

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FOLDERE (TONYA, VAKFIKEBİR, TRABZON) HAVZASI'NIN YÜZEY VE
YERALTI SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN İZLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman KÜÇÜK

HAZİRAN 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOLDERE (TONYA, VAKFIKEBİR, TRABZON) HAVZASI'NIN YÜZEY VE
YERALTI SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN İZLENMESİ**

Jeoloji Mühendisi Osman KÜÇÜK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"JEOLojİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 05 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 25 / 06 / 2024

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Esra HATİPOĞLU TEMİZEL

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü- Yüksek Lisans Tezi kapsamında hazırlanan çalışmanın amacı; hidrojeokimyasal analizler, su kalitesi parametreleri ve su kalite indeksleri kullanılarak Foldere (Tonya, Vakfıkebir, Trabzon) havzası'nın yüzey ve yeraltı su kalitesi parametrelerinin izlenmesidir.

“Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi” tarafından FYL-2023-10955 Kod No'lu proje ile desteklenen bu çalışmanın gerçekleşmesinde bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren, maddi manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Esra HATİPOĞLU TEMİZEL ve kıymetli hocam Prof. Dr. İrfan TEMİZEL' e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmaya maddi destek sağlayan Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi' ne teşekkür ederim. Her daim yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen eşim Özlem KÜÇÜK 'e, Arkadaşlarım Sedat ÜNVER ve N.Ömürkan ÇOKKAYNAR 'a minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Osman KÜÇÜK

Trabzon, 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “foldere (tonya, vakfıkebir, trabzon) havzası’nın yüzey ve yeraltı su kalitesi parametrelerinin izlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Esra HATİPOĞLU TEMİZEL’ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/ analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/ yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 25.06.2024

Osman KÜÇÜK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Morfolojisi.....	3
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü.....	4
1.5. Önceki Çalışmalar	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. Arazi Çalışmaları.....	9
2.2. Laboratuvar Çalışmaları	10
2.3. Büro Çalışmaları.....	10
3. BULGULAR.....	13
3.1. Genel Jeoloji.....	13
3.1.1. Giriş.....	13
3.1.2. Hamurkesen Formasyonu	13
3.1.3. Çatak Formasyonu	15
3.1.4. Kızılkaya Formasyonu	15
3.1.5. Çağlayan Formasyonu.....	16
3.1.6. Çayırbağ Formasyonu	16
3.1.7. Bakırköy Formasyonu	17
3.1.8. Kabaköy Formasyonu	18
3.1.9. Kaçkar Granitoyidi.....	18
3.1.10. Alüvyon.....	19
3.2. Hidroloji	19
3.2.1. Sıcaklık ve Yağış	19
3.2.2. Buharlaşma ve Terleme	21
3.2.3. Yüzey Suları ve Akımları	22

3.2.4. Süzülme.....	23
3.3. Hidrojeoji.....	23
3.3.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri	24
3.3.2. Su Noktaları	25
3.4. Suların Hidrokimyasal Özellikleri.....	26
3.4.1. Sıcaklık.....	27
3.4.2. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH).....	27
3.4.3. Özgül Elektriksel İletkenlik (EI).....	28
3.4.4. Toplam Çözünmüş Madde (TDS).....	29
3.4.5. Çözünmüş Oksijen (ÇO).....	32
3.4.6. Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2})	33
3.4.7. Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+}).....	34
3.4.8. Klorür (Cl^{-}) ve Florür (F^{-})	35
3.4.9. Bikarbonat (HCO_3^{-}).....	36
3.4.10. Sülfat (SO_4^{-2}).....	37
3.5. Sulama Suyu Kalitesinin Hidrojeokimyasal İndekslere Göre Değerlendirilmesi	38
3.5.1. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)	38
3.5.2. Sodyum Yüzdesi (% Na).....	40
3.5.3. Kelly İndeksi (KI)	41
3.5.4. Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC)	41
3.5.5. Magnezyum Tehlikesi (MH).....	41
3.5.6. Toplam Sertlik (TH).....	41
3.6. Suların Kirlilik Analizleri.....	42
3.6.1. Amonyum Azotu (NH_4_N)	42
3.6.2. Nitrat Azotu (NO_3_N)	43
3.6.3. Nitrit Azotu (NO_2_N).....	44
3.6.4. Toplam Fosfor (TP)	44
3.7. Ağır Metal Analizleri	45
3.8. Suların Kimyasal Sınıflandırılması	51
3.8.1. Piper Diyagramına Göre Suların Sınıflaması.....	51
3.8.2. Schoeller Diyagramına Göre Suların Sınıflaması	51
3.9. Su Kalitesi İndislerinin Değerlendirilmesi	52
3.9.1. Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndisi (WQI).....	52
3.9.2. Ağır Metal Kirlilik İndisi (HPI)	56

4. TARTIŞMA.....	58
5. SONUÇLAR.....	63
6. KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	71



YÜKSEK LİSANS

ÖZET

FOLDERE (TONYA, VAKFIKEBİR, TRABZON) HAVZASI'NIN YÜZEY VE YERALTI SU KALİTESİ PARAMETRELERİNİN İZLENMESİ

Osman KÜÇÜK

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Esra HATİPOĞLU TEMİZEL

2024, 85 Sayfa

Bu çalışmada, Fol Dere Havzası (Tonya-Vakfikebir) yüzey ve yeraltı su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda havzada 10 adet yüzey suyu ve 2 adet yeraltı suyundan 3 dönem örnekleme yapılmıştır. İncelen yüzey suları genellikle Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-Na-HCO₃, yeraltı suları Ca-Na-HCO₃ ve Ca-HCO₃ su tipindedir. Yüzey sularında pH ortalama 7.72-8.28, elektriksel iletkenlik (Eİ) ortalama 140.6-266.3 µS/cm, ve çözünmüş oksijen (ÇO) 7.85-8.96 mg/L arasında değişmektedir. Yeraltı sularında pH ortalama 8.3-8.25, Eİ ortalama 43.5-45.6 µS/cm ve ÇO ortalama 8.75-8.88 mg/L arasındadır. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)'ne göre incelenen tüm sular pH, ÇO, Eİ, NH₄_N, NO₃_N, TP, F⁻ ve Mn bakımından I. sınıf “çok iyi” ve II. Sınıf “iyi” sınıfında yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266) yönetmeliklerine göre sular Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁻² içerikleri bakımından kullanım için herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır. Sular Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) bakımından “mükemmel su”, % Na bakımından “mükemmmel-iyi” sınıfında olup Kelly İndeksi (KI), Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC) ve Magnezyum Tehlikesi (MH) bakımından sulama amaçlı kullanım için uygundur. Sular toplam sertlik parametresi bakımından yumuşak sular sınıfına girmektedir. Sularının ağır metal konsantrasyonları (Fe, Mn, Pb, As, Zn, Li, Co, Cr ve Cu) genel olarak düşük olup Al (FD-1, FD-2, FD-3, FD-4 hariç) ve Ni'nin standartlarda verilen sınır değerleri aştığı belirlenmiştir. Su kalitesi indeksi (WQI) değerlerine göre Foldere Havzası “Mükemmel su” sınıfında olup WQI üzerindeki en etkili su kalitesi parametreleri pH, ÇO ve TP dur. Ağır metal indeksi (HPI) kalite sınıfına göre FD-4 “mükemmel” diğer bütün su noktaları “iyi” sınıfındadır.

Anahtar Kelimeler: Foldere Havzası, Su Kalitesi, WQI, HPI, Hidrokimya

MASTER THESIS

ABSTRACT

MONITORING SURFACE AND GROUNDWATER QUALITY PARAMETERS OF FOLDERE (TONYA, VAKFIKEBİR, TRABZON) BASIN

Osman KÜÇÜK

Karadeniz Technical University
Institute of Science and Technology
Department of Geological Engineering
Advisor: Doc. Dr. Esra HATİPOĞLU TEMİZEL
2024, 85 Page

In this study, the surface and groundwater quality of the Fol Dere Basin (Tonya-Vakfikebir) was aimed to be determined. For this purpose, sampling was carried out for 3 periods from 10 surface water and 2 groundwater points in the basin. The examined surface waters are generally of the Ca-Mg-HCO₃ and Ca-Na-HCO₃ types, while the groundwater is of the Ca-Na-HCO₃ and Ca-HCO₃ type. The pH of surface waters varies between 7.72-8.28 on average, electrical conductivity (EC) ranges from 140.6 to 266.3 μ S/cm on average, and dissolved oxygen (DO) ranges from 7.85 to 8.96 mg/L. The pH of groundwater averages 8.3-8.25, EC averages 43.5-45.6 μ S/cm, and DO averages 8.75-8.88 mg/L.

According to the Surface Water Quality Regulation (YSKY), all examined waters fall into the I. class "very good" and II. Class "good" in terms of pH, DO, EC, NH₄_N, NO₃_N, TP, F-, and Mn. According to the regulations of the World Health Organization (WHO) and the Turkish Standards Institute (TSE 266), the waters do not pose any threat in terms of Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁻² contents. Waters are classified as "excellent water" in terms of Sodium Adsorption Ratio (SAR), and "excellent-good" class in terms of % Na, while suitable for irrigation purposes in terms of Kelly Index (KI), Residual Sodium Carbonate (RSC), and Magnesium Hazard (MH). The waters belong to the category of soft waters in terms of total hardness parameters. Heavy metal concentrations are generally low, with Al (except FD-1, FD-2, FD-3, FD-4) and Ni exceeding the standard limit values.

According to the Water Quality Index (WQI) values, the Foldere Basin is classified as "Excellent water", with pH, DO, and TP being the most effective water quality parameters on the WQI. According to the Heavy Metal Index (HPI) quality class, FD-4 is "excellent", while all other water points are "good" class.

Keywords: Foldere Basin, Water Quality, WQI, HPI, Hydrochemistry

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışma alanına ait yerbulduru haritası.....	3
Şekil 2. Foldere Havzası'na ait (a)sayısal yükseklik modeli ve (b) eğim haritası.....	4
Şekil 3. Foldere havzasının jeoloji haritası (Güven 1993'ten revize edilmiştir)	14
Şekil 4. Tonya meteoroloji istasyonunda 2012-2022 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.	20
Şekil 5. Tonya meteoroloji istasyonunda 2012-2022 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değerlerinin aylara göre değişimi.	20
Şekil 6 Tonya meteoroloji istasyonunda 2012-2022 yılları arasında kaydedilen yağışların mevsimsel oranları	21
Şekil 7. Folderesi Havzası'nın hidrojeoloji haritası.....	24
Şekil 8. İnceleme sahasında yerinde ölçüm ve örnekleme yapılan Folderesi	25
Şekil 9. İnceleme sahasında yerinde ölçüm ve örnekleme yapılan Soğuk su kaynağı (FD-7).....	25
Şekil 10. İnceleme sahasında yerinde ölçüm ve örnekleme yapılan soğuksu sondajı (FD-11)	26
Şekil 11. İnceleme alanındaki su noktalarının sıcaklık değerlerinin mekânsal dağılımı	28
Şekil 12. İncelenen suların pH (a) ve Elektiriksel iletkenlik (b) değerlerinin mekânsal dağılımı	29
Şekil 13. İnceleme alanındaki su noktalarının ÇO değerlerinin mekânsal dağılımı	33
Şekil 14. İnceleme alanındaki su noktalarının ortalama Na değerlerinin mekânsal dağılımı	35
Şekil 15. İncelenen suların Klorür (a) ve Florür (b) değerlerinin mekânsal dağılımı	36
Şekil 16. İnceleme alanındaki su noktalarının ortalama Sülfat değerlerinin mekânsal dağılımı	37
Şekil 17. İncelenen suların tuzluluk ve sodyum tehlikesine göre sınıflandırılması (ABD Tuzluluk Diyagramı).....	40
Şekil 18. İncelenen suların NH ₄ _N (a) ve NO ₃ _N (b) değerlerinin mekânsal dağılımı	43
Şekil 19. İncelenen suların NO ₂ _N (a) ve TP (b) değerlerinin mekânsal dağılımı	45
Şekil 20. İncelenen suların Al (a) ve Fe (b) değerlerinin mekânsal dağılımı	48
Şekil 21. İncelenen suların Ni değerlerinin mekânsal dağılımı	50
Şekil 22. Araştırılan su örneklerine ait Piper diyagramı	51

Şekil 23. Araştırılan su örneklerine ait Schoeller diyagramı	52
Şekil 24. Foldere Havzası yüzey suları için hesaplanan WQI değerlerinin mekânsal dağılımı	54
Şekil 25. Foldere Havzası yüzey suları için hesaplanan HPI değerlerinin mekânsal dağılımı	57



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Tonya ilçesi 2012-2022 yıllarına ait yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri.....	5
Tablo 2. İnceleme alanında ölçüm ve örnekleme yapılan istasyonlar	9
Tablo 3. HPI Kirlilik sınıfları (Elumalai ve diğ., 2017).....	12
Tablo.4. Tonya (Trabzon) meteoroloji istasyonu verileri (MGM, 2023) ve Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış hidrolojik bilanço (Enlem 40°88' K, Boylam: 39°28"D Rakım 923 m) (Veriler 2012-2022 yılları arası ortalama sıcaklık ve yağışlardır)	22
Tablo 5. Foldere Havzasında süzölme oranı hesabı.....	23
Tablo 6. Folderesi Havzası yüzey ve yeraltısularının hidrokimyasal özellikleri	30
Tablo.7. Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri ve Su Kalite Sınıfı Renk Kodları (YSKY 2021).....	32
Tablo 8. İncelenen sular için kullanılan sulama suyu değerlendirme indeksi sınıflandırması.....	38
Tablo 9. İncelenen sular için kullanılan sulama suyu değerlendirme indeksleri	39
Tablo.10. Folderesi Havzası yüzey ve yeraltısularında ölçölün azot türevleri (Birimler mg/L).....	42
Tablo.11. Folderesi Havzası yüzey ve yeraltısularında ölçölün iz elementler (Birimler µg/L).....	46
Tablo 12. Etkin ağırlığın istatistiksel analizi	55
Tablo 13. HPI hesaplamaları için kullanılan veriler	56
Tablo.14. Foldere Havzasında yüzeysuyu örneklerinin HPI'ya göre sınıflandırılması	56

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TDS	:Toplam Çözünmüş Madde
ÇO	:Çözünmüş Oksijen
SI	:Doygunluk İndeksi
t	:Sıcaklık
² H	:Döteryum
KAF	:Kuzey Anadolu Fay Hattı
FD	:Fol Deresi
¹⁸ O	:Oksijen-18
Eİ	:Özgöl Elektriksel İletkenlik
SAR	:Sodyum Adsorbsiyon Oranı
KI	:Kelly İndeksi
RSC	:Kalıntı Sodyum Karbonat
MH	:Magnezyum Tehlikesi
TH	:Toplam Sertlik
WQI	:Ağırlık Aritmetik Su Kalitesi İndeksi
HPI	:Ağır Metal Kirlilik İndeksi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yeryüzünde canlıların yaşamını sürdürebilmeleri için en önemli doğal kaynaklardan biri sudur. Dünyanın büyük bir kısmı suyla kaplı olmasına rağmen içme kullanma ve sulama amaçlı kullanılabilir tatlı su miktarı oldukça sınırlıdır. Nüfus ve endüstri büyümesine bağlı olarak su ihtiyacı da günümüzde giderek artmaktadır.

Türkiye'nin yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 450 milyar metreküptür. Bu suyun buharlaşan miktarı yaklaşık 219 milyar metreküp, yeraltında akiferlerde toplanan miktarı 45 milyar metreküptür. Yüzey suyunun, nehirler ve gölleri de düşünerek 181 milyar metreküp olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin brüt su potansiyeli komşu ülkelerden gelen 6 milyar metreküp ile toplamda 231 milyar metreküptür. Tüm bu veriler değerlendirildiğinde Türkiye'nin yıllık kullanılabilir su potansiyelinin yaklaşık 94 milyar yüzey, 18 milyar yeraltı suyu olmak üzere 112 milyar metreküp olduğu hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalar Türkiye yıllık 54 milyar m³ su tüketimi ile kullanılabilir su potansiyelinin yaklaşık yüzde 50'sini kullandığını göstermiştir. Bu tüketimde sulama, toplamda kullanılan su miktarının %74'ü (40 milyar m³) ile en yüksek paya sahiptir. Toplam suyun %13'ü (yaklaşık 7 milyar m³) evsel amaçlarla, kalan %13'ü (7 milyar m³) ise sanayide kullanılmaktadır (SUEN, 2022).

Falken Mark Endeksi sınıflamasına göre, kişi başına düşen su miktarı 1.700 m³ 'ün üzerindeyse bu ülkede su stresi yok; 1.700 m³ 'ün altında ve 1.000 m³ 'ün üzerindeyse o ülke su stresi yaşıyor demektir. Ülkemiz 2000 yılında kişi başına 4.000 m³ su potansiyeline sahip olduğu için su stresi yaşamıyordu. Günümüzde ise kişi başına yıllık 1.400 m³ su potansiyeline sahip olup su stresi yaşayan bir ülkedir. Yapılan çalışmalar 2030 yılına kadar su miktarının, beklenen nüfus artışı ile kişi başına yılda 1.000 m³ 'e düşeceğini" tahmin etmektedir (SUEN, 2022). Bu öngörüler dikkate alındığında hem miktar hem de kalite bakımından su kaynaklarının iyi yönetilmesi gerektiğinin bilincine varılmalıdır.

İçme suyu, tarımsal sulama ve endüstri gibi birçok alanda kullanılmakta olan yüzey suları yaşam için vazgeçilmezdir. Su kaynakları geçmişten günümüze tarımsal faaliyetler, madencilik, hızlı nüfus artışı, sanayi, plansız kentleşme gibi faktörler tarafından kirletilmekte

ve suyun kalitesi bozulmaktadır. Bu durum dünyada ve ülkemizde kullanılabilir su ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Tüm bunların sonucunda son zamanlarda yüzey ve yeraltı sularının kalitesinin belirlenmesine yönelik çalışmalar giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmalar havza bazında zamansal ve mekânsal değişiklikleri izleyerek yapılmaktadır. Yüzey sularının sürdürülebilir yönetimi için suyun kalitesinin ve kirletici kaynaklarının belirlenmesi gereklidir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)'nde kullanılan parametreler için standartlar ve maksimum değerler belirlenmiştir (Poyraz 2023). Parametrelerin ölçülen değerleri yönetmeliklerdeki standart değerler ile karşılaştırılıp suların kullanım amaçlarına uygun olup olmadıkları belirlenebilmektedir (YSKY-2021). Su kalitesi belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda belirlenen çok sayıda örnekleme noktaları ve bu noktalarda ölçülen çok sayıda parametre elde edilen verilerin yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu tür çalışmalarda çoklu parametre değerlendirme yöntemlerine gidilmiş; hangi parametrenin kullanılacağını belirlenmesi ve su kalitesinin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi için sırasıyla istatistiksel yöntemler kullanılmış ve su kalitesi indeksi modelleri geliştirilmiştir.

