad (6)$$

İkinci aşamada eşitlik (7) kullanılarak belirlenmiş bütün sapmaların toplamı, toplam analiz sayısına bölünerek normalleştirilmiş sapmalar toplamı (nse) elde edilir.

$$nse = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Sapma_i)}{(\text{Toplam Deney Sayısı})} \right] \quad (7)$$

Son aşamada elde edilen nse ile eşitlik (8) kullanarak F3 belirlenmektedir.

$$F_3 = \left[ \frac{nse}{(0.01 \times nse) + 0,01} \right] \quad (8)$$

F1, F2 ve F3 değerleri kullanılarak eşitlik (1) ile CWQI değerleri hesaplanmaktadır.

Yukarda belirlenen kural, aşamalar ve verilen formüllere uyularak çalışma alanındaki yüzey sularının CWQI değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 3'te verilen sınıflama dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Kanada Su Kalitesi Endeksi (CWQI) derecelendirmeleri, değerleri ve açıklamaları [43].

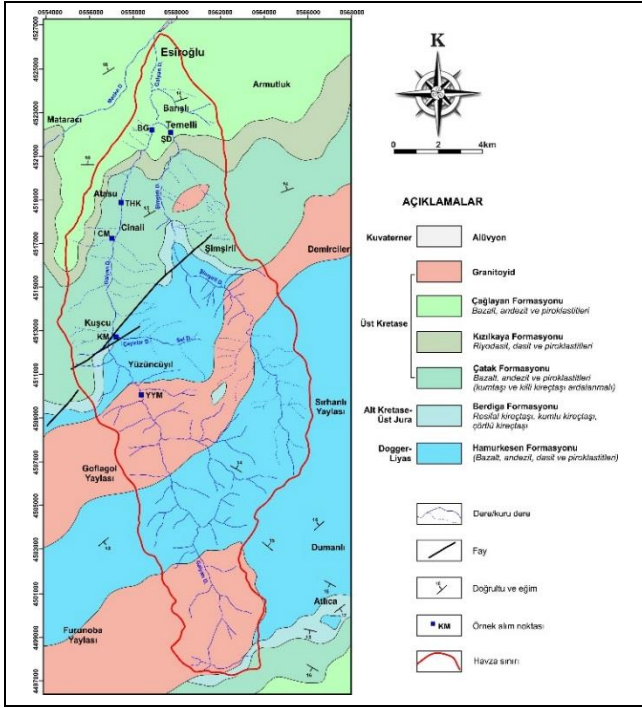
Table 3. Canadian Water Quality Index (CWQI) ratings, values and descriptions [43].

| Derece   | CWQI Değerleri | Yorumlayıcı Açıklama                                                                                                                 |
|----------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mükemmel | 95-100         | Su kalitesi, sanal bir tehdit veya bozulma olmamasıyla korunur; doğal veya bozulmamış seviyelere çok yakın koşullar,                 |
| İyi      | 80-94          | Su kalitesi yalnızca küçük bir tehdit veya bozulma derecesi ile korunur; koşullar nadiren doğal veya istenen seviyelerden ayrılır    |
| Orta     | 60-79          | Su kalitesi genellikle korunur, ancak bazen tehdit edilir veya bozulur; koşullar bazen doğal veya istenen seviyelerden sapar         |
| Zayıf    | 45-59          | Su kalitesi sıklıkla tehdit ediliyor veya bozuluyor; koşullar genellikle doğal veya istenen seviyelerden sapar,                      |
| Kötü     | 0-44           | Su kalitesi neredeyse her zaman tehdit altındadır veya bozulmaktadır; koşullar genellikle doğal veya istenen seviyelerden farklıdır. |

### 3 Bulgular ve tartışma

#### 3.1 Jeoloji

Çalışma alanında yaşlıdan gence doğru Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonu [44], Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu [45], Üst Kretase yaşlı Çatak Formasyonu [46], ile Kızılkaya Formasyonu [46], Paleosen yaşlı Kaçkar Granitoyidi [46], yüzeylenmektedir (Şekil 3). Havzanın üst kotlarında yüzeylenen Hamurkesen Formasyonu kırmızımsı, sarımsı, beyaz renkli çakıltı, çakıllı kumtaşı, silttaşı, bazalt, andezit, tüf ve tüfit ardalanmasından oluşur. Altta kırmızı renkli tabakalanmasız, köşeli çakıllı, kötü boylanmış, kötü derecelenmeli çamurtaşı, çakıltı, çakıllı kumtaşı ardalanımı ile başlayan birim, alt düzeylerinde daha çok beyaz, orta ince tabakalı, epiklastik kumtaşı, tüf, tüfit, yeşil renkli kloritli ignimbirit seviyeleri ile devam eder. Kırıntılı düzeylerle volkanitler, tüfler ve tüfitler ardalanır. Kumtaşı, kumlu kireçtaşı tabakaları bol mercan ve iri ammonit ve pelesipod fosilleri içerir.



Şekil 3. Atasu Baraj Gölü havzasının jeoloji haritası [47].

Figure 3. Geological map of the Atasu Dam Reservoir basin [47].

Berdiga Formasyonuna ait kayalar havzada Şimşirli ve Kuşçu Mahalleri civarında yüzeylenmektedir (Şekil 3). Birim çoğunlukla gri renkli ve tabakalı killi kiretaşları, rekristalize kiretaş, çörtlü ve kumlu kiretaşlarından oluşur. İnceleme alanında birim %60-70 oranında mikrit içeren rekristalize kiretaş ile temsil edilir. Kayaç içerisinde bileşenlerin tamamına yakını biyojen-biyoklastlardan oluşmaktadır. % 5 oranında opak mineral mevcuttur. Ayrıca ekinid plakaları gözlenmiştir. Kayaç içerisinde yer yer çatlak şeklinde gözlenen stilolitleşme mevcuttur. Berdiga Formasyonu, Hamurkesen Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir. Kuşçu, Şimşirli ve Cinali mahallerinde yüzeylenen Çatak Formasyonu genel olarak andezit bazalt ve piroklastların kumtaşı, marn, kıltaşı, siltaşı tabakaları ile ardalanmasından meydana gelir (Şekil 3). Bazaltlarda iyi gelişmiş yastık lav yapıları gözlenmiştir. Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen ve kalınlığı yaklaşık 750-1000 m arasında olan Çatak Formasyonunun yaşı Turoniyen-Koniasiyen-Santoniyen zaman aralığı olarak belirlenmiştir [46]. Çatak Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelen Kızılka Formasyonu gri-beyaz ve gri-sarımsı renkli dasit-riyodasit türü kayalar ve piroklastlarından oluşmaktadır. Formasyonun üst kısımlarında tuf ve tuf-breş tipinde kayalar yer alır ve bu kısımlarda hidrotermal ayrışmalar (silisleşme, serizitleşme, killeşme, limonitleşme ve kloritleşme) yaygındır. İnceleme alanında dasit türü volkanik kayalarla temsil edilir. Çağlayan Formasyonu ile uyumlu olarak örtülen birime Senoniyen yaşını vermiştir [46]. İnceleme alanının kuzey kesiminde Temelli ve Barışlı mahallerinde yüzeylenen Çağlayan Formasyonu bazalt- andezit ve bazaltik piroklastiklerden meydana gelmiştir. Bazalt- andezit türü kayalarla başlayan birim üste ve yanlara doğru piroklastiklere geçer. Bazaltlar yer yer boşluklu olup, boşluklar kalsit, zeolit ve klorit mineralleri ile doldurulmuştur. Mikroskopik incelemelerinde bazaltların mikrolitik porfirik doku gösterdikleri, plajiyoklas, ojit, klorit, kalsit, zeolit ve opak mineralleri içerdikleri belirlenmiştir. Plajiyoklaslar hem iri

kristaller hem de mikrolitler şeklinde gözlenir. Birimin yaşı içerdiği fosil topluluğuna dayanarak Santoniyen olarak belirtilmiştir [46]. Güven [46] tarafından granitten gabroya kadar değişim gösteren intrüzif kayalar granitoid olarak tanımlanmış, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler içerisine sokulum yapmışlardır. Mesozoyik yaşlı birimler içerisine sokulum yapan intrüzif kayalar Kaçkar Granitoid I olarak, Senozoyik yaşlı istifler içine sokulum yapanlar ise Kaçkar Granitoid II olarak ayrılmıştır. İnceleme alanında Mesozoyik yaşlı birimler içerisine sokulum yapan intrüzifler Kaçkar Granitoid I olarak kabul edilmiştir. Granodiyorit, diyorit, dolerit, monzogranit gibi değişik kayaç gruplarından oluşan granitoid çalışma alanında monzogranit ve diyorit türü kayalarla temsil edilir. Monzogranitlerde açık renkli mineraller plajiyoklas, kuvars ve ortoklas, koyu renkli mineraller ise hornblend ile temsil edilmekte olup, opak mineraller bunlara eşlik ederler. Plajiyoklaslar, genellikle öz ve yarı özşekilli, yer yer kırılmış, parçalanmış kristaller halinde gözlenmektedirler. Yarı özşekilli ve/veya halkalı zonlanma gösteren plajiyoklaslarda killeşme mevcuttur. Kuvarslar özşekilsiz ve küçük kristaller halinde olup, dalgalı sönme gösterirler. Ortoklaslar, çok az miktarda ve özşekilsiz kristaller halinde bulunurlar. Bazı ortoklaslarda serisitleşme gözlenmektedir. Bazı ortoklaslar plajiyoklas ve hornblend mikrofeno-kristalleri içererek monzonitik dokuyu oluştururlar. Hornblendler yarı özşekilli çok küçük latalar halinde bulunurlar ve yer yer kloritleşmişlerdir. Opak mineraller yarı öz ve özşekilsiz küçük kristaller halinde, yer yer mafik minerallerin çevresinde ve içerisinde kapanım olarak bulunurlar.