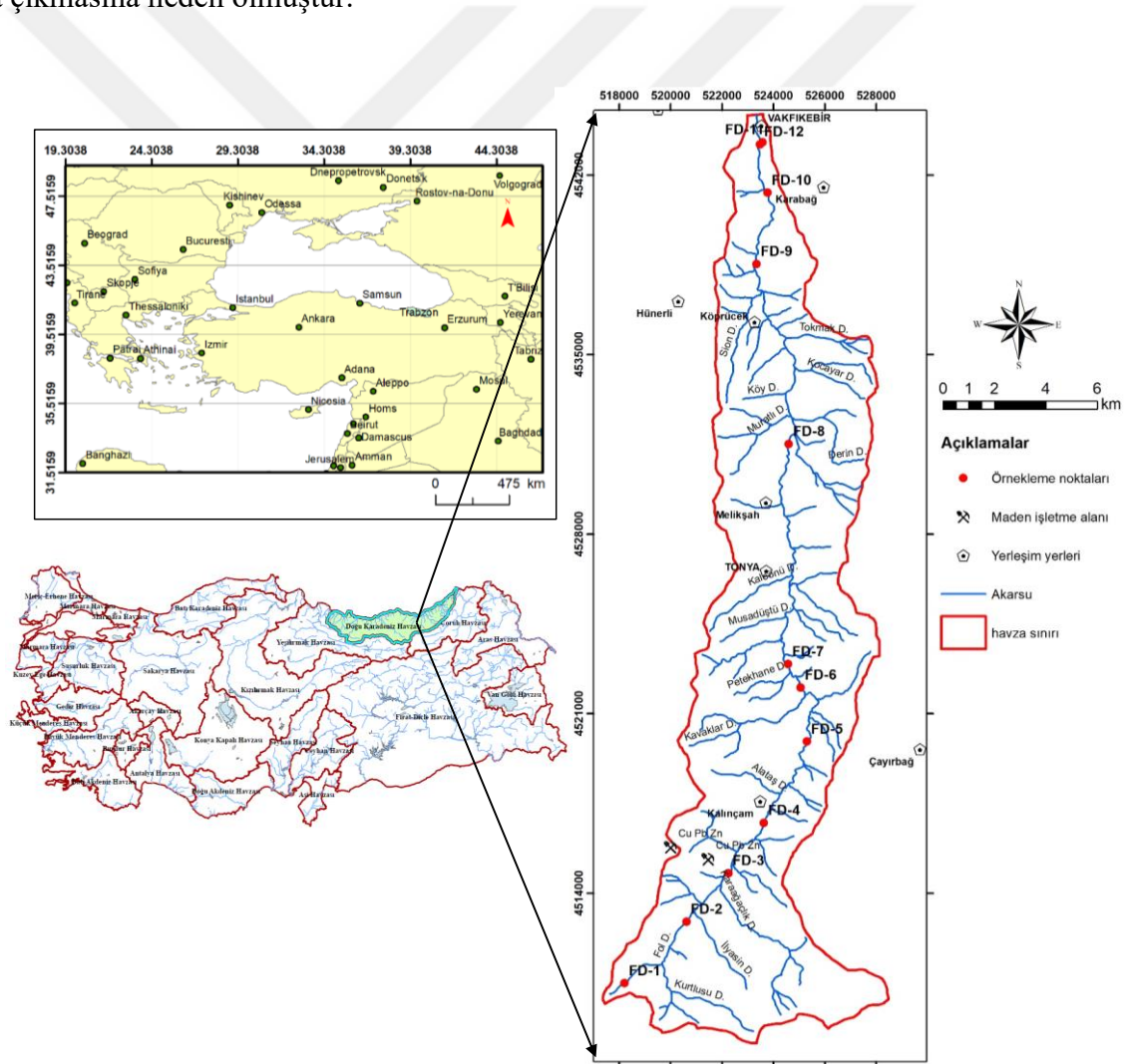
Bu çalışmada Trabzon İli Vakfikebir ilçesi Foldere Havzası'nda su kalitesi sınıflandırması Dünya Sağlık Örgütü (WHO-2017), Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266-2005), Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Havzadaki yüzey sularının sulama suyuna uygunluğunu belirlemek için SAR, %Na, KI, RSC, MH ve toplam sertlik olmak üzere altı gösterge seçilmiştir. Foldere Havzası'nın su kalitesinin güncel durumunu belirlemek için WQI, HPI, yöntemleri ile su kalitesi indis hesaplamaları yapılmış, elde edilen sonuçların mekânsal dağılımları CBS kullanılarak haritalanmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada “Foldere (Tonya-Vakfikebir, Trabzon) Havzası'nın Yüzey ve Yeraltı Su Kalitesi Parametrelerinin İzlenmesi” adı altında su kalitesi indisi yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak Foldere Havzası'nda su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında havzada güncel su kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimlerinin ortaya konulması için belirlenen örnek alım noktalarında fiziksel parametreler yerinde ölçülmüş, kimyasal parametrelerin analizleri yaptırılmıştır. Analizler sonucunda su kalitesi indisleri hesaplanmış, su kalitesi sınıfları ortaya konulmuş, CBS ortamında havzada güncel su kalitesini gösteren haritalar yapılarak su kalitesine etki eden faktörler belirlenmiştir.

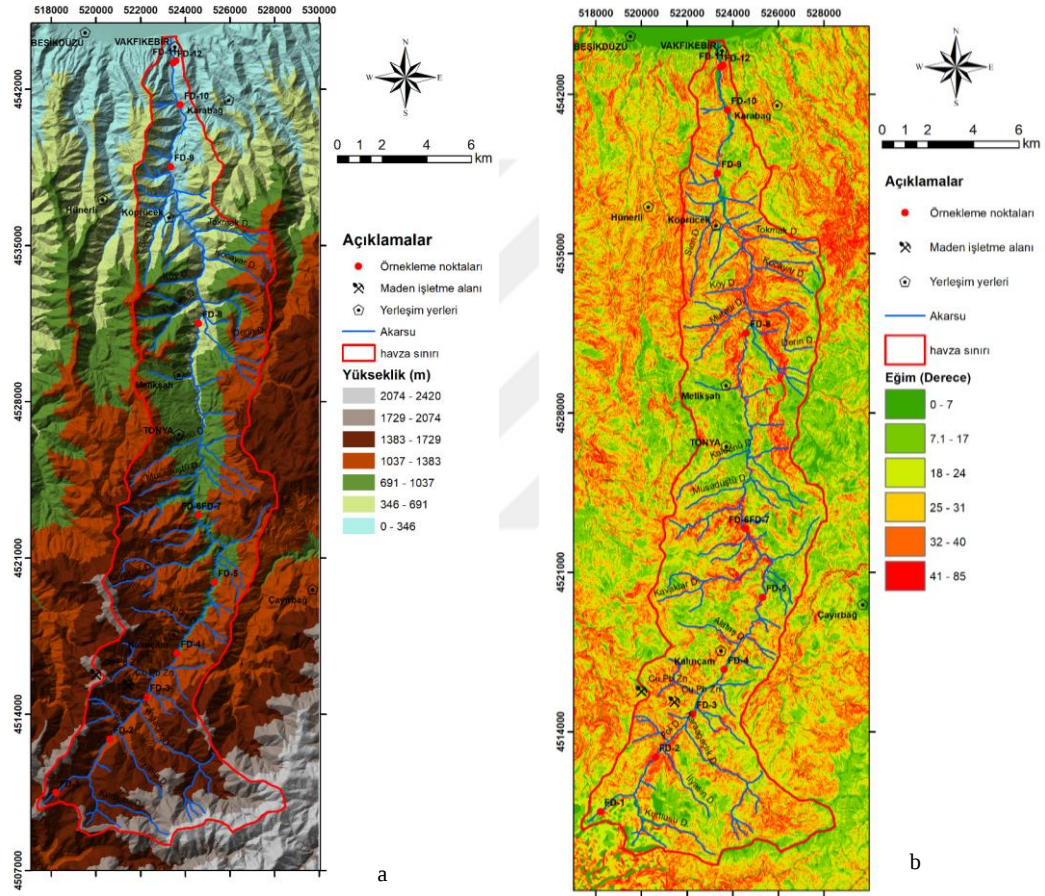
1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Morfolojisi

Tonya ve Vakfikebir ilçelerinde bulunan Foldere Havzası 1/100.000 ölçekli Trabzon-F42 ve G42 paftaları içerisinde yaklaşık 187 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Doğusunda Düzköy ve Maçka, güneyinde Kürtün, kuzeyinde ve batısında Vakfikebir ve Şalpazarı ilçelerinin bulunduğu Tonya ilçesi sahile 20 km Trabzon iline 65 km uzaklıktadır. Tonya ve Vakfikebir ilçelerinin en önemli akarsuyu olan Fol Deresi Gümüşhane ili Kürtün ilçesi sınırlarındaki Erikbeli Tebesinden doğup Trabzon-Tonya ve Vakfikebir ilçelerinden geçerek Karadeniz’e akmaktadır (Şekil 1). Foldere, Sion Dere, Tokmak Dere, Derin Dere, Muratlı Dere gibi birçok yan kolla beslenmektedir. Foldersi’nin uzunluğu yaklaşık 45 km’dir. Çalışma alanında sık bir akarsu ağının varlığı ve farklı dirençlerdeki kayaç yapılarından dolayı tepelik görüntülerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yerbulduru haritası

Havzanın en yüksek tepesi Tolluoğlu Tepesi'dir (2184 m). Havzada kuzeyden güneye bazı tepeler; Çayırkiran Tepesi (136 m), Hacı Tepesi (392 m), Düz Tepesi (722 m), Eğerçal Tepe (1184 m), Çilekli Tepesi (1306 m), Bayırmahalle (1852 m) dir (Şekil 2a ve b). Havzanın bulunduğu arazi yapısı fazla meğilli ve engebeldir. Topoğrafik eğim genellikle 7 ila 85 derece arasında olup, havzanın kuzey ve güney kesimlerinde 17-24 derece orta kesimlerinde yaklaşık olarak 25-40 derece arasındadır. Havzada en yüksek topoğrafik eğimler 80-85 derecelere ulaşmaktadır (Şekil 2a ve b).



Şekil 2. Foldere Havzası'na ait (a)sayısal yükseklik modeli ve (b) eğim haritası.

1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanında tipik Karadeniz iklimi etkisini sürdürür. Yazlar serin, kışlar ılık ve yağışlıdır. Yağış bol ve tüm yıla dağılmıştır. Araştırma sahası yağış ve sıcaklık şartlarından kaynaklı gür orman örtüsüne sahiptir. Bu orman örtülerini geniş yapraklı, karışık, iğne yapraklı ve alpin çayırlardır.

Sahada kızılağaç, doğu kayını, karaağaç, kestane, gürgen kavak, meşe, çınar fındık gibi yaprağını döken ağaçlar bulunmaktadır. Çalışma alanında 650 m. yükseltiden sonra geniş ve iğne yapraklı ağaçlardan oluşan karışık ormanlar ve 1500 m'nin üzerindeki dağların zirvelerinde, yayla alanlarında Alpin çayırlar görülür.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan son on yılın (2012-2022) ortalamalarına göre Tonya İlçesinde yıllık ortalama yağış 1014 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 9.5 °C'dir (Tablo 1). Çalışma sahasında en sıcak ay 17 °C ortalama ile Temmuz ve Ağustos, en soğuk ay 1 °C ortalama ile Aralık ayıdır. En yüksek yağış değeri 107 mm ile Ekim, en düşük yağış değeri ise 57 mm ile Temmuz ayında kaydedilmiştir.

Tablo 1. Tonya ilçesi 2012-2022 yıllarına ait yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	YILLIK
Ortalama Sıcaklık (°C)	2	3	5	10	13	15	17	17	14	11	6	1	9.5
Yağış (mm)	88	78	70	80	86	95	57	65	80	107	106	102	1014

1.5. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanında çeşitli amaçlara yönelik olarak birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar olacak şekilde aşağıda kısaca verilmiştir.

Bektaş vd. (1994), Doğu Karadeniz Volkanik Yayında Liyas volkanizmasında yaptığı petrokimyasal çalışmalarda volkanitlerin K ve Ti içeriklerinin güneye doğru arttığını belirlemiş ve çalışma alanının kuzeyinde toleyitik, güneyine doğru kalk-alkali ve alkali özellikte volkanik kayaçların varlığından bahsetmiştir.

Güven (1993), Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/250.000'lik Jeoloji ve Metalojeni Haritası'nı hazırlamış ve stratigrafik olarak iki farklı (Kuzey Zon, Güney Zon) kolon kesit belirlemiştir.

MTA (1994), "Metropolitan Alanların Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları" adlı projelerinde Trabzon ilinde hem genel hem de detay olacak şekilde çalışmalar yapmıştır. Trabzon ilinin bütününde genel çalışmalarında 1/100.000 detay çalışmalar 1/25.000 ölçeğinde

yapılmıştır. Bu çalışmalarda 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası revize edilmiş ve Trabzon ilinin stratigrafisi, tektonik özellikleri ve maden yatakları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Verep vd. (2005), 'İyidere (Trabzon)'nin Fiziko-Kimyasal Açından Su Kalitesinin Belirlenmesi' adlı araştırmalarında Kasım 2003-Mayıs 2004 dönemlerinde 4 örnekleme noktasından örnekleme yapmışlar ve sularda kimyasal olarak Ca, Mg, HCO_3^- , CO_2 , BOI_5 , pH, sertlik, NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{3-} , ölçümler, fiziksel olarak elektriksel iletkenlik, tuzluluk, su sıcaklığı, akış hızı ve suda çözünmüş oksijen doygunluğu, gibi birçok parametre ölçümleri yapmışlar ve Kıta İçi Su Kalite standartları ile karşılaştırmaları sonucu İyidere sularının Sınıf-I "Yüksek Kaliteli Su" tipinde olduğunu belirtmişlerdir.

Celep (2009) "Trabzon İli Yeraltı ve Yerüstü Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal İncelemesi ve Su Kalitesinin İzlenmesi" adlı yüksek lisans tez çalışmasında bölgede yer alan Akhisar, Foldere, İskefiye, Kalanima, Sera, Beşirli, Değirmendere, İkisu, Yomra, Yanbolu, Karadere, Manahoz, Solaklı ve Baltacı Derelerinin hidrokimyasal özellikleri ve su kalitesi belirlenmiştir.

Gültekin vd. (2012) Trabzon İli Akarsularının Yağışlı Dönem Su Kalitesi Parametrelerinin Belirlenmesi adlı çalışmada, Trabzon il sınırlarını kapsayan çalışma alanında yüzey sularının kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Akhisar, Foldere, İskefiye, Kalanima, Sera, Beşirli, Değirmendere, İkisu, Yomra, Yanbolu, Karadere, Manahoz, Solaklı ve Baltacı Derelerinin hidrokimyasal özellikleri ve su kalitesi belirlenmiştir.

DSİ (2015) tarafından yapılan hidrojeoloji çalışmaları ile Doğu Karadeniz Havzası ve alt havzalar ölçeğinde yeraltısuyu potansiyelinin, emniyetli rezervin ve yeraltısuyu bütçelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, tüm havzanın genel jeolojisi ve buna bağlı olarak alt havzalarda yer alan akiferlerin hidrojeolojisi ortaya konulmuştur. Doğu Karadeniz Havzası'nın yeraltısuyu potansiyeli olan kesimlerinde DSİ tarafından alınan su örneklerinin analiz sonuçları su kalitesi açısından değerlendirilmiştir.

Aydın Uncumusaoğlu ve Akkan (2017) yaptıkları çalışmada Yağlıdere yüzey suyunun su kalitesini belirlemek için analiz ettirdikleri parametreleri çok değişkenli istatistiksel teknikler, hiyerarşik küme analizi ve Temel Bileşen Analizi yöntemleri ile değerlendirmişlerdir. Böylece ana kirlilik faktörlerini ve zaman riskli kirli alanları belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sırasında, Haziran 2013 ile Mayıs 2014 arasında her ay beş farklı bölgede 23

fizikokimyasal parametre izlenerek su örnekleri alınmıştır. Ayrıca tüm fizikokimyasal parametrelerin ilişkilerini belirlemek için Pearson korelasyonu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarından, nehir kirliliğinin temel olarak tarımsal akış ve toprak ayrışması, toprak erozyonu, hidroelektrik santral kurulum faaliyetleri, evsel bertaraf ve katı atık bertaraf alanlarından sızıntı olduğunu göstermiştir. Yağıldere yüzey suyunun, fizikokimyasal verilere göre ulusal ve uluslararası izin verilen sınırlara göre iyi kalitede olduğu belirlenmiştir.

Şahin (2018), Porsuk Çayı'nın Su Kalite İndekslerine Göre Değerlendirilmesi ve Baraj Gölü Trofik Seviyesinin Belirlenmesi adlı çalışmasında Porsuk Çayı'nda ilk kez araştırılan su kalite indeksine bağlı su kalite sınıflarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Porsuk Çayı'nın kaynağından Sakarya Nehri ile birleştiği yere kadar seçilen istasyonlardan alınan su örneklerinde; sıcaklık (yüzey ve dip sıcaklık farkı), pH, bulanıklık, fekal koliform (En Muhtemel Sayı Yöntemi), çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfat ve toplam nitrat analizleri yapılmış ve NSFQI (Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi)'ne göre su kalite sınıfları belirlenmiştir.

Alver ve Baştürk (2019), Aksaray İlının önemli içme su kaynaklarından biri olan Karasu Nehri'nin su kalitesini Aralık 2015 ve Kasım 2016 tarihleri arasında bir yıl süreyle izlemişler ve nehrin genel su kalitesini 3 farklı su kalite indeksi modeli ile değerlendirmişlerdir. İçme suyu elde edilen veya elde edilmesi planlanan yüzeysel suların kalitesine dair yönetmeliğe göre NH₄-N, BOİ₅, Co, fekal koliform, Ba, Cu, Zn ve çözünmüş oksijen parametrelerinin sınır değerlerini aştığı ve suyun kalitesini etkileyen ana parametreler olduğunu saptamışlardır. Ayrıca su kaynağının yüzey su kalite sınıfının NO₂, B, Cd ve Zn parametrelerine bağlı olarak "IV" olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan model sonuçlarına göre ise Karasu Nehri'nin su kalitesi, Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksine (USV SKİ) göre "orta", Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksine (KÇBK SKİ) göre "kötü" ve Oregon Su Kalite İndeksine (OSKİ) göre de "kötü" seviyede olarak tespit etmişlerdir.

Ustaoglu vd. (2019), Turnasuyu Havzası'ndaki tarımsal faaliyetlerin ve evsel atıkların su kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirdiği çalışmalarında, Havzayı, yukarı, orta ve aşağı olmak üzere bölümlendirerek üç örnekleme noktası belirlemişler ve yüzey suyunda bir hidrolojik yıl (Şubat 2017-Ocak 2018) boyunca örnekleme yapmışlardır. Çalışmada genel su kalitesi parametreleri (sıcaklık, pH, iletkenlik, toplam çözünmüş katılar, askıda katı maddeler, bulanıklık, tuzluluk, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, alkalinite, toplam sertlik),

oksijenasyon parametreleri (çözünmüş oksijen, oksijen doygunluğu, biyolojik oksijen ihtiyacı), besin parametreleri (amonyum-N, nitrit-N, nitrat-N, toplam fosfat, toplam fosfor), eser elementler, inorganik kirlilik parametreleri incelenmiştir. Analizler standart yöntemler kullanılarak yapılmış ve çoklu istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Akarsuyun su kalitesini belirlemek için Su Kalitesi indeksi (WQI), halk sağlığı riski açısından eser elementlerin değerlendirilmesinde tehlike katsayısı (HQ) ve tehlike indeksi (HI) kullanılmıştır. Sonuç olarak, Turnasuyu Deresi'nin çok iyi su kalitesi özelliğine sahip olduğunu ve belirlenen eser elementlerin halk sağlığı için tehlikeli sınırlar içinde olmadığını göstermiştir.

Hatipoğlu Temizel (2023), Yağlıdere Havzası'nın Su kalitesini değerlendirmek için nehrin akış yönü boyunca 10 örnekleme noktasından 5 dönem boyunca 50 adet su örneği almış ve suların fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametreleri Türkiye İçme Suyu Standartları, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği ve Dünya Sağlık Örgütü standartlarındaki parametre değerleri ile karşılaştırmıştır. T, DO, Mg, F, NH₃, CN ve HS dışındaki parametreler jeojenik ve antropojenik faaliyetlerin etkisini gösteren önemli mekânsal varyasyonlar göstermiştir. İncelenen bazı parametreler (T, DO, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, NH₃, CN, Fe ve Se) su sıcaklığı ve su akışındaki yüksek mevsimsellik nedeniyle önemli mevsimsel farklılıklar göstermiştir. Temel Bileşen Analizi/Faktör Analizi sonuçları Yağlıdere Çayı'nda su kalitesi değişimlerinden sorumlu parametrelerin esas olarak jeojenik yapı, maden atıkları, tarımsal faaliyetler ve evsel atıklar ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Çalışmada hesaplanan WQI değerlerine göre Yağlıdere Çayı'nın memba ve orta kısmından alınan örnekler “Çok iyi su” ve “İyi su” su kalitesi sınıfında iken diğer taraftan antropojenik ve jeojenik etkilerin baskın olduğu mansap bölgelerinde ise “Kötü Su” ve “İçilmesi uygun değil” kalitesinde olduğunu belirlemiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları jeoloji haritasının arazide kontrolü, örnekleme ve yerinde ölçüm çalışmaları olarak gerçekleştirilmiştir. Haritaların revizyonu amacıyla arazide jeolojik sınırlar gözden geçirilmiştir. Arazi çalışmaları ile analiz yapılmak üzere Foldere havzasında su alınacak noktalar belirlenmiştir (Tablo 2).

Belirlenen örnekleme noktalarından, Foldere üzerinde 12 sabit örnekleme istasyonu (FD-1-FD-12) seçilmiş, (Şekil 1) yerinde ölçüm ve örnekleme işlemleri 2023 yılının Haziran Eylül ve Aralık ayları olmak üzere 3 defa tekrarlanmıştır.

Tablo 2. İnceleme alanında ölçüm ve örnekleme yapılan istasyonlar

Örnek Noktaları	Örnek Adı	Koordinatlar	
		X	Y
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-1	518211	4510496
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-2	520624	4512893
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-3	522256	4514784
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-4	523637	4516744
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-5	525313	4519915
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-6	524574	4522934
Folderedere (Kaynak)	FD-7	524574	4522934
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-8	524606	4531519
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-9	523346	4538540
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-10	523778	4541318
Folderedere (Kuyu)	FD-11	523583	4543291
Folderedere (Yüzey Suyu)	FD-12	523479	4543203

Yerinde ölçüm çalışmalarında havzadaki örnekleme noktalarında su sıcaklığı (T), pH, Toplam Çözünmüş Katılar (TDS), Elektriksel İletkenlik (EC) Çözünmüş Oksijen (DO) ve tuzluluk parametreleri izleme noktalarında taşınabilir ölçüm cihazı (dijital HACH-HQ40D) ile ölçülmüştür. Ölçümler sırasında, numuneler alınmadan önce tampon çözeltiyle günlük kalibrasyonlar yapılmış ve her ölçümden önce ve sonra problar saf su ile yıkanmıştır.

Örnek alımında majör iyonlar için 1000 ml polietilen şişeler, ağır metaller için 100 ml polietilen şişeler kullanılmıştır. Örnek alımından önce, şişeler ve kapakları 3 kez analizi yapılacak su ile çalkalanmıştır.

İz element analizleri için toplanan su numunelerine HNO_3 (% 65 ultra saf) eklenerek numunenin pH'nın <2 olması sağlandı. Tüm su numuneleri analiz edilene kadar 4°C 'de saklandı.

Arazi çalışmaları yapılırken örnek alım noktalarının koordinatlarını belirlemek için GARMIN marka GPS kullanılmış ve tüm koordinatlar ilgili haritalara işlenmiştir.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Folderesi'nin su kalitesini izlemek amacıyla fiziksel ve inorganik kimyasal parametreler (sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, toplam çözülmüş madde), besin parametreleri (amonyum-N, nitrit-N, nitrat-N, toplam fosfor), iz elementler ve inorganik kirlilik parametreleri (Alüminyum, demir, kurşun, florür, mangan, arsenik, çinko, lityum, kobalt, nikel ve bakır) belirlenmiştir. Katyon tayini için alınan örnekler suprapure HNO_3 ile asitleştirilmiştir. SO_4 , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$, Cl, Ca, Mg, Na, K, F analizleri İyon kromatografisi metodu ile belirlenmiştir. Sularda HCO_3 tayini titrimetric metod ile, toplam fosfor (TP) hesap yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan tüm analizler yurt içinde, Devlet Su İşleri Kimya Laboratuvarı (DSİ/Trabzon-Türkiye) ve TİSKİ (Trabzon) su kalitesi kontrol laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Su numunelerinin yük denge hatası $<5\%$ ile kabul edilebilir sınırlar içerisindeydir.

2.3. Büro Çalışmaları

Haritaların revizyonu amacıyla arazide jeolojik sınırlar gözden geçirildikten sonra jeolojik birimlerin sınırları netleştirilmiş, jeolojik unsurlar haritalara işlenmiş ve bilgisayarda Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak farklı amaçlar doğrultusunda tüm haritalar çizilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen analiz sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek için elektronötralite denklemi ($\%e = ((\Sigma\text{Kasyon} - \Sigma\text{Anyon}) / (\Sigma\text{Kasyon} + \Sigma\text{Anyon})) * 100$) kullanılmış olup elde edilen değerler kabul edilebilir düzeydedir ($<5\%$).

Çalışma kapsamında su kalitesi indis hesaplamaları için ağırlıklı aritmetik su kalitesi indisi (WQI) kullanılmış olup aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Başlangıçta önceki çalışmalardan yararlanılarak her bir parametreye göreceli olarak önem derecelerine göre 1 ila 5 arasında değişen ağırlık değerleri (w_i) atandı (Tablo 12).

İkinci adımda aşağıdaki denklem (1) kullanılarak her bir parametre için bağıl ağırlıklar (W_i) hesaplandı.

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (1)$$

Üçüncü adımda parametrelerin standartlardaki (TSE 266, 2005) sınır değerleri kullanılarak kalite değerlendirme ölçeği (q_i) değerleri eşitlik (2) ile hesaplandı.

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} 100 \quad (2)$$

Formülde; q_i : kalite derecelendirmesi; C_i her bir fiziksel ve kimyasal parametrenin konsantrasyonu, S_i : her parametre için içme suyu standardıdır.

Alt indeksler (SI) eşitlik (3) ile hesaplanmıştır.

$$SI = W_i * q_i \quad (3)$$

WQI değeri alt indeks değerlerinin toplamıdır ve eşitlik (4) ile hesaplanmıştır.

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i \quad (4)$$

Nihai hesaplanan WQI değerleri Sahu and Sikdar, (2008); Yidana and Yidana, (2010) tarafından verilen WQI değeriyle karşılaştırıldı: <50 Mükemmel su, 50-100 İyi su, 100-200 Kötü Su, 200-300 Çok Kötü Su, >300 İçme Amacına Uygun Değil.

Ayrıca parametrelerin WQI değeri üzerindeki etkisini ayrı ayrı değerlendirmek için her bir parametrenin etkin ağırlık (Ew_i) değerleri eşitlik (5) ile hesaplanmıştır:

$$Ew_i = \frac{SI_i}{WQI} 100 \quad (5)$$

Burada (Sl_i) incelenen her parametre için alt indekstir. WQI, eşitlik 4 ile hesaplanan genel su kalitesi indeksidir.

Ağır metaller bakımından su kalitesi indeksi, ağır metal kirlilik indeksi (HPI) yöntemi ile eşitlik 6'da verilen ve Mohan ve diğ. (1996) tarafından önerilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (6)$$

Denklemden W_i ile ifade edilen değer, S_i ile hesaplanan birim ağırlık değerini, S_i kullanılan yönetmelikte ağır metalin izin verilen maksimum konsantrasyonunu göstermektedir. Denklemden Q_i alt indeks değeri eşitlik 6 ile hesaplanmaktadır:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{|M_i - l_i|}{S_i - l_i} \times 100 \quad (7)$$

Denklemden M_i analiz ile elde edilen ağır metal konsantrasyonunu, l_i kullanılan yönetmeliklerde ideal ağır metal konsantrasyonunu göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen veriler Dünya Sağlık Örgütü (WHO-2017), Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266-2005), Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Hesaplanan HPI değerleri Tablo... da gösterildiği gibi beş sınıfa ayrılmaktadır.

Tablo 3. HPI Kirlilik sınıfları (Elumalai ve diğ., 2017)

HPI	Kalite Sınıfları
0-25	Mükemmel
26-50	İyi
51-75	Fakir
76-100	Çok Fakir
>100	Kullanılamaz

3. BULGULAR

3.1. Genel Jeoloji

3.1.1. Giriş

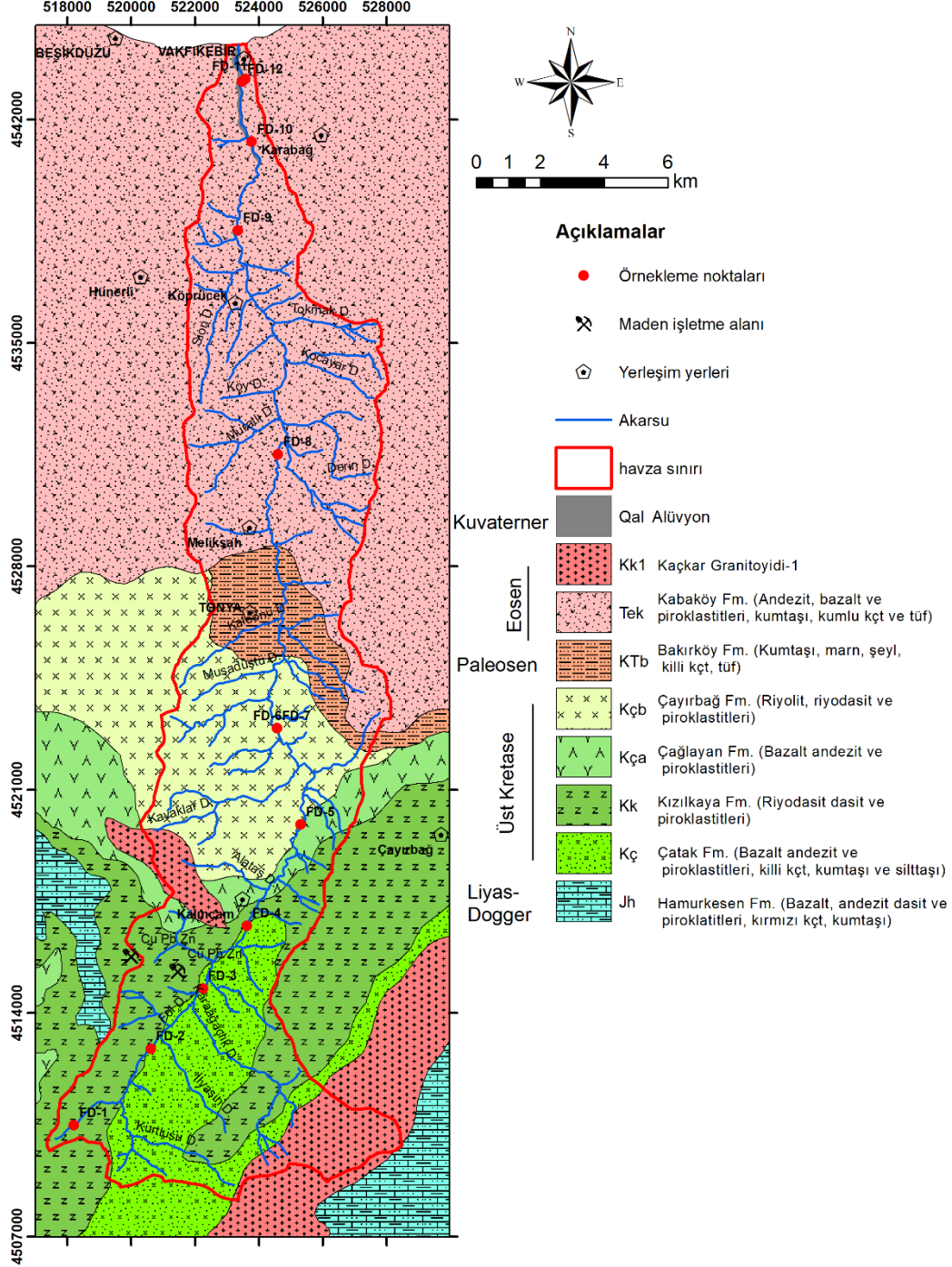
Kuzey Anadolu kıvrım kuşağının kuzeydoğusunda yer alan inceleme alanında Liyas-Dogger-Eosen arasında oluşmuş kayalar yer almaktadır. Çalışma alanındaki litolojik birimler yaşıdan gence doğru Liyas-Dogger yaşlı Hamurkesen Formasyonu, Üst Kretase yaşlı Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu, Çağlayan Formasyonu, Çayırbağ Formasyonu, Paleosen yaşlı Bakırköy Formasyonu ve Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ile Kaçkar Granitoidi-1 dir (Şekil 3).

3.1.2. Hamurkesen Formasyonu

Hamurkesen Formasyonu Bayburt-Demirözü yöresinde bulunan Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları altında yer almaktadır. Volcano-tortul karakterli birim ilk kez Ağar (1977) tarafından adlandırılmıştır. Birim çeşitli araştırmacılar tarafından Kelkit Formasyonu (Bergougnan, 1987), Hacıören Formasyonu (Pelin, 1977; Yılmaz, 1985), Karatepe Formasyonu (Seymen, 1975; Serdar vd., 1984), Seyfe Formasyonu (Öztürk, 1979; Aktimur vd., 1989) ve Zimonköy Formasyonu (Eren, 1983), Şenköy Formasyonu (Kandemir 2004) gibi değişik isimlerle incelenmiştir olup çalışma alanının güney-güneydoğusunda yüzeylenmektedir.

Formasyon, kırmızımsı, sarımsı, beyaz renkli çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, silttaşı, bazalt, andezit, tuf ve tüfit ardalanmasından oluşmaktadır. Altta kırmızı renkli tabakasız, köşeli çakıllı, kötü boylanmış, kötü derecelenmeli çamurtaşı, çakıltaşı, çakıllı kumtaşı ardalanımı ile başlayan birim, alt düzeylerinde daha çok beyaz, orta ince tabakalı, epiklastik kumtaşı, tuf, tüfit, yeşil renkli kloritli igminbirit seviyeleri ile devam eder Ağar (1977). Kırıntılı düzeylerle volkanitler, tüfler ve tüfitler ardalanır. Kumtaşı, kumlu kireçtaşı tabakaları bol mercan ve iri ammonit ve pelesipod fosilleri içerir. Birimin yaşı Kırmızı bordo renkli pelajik kireçtaşlarında saptanan Agerina martana (Farinacci) Lagenidae, Trocholina sp., Involutina Liassica (JONES), Lenticulina sp., Spirulina sp., Lingulina sp., Lagenidae sp., Vidalina Mortana (FARINACCI) fosil türlerine göre Liyas olarak belirlenmiştir (Ağar, 1977; Güven, 1993).

Alt sınırı çalışma alanında gözlenemeyen birim Berdiga Formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenir ve görünür kalınlığı 500 m kadardır (Güven, 1993).



Şekil 3. Foldere havzasının jeoloji haritası (Güven 1993'ten revize edilmiştir)

3.1.3. Çatak Formasyonu

Üst Kretase zamanının başlarında Doğu Karadeniz Dağlarının kuzey zonunda oluşan toleyitik ve kalko-alkalen özelliğindeki volkanitler derin deniz ortamda tortullarla beraber volkano-tortul bir istif oluşturmuşlardır. Doğu Karadeniz Bölgesi kuzey zonunda oldukça geniş bir sahada yüzeylenen bu birimler Trabzon'da Maçka'nın GD kısmında Çatakta ve Değirmendere boyunca gözlemlenir. Güven (1993); Üst Kretase döneminin bazik volkanik karakterli olan bu birimleri Çatak Formasyonu olarak adlandırmıştır (Güven, 1993).

Bu formasyona ait kayaçlar inceleme alanında Tonya ilçesinin güneyinde yüzeylenmektedirler. Çatak Formasyonu andezit bazalt ve piroklastların kumtaşı, marn, kıltaşı, silttaşı tabakaları ile ardalanmasından meydana gelir. Bazaltlarda iyi gelişmiş yastık debili kayaç yapıları gözlenmiştir. Birimde genellikle gri-yeşil renk hakimdir. Çatak Formasyonu Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir ve kalınlığı yaklaşık 750-1000 m arasındadır.

Çatak Formasyonunun yaşı, kırmızı-bordo kireçtaşlarında elde edilen; Globotruncana Linneiana (D'ORBIGNY), Globotruncana Lapparenti (BROTZEN), Globigerinella sp., Globigerinoloides sp., Globotruncana sp., Marginetruncana sp., Gümbelina sp., Hedbergella sp., Radiolaria sp. fosil türlerine göre Turoniyen-Koniasiyen-Santoniyen olarak belirlenmiştir (Güven,1993).