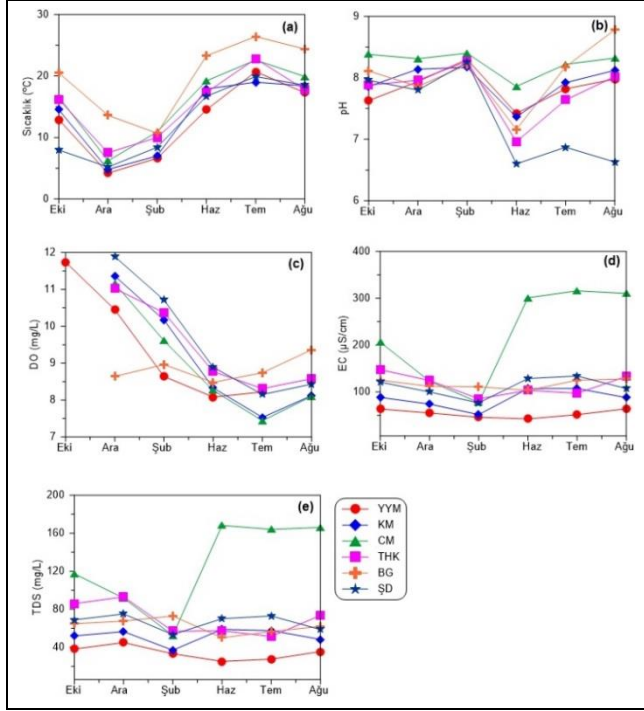
### 3.2 Hidrojeoloji

Atasu Baraj Gölü havzası drenaj alanında akifer özelliği taşımayan genelde granitik, granodiyoritik ve volkanik kaya birimleri yüzeylenmektedir. Bu kayaların birincil gözeneklilikleri düşüktür. Ancak hepsinde gelişen ikincil gözeneklilik genellikle çatlaklar şeklindedir. Kayaların gözeneklilikleri çatlaklılık durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Dolayısıyla alanda yüzeylenen kayaların gözeneklilik ve geçirimlilik durumları yersel olarak farklılık gösterir. Ancak genel olarak Berdiga Formasyonu ve alüvyon geçirimli birimleri oluştururken diğer birimler yarı geçirimli olarak kabul edilmiştir (Şekil 3). Çatlaklı olan kısımlarda yüzeyden yeraltına süzülen yüzey suları sığ derinliklerde yeraltılarını oluşturur. Bu sular da çatlakların topoğrafya ile kesiştiği kesimlerden tekrar yüzeye boşalır. Bu boşalmalar yağıştan beslenmeye bağlı olarak mevsimsel olarak değişir. Bölgenin yoğun bitki örtüsü ile kaplı olması, her mevsim yağış alması ve topografik özellikleri nedeniyle bölgede kaynak olarak adlandırılan suların çoğu zaman belirli bir çıkış noktası da izlenmemektedir. Çok yüksek debili olmayan bu boşalmalar daha çok eğimli yüzeylerde kendisini sızıntı şeklinde gösterir. Bu boşalmaların çok az bir kısmı kırsal kesimdeki bir veya birkaç yerleşimin su ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır.

### 3.3 Hidrojeokimya

Doğal suların zamansal ve mekansal açıdan bileşiminin incelenmesi ve kimyasının değişimi ve nedenlerinin araştırılması su kalitesi açısından son derece önemlidir. Bunun için yeraltı ve yerüstü sularının jeokimyasal araştırmalarında mümkün olduğunca fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametrelerinin analiz edilmesi ve elde edilen sonuçların da su kaynaklarının kalitesine yönelik ölçütlerle değerlendirilmesi gereklidir.

Çalışma alanında yüzey sularının hidrojeokimyasal özelliklerini ve kalite durumunu ortaya koyabilmek için Galyan Deresi ve yan kollarından su örnekleri alınmıştır. Yüzüncüyıl Mezrası, Kuşçu Mevki, Cinali Mevki, Taşhan Köprüsü, Şimşirli Deresi ve Atası Baraj Gölü olarak seçilen noktalarda yerinde ölçümler yapılmış, analizler için örnekler alınmıştır. Örnek noktalarının seçiminde karışım noktaları dikkate alınmıştır. Alınan su örneklerinin konum bilgileri Tablo 1 ve Şekil 3'te, kimyasal analiz sonuçları ise Tablo 4, 5 ve 6'da yer almaktadır. Yerinde ölçülen pH, DO, EC ve TDS parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. Suların sıcaklıkları bulundukları yükseltiye ve ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir Şekil 4(a).



Şekil 4. Suların yerinde ölçülen parametrelerinin yıl boyunca değişimleri.

Figure 4. Changes of water parameters measured on site throughout the year.

TS 266'da [35] içme sularında pH değeri için 6.5-8.5 arası uygun görülmektedir. İnceleme alanındaki suların pH değerleri 6.60 - 8.78 arasında değişir (Tablo 4). Şimşirli Deresi (ŞD) dışında suların pH değerleri çok fazla değişiklik göstermez ancak ŞD pH değerleri yaz aylarında biraz düşüktür. Yağmur suyunun etkisi yağışlı mevsimde (Haziran) bütün suların pH değerlerini düşürmüştür Şekil 4(b). Su kirliliğinde ve atıksu arıtımında çok önemli bir parametre olan çözünmüş oksijen miktarı inceleme alanındaki sulara 7.44- 11.89 mg/L arasında değişir. Sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösteren DO değerleri en düşük Atası Baraj Gölünde (BG) ölçülmüştür. Ancak sıcaklığın yüksek olduğu aylarda kolların debisi düşük olduğu için su sıcaklıkları yükselmiş, Baraj gölü bu sıcaklıktan daha az etkilenmiştir. Dolayısıyla hava sıcaklığının yüksek olduğu aylarda baraj göl suyunun DO değerleri daha yüksektir Şekil 4(c).

İçme ve sulama suları sınıflandırılmasında bir ölçüt olarak kullanılan özgül elektriksel iletkenlik (EC), inceleme alanındaki sulara 42 - 134  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişir (Tablo 4). Küçük değerler genelde havzanın üst kısımlarındaki yan kollarda gözlenirken yüksek değerler baraj göl suyunda ölçülmüştür. EC

değeri CM dışındaki sulara önemli bir değişiklik göstermemektedir Şekil 4(d). CM noktası debisi düşük olan bir kol üzerindedir ve yazın debisi oldukça düşmektedir. Buharlaşmanın etkisi EC üzerinde etkili olmuştur. Suların TDS değerleri de EC ile uyumludur Şekil 4(e).

Havzadaki su örneklerinin major iyon konsantrasyonları genelde düşük olup yüksek konsantrasyonlu katyon ve anyonlar sırasıyla Ca ve  $\text{HCO}_3^-$ 'dir. Su örneklerinin Ca iyon konsantrasyon en düşük 7.2 mg/L ile YYM, en yüksek ise 55.6 mg/L ile CM örneklerinde örnekte tespit edilmiştir. Mg iyonu konsantrasyonları en düşük 1.68 mg/L ile YYM, en yüksek 10.3 mg/L ile CM; Na iyonu konsantrasyonları en düşük, 2.79 mg/L ile YYM, en yüksek 6.97 mg/L ile THK örneklerinde ölçülmüştür. Yüzey sularının  $\text{SO}_4$  konsantrasyon değerleri 4.93 ile 21.48 mg/L; Cl konsantrasyon değerleri ise 0.37 ile 2.41 mg/L arasında değişmektedir.  $\text{SO}_4$  konsantrasyon değerleri Cinali mevkiindeki yan koldan alınan su örneğinde minimum seviyede iken, Galyan Deresinden Taşhan Köprüsü mevkiinden alınan örneklerde maksimum değerdedir.

### 3.3.1 Suların sınıflandırılması

Atası baraj Gölü havzasından alınan sular hem hidrojeokimyasal açıdan sınıflandırılmış hem de [34] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2008) Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflandırılması kriterlerine göre verilen su sınıfları açısından değerlendirilmiştir. Bu sınıflamalarda Tablo 5'te verilen analiz sonuçları kullanılmıştır. Su analiz verilerinin doğruluğu yük-denge eşitliği ile test edilmiştir. Tüm major iyon analizlerinde yük-denge hatası (e) < % 7'den küçüktür.

Atası Barajı havzasındaki suların hidrojeokimyasal açıdan sınıflandırılmasında major iyon konsantrasyonları kullanılarak Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) [48] sınıflaması dikkate alınmış ve belirlenen su sınıfları Tablo 6'da verilmiştir.