3.1.4. Kızılkaya Formasyonu

Karadeniz Bölgesi'nin doğusunda Espiye (Giresun)'nin güney kısmında yer alan Çatak Formasyonu üzerinde geniş bir alan kaplayan dasit-riyodasit ve bunların piroklastları bölgede Kızılkaya mevkiinde tipik olarak görülmüştür. Birime Kızılkaya Formasyonu adı Güven (1993) tarafından verilmiştir.

Bu formasyona ait kayaçlar inceleme alanında Tonya ilçesinin güneyinde yüzeylenmektedir. Kızılkaya Formasyonu Çatak Formasyonu'nun (bazik volkano-tortul karakterli) üzerinde uyumlu olarak bulunur. Formasyonu oluşturan dasit-riyodasit karakterli kayaçlar ve piroklastları gri-beyaz ve gri-sarımsı renklidir. Birimin üst kısmına doğru tüf ve

tüf-breş özelliği gösteren kayalar gözlemlenir ve bu kısımlarda hidrotermal ayrışmalar (silisleşme, serizitleşme, killeşme, limonitleşme ve kloritleşme) yaygındır.

Kızılkaya Formasyonu'nun kalınlığı 200-500 m arasındadır. Birimin tavanına yakın tüf ve tüf-breşler içinde kısmen 1-10m arasında kırmızı-bordo renkli çamurtaşları gözlemlenmiştir. Güven (1993) birime Yomra-Kayabaşı (Kanköy) alanından sondaj karotlarında elde edilen mikrofosiller ile Senoniyeen yaşını vermiştir.

Kızılkaya Formasyonunun üzerine Kampaniyeen-Maestrichtiyeen yaşlı Çağlayan Formasyonu uyumlu olarak gelmektedir. Kızılkaya Formasyonu'nun altında bulunan Çatak Formasyonu'nun yaşı Turoniyeen-Santoniyeen'dir. Bundan dolayı Kızılkaya Formasyonu'nun yaşı, Santoniyeen-Kampaniyeen-Maestrichtiyeen zaman aralığındadır (Güven, 1993).

3.1.5. Çağlayan Formasyonu

Genel olarak bazalt, andezit ve piroklastikleri ve tortul ara katmanlar içeren birim Güven (1993) tarafından Çağlayan Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

İnceleme alanında Tonya ilçesinin güney-güneybatısında-güneydoğusunda yüzeylenen birim 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 porifirk doku gösterdikleri, plajioklas, ojit, klorit, kalsit, zeolit ve opak mineralleri içerdikleri belirlenmiştir. Plajioklaslar hem iri kristaller hem de mikrolitler şeklinde gözlenir.

Birime kırmızı karbonatlardan alınan örneklerde tayin edilen Marginotruncana pseudolinneana (BESSAGNO), Marginotruncana coronata (BOLLI), Dicarinella sp., Globigerinidae fosil topluluğuna dayanarak Santoniyeen yaşı verilmiştir (Güven, 1993).

3.1.6. Çayırbağ Formasyonu

Çağlayan Formasyonu'nun üzerinde uyumlu olarak yer alan riyolit-riyodasit türü kayalar ile bunların piroklastiklerinden oluşan asit volkanik kayalar Çayırbağ yöresinde oldukça fazla

izlendiği için birim Güven (1993) tarafından Çayırbağı Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Formasyon ayrıca yörede Sürmene-Çamburnu doğusu, Araklı'nın güneybatısı, Yanbolu Deresi boyunca, Arsin-Yolüstü-Elmaalan ve Yomra-Kayabaşı-Kömürcü alanlarında yüzeylenmektedir. Birim çalışma alanının orta kısımlarında Tonya ilçesi'nin güney- güneybatı bölgelerinde yüzeylenmektedir.

Formasyon içerisinde volkanojenik dom yapıları gözlenmektedir. Birim, yeşilimsi gri, morumsu-gri ve pembemsi renklerde gözükmektedir. Birimin kalınlığı yaklaşık olarak 100-200 m kadardır (Güven 1993).

Birim içerisinde içinde fosilli aratabakalara rastlanmadığından dolayı formasyonun yaşı göreceli olarak ifade edilmektedir. Çayırbağ Formasyonu üzerinde Kampaniyen-Maestrichtiyen yaşlı Bakırköy Formasyonu'nu uyumlu olarak yer almaktadır. Bu nedenle Birimin yaşı; Kampaniyen-Maestrichtiyen olduğu kabul edilmektedir (Güven, 1993).

3.1.7. Bakırköy Formasyonu

Birim, Doğu Karadeniz Dağları Kuzey Zonunda Artvin ili kuzeyinde Bakırköy yöresi civarlarında iyi yüzeylenme gösterdiği için Güven (1993) tarafından Bakırköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim çoğunlukla gri renkli marn, gri-beyaz renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve az oranda kumtaşlarından oluşmaktadır. Bu çökeller Türbiditik karakterlidir. Bakırköy Formasyonu inceleme alanında; Tonya ilçe merkezi ve civarında yüzeylenmekte olup Ağıllar Formasyonu ile yanal geçişlidir. Formasyon ince ve orta kalınlıkta tabakalı yapı şeklinde olup birimin yaklaşık kalınlığı 100-250 m arasındadır.

Formasyonun yaşı; *Globotruncana Arca (CUSMAN)*, *Globotruncana Lapparenti Tricarinata (QUER)*, *Marsonella cf. Oxycona (REUSE)*, *Globigerina sp.* , *Orbitolides sp.* , *Robulus sp.* , *Gümbelina sp.* , *Discocyclus sp.*, *Miliolidea sp.*, *Textularia sp.* türündeki fosil içeriğine göre Maestrichtiyen-Paleosen zaman aralığı olarak belirlenmiştir (Güven, 1993).

3.1.8. Kabaköy Formasyonu

İlk olarak Güven (1993) tarafından tanımlanan Kabaköy formasyonu Doğu Karadeniz Bölümünde yaygın olarak gözlenmektedir.

Kabaköy formasyonunun tabanı siyah-kahverengi-gri renkli bol iri nummulitli ve organik materyalli kumtaşı ve kilaşı litolojileriyle temsil edilmektedir (Evcimen vd., 2020). Üste doğru birim volkanotortul ve volkanik kayalara geçiş yapmaktadır. Volkanizmanın yoğunluğuna bağlı olarak tabanda yer alan sedimanter seviye genellikle görülmez (Evcimen vd., 2020). Kabaköy Formasyon'u çalışma sahasında Folderesi havzasının ve Tonya ilçesinin kuzeyinde yüzeyleme vermektedir. Formasyonun egemen litolojisini oluşturan bazaltlar genellikle siyah renkli, yer yer yastık yapılıdır. Volkanizmanın Geç Lütésiyen'de sona ermesiyle birlikte volkanitlerle yanıl ve düşey olarak girintili, ince-orta-kalın tabakalı, çakıl, kum boyu tanelere sahip kırıntılı birimler çökeltmiştir (Evcimen vd., 2020). Kabaköy formasyonu tabanda yer alan birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelirken üzerinde ise Kuvaterner çökelleri uyumsuz olarak yer almaktadır. Kabaköy formasyonun yaşı önceki çalışmalara göre İpresiyen-Lütésiyen olarak belirlenmiştir (Evcimen vd., 2020). Kabaköy formasyonunun litolojik özellikleri birim volkanizmanın eşlik ettiğı sığ denizel bir ortamda çökeltmiş olduğunu göstermektedir.

Karaköy Formasyonu'nun yaşı; *Nümmilites cf. Globus (LEYMERİE)*, *Assilina cf. Spira*, *Nümmilites sp.*, *Discocлина sp.*, *Asterocyclina sp.*, *Actinocyclina sp.*, *Amphistegina sp.*, *Alveolina sp.* fosil türlerine göre Alt-Orta Eosen olarak belirlenmiştir (Güven, 1993).

3.1.9. Kaçkar Granitoyidi

İlk olarak Çoğulu (1970) tarafından "Rize Graniti" olarak adlandırılmış olan Kaçkar Granitoyidlerini, Güven (1993) bu kayaların karmaşık bir şekilde granitten gabroya kadar değişim gösterdikleri için granitoyid olarak tanımlanabileceklerini belirtmiştir. Mesozoyik-Senozoyik yaşı birimler içerisine sokulum şeklinde bulunan granitoyidler yoğun bir şekilde Rize ilinin GD'sunda bulunan Kaçkar Dağlarında yer aldıkları için 'Kaçkar Granitoyidi' olarak adlandırılmışlardır. Granitoyidler İnceleme alanının Tonya ilçesinin güney-güneydoğusunda yüzeilenmektedirler.

Güven (1993) tarafından Mesozoyik yaşlı birimler içerisine sokulum yapan ve Senozoyik yaşlı birimlerden daha yaşlı olduğu belirlenen intrüzif kayalar Kaçkar Granitoyidi I olarak, Senozoyik yaşlı istifler içine sokulum yapanlar ise Kaçkar Granitoyidi II olarak ayırtlanmış ve haritalanmıştır. Kaçkar Granitoyidleri genellikle Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu'na aşınma uyumsuzluğu ile örtülür. Eosen döneminde tekrar intrüzyon yapan granitoyidler, bu defa Kabaköy Formasyonu'na sokulum yapmışlardır.

3.1.10. Alüvyon

İnceleme alanındaki en genç oluşumları meydana getiren alüvyonlar, Folderesi boyunca çok dar bir alanı kapsayacak şekilde yüzeilenmektedir. Çakıl, kum, silt ve kil boyutundaki malzemelerden oluşan alüvyonların çakıllarını genelde yakın çevredeki kayalar oluşturur.

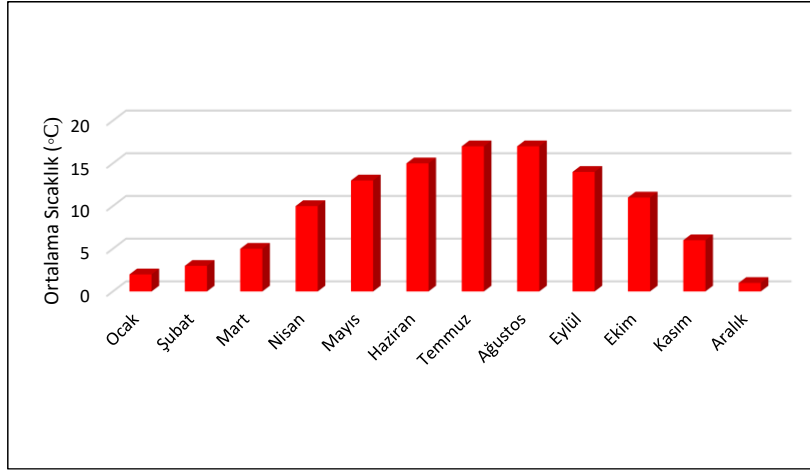
3.2. Hidroloji

Yerkürede suyun bulunuş ortamları ve hareketi hidrolojik döngü ile tanımlanır. Atmosferde, yer yüzeyinde ve yeraltında depolanan su sıvı (tatlı, tuzlu ya da bu ikisinin karışımı), katı ve gaz hallerinde bulunabilir. Su, depolandığı ortamlar arasında sürekli olarak hareket halindedir.

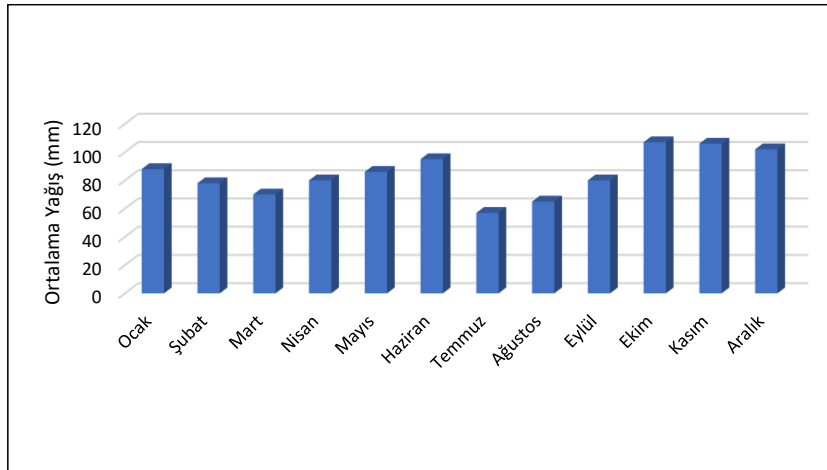
Folderesi havzasında su bütçesi hesaplaması için havza sınırları içerisinde yer alan Tonya-Kalınçam 18230 nolu meteoroloji istasyonuna ait 2012-2022 yılları arası ortalama sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. Folderesi'nin akım verileri DSİ Akım yıllığından alınmıştır.

3.2.1. Sıcaklık ve Yağış

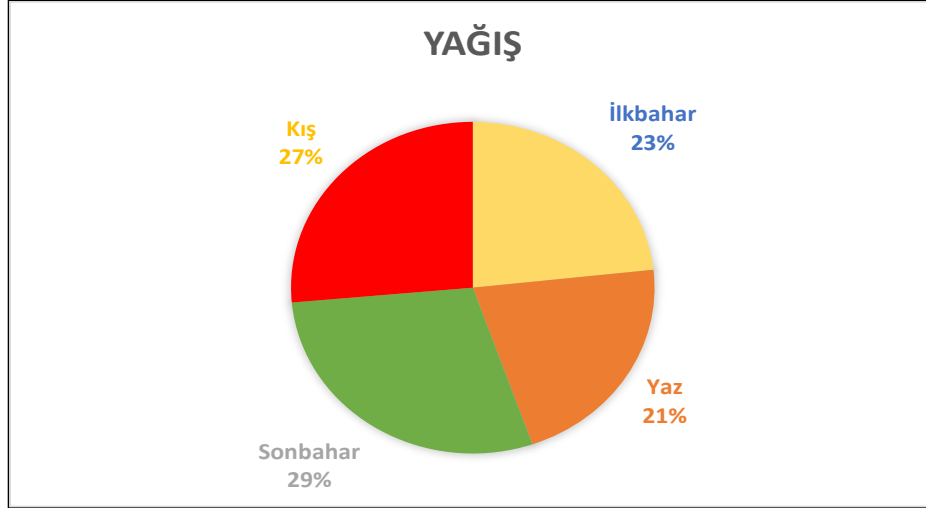
Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Tonya ilçesine ait 10 yıllık veriler kullanılarak Tonya ilçesinin buharlaşma –terleme ve yağış özellikleri belirlenmiştir. İlçeye ait 2012-2022 yılları arası ortalama sıcaklık değişimleri Şekil 4'te, yağış değişimleri Şekil 5'te, ve yağışın mevsimsel oranları Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 4. Tonya meteoroloji istasyonunda 2012-2022 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.



Şekil 5. Tonya meteoroloji istasyonunda 2012-2022 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değerlerinin aylara göre değişimi.



Şekil 6. Tonya meteoroloji istasyonunda 2012-2022 yılları arasında kaydedilen yağışların mevsimsel oranları

Elde edilen 10 yıllık verilere göre ölçülen maksimum yağış değerleri ortalama 107 mm ile Ekim ayında, minimum yağış değeri 57 mm ile temmuz ayında kaydedilmiştir. Sıcaklık verilerine göre ortalama sıcaklığın en düşük olduğu ay 1°C ile Aralık en yüksek olduğu ay 17°C ile Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Yağışlar mevsimsel olarak %29 ile sonbahar, %27 kış, %23 ilkbahar ve %21 ile yaz mevsimlerinde gerçekleşmiştir.

3.2.2. Buharlaşma ve Terleme

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen 2012-2022 yılları arası sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak Thornthwaite (1948) yöntemi ile çalışma alanının potansiyel (Etp) ve gerçek (Etr) buharlaşma-terleme değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler ile Folderesi Havzası'na ait su bilançosu hazırlanmıştır (Tablo 4).

Thornthwaite yöntemine göre Etp aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır:

$$Etp = 1,6 \times G \times (10t/I)^a$$

Etp: Aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (cm)

G: Aylık güneşleme faktörü

I :Yıllık sıcaklık indisi

$$I = \sum i$$

i: Aylık sıcaklık indisi

$$i = (t/5)^{1,514}$$

t : aylık sıcaklık ortalaması (°C)

a: Yıllık sıcaklık indisine bağlı bir katsayıdır.

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,79 \times 10^{-2} \times I + 0,492$$

Tablo 4.Tonya (Trabzon) meteoroloji istasyonu verileri (MGM, 2023) ve Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış hidrolojik bilanço (Enlem 40°88' K, Boylam: 39°28"D Rakım 923 m) (Veriler 2012-2022 yılları arası ortalama sıcaklık ve yağışlardır)

Bilanço Elemanları	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	YILLIK
Ortalama Sıcaklık (°C)	2	3	5	10	13	15	17	17	14	11	6	1	9.5
Yağış (mm)	88	78	70	80	86	95	57	65	80	107	106	102	1014
Potansiyel Buharlaşma (Etp)(mm)	2	4	10	32	55	69	85	79	51	33	11	1	432
Top. Nem Değ.	-	-	-	-	-	-	-28	-14	+29	+13	-	-	
Top. Su Rezervi	100	100	100	100	100	100	72	58	87	100	100	100	
Gerçek Buharlaşma (Etr) (mm)	2	4	10	32	55	69	85	79	51	33	11	1	432
Su Eksiği (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Su Fazlası (mm)	86	74	60	48	31	26	0	0	0	61	95	101	582
Akış (mm)	94	80	67	54	39	29	13	0	0	30	78	98	582

Tablo 4'e göre Tonya ilçesindeki yıllık toplam Etp 432 mm ve yıllık Etr 432 mm olarak bulunmuştur. Havzaya düşen yağışın yaklaşık %43'ü buharlaşma-terleme yolu ile tekrar atmosfere dönmektedir. Haziran ayının sonuna kadar yağış Etp'den fazla olup bu aylarda su fazlası oluşmuştur. Temmuz ve ağustos aylarında yağış miktarı Etp değerinden daha az olup gerçek buharlaşma-terlemenin oluşabilmesi için rezervden yararlanılmıştır. Eylül ayı ve sonrası yağış miktarı Etr'den fazla olup yağış miktarındaki fazlalık rezervi tamamlamıştır.

3.2.3. Yüzey Suları ve Akımları

İnceleme sahasında en önemli akarsu kuzey-güney doğrultusunda akan Folderesidir. Bu akarsu inceleme alanının güney uçlarında yer alan Fındıcak, Çağman ve Kızılağaç yaylalarından doğmaktadır. Folderesi'nin en uzun yan kolu 45 km uzunluğunda olup akarsu Tonya ilçe merkezinin doğu yakasından geçerek Vakfıkebir ilçesini iki bölüme ayırıp kuzeyden Karadeniz'e ulaşmaktadır. Folderesi'nin yağış alanı yaklaşık 187 km² olup 2A028 nolu Fol Deresi Bahadırlı akım gözlem istasyonu akım verilerine göre yıllık ortalama 119,98x10⁶ m³ akım geçmektedir (DSİ 2015).

3.2.4. Süzülme

Yeraltısuyu beslenimi havzalarda yağış ve yüzeysel akıştan kaynaklı süzülme ile oluşmaktadır. Folderesi havzasında yeraltına süzülme miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$P=Qr+Etr+I; \text{ Bu formülde}$$

P= Toplam yağış, Qr= Dolaysız akış, Etr= Gerçek buharlaşma-terleme ve I= Yeraltına sızan su miktarı.

Foldere Havzasında: Etr miktarı 432 mm, Qr değeri $64.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak bulunmuştur. Havzada hesaplanan süzülme oranı hesabı Tablo 5’de verilmiştir. Foldere Havzası’nda yağıştan yeraltına süzülen su miktarı $44.034 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Foldere Havzasında süzülme oranı hesabı

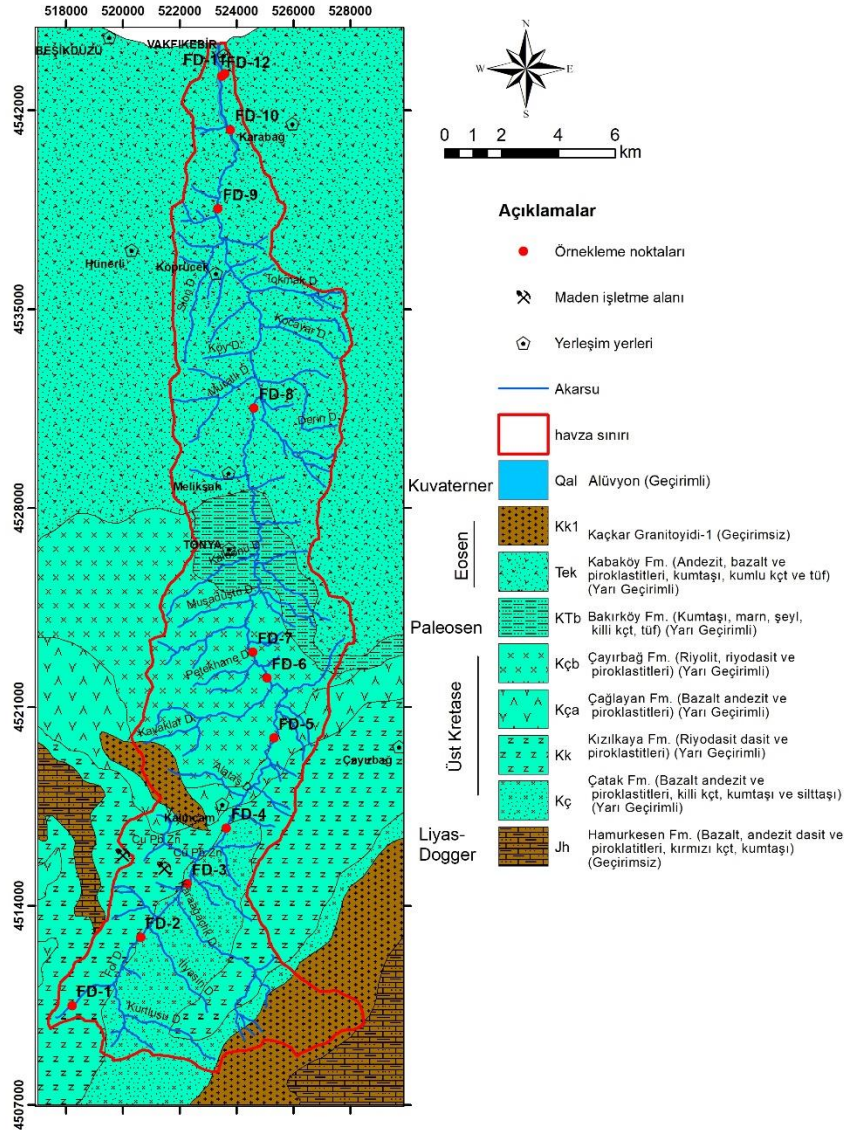
Havzanın yağış alanı (A)	$187 \times 10^6 \text{ m}^2$
Yağış (P)	1014 mm (1.014m)
Etr	432 mm (0.432 m)
Qr (yıllık)	$64.8 \times 10^6 \text{ m}^3$
Yağış ile havzaya gelen su (Px A)	$189.618 \times 10^6 \text{ m}^3$
AxEtr	$80.784 \times 10^6 \text{ m}^3$
Yeraltına sızan su (I=P-(Qr+Etr))	$44.034 \times 10^6 \text{ m}^3$
Süzülme oranı (I/P)	0.23

3.3. Hidrojeoji

Foldere Havzası ve yakın çevresinde yüzeylenen litolojik birimler kısmen tortul ara seviyeler içeren genellikle volkanik kayalardan oluşur. Bu kayaların birincil gözeneklilikleri düşüktür. Ancak tüm kayalarda gelişen ikincil gözeneklilik genellikle çatlaklar şeklindedir. Kayaların gözeneklilikleri çatlaklılık durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bundan dolayı alanda yüzeylenen kayaların gözeneklilik ve geçirimlilik durumları yersel olarak farklılık gösterir. Çatlaklı olan kısımlarda yüzeyden yeraltına süzülen yüzey suları sığ derinliklerde yeraltısularını oluşturur. Bu sular da çatlakların topoğrafya ile kesiştiği kesimlerden tekrar yüzeye boşalır. Bu boşalımlar yağıştan beslenmeye bağlı olarak mevsimsel olarak değişir. Çok yüksek debili olmayan bu kaynak suları daha çok inceleme alanında eğimin fazla olduğu yerlerde sızıntı şeklindedirler. Bu kaynakların bir kısmı kırsal kesimdeki bir veya birkaç yerleşimin su ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır.

3.3.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Foldere Havzasındaki litolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Liyas-Dogger yaşlı bazalt andezit dasit ve piroklastitlerden oluşan birimlerin geçirgenlikleri yoktur (Şekil 7). Ancak tektonik faaliyetlere bağlı olarak birimde meydana gelen çatlaklar birimlere yersel geçirimsizlik kazandırmıştır. Üst Kretase, Paleosen ve Eosen yaşlı bazalt, andezit, riyodasit, dasit, trakiandezit ve piroklastitlerinden oluşan birimler yarıgeçirimli özelliktedir. İnceleme sahasındaki granitoyitler (granit, granodiyorit ve tonalit) kırılmamış ve ayrışmamış alanlarda geçirimsizdir. Havzada Foldere boyunca dar bir alanda yüzeyleme veren Kuvaterner yaşlı tutturulmuş blok, çakıl, kum, kil ve çamurtaşından oluşan Alüvyon geçirimli özelliktedir (Şekil 7).



Şekil 7. Folderesi Havzası'nın hidrojeoloji haritası.

3.3.2. Su Noktaları

İnceleme sahasının en önemli akarsuyunu kuzey-güney yönünde uzanan Folderesi ve onun kolları oluşturmaktadır. Folderesinin en önemli yan kolları Sion Dere, Tokmak Dere, Kocayar Dere, Derin Dere, Köy Dere, Kaleönü Dere, Maden Deredir. Bu çalışmada folderesi üzerinde seçilen 10 istasyondan (FD-1, FD-2, FD-3, FD-4, FD-5, FD-6, FD-8, FD-9, FD-10 ve FD-12) yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır (Şekil 8). Havzada, çoğu mevsimlik akışa sahip olan ve Folderesi'ni besleyen küçük debili birçok kaynak bulunmaktadır. Sahada yer alan bu kaynaklardan bir tanesinde (FD-7) örnekleme ve ölçüm çalışmaları yapılmıştır (Şekil 9).



Şekil 8. İnceleme sahasında yerinde ölçüm ve örnekleme yapılan Folderesi



Şekil 9. İnceleme sahasında yerinde ölçüm ve örnekleme yapılan Soğuk su kaynağı (FD-7)

Folderesi'nin mansap bölümü yeraltısuyu işletmesine elverişli akifer özelliğindedir. Vakfıkebir ilçesinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak için İller Bankası tarafından akifer alanda açılan 6 adet su sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyularda statik su seviyesi 1.40-2.50 m, dinamik su seviyesi 6.00 – 18.00 m, kuyu verimleri 15-45 l/s arasındadır (DSİ 2015). Bu çalışma kapsamında folderesi alüvyon akiferinde bulunan su kuyularından bir tanesinde (FD-11) ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. İnceleme sahasında yerinde ölçüm ve örnekleme yapılan soğuksu sondajı (FD-11)

Foldere Havzası'nda ölçüm ve örnekleme istasyonlarından FD-1 ve FD-2 herhangi bir antropojenik etkinin olmadığı sadece doğal orman örtüsünün bulunduğu Foldere'nin üst havzasından seçilmiştir. FD-3 ve FD-4 istasyonları, bu noktaların yakınında bulunan ve eskiden işletilmiş Cu-Pb-Zn maden sahasının yukarı ve aşağı kısmından, FD-5, FD-6 ve FD-7 kısmen yerleşim ve tarım alanları yakınından, FD-8 alabalık çiftliği işletmesi aşağı kısmından, FD-9, FD-10, FD-11 ve FD-12 yerleşim, ve küçük ölçekli sanayilerin olduğu sahalara yakın olan noktalardan seçilmiştir.

3.4. Suların Hidrokimyasal Özellikleri

Çalışma sahasında 1adet kuyu bir adet kaynak ve 10 adet yüzey suyu olmak üzere toplam 12 örnek noktasından üç ayrı dönemde (Haziran, Eylül ve Aralık 2023) alınan suların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 6'da sunulmuştur. Elde edilen analiz sonuçları ile incelenen suların hidrokimyasal özellikleri, içme ve sulama suyu olarak kullanıma uygun olup

olmadıkları ve su kalitesi indis özellikleri belirlenmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla su kalitesi parametreleri için dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Bu çalışmada elde edilen fizikokimyasal parametreler Dünya Sağlık Örgütü (WHO-2017), Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266-2005), Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) Ek-5 (16.06.2021, RG: 31513 Tablo-2)'ne göre kalite kriterleri ve su kalite sınıfı renk kotları dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Tablo 7).

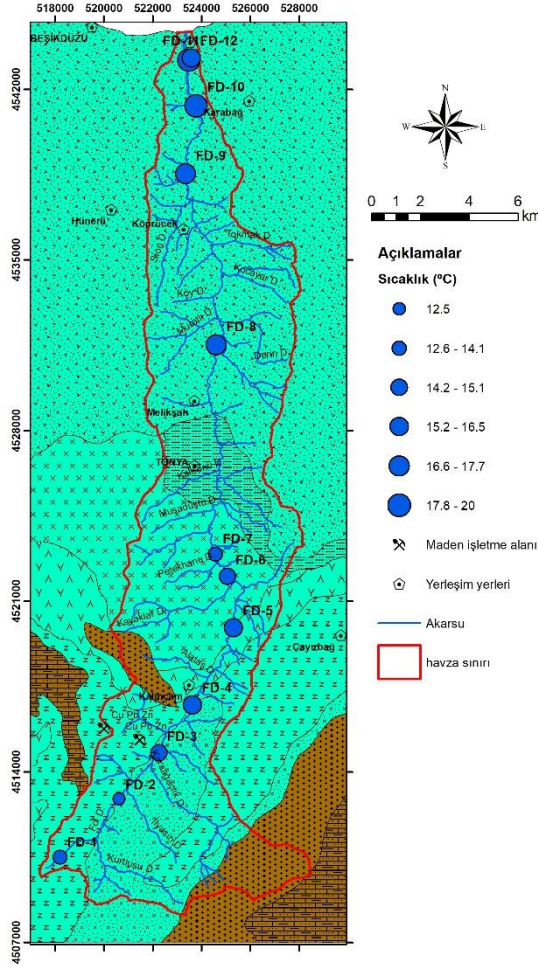
3.4.1. Sıcaklık

Yüzey sularının sıcaklığı iklimsel özelliklerden oldukça fazla etkilenir. Deniz seviyesinden yükseldikçe farklı bir etkiye maruz kalmaksızın su sıcaklıkları azalır. Sıcaklık sulara kimyasal ve biyokimyasal reaksiyon oluşum hızlarını etkileyerek su kalitesinde önemli bazı parametreleri de (renk, koku, tad, bulanıklık vb.) doğrudan etkiler. Yaz mevsiminde yüzeysel sulardaki doğal arıtımı sıcaklık pozitif yönde etkilemektedir (Chapman, 1992). TSE-266, 2005' e göre içme suyu için sınır sıcaklık değeri 25 °C olarak belirtilmiştir. Foldere Havzasında örneklenen yüzey sularında ölçülen sıcaklık değeri ortalama 12.5-20.03 °C arasında, yeraltı sularında ortalama 13.8-16.5 °C arasında değişmektedir (Şekil 11). TSE-266' ya göre Foldere havzasındaki su sıcaklıkları uygun sınırlar içerisindedir.

3.4.2. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

Suyun asitlik veya bazlık durumunu gösteren ve logaritmik bir ölçü olan pH değeri 0 - 14 arasında değişen değerler alır. Asidik sular 7'nin altında pH değeri alırken bazik özellikteki sular pH değeri 7'nin üzerindedir. Ekolojik bakımdan su kalitesini belirlemek için kullanılan önemli faktörlerden biri pH'dır. Arıtma sistemlerinin tasarımında çok önemli bir kriter olarak kullanılan pH sertlik giderme, korozyon kontrolü dezenfeksiyon gibi işlemlerde de kullanılmaktadır. WHO standartlarında 6,5-8,5 ve TSE 266 standartlarında 6,5-9,5 arasında olması önerilen pH değeri Foldere Havzası yeraltı sularından örneklenen FD-7 ve FD-11 örneklerinde sırasıyla ortalama 8.3 ve 8.25 olup standartlara uygun sınırdadır (Şekil 12a). Ölçüm yapılan tüm istasyonlarda en düşük pH değerleri Haziran ayında (yaz mevsimi) en yüksek pH değerleri Eylül ayında (sonbahar mevsimi) gözlenmiştir (Tablo 6). YSKY-2021'e göre tüm su kalitesi sınıfları için pH değeri 6-9 arasındadır (Tablo...). Dolayısıyla Foldere havzasında yüzey suyunda örnekleme yapılan tüm istasyonlarda (FD-1, FD-2, FD-3, FD-4, FD-

5, FD-6, FD-8, FD-9, FD-10, ve FD-12) ölçülen pH değerleri içme, sulama ve rekreasyon için uygun değerlerdedir (Şekil 11).

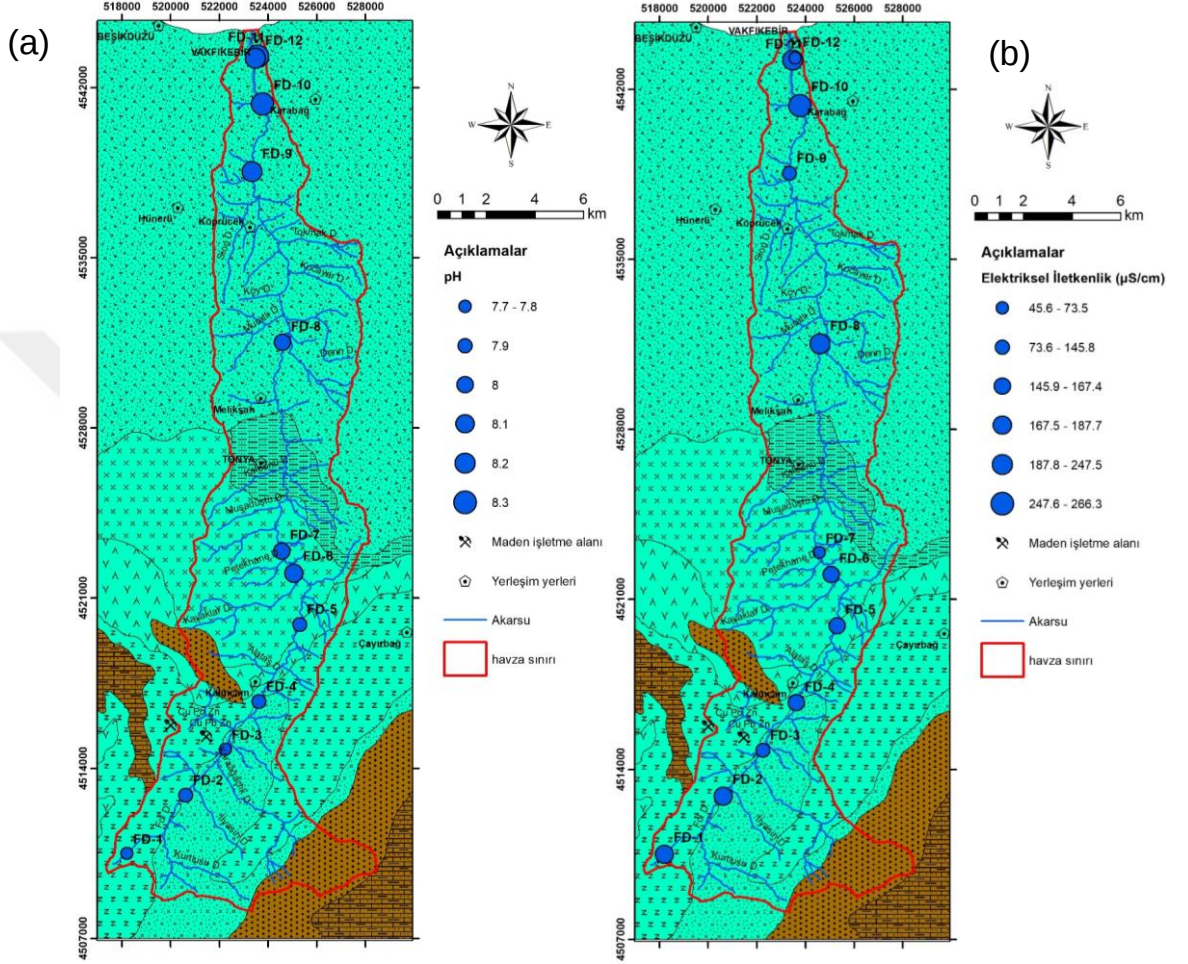


Şekil 11. İnceleme alanındaki su noktalarının sıcaklık değerlerinin mekânsal dağılımı

3.4.3. Özgül Elektriksel İletkenlik (Eİ)

Sudaki çözülmüş maddelerin bir göstergesi olan iletkenlik suyun elektrik akımını iletme kapasitesidir. İzleyici bir parametre olarak kullanılan Eİ sudaki toplam iyon konsantrasyonundan ve sıcaklıktan etkilenir. Sulardaki yüksek Eİ değerleri suyun kirlendiğinin ya da suya deniz suyu karıştığının bir göstergesidir. TSE 266 ya göre Eİ değerinin 2 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'yi geçmemesi önerilmektedir. Suların Eİ değerleri kullanılarak hem su sınıflandırılması yapılabilir hem de içme ve sulama suları sınıflamasında kullanılır. İnceleme alanında ölçüm yapılan tüm yüzey sularından elde edilen ortalama Eİ değerleri 140.6-266.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında olup YSKY-2021'de belirtilen sınır değerlere göre tüm yüzeysuyu izleme istasyonları çok iyi su kalitesi sınıfında yer almaktadır (Şekil 12b). Eİ değerleri yüzeysularında menba tarafından

mansap tarafına doğru gittikçe bir miktarda artmaktadır. Bu durum antropojenik faaliyetlere işaret etmektedir. Yerlatisuyu örneklerinin Eİ değerleri FD-7 için ortalama 45.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve FD-11 için ortalama 43.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Bu değerler ile havzadaki yeraltı suları TSE 266 standartlarında uygun sınırlar içerisinde yer almaktadır.