IAH'a, göre karışık suların adlandırılmasında katyon grubu ve anyon grubundan %20'den fazla iyonların (önce katyonlar sonra anyonlar sıralanmak suretiyle) birlikte su tipini oluşturduğu ve su tipini ikiden fazla iyonun oluşturduğunu belirtmiştir [48]. İnceleme alanındaki suların YYM (Yüzüncüyıl Mezrası) dışındakilerin Ca-Mg- $\text{HCO}_3$  tipinde olduğu YYM'nin ise iki dönem Ca- $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$ , Şubat döneminde ise karışık tipte olduğu belirlenmiştir (Tablo 6).

Piper ve Schoeller diyagramları kullanılarak kimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Piper Diyagramı, suların katyon-anyon çiftini dikkate alarak su fasiyeslerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramındaki konumları Şekil 5'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde YYM dışındaki suların CaMg- $\text{HCO}_3$  tipinde olan zayıf asitlerin kuvvetli asitlerden fazla olduğu su sınıfında olduğu belirlenmiştir. YYM-1 ve YYM-2 sularının Ca- $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$ , YYM-3'ün CaNaMg- $\text{HCO}_3$  tipinde yani katyonları bakımından karışık, anyonları bakımından  $\text{HCO}_3^-$  olduğu belirlenmiştir. Schoeller veya yarı logaritmik ölçekli diyagram logaritmik ölçekte major iyon ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , ( $\text{Na}^+$ + $\text{K}^+$ ),  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{HCO}_3^-$ ) konsantrasyonlarının birbirlerine göre göreceli durumlarını gösterir. İnceleme alanındaki suların Schoeller diyagramındaki değerlendirilmesi Şekil 6'da verilmiştir. Tüm sulara iyon konsantrasyonlarını birleştiren doğrular birbirine yakın ve paralel geçmektedir. Bu durum suların benzer bileşimde olduğunu göstermektedir. Sadece Cl değeri CM-1 su noktasında diğerlerinden nispeten yüksektir.

Tablo 4. Su noktalarında yerinde ölçülen parametreler (Sıcaklık, EC, TDS, DO ve pH).

Table 4. Parameters measured on site at water points (Temperature, EC, TDS, DO and pH).

| Parametre  | Tarih        | Yüzüncüyl<br>Mezrası<br>YYM | Kuşçu<br>Mevki<br>KM | Cinali<br>Mevki<br>CM | Taşhan<br>Köprüsü<br>THK | Şimşirli<br>Deresi<br>ŞD | Baraj<br>Gölü<br>BG |
|------------|--------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| Sıcaklık   | Ekim 2019    | 12.9                        | 14.5                 | 16.6                  | 16.2                     | 7.96                     | 20.5                |
|            | Aralık 2019  | 4.2                         | 4.8                  | 6.2                   | 7.5                      | 5.2                      | 13.6                |
|            | Şubat 2020   | 6.6                         | 7.0                  | 10.9                  | 10.0                     | 8.4                      | 10.7                |
|            | Haziran 2020 | 14.5                        | 17.9                 | 19.2                  | 17.3                     | 16.7                     | 23.3                |
|            | Temmuz 2020  | 20.7                        | 19                   | 22.6                  | 22.8                     | 19.9                     | 26.3                |
|            | Ağustos 2020 | 17.3                        | 18.4                 | 19.9                  | 17.8                     | 18.5                     | 24.4                |
|            | ortalama     | 12.70                       | 13.60                | 15.90                 | 15.27                    | 12.78                    | 19.80               |
| pH         | Ekim 2019    | 7.83                        | 7.86                 | 8.38                  | 7.88                     | 7.96                     | 8.11                |
|            | Aralık 2019  | 7.94                        | 8.14                 | 8.31                  | 7.96                     | 7.80                     | 7.86                |
|            | Şubat 2020   | 8.30                        | 8.17                 | 8.40                  | 8.27                     | 8.25                     | 8.21                |
|            | Haziran 2020 | 7.42                        | 7.36                 | 7.86                  | 6.96                     | 6.60                     | 7.16                |
|            | Temmuz 2020  | 7.82                        | 7.92                 | 8.22                  | 7.64                     | 6.87                     | 8.18                |
|            | Ağustos 2020 | 7.98                        | 8.12                 | 8.32                  | 8.02                     | 6.63                     | 8.78                |
|            | ortalama     | 7.88                        | 7.93                 | 8.25                  | 7.79                     | 7.35                     | 8.05                |
| DO (mg/L)  | Ekim 2019    | -                           | -                    | -                     | -                        | -                        | -                   |
|            | Aralık 2019  | 11.74                       | 11.36                | 11.16                 | 11.2                     | 11.89                    | 8.64                |
|            | Şubat 2020   | 10.45                       | 10.17                | 9.61                  | 10.37                    | 10.71                    | 8.96                |
|            | Haziran 2020 | 8.64                        | 8.33                 | 8.26                  | 8.77                     | 8.89                     | 8.48                |
|            | Temmuz 2020  | 8.08                        | 7.53                 | 7.44                  | 8.31                     | 8.15                     | 8.74                |
|            | Ağustos 2020 | 8.22                        | 8.12                 | 8.10                  | 8.68                     | 8.43                     | 9.36                |
|            | ortalama     | 9.43                        | 9.10                 | 8.91                  | 9.47                     | 9.61                     | 8.84                |
| EC (µS/cm) | Ekim 2019    | 63.3                        | 88.2                 | 206.2                 | 147.5                    | 120.9                    | 125.1               |
|            | Aralık 2019  | 55.0                        | 73.9                 | 122.9                 | 124.4                    | 99.7                     | 112                 |
|            | Şubat 2020   | 45.8                        | 51.6                 | 77.3                  | 85.5                     | 76.5                     | 111.1               |
|            | Haziran 2020 | 42.4                        | 107.0                | 301                   | 103.3                    | 128.6                    | 103.2               |
|            | Temmuz 2020  | 51.4                        | 107.2                | 316                   | 97.1                     | 134                      | 125.1               |
|            | Ağustos 2020 | 63.9                        | 87.8                 | 310.3                 | 132.9                    | 107.3                    | 127.6               |
|            | ortalama     | 53.63                       | 85.95                | 222.28                | 115.12                   | 111.17                   | 117.35              |
| TDS (mg/L) | Ekim 2019    | 38.2                        | 52                   | 117.3                 | 85.9                     | 68.8                     | 64.8                |
|            | Aralık 2019  | 44.9                        | 56.5                 | 91.8                  | 93.1                     | 75.1                     | 67.6                |
|            | Şubat 2020   | 33.2                        | 37                   | 52.5                  | 56.9                     | 53.4                     | 72.9                |
|            | Haziran 2020 | 25.1                        | 58.9                 | 168.2                 | 57.4                     | 72.9                     | 50.1                |
|            | Temmuz 2020  | 27.5                        | 57.6                 | 164.1                 | 51.4                     | 70.1                     | 56.6                |
|            | Ağustos 2020 | 36.5                        | 48.3                 | 166.2                 | 73.6                     | 58.7                     | 62.0                |
|            | ortalama     | 34.23                       | 51.72                | 126.68                | 69.72                    | 66.50                    | 62.33               |

Tablo 5. İnorganik kimyasal, organik kirlenme ve bakteriyolojik parametreler.

Table 5. Inorganic chemical, organic contamination and bacteriological parameters.

|  | Ekim-2019                            | YYM-1  | KM-1   | CM-1   | THK-1  | ŞD-1   | BG-1   |
|--|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | Ca <sup>+2</sup> (mg/L)              | 10.51  | 14.03  | 38.9   | 25.48  | 20.5   | 19.16  |
|  | Mg <sup>+2</sup> (mg/L)              | 1.98   | 3.1    | 5.24   | 4.97   | 4.18   | 3.36   |
|  | Na <sup>+</sup> (mg/L)               | 2.79   | 3.31   | 5.24   | 3.56   | 3.17   | 2.91   |
|  | K <sup>+</sup> (mg/L)                | 0.55   | 0.62   | 0.57   | 0.64   | 0.62   | 0.61   |
|  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | 34     | 46     | 120    | 80     | 60     | 59     |
|  | Cl <sup>-</sup> (mg/L)               | 0.8    | 1      | 2.41   | 1.05   | 0.68   | 0.83   |
|  | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L) | 9.91   | 7.9    | 5.12   | 10.27  | 9.97   | 7.77   |
|  | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)  | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
|  | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0.06   | 0.063  | 0.059  | 0.06   | 0.061  | 0.06   |
|  | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 2.12   | 6.14   | 5.73   | 4.82   | 6.69   | 5.02   |
|  | Fosfat (mg/L)                        | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
|  | KOl (mg/L)                           | 2.95   | 1.37   | 6.05   | 2.35   | 2.97   | 2.53   |
|  | Top. Organik karbon (mg/L)           | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|  | Top. koliform (EMS/100 mL)           | 2      | 20     |        | 17     | 100    | 7      |
|  | Aralık-2019                          | YYM-2  | KM-2   | CM-2   | THK-2  | ŞD-2   | BG-2   |
|  | Ca <sup>+2</sup> (mg/L)              | 12.5   | 17.78  | 32.17  | 28.25  | 20     | 20.06  |
|  | Mg <sup>+2</sup> (mg/L)              | 2.1    | 3.36   | 4.81   | 5.04   | 4.24   | 3.4    |
|  | Na <sup>+</sup> (mg/L)               | 2.93   | 3.27   | 5.4    | 3.71   | 3.27   | 3.07   |
|  | K <sup>+</sup> (mg/L)                | 0.57   | 0.64   | 0.56   | 0.61   | 0.57   | 0.59   |
|  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | 46     | 60     | 84     | 103    | 62     | 62     |
|  | Cl <sup>-</sup> (mg/L)               | 0.37   | 0.88   | 0.49   | 0.72   | 0.5    | 0.48   |
|  | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L) | 13.07  | 8.33   | 8.14   | 21.48  | 11.22  | 7.56   |

Table 5. Devamı.

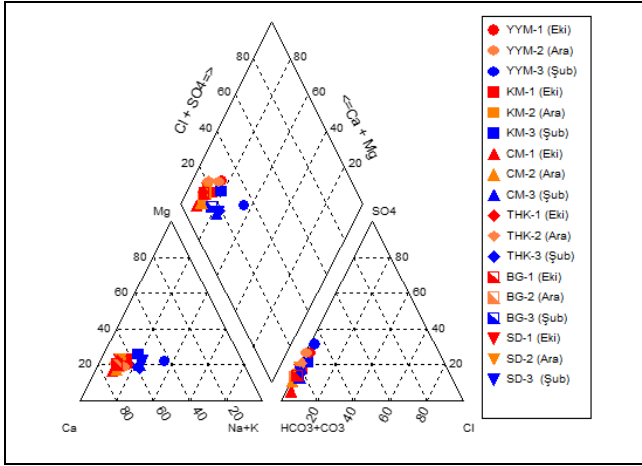
Table 5. Continued.

| Aralık-2019                          | YYM-2        | KM-2        | CM-2        | THK-2        | ŞD-2        | BG-2        |
|--------------------------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)  | 0.08         | 0.04        | 0.1         | 0.1          | 0.12        | 0.06        |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0.072        | 0.075       | 0.064       | 0.052        | 0.06        | 0.064       |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 3.97         | 11.23       | 6.85        | 10.32        | 9.04        | 8.97        |
| Toplam Fosfat (mg/L)                 | <0.001       | <0.001      | <0.001      | <0.001       | <0.001      | <0.001      |
| KOİ (mg/L)                           | 0.03         | 1.44        | 6.73        | 2.42         | 3.11        | 2.64        |
| Top. Organik karbon (mg/L)           | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Top. koliform (EMS/100 mL)           | 20           | 100         | 100         | 80           | 30          | 45          |
| <b>Şubat-2020</b>                    | <b>YYM-3</b> | <b>KM-3</b> | <b>CM-3</b> | <b>THK-3</b> | <b>ŞD-3</b> | <b>BG-3</b> |
| Ca <sup>2+</sup> (mg/L)              | 6.59         | 7.91        | 13.04       | 16.33        | 13.5        | 20.196      |
| Mg <sup>2+</sup> (mg/L)              | 2.02         | 2.23        | 2.78        | 3.09         | 3.29        | 4.22        |
| Na <sup>+</sup> (mg/L)               | 5.95         | 2.82        | 5.65        | 6.97         | 6.16        | 6.51        |
| K <sup>+</sup> (mg/L)                | 0.48         | 0.56        | 0.28        | 0.69         | 0.69        | 0.69        |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | 20           | 24          | 40          | 48           | 44          | 62          |
| Cl <sup>-</sup> (mg/L)               | 0.56         | 0.89        | 1.08        | 1.13         | 0.81        | 1.08        |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) | 7.49         | 5.37        | 4.93        | 7.36         | 6.82        | 8.24        |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)  | <0.001       | 0.109       | <0.001      | 0.172        | 0.15        | 0.054       |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | <0.001       | <0.001      | 0.022       | 0.018        | <0.001      | <0.001      |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 10.76        | 8.04        | 8.05        | 10.35        | 12.74       | 5.68        |
| Toplam Fosfat (mg/L)                 | 0.15         | 0.16        | <0.001      | 0.16         | 0.16        | 0.16        |
| KOİ (mg/L)                           | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Top. Organik karbon (mg/L)           | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Top. koliform (EMS/100 mL)           | 3            | 18          | 100         | 10           | 100         | 5           |
| <b>Haziran-2020</b>                  | <b>YYM-4</b> | <b>KM-4</b> | <b>CM-4</b> | <b>THK-4</b> | <b>ŞD-4</b> | <b>BG-4</b> |
| Ca <sup>2+</sup> (mg/L)              | 9.6          | 16          | 53.2        | 16.4         | 22.8        | 14          |
| Mg <sup>2+</sup> (mg/L)              | 1.68         | 3.12        | 8.4         | 3.36         | 4.08        | 2.4         |
| Na <sup>+</sup> (mg/L)               | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| K <sup>+</sup> (mg/L)                | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Cl <sup>-</sup> (mg/L)               | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)  | 0.07         | 0.04        | <0.001      | <0.001       | 0.05        | <0.001      |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0.008        | 0.01        | 0.013       | 0.015        | 0.01        | 0.014       |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0.7          | 2.2         | 1.8         | 1.7          | 1.1         | 1.6         |
| Toplam Fosfat (mg/L)                 | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| KOİ (mg/L)                           | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Top. Organik karbon (mg/L)           | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Top. koliform (EMS/100 mL)           | 60           | 20          | 100         | 18           | 150         | 15          |
| <b>Temmuz-2020</b>                   | <b>YYM-5</b> | <b>KM-5</b> | <b>CM-5</b> | <b>THK-5</b> | <b>ŞD-5</b> | <b>BG-5</b> |
| Ca <sup>2+</sup> (mg/L)              | 7.2          | 14.8        | 55.6        | 15.2         | 20.4        | 16.4        |
| Mg <sup>2+</sup> (mg/L)              | 3.12         | 7.2         | 10.3        | 3.84         | 5.76        | 4.56        |
| Na <sup>+</sup> (mg/L)               | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| K <sup>+</sup> (mg/L)                | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Cl <sup>-</sup> (mg/L)               | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)  | 0.01         | 0.08        | 0.05        | 0.09         | 0.16        | 0.28        |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0.015        | <0.001      | <0.001      | 0.037        | <0.001      | 0.02        |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0.8          | 7.3         | 2.8         | 2.9          | 6           | 1.4         |
| Toplam Fosfat (mg/L)                 | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| KOİ (mg/L)                           | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Top. Organik karbon (mg/L)           | <0.001       | 2.28        | 26.1        | 1.62         | 4.81        | 2.33        |
| Top. koliform (EMS/100 mL)           | 122          | 300         | 100         | 170          | 390         | 700         |
| <b>Ağustos-2020</b>                  | <b>YYM-6</b> | <b>KM-6</b> | <b>CM-6</b> | <b>THK-6</b> | <b>ŞD-6</b> | <b>BG-6</b> |
| Ca <sup>2+</sup> (mg/L)              | 11.6         | 10.4        | 43.4        | 21.6         | 18          | 20.8        |
| Mg <sup>2+</sup> (mg/L)              | 1.92         | 4.8         | 3.6         | 4.8          | 2.88        | 2.16        |
| Na <sup>+</sup> (mg/L)               | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| K <sup>+</sup> (mg/L)                | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Cl <sup>-</sup> (mg/L)               | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L) | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)  | 0.04         | 0.09        | 0.12        | 0.15         | 0.07        | 0.08        |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0.02         | 0.013       | 0.037       | 0.031        | 0.014       | 0.033       |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0.8          | 1.9         | 1.7         | 1.3          | 1           | 1.5         |
| Toplam Fosfat (mg/L)                 | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| KOİ (mg/L)                           | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Top. Organik karbon (mg/L)           | -            | -           | -           | -            | -           | -           |
| Top. koliform (EMS/100 mL)           | 18           | 224         | 230         | 115          | 140         | 160         |

Tablo 6. İnceleme alanındaki suların su tipleri [48].