Şekil 12. İncelenen suların pH (a) ve Elektriksel iletkenlik (b) değerlerinin mekânsal dağılımı

3.4.4. Toplam Çözülmüş Madde (TDS)

Sudaki organik maddeler ve anorganik tuzlar suda çözünen maddelerin kaynağıdır. Bu maddeler suyun korozyon, sertlik tat gibi özelliklerini değiştirir. Suda bulunan ana çözülmüş iyonlar kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum, klorür, sülfat ve karbonat ve bikarbonattır. Foldere Havzası'nda yeraltı sularının ortalama TDS miktarları 27.8 mg/L (FD-7) ve 38.6 mg/L (FD-11) dir. Tüm yüzey sularına ait ortalama TDS miktarları 75-141.6 mg/L arasında değişmektedir. TSE-266 standartında TDS için izin verilen maksimum değer 1500 mg/L dir. Bu değer dikkate alındığında havzada yer alan tüm istasyonlarda TDS değeri standartlara uygun aralıktadır.

Tablo 6. Folderesi Havzası yüzey ve yeraltısularının hidrokimyasal özellikleri

Parametreler	Tarih	FD-1	FD-2	FD-3	FD-4	FD-5	FD-6
Sıcaklık (°C)	Haziran 2023	21	15.7	18.9	22.4	22.1	19.6
	Eylül 2023	14	14.6	17	16.7	16	16.2
	Aralık 2023	7.3	7.4	8.06	8.16	9.2	9.4
	Ortalama	14.10	12.5	14.6	15.7	15.7	15.07
pH	Haziran 2023	6.47	6.95	6.88	7.09	7.18	7.54
	Eylül 2023	8.7	8.8	8.35	8.3	8.32	8.5
	Aralık 2023	7.98	7.95	8.08	8.12	8.14	8.1
	Ortalama	7.72	7.90	7.77	7.84	7.88	8.05
Eİ (µS/cm)	Haziran 2023	228	161.2	89.4	122.5	127.4	139.4
	Eylül 2023	210	227	157.6	187	180	185
	Aralık 2023	120	174.9	175	169	171	178
	Ortalama	186	187.7	140.6	159.5	159.4	167.4
TDS (mg/L)	Haziran 2023	115	98.2	40.5	62.3	64	75.9
	Eylül 2023	135	166.8	89.5	85	92	88
	Aralık 2023	75	82	95	82	110	115
	Ortalama	108.3	115.6	75	76.4	88.6	92.9
ÇO (mg/L)	Haziran 2023	6.7	8.19	8.28	7.62	7.54	8.12
	Eylül 2023	7.50	7.99	8.38	8.2	8.25	8.4
	Aralık 2023	9.36	9.34	9.49	9.2	9.21	8.95
	Ortalama	7.85	8.51	8.72	8.34	8.33	8.49
Ca ⁺² (mg/L)	Haziran 2023	19.8	43.5	19.2	22.9	18.9	17.55
	Eylül 2023	22	40.2	24.58	26.5	22.4	22.9
	Aralık 2023	23.4	19	14.06	22.45	20.9	23.4
	Ortalama	21.7	34.2	57.7	71.8	20.4	21.2
Mg ⁺² (mg/L)	Haziran 2023	11.69	12.46	6.7	4.08	8.5	8.9
	Eylül 2023	12.7	13.92	7.07	6.1	11.1	10.3
	Aralık 2023	8.6	6.76	4.65	7.6	7.2	7.1
	Ortalama	10.9	10.9	6.13	5.92	8.9	8.76
Na ⁺ (mg/L)	Haziran 2023	11.5	5.14	7.52	20.01	22.1	20.81
	Eylül 2023	4.52	9.11	6.08	14.9	12.8	11.45
	Aralık 2023	8.6	5.50	4.40	9.9	10.3	10.01
	Ortalama	8.20	6.67	6	14.9	15.06	14.09
K ⁺ (mg/L)	Haziran 2023	0.44	0.89	0.69	0.55	0.62	0.62
	Eylül 2023	0.49	1.62	1.61	0.59	0.50	0.53
	Aralık 2023	0.52	0.92	0.83	0.75	0.69	0.52
	Ortalama	0.48	1.14	1.04	0.63	0.60	0.55
Cl ⁻ (mg/L)	Haziran 2023	4.5	4.4	4.4	2.3	2.9	4.9
	Eylül 2023	4.30	4.35	2.73	2.9	3.2	3.1
	Aralık 2023	2.9	2.43	2.40	2.75	3.45	3.49
	Ortalama	3.9	3.72	3.17	2.65	3.18	3.83
SO ₄ ⁻² (mg/L)	Haziran 2023	23.45	55.40	28.5	25.4	28	27.2
	Eylül 2023	25.4	61.90	27.22	29.5	21.6	20.9
	Aralık 2023	30.01	33.31	16.89	24.22	20.9	22.25
	Ortalama	26.2	50.2	24.1	26.36	23.5	23.4
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Haziran 2023	128.67	131.1	65.9	95.4	110.8	111
	Eylül 2023	112.5	138.2	82.73	98.9	112.4	112
	Aralık 2023	110	55.59	55.65	87.2	95.4	91.5
	Ortalama	117	108.2	68.09	93.8	106.2	104.8
F ⁻ (mg/L)	Haziran 2023	0.06	0.08	0.06	0.02	0.01	0.01
	Eylül 2023	0.04	0.08	0.06	0.04	0.04	0.01
	Aralık 2023	0.04	0.06	0.05	0.05	0.04	0.01
	Ortalama	0.046	0.07	0.056	0.03	0.03	0.01
Su Tipi	Haziran 2023	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Na-Ca-HCO ₃	Na-Ca-HCO ₃
	Eylül 2023	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
	Aralık 2023	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃

Tablo 6'nın Devamı

Parametreler	Tarih	FD-7 (Kaynak)	FD-8	FD-9	FD-10	FD-11 (Kuyu)	FD-12
Sıcaklık (°C)	Haziran 2023	12.5	18.2	19	20.6	18.8	22.8
	Eylül 2023	15.7	18.5	19.2	22.9	16.4	23.1
	Aralık 2023	13.2	15.7	14.9	14	14.3	14.2
	Ortalama	13.8	17.4	17.7	19.1	16.5	20.03
pH	Haziran 2023	7.33	7.67	7.9	8.13	7.77	8.03
	Eylül 2023	8.34	8.06	8.47	8.56	8.49	8.03
	Aralık 2023	8.41	8.33	8.3	8.16	8.5	8.55
	Ortalama	8.03	8.02	8.22	8.28	8.25	8.20
Eİ (µS/cm)	Haziran 2023	40.3	227	215.4	227	34.9	256
	Eylül 2023	45.6	338	335	379	125	249
	Aralık 2023	51	177.6	187	193	60.8	194.7
	Ortalama	45.6	247.5	145.8	266.3	73.5	233.2
TDS (mg/L)	Haziran 2023	24.9	125.8	117.2	118.7	18.7	128.9
	Eylül 2023	26.7	187.3	180.1	192.1	60.8	125.4
	Aralık 2023	32	111.7	115	113.8	36.4	120.5
	Ortalama	27.8	141.6	137.4	141.5	38.6	124.9
ÇO (mg/L)	Haziran 2023	8.72	8.73	8.72	8.97	8.78	8.18
	Eylül 2023	8.72	8.48	8.5	8.19	8.44	8.93
	Aralık 2023	8.82	9.10	9.21	9.34	9.42	9.77
	Ortalama	8.75	8.77	8.81	8.83	8.88	8.96
Ca ⁺² (mg/L)	Haziran 2023	6.45	24.9	22.78	26.45	16.50	35.9
	Eylül 2023	6.3	35.62	50.5	44.34	16.25	43.90
	Aralık 2023	6.1	32.75	31.4	31.82	9.51	31.57
	Ortalama	6.2	31.06	34.8	34.2	14.08	37.1
Mg ⁺² (mg/L)	Haziran 2023	1.78	9.49	6.69	8.19	2.94	9.49
	Eylül 2023	2.01	10.72	7.49	10.48	2.56	10.25
	Aralık 2023	1.98	6.96	7.30	7.70	2.76	7.94
	Ortalama	1.92	9.05	7.16	8.79	2.75	9.22
Na ⁺ (mg/L)	Haziran 2023	3.7	12.8	5.9	22.1	5.3	10.9
	Eylül 2023	3.8	15.34	5.82	24.76	5.60	25.61
	Aralık 2023	3.92	8.32	8.36	9.44	4.24	11.00
	Ortalama	3.80	12.15	6.69	18.7	5.04	15.83
K ⁺ (mg/L)	Haziran 2023	2.02	4.13	5.20	2.49	1.82	3.60
	Eylül 2023	2.1	4.11	4.9	3.53	1.70	3.64
	Aralık 2023	2.04	2.47	2.19	1.97	0.66	2.16
	Ortalama	2.05	3.57	4.09	2.66	1.39	3.13
Cl ⁻ (mg/L)	Haziran 2023	2.45	8.7	9.6	15.4	7.6	12.5
	Eylül 2023	2.56	11	14.9	18.68	5.40	22.31
	Aralık 2023	2.5	4.50	5.02	5	3.30	13.4
	Ortalama	2.5	8.06	9.8	13.02	5.4	16.07
SO ₄ ⁻² (mg/L)	Haziran 2023	4.45	24.5	20.55	27.9	12.5	18.9
	Eylül 2023	5.54	31.27	30.09	31.95	15.96	32.37
	Aralık 2023	3.41	17.12	14.3	16.30	11.74	17.25
	Ortalama	4.46	24.2	21.6	25.3	13.4	22.8
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Haziran 2023	28.1	110	98	120.5	48.9	140.5
	Eylül 2023	28.2	166.25	150.9	164.95	51.33	157.5
	Aralık 2023	29.92	123.05	121.4	130.14	36.86	111.48
	Ortalama	28.7	133.1	123.4	138.5	45.6	136.4
F ⁻ (mg/L)	Haziran 2023	0.1	0.11	0.13	0.12	0.09	0.11
	Eylül 2023	0.1	0.10	0.12	0.11	0.07	0.11
	Aralık 2023	0.1	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07
	Ortalama	0.1	0.09	0.1	0.1	0.07	0.09
Su Tipi	Haziran 2023	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
	Eylül 2023	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃
	Aralık 2023	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃

Tablo 7. Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri ve Su Kalite Sınıfı Renk Kodları (YSKY 2021)

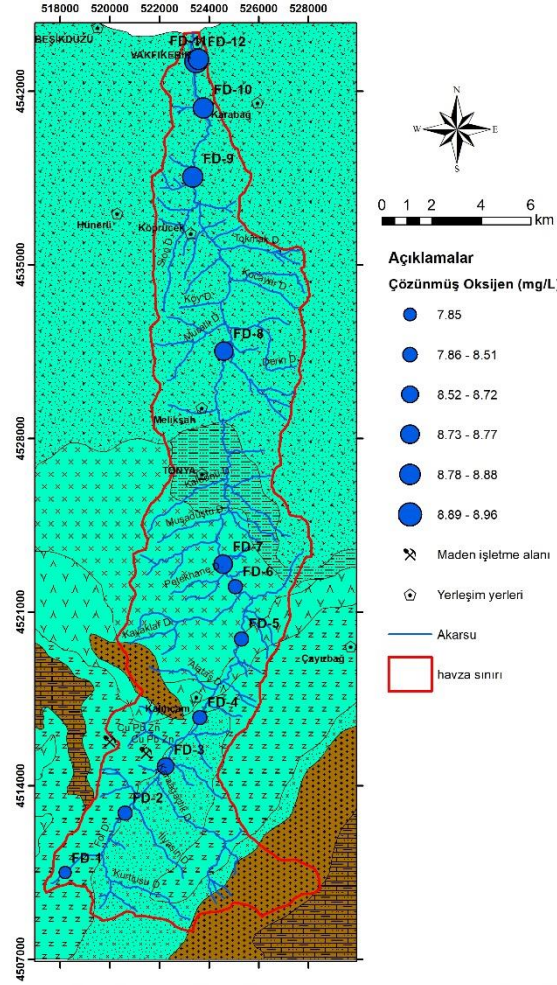
	Su Kalitesi		Renk
Su Kalite Sınıfı Renk Kodları (YSKY 2021)	Sınıf I		Mavi
	Sınıf II		Yeşil
	Sınıf III		Sarı
Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları		
	I (Çok İyi)	II (İyi)	III (Orta)
Renk (m ⁻¹)	RES 436 nm: ≤1,5 RES 525 nm: ≤1,2 RES 620 nm: ≤0,8	RES 436 nm: 3 RES 525 nm: 2,4 RES 620 nm: 1,7	RES 436 nm: > 4,3 RES 525 nm: > 3,7 RES 620 nm: > 2,5
pH	6-9	6-9	6-9
Elektriksel İletkenlik EI (µS/cm)	<400	1000	>1000
Yağ ve Gres (mg/L)	<0.2	0.3	>0.3
Çözünmüş Oksijen ÇO (mg/L)	>8	6	<6
Kimyasal Oksijen İhtiyacı KOİ (mg/L)	<25	50	>50
Biyokimyasal oksijen İhtiyacı BOİ ₅	<4	8	>8
Amonyum Azotu NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	<0.2	1	>1
Nitrat Azotu NO ₃ -N (mg/L)	<3	10	>10
Toplam Kjeldahel Azotu TKN (mg/L)	<0.5	1.5	>1.5
Toplam Azot TN (mg/L)	<3.5	11.5	>11.5
Orto Fosfat Fosforu PO ₄ ⁻ P (mg/L)	<0.05	0.16	>0.16
Toplam Fosfor TP (mg/L)	<0.08	0.2	>0.2
Florür (µg/L)	≤1000	1500	>1500
Mangan (µg/L)	≤100	500	>500
Selenyum (µg/L)	≤10	15	>15
Sülfür (µg/L)	≤2	5	>5

3.4.5. Çözünmüş Oksijen (ÇO)

Sudaki aerobik canlı yaşamı için hayati önem taşıyan çözünmüş oksijen su kirliliği ile ilgili önemli parametreler arasında yer alır. Sucul ortamlarda oksijenin çözünürlüğü su sıcaklığına ve sudaki mineral derişimine bağlı olup oksijenin suda azalması ile anaerobik çürüme oluşur ve suyun kokusu değişir.

İnceleme alanında ölçüm istasyonlarında ÇO konsantrasyonları en yüksek Haziran ayında ölçülmüş olup yüzeysularında ortalama 7.85-8.96 mg/L yeraltı sularında 8.75-8.88 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 13).

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre tüm ölçüm istasyonları çok iyi-iyi su kalitesi sınıfında yer almaktadır.



Şekil 13. İnceleme alanındaki su noktalarının ÇÖ değerlerinin mekânsal dağılımı

3.4.6. Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2})

Kalsiyum ve Magnezyum suyun sertliğini oluşturan iyonlardır. Sucul ortamlardaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyonları suyun temasta bulunduğu kayaç ve toprak yapısına bağlı olarak değişmektedir. Ca^{+2} 'nin vücuda doğrudan zararlı etkisi olamamakla birlikte iskelet ve diş için yararlı olabilmektedir. Diğer taraftan yüksek konsantrasyonlarda Ca^{+2} suyun taş yapma potansiyeli artırmakta, içilebilir su bakımından problem oluşturabilmekte ve çok düşük olması aşındırıcı etki yaratabilmektedir. Evsel ve endüstriyel su kullanımı bakımından sulardaki yüksek konsantrasyonlarda Mg^{+2} değişik sıkıntılar yaratmakta, gözlerde tahribata sebep olabilmekte ve suya acı bir tat vermektedir.

Ca^{+2} iyonu için Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 300 mg/L'yi, Mg^{+2} iyonu için hem WHO hem de Türk Standartları Enstitüsü (TSE) 30-50 mg/L'yi geçmemesini önermektedirler.

İnceleme alanında Ca^{+2} yüzey sularında ortalama 20.4- 71.8 mg/L yeraltı sularında 6.2-14.8 mg/L arasında ölçülmüştür. Mg^{+2} yüzey sularında ortalama 5.92-10.9 mg/L yeraltısularında ortalama 1.92-2.75 mg/L arasındadır (Tablo 6). Tüm bu değerler ile sulardaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyonları standartlara uygun değerlerdedir.

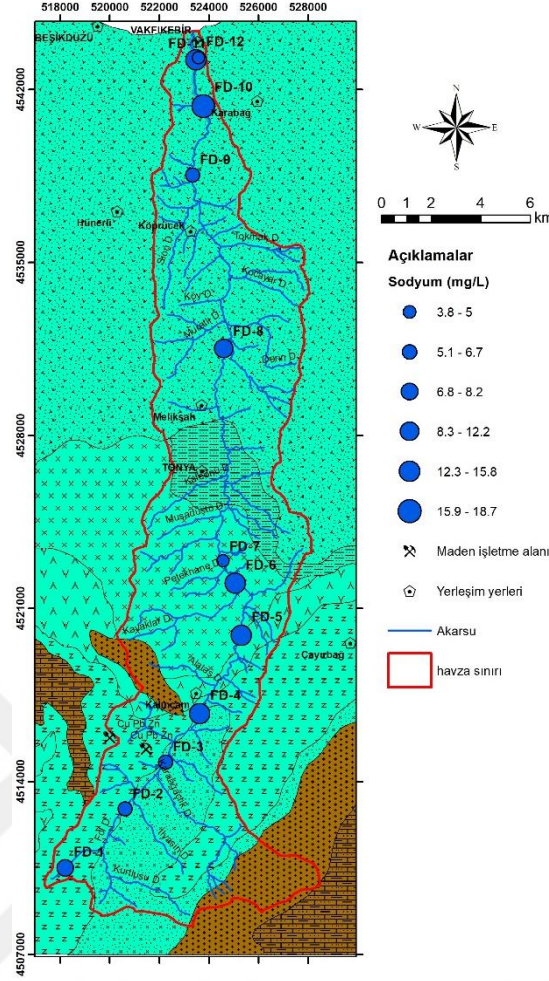
3.4.7. Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+)

Doğal ortamlardaki tüm sodyum bileşikleri suda kolayca çözünabilmektedir. Na^+ yer kabuğunda evaporitler, kil mineralleri, feldispatlar ve magmatik kayalarda oldukça bol bulunur. Su ortamlarındaki Na^+ 'un kaynağı etkileşimde bulunduğu toprak ve kayalardan, evsel ve endüstriyel kirlenmeden, veya denizsuyu karışımından ileri gelmektedir.

Potasyum doğal ortamda kil mineralleri, potasyumlu feldispatlar ve mika minerallerinde bulunmaktadır. Sulardaki K^+ kayaç ve toprak yapısı, gübreleme, sanayilerin neden olduğu kirlenme gibi etkenlerden kaynaklanır.

WHO ve TSE-266 standartlarında sularda Na^+ 'un 200 mg/L'yi geçmemesi, TSE-266'da ise K^+ un 12 mg/L'yi geçmemesi önerilmektedir.

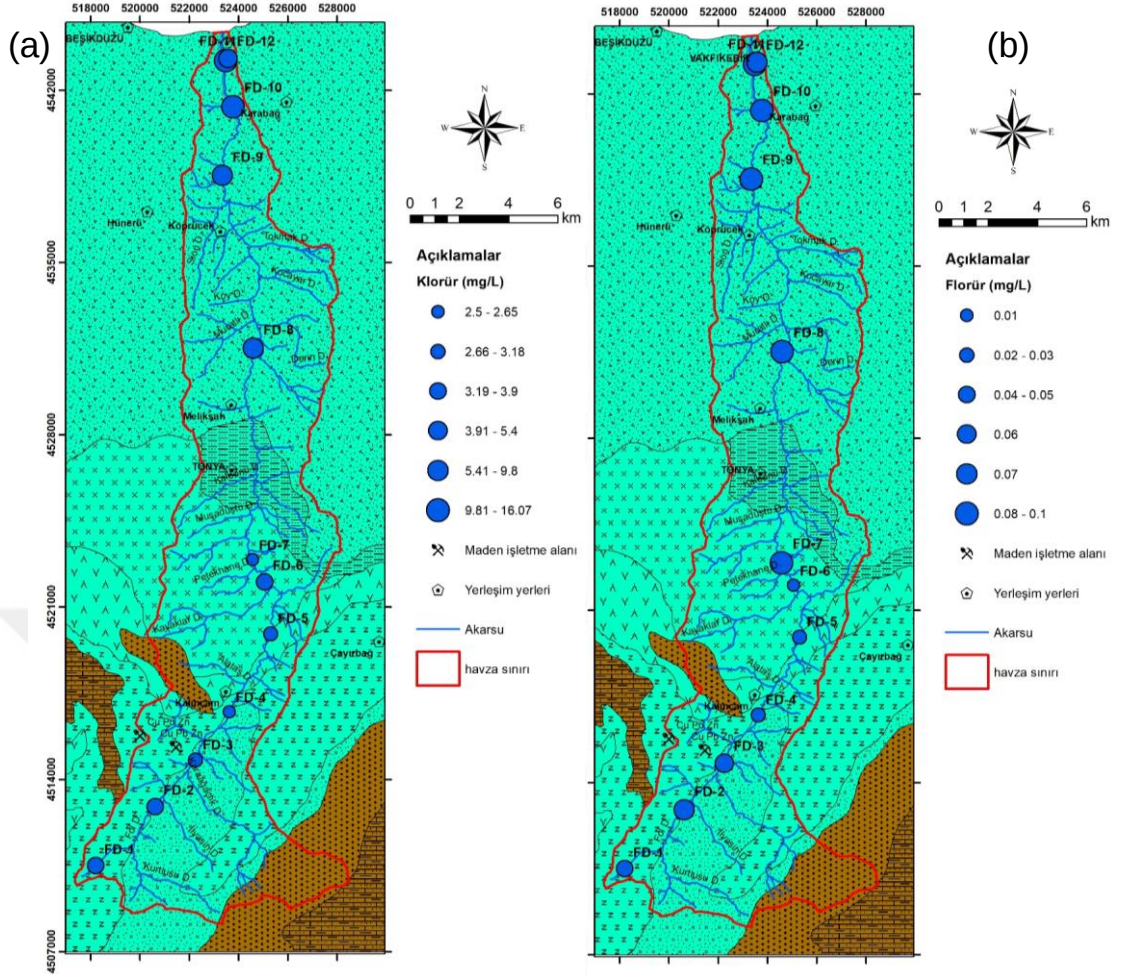
Foldere Havzası'nda yeraltı sularının ortalama Na^+ konsantrasyonu 3.8 mg/L (FD-7) ve 5.04 mg/L (FD-11) dir. Tüm yüzey sularına ait ortalama Na^+ konsantrasyonu 6-18.7 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 14). K^+ konsantrasyonu yeraltı sularında ortalama 2.05 mg/L (FD-7) ve 1.39 mg/L (FD-11) dir. Yüzey sularında K^+ konsantrasyonu 0.48-4.09 mg/L arasında değişmektedir. Tüm standartlarda verilen sınır değerlerin altında olan sonuçlarla sulardaki Na^+ ve K^+ konsantrasyonları herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır.



Şekil 14. İnceleme alanındaki su noktalarının ortalama Na değerlerinin mekânsal dağılımı

3.4.8. Klorür (Cl^-) ve Florür (F^-)

Klorür iyonu doğada yaygın olarak bulunmakta olup özellikle tortul kayalar ve evaporitlerden çözünerek, tuzlu su-tatlı su karışımı sonucu ya da evsel ve endüstriyel atıklardan sulara karışabilir. Florürün kaynağı mika, florit, amfibol gibi minerallerdir. Alkalin sularda F^- konsantrasyonu yüksektir. İçme suyu için tavsiye edilen Cl^- konsantrasyonu limit değeri 30 mg/L, F^- konsantrasyonu ise 1.5 mg/L'dir. İnceleme alanında ölçüm yapılan yeraltı sularında Cl^- konsantrasyonu ortalama 2.5-5.4 mg/L, tüm yüzey sularından ortalama 2.65-16.07 mg/L aralığında değişmektedir (Şekil 15a). F^- konsantrasyonları yüzey sularında ortalama 0.03-0.1 mg/L, yeraltı sularında ortalama 0.09-0.1 mg/L olup YSKY-2021'de belirtilen sınır değerlere göre tüm sular çok iyi su kalitesi sınıfında yer almaktadır (Şekil 15b).



Şekil 15. İncelenen suların Klorür (a) ve Florür (b) değerlerinin mekânsal dağılımı

3.4.9. Bikarbonat (HCO_3^-)

Suyun asidi nötralize edebilme kapasitesi alkalinite olarak tanımlanır. Alkalinite su sularındaki CO_3 , HCO_3 ve OH iyonlarının mg/L CaCO_3 türünden ifadesi demektir. Suda pH değerinin artışı ile birlikte HCO_3 'te artar. pH 8.2'yi geçince HCO_3 ile birlikte ortamda CO_3 'te görülür.

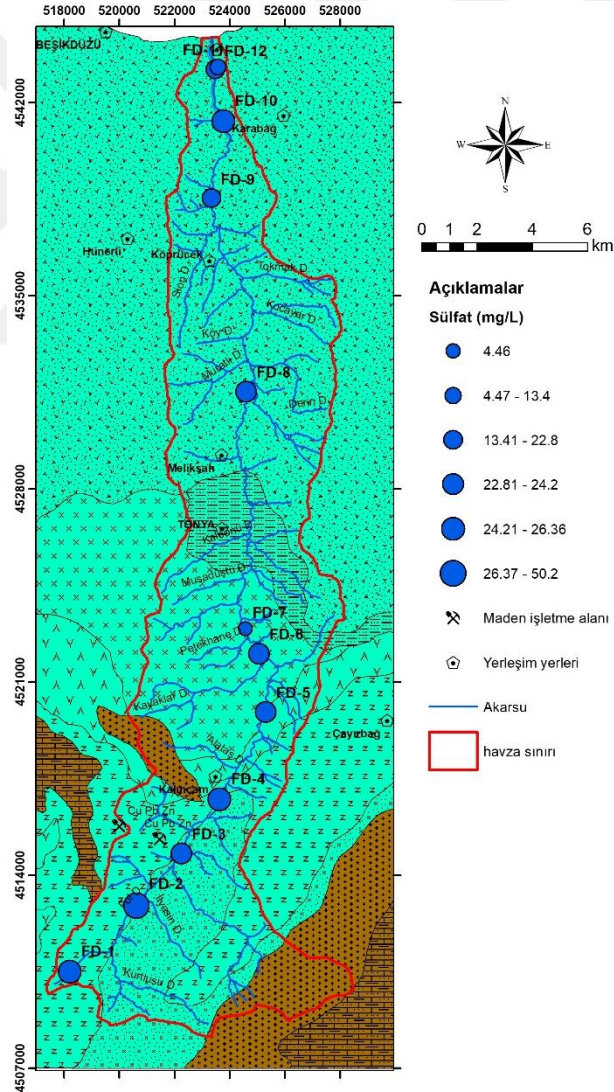
Doğal sulara alkalinite atmosferik CO_2 'den, doymun olmayan zonda ve topraktaki CO_2 'den kaynaklanır. Su özelliklerinin belirlenmesinde, atıksu takibinde ve suyun kullanım alanlarının belirlenmesinde alkalinite kullanılır. Alkalinitesi yüksek olan sular genellikle tatsız olur. Toplam alkalinite için yönetmeliklerde herhangi bir sınır değer bulunmamaktadır.

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu elde edilen ortalama değerlere göre HCO_3 parametresi genellikle tüm yüzeysuyu örnekleme noktalarında ortalama 68.09-138.5 mg/L

arasındadır. Yeraltı sulara ise ortalama HCO_3 konsantrasyonu 28.7 mg/L (FD-7) ve 45.6 mg/L (FD-11) dir.

3.4.10. Sülfat (SO_4^{-2})

Sularda değişik miktarlarda rastlanan ve bir tuz bileşiği olan SO_4^{-2} 'ün doğal kaynağı anhidrit ve jips, yapay kaynağı endüstriyel atıklardır. Yüksek SO_4^{-2} 'lü sular yüksek asidite, acı bir tat ve yüksek sertliğe işaret eder. Sülfat için WHO ve TSE tarafından önerilen sınır değeri 250 mg/L'dir. Folder Havzasındaki yüzey sularında SO_4^{-2} konsantrasyonu ortalama 21.6-50.2 mg/L, yeraltı sularında ortalama 4.46 mg/L (FD-7) ve 13.4 mg/L (FD-11) dir (Şekil 16). Bu değerler ile inceleme sahasında sülfat herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır.



Şekil 16. İnceleme alanındaki su noktalarının ortalama Sülfat değerlerinin mekânsal dağılımı

3.5. Sulama Suyu Kalitesinin Hidrojeokimyasal İndekslere Göre Değerlendirilmesi

Sulama suyu kalitesinin ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi için birden fazla göstergenin kullanılması önemlidir. Yapılan bu çalışmada Foldere Havzası'nın kimyasal özelliklerini kapsamlı bir şekilde yorumlamak ve değerlendirmek için Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Sodyum Yüzdesi (%Na), Kelly İndeksi (KI) , Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC), Magnezyum Tehlikesi (MH) ve toplam sertlik olmak üzere altı gösterge seçilmiştir. Kullanılan bu yöntemlere ait denklemler ve sınıflamalar Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. İncelenen sular için kullanılan sulama suyu değerlendirme indeksi sınıflandırması

	İndeks Eşitlikleri	Tanımlama	Referans
Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)	$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$	<10 Mükemmel 10-18 İyi 18-26 İzin verilebilir >26 Şüpheli	Richards 1954
Sodyum Yüzdesi (%Na)	$\%Na = \left(\frac{Na^+ + K^+}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+} \right) * 100$	<20 Mükemmel 20-40 İyi 40-60 İzin verilebilir 60-80 Şüpheli >80 Uygun değil	Wilcox 1955
Kelly İndeksi (KI)	$KI = \frac{Na^+}{Ca^{+2} + Mg^{+2}}$	<1 Uygun >1 Uygun değil	Kelly 1963
Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC)	$(HCO_3^{-2} + CO_3^{-2}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$	<1.25 İyi 1.25-2.5 Şüpheli >2.5 Uygun değil	Eaton 1950
Magnezyum Tehlikesi (MH)	$MH = \frac{Mg^{+2}}{Ca^{+2} + Mg^{+2}} * 100$	<50 Uygun >50 Uygun değil	Paliwal 1972
Toplam Sertlik (mg/L CaCO₃)	TS	<60 Yumuşak 60-120 Orta sert 120-180 Sert >180 Çok sert	

3.5.1. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

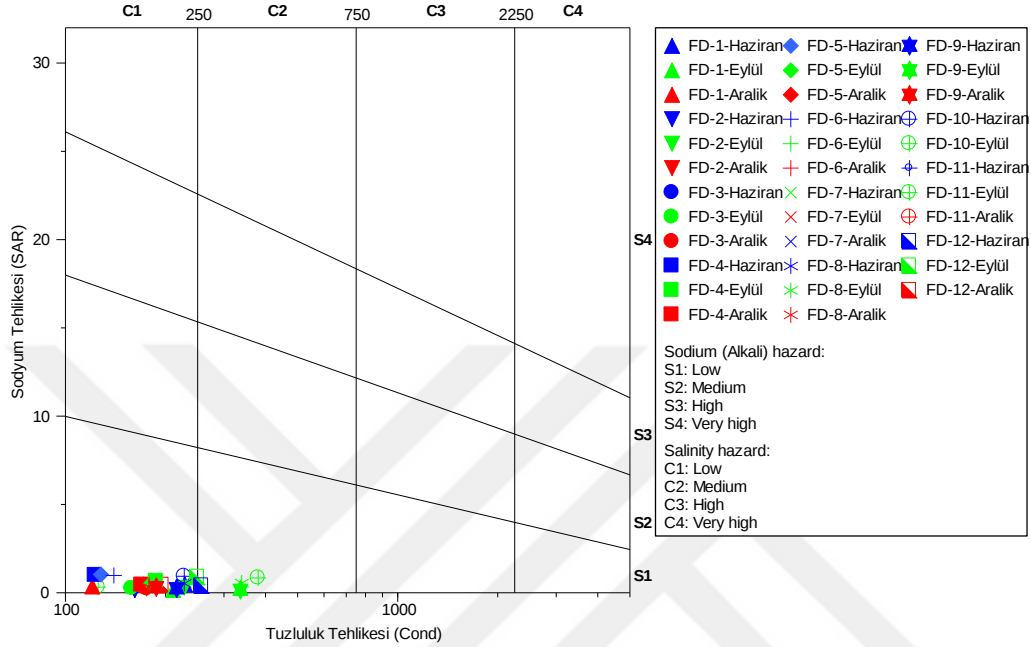
Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) toprak yüzeylerindeki tuz emilimiyle ilgili bir gösterge olup sulama suyunda Na⁺'un sebep olduğu hasarı değerlendirmek için kullanılan bir kriterdir. Artan Na⁺ konsantrasyonları topraktaki Ca⁺² ve Mg⁺²'un yerini alabilir ve topraktaki hava sirkülasyonunu ve dolayısıyla toprağın geçirgenliğini azaltabilir (Hem 1985; Şahinci, 1991). SAR'ı hesaplamak için Richards (1954) tarafından ortaya atılan denklem Tablo 8'de verilmiştir. İnceleme sahasında örnekleme yapılan üç dönem içinde SAR değerleri ayrı ayrı

hesaplanmıştır (Tablo 9). Folder Havzasındaki yüzey sularında SAR değerleri ortalama 0.26-0.74, yeraltı sularında ortalama 0.34 (FD-7) ve 0.59 (FD-11) dur. Bu değerler ile inceleme sahasında tüm örnekleme noktaları için su sınıfı SAR bakımından “mükemmel” sınıfı göstermektedir.

Tablo 9. İncelenen sular için kullanılan sulama suyu değerlendirme indeksleri

Parametreler	Tarih	FD-1	FD-2	FD-3	FD-4	FD-5	FD-6
SAR	Haziran 2023	0.51	0.18	0.38	1.01	1.06	1.01
	Eylül 2023	0.19	0.32	0.28	0.68	0.55	0.50
	Aralık 2023	0.39	0.28	0.26	0.46	0.50	0.47
	Ortalama	0.36	0.26	0.30	0.71	0.70	0.66
%Na	Haziran 2023	20.6	7.1	18.5	37.3	37.1	36.2
	Eylül 2023	8.8	12.1	14.3	26.5	21.7	20.3
	Aralık 2023	17	14.7	16.3	20.38	22	20.2
	Ortalama	15.4	11.3	16.36	28.06	26.9	25.5
Kelly İndeksi (KI)	Haziran 2023	0.25	0.07	0.22	0.59	0.58	0.56
	Eylül 2023	0.09	0.12	0.15	0.35	0.27	0.25
	Aralık 2023	0.20	0.16	0.18	0.25	0.27	0.25
	Ortalama	0.18	0.12	0.18	0.39	0.38	0.35
Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC)	Haziran 2023	0.15	-1.06	-0.44	0.08	0.16	0.20
	Eylül 2023	-0.31	-0.90	-0.46	-0.21	-0.20	-0.17
	Aralık 2023	-0.08	-0.60	-0.18	-0.33	-0.08	-0.26
	Ortalama	-0.08	-0.86	-0.36	-0.15	-0.04	-0.08
Magnezyum Tehlikesi (MH)	Haziran 2023	50	32	37	23	43	46
	Eylül 2023	49	37	32	28	45	43
	Aralık 2023	38	37	36	36	36	34
	Ortalama	46	35	35	29	42	41
Toplam Sertlik (mg/L CaCO ₃)	Haziran 2023	97.50	159.80	75.47	73.93	82.13	80.41
	Eylül 2023	93.77	157.58	90.42	91.22	101.56	99.52
	Aralık 2023	75.22	75.22	54.21	87.29	81.77	87.60
	Ortalama	88.8	130.8	73.3	84.1	88.4	89.1
Parametreler	Tarih	FD-7 (Kaynak)	FD-8	FD-9	FD-10	FD-11 (Kuyu)	FD-12
SAR	Haziran 2023	0.33	0.55	0.28	0.96	0.32	0.42
	Eylül 2023	0.34	0.58	0.20	0.87	0.34	0.90
	Aralık 2023	0.35	0.34	0.35	0.39	0.31	0.45
	Ortalama	0.34	0.49	0.27	0.74	0.32	0.59
% Na	Haziran 2023	31.1	24.5	18.6	33.8	20.5	17.9
	Eylül 2023	31.2	22.4	10.7	27.4	21.8	28.3
	Aralık 2023	32.1	16	16.1	17.1	22.1	19.2
	Ortalama	31.4	20.9	15.1	26.1	21.4	21.8
Kelly İndeksi (KI)	Haziran 2023	0.34	0.27	0.15	0.48	0.22	0.18
	Eylül 2023	0.34	0.25	0.08	0.35	0.24	0.37
	Aralık 2023	0.36	0.16	0.17	0.18	0.26	0.21
	Ortalama	0.35	0.23	0.13	0.34	0.24	0.25
Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC)	Haziran 2023	-0.01	-0.23	-0.09	-0.03	-0.27	-0.28
	Eylül 2023	-0.02	0.05	-0.68	-0.39	-0.18	-0.47
	Aralık 2023	0.02	-0.20	-0.19	-0.10	-0.10	-0.41
	Ortalama	0.00	-0.13	-0.32	-0.17	-0.18	-0.39
Magnezyum Tehlikesi (MH)	Haziran 2023	32	39	33	34	23	31
	Eylül 2023	35	33	20	28	21	28
	Aralık 2023	35	26	28	29	33	30
	Ortalama	34	33	27	30	25	29
Toplam Sertlik (mg/L CaCO ₃)	Haziran 2023	23.42	101.17	84.36	99.69	53.27	128.62
	Eylül 2023	23.99	132.98	156.82	153.75	51.08	151.71
	Aralık 2023	23.37	110.35	108.35	111.08	35.08	111.44
	Ortalama	23.5	114.8	116.5	121.5	46.4	130.5

Şekil 17’de incelenen tüm su örnekleri için ABD tuzluluk diyagramı verilmiştir. Eylül döneminde FD-8, FD-9 ve FD-10 örnekleri için ölçülen değerler C2-S1 (orta tuzlu- az sodyumlu su) sınıfında yer alırken diğer tüm örnekler C1-S1 (düşük tuzlu ve düşük sodyumlu su) sınıfında yer almaktadır.