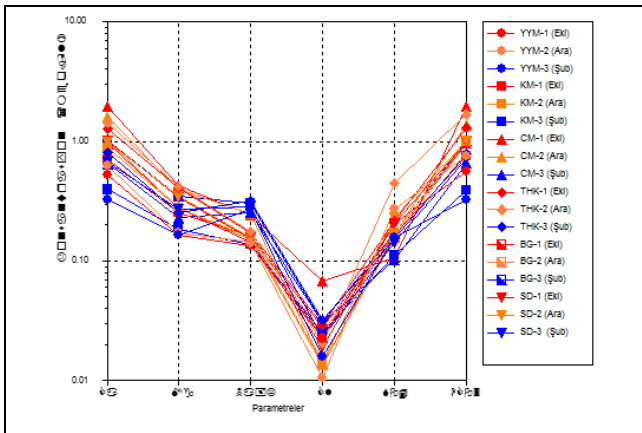
Table 6. Water types of the waters in the study area [48].

| Örnek Lokasyonu          | Örnek Adı       | Su Tipi                            |
|--------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Yüzüncüyıl Mezrası (YYM) | YYM-1 (Eki-19)  | CaHCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> |
|                          | YYM-2 (Arlk-19) | CaHCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> |
|                          | YYM-3 (Şub-20)  | CaNaMgHCO <sub>3</sub>             |
| Kuşçu Mevkii (KM)        | KM-1 (Eki-19)   | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
|                          | KM-2 (Arlk-19)  | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
|                          | KM-3 (Şub-20)   | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
| Cinali Mevkii (CM)       | CM-1 (Eki-19)   | CaHCO <sub>3</sub>                 |
|                          | CM-2 (Arlk-19)  | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
|                          | CM-3 (Şub-20)   | CaNaMgHCO <sub>3</sub>             |
| Taşhan Köprüsü (THK)     | THK-1 (Eki-19)  | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
|                          | THK-2 (Arlk-19) | CaHCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> |
|                          | THK-3 (Şub-20)  | CaNaMgHCO <sub>3</sub>             |
| Şimsirli Deresi (ŞD)     | ŞD-1 (Eki-19)   | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
|                          | ŞD-2 (Arlk-19)  | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
|                          | ŞD-3 (Şub-20)   | CaMgNaHCO <sub>3</sub>             |
| Atasu Baraj Gölü (BG)    | BG-1 (Eki-19)   | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
|                          | BG-2 (Arlk-19)  | CaMgHCO <sub>3</sub>               |
|                          | BG-3 (Şub-20)   | CaMgHCO <sub>3</sub>               |



Şekil 5. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramındaki konumları.

Figure 5. Plotted of the waters in the study area on the Piper diagram.



Şekil 6. İnceleme alanındaki suların Schoeller diyagramındaki konumları.

Figure 6. Plotted of the waters in the study area on the Schoeller diagram.

### 3.3.2 Sulardaki bazı kirlilik parametreleri

Su kaynaklarının kirlenmesi jeojenik ve antropojenik olmak üzere iki yolla meydana gelmektedir. Jeojenik kirlilik esas itibarıyla kayaç-su etkileşimi nedeniyle doğal nedenlerle, antropojenik kirlilik ise endüstri, kentsel kanalizasyon ve atık depolama alanları, madencilik gibi insan faaliyetleri sonucu meydana gelmektedir. Su kaynaklarında en çok rastlanan kirlenici maddeler azot bileşikleridir olan nitrat, nitrit, amonyak, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir [6].

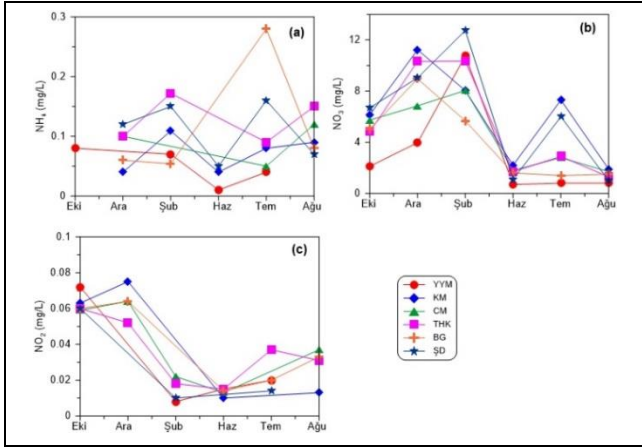
Çalışma alanında Atasu Baraj Gölü koruma sınırı dışında kalan alanda fındık tarımı ve kısıtlı ölçüde hayvancılık faaliyetleri yapılmaktadır. Alandaki dağınık yerleşim evsel atıkların da havza içerisinde gelişigüzel yayılmasına neden olmaktadır. Havzada topoğrafik eğimin fazla olması ve her mevsim yağışın olması sürekli bir yüzeysel akış oluşmasını sağlamaktadır. Bu akış aynı zamanda üst kotlardaki kirliliğin kısa sürede baraj gölüne ulaşmasına neden olmaktadır.

Çalışma alanında su kaynaklarındaki kirlilik durumunun tespiti için azot türevleri, fosfat, toplam organik karbon (TOC) ve ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 5).

Azot bileşiklerinden bir tanesi olan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> doğada oldukça fazla bulunur. Su içinde ise genellikle serbest veya tuz halinde amonyak olarak yer almaktadır. Amonyumun bulaşıcı hastalıklara sebep olan parametrelerin arasında yer alması nedeniyle yeraltı ve yerüstü sularının kirli olup olmadığı araştırmalarında sık sık analiz edilen parametrelerden biridir. İnceleme alanında sularda NH<sub>4</sub><sup>+</sup> değerleri genel olarak düşüktür. En yüksek NH<sub>4</sub><sup>+</sup> konsantrasyonu 0.28 mg/L olarak Baraj Gölünde ölçülmüştür (Tablo 5). Sulardaki NH<sub>4</sub><sup>+</sup> değerlerindeki değişim Şekil 7(a)'da verilmiştir. Gübre yapımında yaygın bir şekilde yer alan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> doğal olarak tarımsal faaliyetlerde kullanılmaktadır. Nitratın yerüstü sularına katılımı genel olarak yağmur suları ile gerçekleşmektedir. İnceleme alanındaki sularda nitrat konsantrasyonu 0.7-12.74 mg/L arasında değişir. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonu minimum değeri YYM-4, maksimum değeri ise ŞD-3 numaralı örnekte görülmüştür (Tablo 5). Sulardaki NO<sub>3</sub><sup>-</sup> değerlerindeki değişim Şekil 7(b)'de verilmiştir.

Nitrit iyonu, sularda sıkça görülür fakat nitrat iyonuna göre çok düşük miktarda bulunmaktadır. Ayrıca, nitrifikasyon (amonyak nitrate dönüşümü) ve denitrifikasyon (nitrat azotoksit dönüşümü) süreçleri gerçekleştirildiği zaman geçiş formu olarak rol oynayan nitritin insan ve hayvanların beslenmesinde oynadığı zehirleyici rol nitrattan daha fazladır [49]. Böylece suların kirli olup olmadığının öğrenilmesi için nitrit, nitrat ve amonyum gibi iyonların konsantrasyonu önemlidir. Atasu Baraj havzası sularında NO<sub>2</sub><sup>-</sup> değerleri genellikle 0.001 mg/L'den küçüktür. En yüksek değeri 0.07 mg/L olarak YYM-2 örnek noktasında ölçülmüştür (Tablo 5). Sulardaki NO<sub>2</sub><sup>-</sup> değerlerindeki değişim Şekil 7(c)'de verilmiştir. Akarsuların debisinin düşük olduğu Ekim Aralık ve Şubat aylarında azot türevlerinin fazla olması akarsuya ulaşan atık sularla ilgilidir. Akarsuların debisinin yüksek olduğu Haziran ayında seyrelmenin etkisiyle bu parametrelerin konsantrasyonları düşmüştür.

Fosfor doğal sularda organik ve inorganik şekillerde bulunur. Fosfatlar doğal kaynaklı yani canlı maddelerinin ayrışması yahut kaya ve fosfor içeren minerallerin yıkanmasından elde edilmektedir.



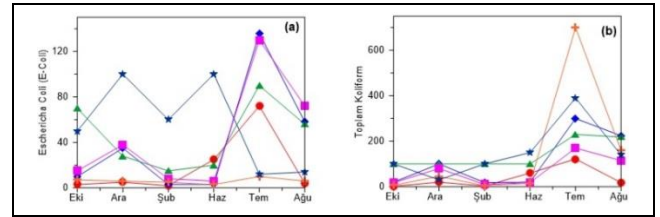
Şekil 7. İnceleme alanındaki suların Nutrient (Besin Elementleri) parametreleri.

Figure 7. Nutrient parameters of the waters in the study area.

Ancak günümüzde, sudaki varlıkları esas olarak antropojenik (gübreler, hayvanların dışkısı, arıtma istasyonları, deterjan polifosfatları, fosfatlarla işlenmiş su, kimya endüstri) katkılardan oluşmaktadır [50]. 25 °C sıcaklık ve 1 atmosfer basınç altında, pH değeri (0-14) yükseldikçe fosforik asitin ( $H_3PO_4$ ) yapısında var olan hidrojen iyonundan terk edilerek ortofosfatı ( $PO_4^{3-}$ ) bulana kadar bu süreç devam etmektedir [51], [52] İnceleme alanındaki sularda  $PO_4^{3-}$  konsantrasyonu genellikle düşüktür, ancak KM, THK ve BG örneklerinde 0.16 mg/L olarak ölçülmüştür (Tablo 5).

Toplam Organik Karbon (TOC) temiz, atık veya katı suların içinde bulunan toplam ve çözünmüş karbon miktarını belirlemek için kullanılmaktadır. Sulara bulunan organik maddeler, tabii olan organik malzemeleri (bitki, yosun, mikroorganizmalar) parçalayıp çözünmesi sonucu suya eklenenler, ev ve ticari faaliyetlerden oluşan sentetik maddeler ve son olarak arıtma işlemleri sırasında suya giren maddeler ya da suda gerçekleştirilen reaksiyonlardan oluşan ürünlerden kaynaklanabilmektedir. Hümkik asit gibi bazı tabii organik maddelerin suda bulunması renk, istemeyen tad ve kokular oluşmasının dışında zararlı olmamasıdır [53]. Çalışma alanında sulara TOC değerleri 1.62- 26.1 mg/L arasında değişmekte olup, en yüksek TOC değeri CM-2 noktasında ölçülmüştür (Tablo 5).

Toplum bireylerinin sağlığı için suların mikrobiyolojik açıdan değerlendirilmesi gerekir. Bakteriyolojik kirlilik nedeni ile dünyanın birçok ülkesinde salgın hastalıklar can kayıplarına neden olmakta, su ile bulaşan hastalıklar bebek ölümlerinin nedenleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Sulara insanda hastalık yapıcı hiçbir bakterinin bulunmaması gerekmektedir [54]. Suyun kalitesinde mikrobiyolojik parametrelerin oynadığı önemli rol nedeniyle sulara Esherichia coli (E koli) ve toplam koliform bakteri analiz edilmiştir Şekil 8(a) ve (b) İnceleme alanındaki sulara E koli değerleri 2-138 kob/100 mL Şekil 8(a), toplam koliform bakteri değerleri 2- 700 kob/100 mL arasında değişir Şekil 8(b). En yüksek değerler BG ve KM örneklerinde gözlenmiştir (Tablo 5). Bu durum havzadaki yerleşimlerin atık sularının ve foseptiklerinin yüzey sularına karıştığını göstermektedir.



Şekil 8. İnceleme alanındaki suların bakteriyolojik parametreleri.

Figure 8. Bacteriological parameters of the waters in the study area.

### 3.3.3 İz elementler

Doğada bulunan iz elementler de kayalar ve maden yataklarının doğal bileşenleridir. Dolayısıyla bu elementler normalde topraklarda, çökeltilerde, yüzey sularında ve canlı organizmalarda düşük seviyelerde (eser miktarlar, % 0.1'den az) bulunur [55] [56]. Çevrede ağır metallerin varlığı doğal nedenlerin yanı sıra insan faaliyetlerinden de kaynaklanabilir. Sulara arsenik konsantrasyonunun yüksek olmasına neden olan en önemli insan aktiviteleri arasında tarım ilaçları ve madencilik faaliyetleri gösterilmektedir. Ülkemizde içme sularında bulunan arseniğin doğal ve antropojenik kaynakları çeşitli araştırmalarda çalışılmıştır [57]. İnceleme alanında sulara kurak (Ekim) ve yağışlı (Haziran) dönem olmak üzere arsenik, alüminyum, krom, mangan, kobalt, nikel, bakır, çinko, kadmiyum, antimon, baryum, kurşun, demir, selenyum ve civa iz elementleri analiz edilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. İnorganik kirlenme parametreleri.

Table 7. Inorganic contamination parameters.

|                           | YSKY<br>2023 | YYM-1<br>(Ek19) | YYM-4<br>(Haz20) | KM-1<br>(Ek19) | KM-4<br>(Haz20) | CM-1<br>(Ek19) | CM-4<br>(Haz20) | THK-1<br>(Ek19) | THK-4<br>(Haz20) | ŞD-1<br>(Ek19) | ŞD-4<br>(Haz20) | BG-1<br>(Ek19) | BG-4<br>(Haz20) |
|---------------------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Civa ( $\mu g Hg/L$ )     | 1            | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             |
| Kadmiyum( $\mu g Cd/L$ )  | 5            | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             |
| Kurşun ( $\mu g Pb/L$ )   | 50           | 2.32            | 1.46             | 1.44           | öla             | öla            | öla             | 1.8             | öla              | 1.37           | öla             | 1.39           | öla             |
| Arsenik ( $\mu g As/L$ )  | 50           | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             |
| Bakır ( $\mu g Cu/L$ )    | 100          | 29.42           | 26.09            | 30.62          | 7.81            | 11.23          | 2.03            | 16.04           | 12.94            | 15.46          | 9.72            | 12.7           | 32.31           |
| Krom ( $\mu g Cr/L$ )     | 50           | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             |
| Kobalt ( $\mu g Co/L$ )   | öla          | öla             | öla              | öla            | öla             | 15.44          | öla             | 14.40           | öla              | 11.04          | öla             | öla            | öla             |
| Nikel ( $\mu g Ni/L$ )    | 50           | 84.07           | 2.56             | 102.36         | 6.01            | 176.52         | 20.39           | 161.8           | 7.65             | 130.89         | 7.61            | 112.64         | 11.93           |
| Çinko ( $\mu g Zn/L$ )    | 100          | 47.5            | 41.14            | 31.21          | 10.94           | 21.86          | 5.59            | 7.87            | 21.05            | 15.46          | 10.91           | 26.69          | 37.18           |
| Florür ( $\mu g F^-/L$ )  | 1500         | 52              | 0.01             | 0.072          | 0.01            | 0.117          | 0.24            | 0.067           | 0.015            | 0.064          | 0.01            | 0.064          | 0.014           |
| Demir ( $\mu g Fe/L$ )    | 50           | 48.67           | 111.97           | 51.72          | 37.57           | 69.0           | 85.0            | 92.0            | 96               | 86.12          | 232.0           | 109.0          | 233.0           |
| Mangan ( $\mu g Mn/L$ )   | 20           | 14.30           | 18.00            | 18.00          | 12.00           | 10.0           | 7.0             | 18.0            | 17.0             | 31.37          | 21.24           | 0.016          | 0.049           |
| Bor ( $\mu g B/L$ )       | 1000         | 23.05           | 21.15            | 13.39          | 27.95           | 28.12          | 24.9            | 43.84           | 36.35            | 25.69          | 27.21           | 21.36          | 53.96           |
| Selenyum ( $\mu g Se/L$ ) | 10           | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             | öla             | öla              | öla            | öla             | öla            | öla             |
| Baryum ( $\mu g Ba/L$ )   | 100          | 41.18           | 29.36            | 14.95          | 13.66           | 12.57          | 11.83           | 39.58           | 27.27            | 29.54          | 30.5            | 22.52          | 32.17           |
| Alüminyum $\mu g Al/L$ )  | 50           | 21.54           | 38.91            | 48.88          | 1.88            | 14.64          | 5.58            | 130.63          | 45.23            | 29.15          | 1.25            | 155.89         | 175.99          |

öla: Element için ölçme sonucunun, ölçme cihazının tayin sınırından küçük olduğunu ifade eder. YSKY: Yerüstü su kalitesi yönetmeliği;2023 [34].

Bunlardan krom, kadmiyum, antimon, arsenik, selenyum ve civa konsantrasyonları laboratuvarın ölçüm limitleri altında olduğu için bir değer verilememiştir. Ölçüm değeri verilen ağır metaller kurak ve yağışlı dönemler için değerlendirildiğinde bazılarının yağışlı dönemde azalış gösterdiği bazılarının ise arttığı görülmektedir (Tablo 8). Cu, Ni, Pb element konsantrasyonlarının yağışlı dönemde düştüğü, Fe'nin ise arttığı görülmektedir. Bu artışın nedeni havzanın üst kotlarında yer alan Fe cevherleşmelerinin yağışın etkisiyle yıkanarak akarsuya ulaşması olarak yorumlanmıştır.

Tablo 8. İz elementlerin yağışlı dönemdeki konsantrasyonlarında gözlenen değişimler.

Table 8. The variations observed in the concentrations of trace elements during the rainy season.

|                               | YYM   | KM | CM | THK | ŞD | BG |
|-------------------------------|-------|----|----|-----|----|----|
| Alüminyum (mg Al/L)           | ↑ top | ↓  | ↓  | ↓   | ↓  | ↑  |
| Arsenik (µg As/L)             | -     | -  | -  | -   | -  | -  |
| Bakır (µg Cu/L)               | ↓     | ↓  | ↓  | ↓   | ↓  | ↑  |
| Baryum (µg Ba/L)              | ↓     | ↓  | ↓  | ↓   | ↑  | ↑  |
| Bor (µg B/L)                  | ↓     | ↑  | ↓  | ↓   | ↑  | ↑  |
| Civa (µg Hg/L)                | -     | -  | -  | -   | -  | -  |
| Çinko (µg Zn/L)               | ↓     | -  | ↓  | ↑   | -  | ↑  |
| Demir (µg Fe/L)               | ↑     | ↓  | ↑  | ↑   | ↑  | ↑  |
| Florür (µg F <sup>-</sup> /L) | ↓     | ↓  | ↓  | ↓   | ↓  | ↓  |
| Kadmiyum (µg Cd/L)            | -     | -  | -  | -   | -  | -  |
| Kobalt (µg Co/L)              | -     | -  | ↓  | ↓   | ↓  | ↓  |
| Krom (toplam) (µg Cr/L)       | -     | -  | -  | -   | -  | -  |
| Kurşun (µg Pb/L)              | ↓     | ↓  | -  | -   | ↓  | ↓  |
| Mangan (µg Mn/L)              | ↑     | ↓  | ↓  | ↓   | ↓  | ↑  |
| Nikel (µg Ni/L)               | ↓     | ↓  | ↓  | ↓   | ↓  | ↓  |
| Selenyum (µg Se/L)            | -     | -  | -  | -   | -  | -  |
| Toplam koliform (Membran)     | ↑     | -  | ↓  | -   | ↓  | ↓  |

↑: Yağışlı dönemde artış, ↓: Yağışlı dönemde azalış, -: Konsantrasyonda değişim yok

### 3.4 Sularının kalite kriterleri açısından değerlendirilmesi

Atasu Baraj Gölü havzasında yan kollardan ve ana akarsudan alınan örneklerin analiz sonuçları Yerüstü Su Kalitesi yönetmeliği 2023'e göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelere göre suların genel şartlar ve oksijenlendirme parametreleri (DO ve KOİ) açısından I. Sınıf Su Kalitesinde olduğu belirlenmiştir. Nutrient (Besin Elementleri) Parametrelerinden NH<sub>4</sub> değerine göre Baraj gölü dışındakiler sular I. sınıf, Baraj gölü yaz mevsiminde II. sınıf su tipindedir. NO<sub>2</sub> ve NO<sub>3</sub> ve toplam fosfor açısından ise II. ve III. sınıf su tipindedir. İz elementler ve inorganik kirlilik parametreleri açısından incelendiğinde sularda arsenik, selenyum, kadmiyum, civa, krom gibi elementlerin ölçüm sınırı altında konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir. Bu parametreler açısından sular I. sınıftır. Ancak Cu açısından YYM ve KM suları II. sınıf, Ni açısından tüm sular III. Sınıf, diğer iz elementler açısından ise tüm sular I. sınıftır.

Bakteriyolojik analizler açısından değerlendirildiğinde suların toplam koliform bakteri değerleri ölçüm tarihlerine göre değişiklik göstermektedir. Ekim, Aralık ve Şubat aylarında düşük değerler gözlenirken, Temmuz ve Ağustos aylarında tüm sularda yüksek değerler görülmektedir. Toplam koliform bakteri açısından YYM suyu I. sınıf diğer tüm noktalar II sınıf su kalitesindedir.

### 3.5 Su kalitesi indeksi

Farklı su kalitesi parametrelerinin genel su kalitesi üzerindeki bileşik etkisini yansıtan bir derecelendirme olarak tanımlanan Su Kalitesi indeksinin (WQI) hesaplanmasının temel amacı, karmaşık su kalitesi verilerini kolayca anlaşılır ve kullanılabilir

bilgilere dönüştürmektir. Bu çalışmada her bir su noktasında 6'şar kez EC, pH, TDS değeri ölçülmüş ve majör iyonlar (Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl ve SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, F) ile NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> ve Toplam koliform bakteri analiz edilmiştir. Ayrıca her bir su noktasında Al, B, Fe, Mn, Cu, Zn, Ba, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb ve Se analiz edilmiştir. CWQI hesaplamasında her bir su noktası için toplam parametre sayısı 28, toplam test sayısı 64'tür. Limit aşan parametre sayısı 4-5 ve limit aşan toplam parametre sayısı 10-16 arasında değişmektedir. Genel olarak havzada limit değeri aşan parametreler NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, Ni, Fe, toplam koliform bakteridir. Havzada 6 nokta için ayrı ayrı hesaplanan CCME WQI değeri 95.45 ile 96.56 arasında değişir. (Tablo 9).

Tablo 9. Atasu barajı havzasında hesaplanan su kalitesi değerleri.

Table 9. Water quality values calculated in the Atasu Dam Basin.

| Örnek No                 | CCME WQI (Su Kalite Değeri) |
|--------------------------|-----------------------------|
| YYM (Yüzüncüyıl Mezrası) | 96.56                       |
| KM (Kuşçu Mevkii)        | 96.49                       |
| CM (Cinalı Mevkii)       | 96.12                       |
| THK (Taşhan Köprüsü)     | 95.58                       |
| ŞD (Şimşirli Deresi)     | 95.84                       |
| BG (Atasu Baraj Gölü)    | 95.45                       |

Bu değerlere göre havzanın her noktasında su kalitesi mükemmel olarak derecelendirilmektedir. Havzadaki suların doğal veya bozulmamış seviyelere çok yakın koşullar sergilediği görülmektedir.

## 4 Sonuçlar

Atasu Baraj Gölü Havzası içerisinde kırsal yerleşimin bulunduğu, kısmen tarımsal faaliyetlerin devam ettiği çoğunluğu ormanlık alandan oluşan bir havzadır. Galyan ve Şimşirli ana iki kol ve bunlara eklenen çok sayıda yan kollar havzayı drene etmektedir. Havzanın genelinde su kalitesini ortaya koymak amacıyla da ana kolları besleyen yan kollardan örnekler alınarak varsa kirlilik taşıyan kollar tespit edilmeye çalışılmıştır.

Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'nde yer alan parametrelerden siyanür, sülfür, serbest klor gibi birkaç parametre dışındaki parametreler açısından değerlendirildiğinde suların birçok parametre açısından I. sınıf, azot ve fosfor bileşenleri bakımından II ve III. sınıf, iz elementlerden Cu ve Ni dışındaki parametreler açısından I. sınıf olduğu belirlenmiştir. Ayrıca iz element konsantrasyonlarının yağışlı ve kurak dönemde farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu farklılıklar birçok elementte yağışlı dönemde azalma yönünde iken demirde artma eğilimindedir. Bu çalışma sonucunda bir yıl süre ile analiz edilen parametreler açısından Atasu Barajı Havzasında yüzey suyu kalitesinin genel olarak iyi durumda olduğu, ağır metal içeriklerinin yan kollarda değişim gösterdiği, Cu ve Ni dışındaki iz elementlerin I. sınıf su kalitesi konsantrasyonlarında olduğu belirlenmiştir. İz element konsantrasyonlarının yağışlı mevsimde genel olarak yan kollarda azaldığı ancak Atasu baraj Gölünde arttığı görülmüştür. Nitrat konsantrasyonun su kalite kriterlerinde verilen değeri aşmadığı ancak daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi Şimşirli (Kuşul) Deresinde Galyan koluna göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ağır metal konsantrasyonları kollarda düşük olsa bile baraj gölünde birikme eğilimindedir. İçme suyu havzası olan bu havzada özellikle ağır metal içeriklerinin takip edilmesinin ve gereken önlemlerin alınmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

## 5 Conclusions

Atasu Dam Lake Basin is a basin consisting mostly of forested areas with rural settlements and partially agricultural activities. The basin is drained by two main tributaries, Kalyan and Şimşirli, and many side tributaries added to them. In order to reveal the water quality throughout the basin, samples were taken from the tributaries feeding the main tributaries and the polluted tributaries, if any, were tried to be identified.

When evaluated in terms of parameters other than a few parameters such as cyanide, sulfur, free chlorine among the parameters included in the Quality Criteria According to the Classes of Continental Surface Water Resources, it was determined that the waters were class I in terms of many parameters, class II and III in terms of nitrogen and phosphorus components, and class I in terms of parameters other than Cu and Ni among trace elements. In addition, it was determined that trace element concentrations differed in wet and dry periods. While these differences are in the direction of decrease in many elements in the wet period, they tend to increase in iron. As a result of this study, it was determined that the surface water quality in the Atasu Dam Basin is generally good in terms of the parameters analyzed for one year, heavy metal contents vary in the tributaries, and trace elements except Cu and Ni are in class I water quality concentrations. It was observed that trace element concentrations generally decreased in the tributaries during the rainy season, but increased in Atasu Dam reservoir. Nitrate concentration did not exceed the value given in the water quality criteria, but as stated in previous studies, it was higher in Şimşirli (Kuştu) Stream than in Galyan tributary.

Heavy metal concentrations tend to accumulate in the reservoir even if they are low in the tributaries. It is thought that it would be useful to monitor especially heavy metal contents and take necessary precautions in this basin, which is a drinking water basin.

## 6 Teşekkür

Bu çalışma, 8500 No.lu Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Projesi ile desteklenmiştir. Yazarlar maddi desteklerinden dolayı KTÜ BAP birimine, arazi çalışmalarında yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Elif GEDİKLİ'ye teşekkür ederler.

## 7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Fatma GÜLTEKİN fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması ve sonuçların yorumlanması başlıklarında; Esra HATİPOĞLU TEMİZEL elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

## 8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".  
"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

## 9 Kaynaklar

[1] Magesh NS, Krishnakumar S, Chandrasekar N, Soundranayagam JP. "Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India". *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 4179-4189. 2013.

- [2] Uddin MG, Moniruzzaman M, Quader MA, Hasan MA. "Spatial variability in the distribution of trace metals in groundwater around the Rooppur nuclear power plant in Ishwardi, Bangladesh". *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 220-231, 2018.
- [3] Lobato TC, Hauser-Davis RA, Oliveira TF, Silveira AM, Silva HAN, Tavares MRM, Saraiva ACF. "Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region". *Journal of Hydrology*, 522, 674-683, 2015.
- [4] Rainbow PS. "Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment". *Marine Pollution Bulletin*, 31(4-12), 183-192, 1995.
- [5] Sanchez E, Colmenarejo MF, Vicente J, Rubio A, García MG, Travieso L, Borja R. "Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution". *Ecological Indicator*, 7, 315-328, 2007.
- [6] Uslu O, Türkman A. *Su Kirliliği ve Kontrolü*, Birinci Baskı, Ankara, Türkiye, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, 1987.
- [7] Almeida C, Gonzalez SO, Mallea M, Gonzalez P. "A recreational water quality index using chemical, physical and microbiological parameters". *Environmental Science and Pollution Research*. 19, 3400-3411, 2012.
- [8] Sedeño-Díaz JE, López-López E. "Water quality in the rio Lerma, Mexico: an overview of the last quarter of the Twentieth Century". *Water Resources Management*, 21 (10), 1797-1812, 2007.
- [9] Jindal R, Sharma C. "Studies on water quality of Sutlej River around Ludhiana with reference to physicochemical parameters". *Environmental Monitoring and Assessment* 174, 417-425, 2011.
- [10] Venkatesharaju K, Ravikumar P, Somashekar RK, Prakash KL. "Physico chemical and Bacteriological Investigation on the river Cauvery of Kollegal Stretch in Karnataka". *Journal of Science Engineering and Technology*, 6(1), 50-59, 2010.
- [11] Uddin MG, Nash S, Olbert AI. "A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality". *Ecological Indicators*, 122, 107218, 2021.
- [12] Sharifi M. *Assessment of surface Water Quality by an index system in Anzali basin*. The Hydrological Basis for Water Resources Management, Editors: Shamir U, Jiaqi C. Proceedings of the Beijing Symposium, 163-171, Wallingford, Oxfordshire England, IAHS Publications No. 197, 1990.
- [13] Abbasi SA. "Water Quality Indices". State of the Art Report, National Institute of Hydrology, Scientific Contribution No. INCOH/SAR-25/2002, Roorkee: INCOH, 73, 2002.
- [14] Lumb AA, Halliwell D, Sharma T. "Application of CCME water quality index to monitor water quality: A case of the Mackenzie River Basin, Canada". *Environmental Monitoring and Assessment*, 113, 411-429. 2006.
- [15] Kannel PR, Lee S, Lee YS, Kanel SR, Khan SP. "Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment". *Environmental Monitoring and Assessment*, 132, 93-110, 2007.

- [16] Khan AA, Paterson R, Khan H. "Modification and Application of the CCME WQI for the Communication of Drinking Water Quality Data in Newfoundland and Labrador" Presented at 38<sup>th</sup>, Central Symposium on Water Quality Research, Canadian Association on Water Quality, Burlington, Canada, 10-11 February 2003.
- [17] Sargaonkar A, Deshpande V. "Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in indian context". *Environmental Monitoring and Assessment*, 89, 43-67, 2003.
- [18] Shuhaimi-Othman M, Lim EC, Mushrifah I. "Water quality changes in chini Lake, Pahang, West Malaysia". *Environmental Monitoring and Assessment*, 131, 279-292, 2007.
- [19] Ramakrishnaiah CR, Sadashivaiah C, Ranganna G. "Assessment of water quality index for the groundwater in tumkur taluk, karnataka state, India". *Journal of Chemistry*, 6(2), 523-530, 2009.
- [20] Mustapha A, Aris AZ. "Application of water quality index method in water quality assessment". *Elixir Pollution*, 33, 2264-2267, 2011.
- [21] Akkoyunlu A. Akiner ME. "Pollution evaluation in streams using water quality indices: a case study from turkey's sapanca lake basin". *Ecological Indicators*, 18, 501-511, 2012.
- [22] Effendi H, Romanto-Wardiatno Y. "Water quality status of ciambulawung river, banten province, based on pollution index and NSF-WQI". *Procedia Environmental Sciences*, 24, 228-237, 2015.
- [23] Şener Ş, Şener E, Davraz A. "Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)". *Science of the Total Environment*, 584-585, 131-144, 2017.
- [24] Tunç Dede Ö, Sezer M. "Aksu çayı su kalitesinin belirlenmesinde Kanada su kalitesi indeks (CWQI) modelinin uygulanması". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(3), 909-917, 2017.
- [25] Ates N, Dadaser-Celik F, Kaplan-Bekaroğlu ŞŞ, Ergin B. "Kayseri'de içme suyu kalitesinin mekânsal ve zamansal değişimi". *International Agriculture, Environment and Health Congress*, Aydın, Türkiye, 26-28 October 2018.
- [26] Bilgin A. "Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruh River Basin". *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 554, 2018.
- [27] Sukmawati NMH, Rusni NW. "Assessment of water quality index of beratan lake using NSF WQI indicator". *Warmadewa Medical Journal*, 4(2), 39-43, 2019.
- [28] Zaoui L. "Assessment of water quality bounamoussa river in el tarf region using water quality index (Algeria)". *International Physical Medicine & Rehabilitation Journal*, 4(6), 299-302, 2020.
- [29] Hui T, Xiujuan L, Qifa S, Qiang L, Zhuang K, Yan G. "Evaluation of drinking water quality using the water quality index (WQI), the synthetic pollution index (SPI) and geospatial tools in lianhuashan district, China". *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(1), 141-153, 2021.
- [30] Akyıldız Y. Galyan Havzası Akarsularının Bazı Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2004.
- [31] Bulut VN. Trabzon (Maçka) Kalyan Akarsuyunun Su Kalitesinin Araştırılması ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2005.
- [32] Uzun H. Trabzon İli Akarsularının Su Kalite Düzeylerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2006.
- [33] Gültekin F, Fırat Ersoy A, Hatipoğlu E, Celep S. "Trabzon İli akarsularının yağışlı dönem su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi". *Ekoloji*, 21(82), 77-88, 2012.
- [34] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği". <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/%C4%B0ZLEME%2002.01.2023/Yer%C3%BCst%C3%BC%20su%20kalitesi%20y%C3%B6netmeli%C4%9Fi.pdf> (20.09.2023).
- [35] Türk Standartları Enstitüsü. "Sular - İnsanî Tüketim Amaçlı Sular". Ankara, Türkiye, TS 266, 2005.
- [36] World Health Organization. "Guidelines for Drinking-Water Quality". Third Edition, Geneva, Switzerland, 2008.
- [37] Thornthwaite CW. "An approach toward a rational classification of climate". *Geographical Review*, 38, 55-94, 1948.
- [38] Türk Standartları Enstitüsü. "Su Kalitesi-Numune Alma Bölüm 3: Su numunelerinin korunması ve elleçlenmesi". Ankara, Türkiye, TS EN ISO 5667-3, 2018.
- [39] Haseen K, Amir AK, Sarah H. "The Canadian water quality index: A tool for water resource management". *MTERM International Conference*, Ait, Thailand, 06-10 June 2005.
- [40] Horton RK. "An index number system for rating water quality". *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300-306, 1965.
- [41] Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, Tozer RG. "A Water Quality Index Do We Dare". *Water Sewage Works*, 117(10), 339-343, 1970.
- [42] Hebert S. "Développement d'un indice de qualité bactériologique et physico-chimique pour les rivières du Québec". Québec, Ministère De L'environnement et De La Faune, Direction Des Ecosystemes Aquatiques, Envirodoc No EN/970102, 20, 1997.
- [43] Canadian Water Quality Index 1.0. "User's Manual. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life". Winnipeg, Canada, 2005.
- [44] Ağar Ü. Demirözü ve Köse Bölgesinin Jeolojisi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1977.
- [45] Pelin S. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, 1. Baskı, Trabzon, Türkiye, K.T.Ü. Yayınları, 1977.
- [46] Güven İH. "Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/250000 Ölçekli Jeolojik ve Metalojenik Haritası". MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 1993.
- [47] Güven İH. "1/100000 Ölçekli Açinsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları". MTA Genel Müdürlüğü. Ankara, Türkiye, Trabzon-C29 ve D29 Paftaları. 1998.
- [48] International Association of Hydrogeologists. Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500,000. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom, 1979.
- [49] Şahinci A. Doğan Suların Jeokimyası. 1. Baskı, İzmir, Türkiye, Reform Matbaası, 1991.

- [50] Chery L, Bourbier J. "Le Phosphore Dans Les Eaux Souterraines de France". Etat des connaissances. Année 1. Rapport BRGM/RP, France, 40857, 2000.
- [51] Hem JD. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Third Edition, USA, US Geological Survey, United States Government Printing Office, 1985.
- [52] Freeze RA, Cherry JA. *Groundwater*, 1 ed. Englewood Cliffs, N.J, USA, Prentice-Hall, 1979.
- [53] Akiray Ö. İçme suyu ve su arıtımı. Suyumuzun Geleceği ve Türkiye Su Politikaları. Editörler: Şen Z, Sırdaş S. 22 Mart Dünya Su Günü Paneli, 62-75, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [54] Çobanoğlu Z. *Genel Çevre Sağlığı Bilgisi*. 1. Baskı, Ankara, Türkiye, Hatiboğlu Yayınları, 1995.
- [55] Alloway BJ, Ayres DC. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. London, England, Blackie Academic and Profesional an imprint of Chapman and Hall, 1997.
- [56] Callender E. *Heavy Metals in the Environment-Historical Trends*, Editor: BS. Lollar, Environmental Geochemistry, Treatise on Geochemistry, 67-105, Oxford, England, Elsevier-Pergamon, 2003.
- [57] Bilici Başkan M, Pala A. "İçme Sularında Arsenik Kirliliği: Ülkemiz Açısından Bir Değerlendirme". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1), 69-79, 2009.