Şekil 17. İncelenen suların tuzluluk ve sodyum tehlikesine göre sınıflandırılması (ABD Tuzluluk Diyagramı)

3.5.2. Sodyum Yüzdesi (% Na)

Sulama suyu olarak kullanılacak olan suların uygunluğunu belirlemek için % Na değerleri önemlidir. Yüksek konsantrasyonlarda Na içeren sular karbonatlarla reaksiyona girip toprağın alkalinitesini yükseltir. Diğer taraftan yüksek düzeylerde sodyum klorür toprağın tuzlanmasına neden olarak geçirgenliği düşürür. Sodyum yüzdesinin hesaplanmasında kullanılan formül Tablo 8’de verilmiştir. Çalışma alanındaki yüzey suyu örneklerinin sodyum içeriği % 11.3 ile % 28.06 arasında değişmektedir. Yeraltı sularında ise % Na oranı % 31.4 (FD-7) ve % 21.4 (FD-11) tür. Bu değerler ile incelenen tüm sular % Na bakımından “mükemmmel-iyi” sınıfında yer almaktadır (Tablo 9).

3.5.3. Kelly İndeksi (KI)

Kelly İndeksi, suyun sulamaya uygun olup olmadığını değerlendirmek için Ca^{+2} ve Mg^{+2} ile Na^{+} konsantrasyonuna göre kullanılan bir diğer göstergedir. Kelly oranının hesaplanmasında kullanılan formül Tablo 8’de verilmiştir. Kelley indeksi <1 olan sular sulama için uygun sınıfta olarak değerlendirilir (Kelly 1963). Foldere Havzası’nda incelenen tüm yüzey ve yeraltı sularında KI değerlerinin 1’den küçük olup sular sulama amaçlı kullanım için uygundur (Tablo 9).

3.5.4. Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC)

Sodyum tehlikesindeki potansiyel artışın bir tahmini olan RSC hesaplamalarında kullanılan eşitlik Tablo 8’de verilmiştir. $\text{RSC} > 2.50$ ise sular sulamaya uygun değil, $\text{RSC} < 1.25$ ise sular sulama için güvenlidir (Eaton 1950). Foldere Havzası’nda tüm su örneklerinde RSC değerleri < 1.25 ’tir (Tablo 9). Bu değerler ile incelenen tüm sular sodyum tehlikesi bakımından düşük potansiyele sahip olup sulamaya uygundur.

3.5.5. Magnezyum Tehlikesi (MH)

Sulama sularında fazla konsantrasyonlarda Mg^{+2} iyonunun bulunması, toprak yapısını alkaliye dönüştürebilmekte ve bu durum ürün verimine negatif etki etmektedir (Paliwal 1972). Bu sebepten dolayı sulama amaçlı kullanılacak suların magnezyum tehlikesinin araştırılması gerekmektedir. Magnezyum tehlikesini hesaplamak için kullanılan formül Tablo 8’de verilmiştir. Foldere Havzası’nda tüm su örneklerinde MH değerleri < 50 ’dir. (Tablo 9). Bu değerler ile incelenen tüm yüzey ve yeraltı sularının sulama suyu için uygun olduğunu göstermektedir.

3.5.6. Toplam Sertlik (TH)

Foldere Havzasında alınan yüzey suyu örneklerinin TH değerleri 73.3 ile 130.8 mg/L, yeraltı sularına ortalama 23.5-46.4 mg/L arasında değişmektedir. Toplam Sertlik için WHO 300 mg/L ye kadar bir sınır değer vermiştir. TSE-266 ve YSKY 2021’e göre TH için herhangi bir sınır değer belirtmemiştir. Bu çalışmada toplam sertlik değerleri Tablo 8’e göre değerlendirilmiştir. İnceleme alanındaki tüm su örnekleri toplam sertlik parametresi bakımından yumuşak sular sınıfına girmektedir (Tablo 8, Tablo 9).

3.6. Suların Kirlilik Analizleri

Foldere Havzası'nda elde edilen su örneklerinde kirlilik parametrelerinden (Besin elementleri) amonyum azotu, nitrat azotu, nitrit azotu, ve toplam fosfor içeriği değerlendirilmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Folderesi Havzası yüzey ve yeraltısularında ölçülen azot türevleri (Birimler mg/L)

Parametreler	Tarih	FD-1	FD-2	FD-3	FD-4	FD-5	FD-6
Amonyum Azotu (NH₄_N) (mg/L)	Haziran 2023	0.1	0.1	0.11	0.16	0.15	0.15
	Eylül 2023	0.1	0.1	0.11	0.17	0.15	0.10
	Aralık 2023	0.12	0.13	0.13	0.13	0.15	0.12
	Ortalama	0.11	0.11	0.12	0.15	0.15	0.12
Nitrat Azotu (NO₃_N) (mg/L)	Haziran 2023	0.20	0.30	0.21	1.75	1.75	1.20
	Eylül 2023	0.12	0.363	0.271	1.70	1.75	1.20
	Aralık 2023	0.19	0.73	0.44	0.16	1.12	1.32
	Ortalama	0.2	0.5	0.3	1.2	1.5	1.2
Nitrit Azotu (NO₂_N) (mg/L)	Haziran 2023	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
	Eylül 2023	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
	Aralık 2023	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
	Ortalama	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Toplam Fosfor (mg/L)	Haziran 2023	0.002	0.002	0.003	0.10	0.12	0.1
	Eylül 2023	0.001	0.002	0.003	0.003	0.12	0.1
	Aralık 2023	0.01	0.01	0.01	0.003	0.10	0.1
	Ortalama	0.004	0.005	0.01	0.04	0.11	0.10
Parametreler	Tarih	FD-7 (Kaynak)	FD-8	FD-9	FD-10	FD-11 (Kuyu)	FD-12
Amonyum Azotu (NH₄_N) (mg/L)	Haziran 2023	0.11	0.16	0.15	0.15	0.12	0.10
	Eylül 2023	0.12	0.16	0.10	0.14	0.12	0.07
	Aralık 2023	0.15	0.31	0.30	0.17	0.12	0.17
	Ortalama	0.13	0.21	0.18	0.15	0.12	0.11
Nitrat Azotu (NO₃_N) (mg/L)	Haziran 2023	1.78	2.01	1.75	1.75	0.20	1.00
	Eylül 2023	1.80	2.354	1.78	1.65	0.33	0.96
	Aralık 2023	4.13	1.77	1.80	1.98	1.18	1.96
	Ortalama	2.6	2.0	1.8	1.8	0.6	1.3
Nitrit Azotu (NO₂_N) (mg/L)	Haziran 2023	0.02	0.02	0.02	0.02	n.d.	0.02
	Eylül 2023	0.02	0.02	0.02	0.02	n.d.	0.02
	Aralık 2023	0.02	0.02	0.02	0.02	n.d.	0.02
	Ortalama	0.020	0.020	0.02	0.02	n.d	0.02
Toplam Fosfor (mg/L)	Haziran 2023	0.10	0.10	0.12	0.1	0.01	0.17
	Eylül 2023	0.009	0.12	0.12	0.09	0.01	0.14
	Aralık 2023	0.006	0.10	0.10	0.13	0.03	0.09
	Ortalama	0.038	0.107	0.11	0.11	0.02	0.13

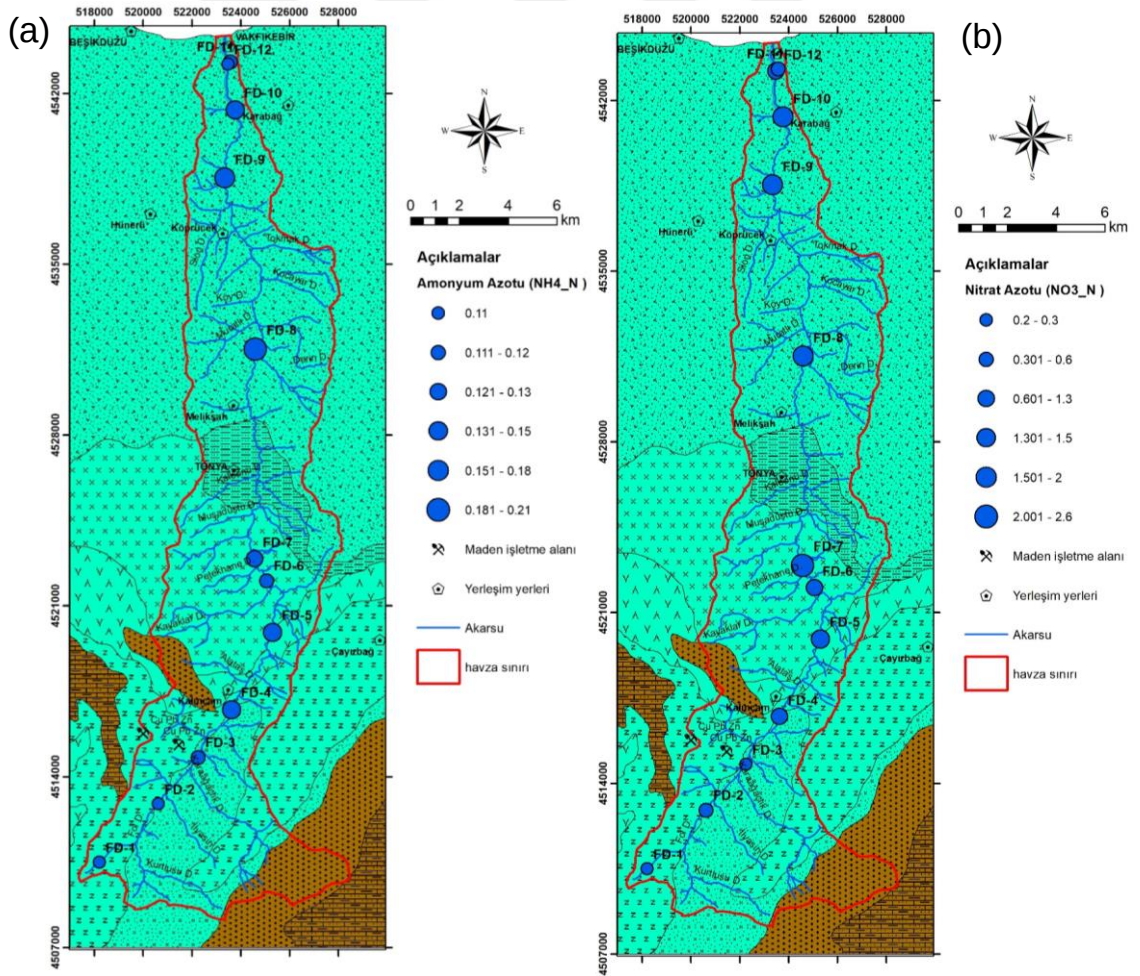
3.6.1. Amonyum Azotu (NH₄_N)

Azot bileşiklerinden biri olan NH₄ ortamda uygun aerobik koşulların bulunması ile birlikte önce NO₂'ye sonra NO₃'e yükseltgenir. Amonyumun sularda kötü bir tat ve koku oluşumuna sebep olur. Sucul ortamlarında amonyumun varlığı suya gübre ve evsel-endüstriyel atıklar karıştığına işaret eder. Amonyum mikrobiyolojik kirliliğin oluşmasına da katkıda bulunur (Smethurts, 1979). TSE-266'da 0.5 mg/L ye kadar izin verilen Amonyum sınır değeri

WHO standartında 1,5 mg/L olması önerilmektedir. Folderesi havzası yeraltı sularında 0.13 (FD-7) ve 0.12 (FD-11) mg/L ortalama değerlerle NH_4 içme suyu için herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır. Havzada örneklenen tüm yüzey sularında NH_4 konsantrasyonu ortalama 0.11-0.21 mg/L arasındadır (Şekil 18a). YSKY-2021’de belirtilen sınır değerlere göre FD-8 örneği II. sınıf “iyi” diğer tüm sular I. sınıf “çok iyi” su kalitesi sınıfında yer almaktadır.

3.6.2. Nitrat Azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Suda oldukça kolay çözünebilen NO_3 azotu organik bileşiklerin son yükseltgenme ürünüdür. NO_3 ’ün ana kaynakları tarımsal gübreler ve evsel ve endüstriyel atıksulardır (Hem 1985). WHO ve TSE-266’da NO_2 için izin verilen maksimum konsantrasyon 50 mg/L dir. Folderesi Havzası’nda yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama NO_3 değerleri 50 mg/L’nin altındadır (Şekil 18b). YSKY-2021’de belirtilen sınır değerlere göre tüm sular I. sınıf “çok iyi” su kalitesi sınıfında yer almaktadır.



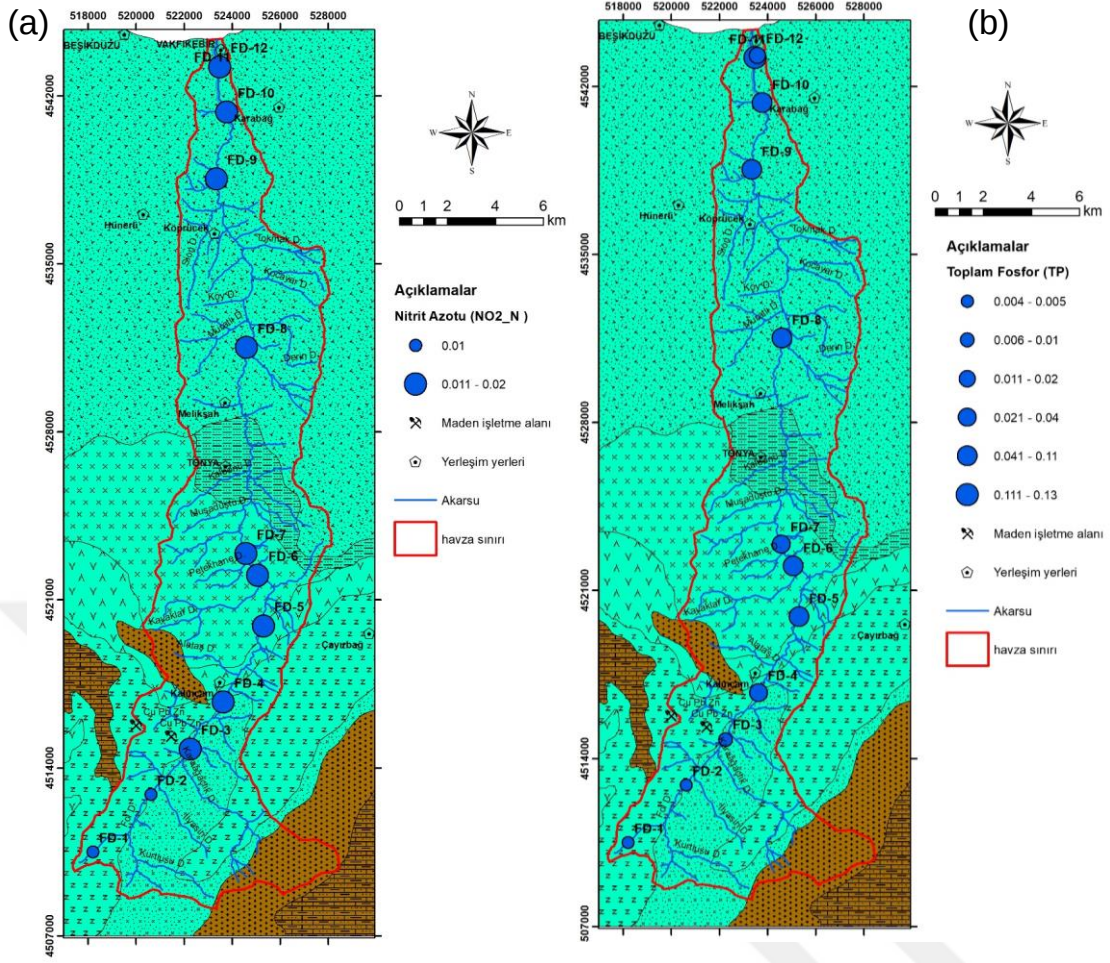
Şekil 18. İncelenen suların $\text{NH}_4\text{-N}$ (a) ve $\text{NO}_3\text{-N}$ (b) değerlerinin mekânsal dağılımı

3.6.3. Nitrit Azotu (NO₂_N)

Nitrit iyonu sucul ortamlarda mikrobiyolojik kirlenmenin bir göstergesi olup evsel ve endüstriyel kullanım bakımından tehlikelidir. NO₂ oksijenli ortamlarda kararsız olduğundan nitrifikasyon veya denitrifikasyon geçiş formundadır (Doğan 1981). WHO ve TSE-266 standartlarında 0,5 mg/L'yi geçmemesi önerilmektedir. YSKY-2021'de NO₂-N için herhangi bir sınır değeri verilmemiştir. Folderesi Havzası'nda tüm örnekleme istasyonlarında elde edilen ortalama NO₂_N değerleri 0.01-0.02 mg/L arasındadır (Şekil 19a).

3.6.4. Toplam Fosfor (TP)

Toplam fosfor (TP), fosforun çözünmüş veya parçacık halinde olmasına bakılmaksızın bir numunede bulunan tüm fosforun bir ölçüsüdür. Fosfor, su, toprak ve çökeltilerde bulunan fosfat iyonu (PO₄³⁻) gibi çok sayıda bileşik formda bulunur. Fosfatlar ayrıca inorganik formda (ortofosfatlar ve polifosfatlar) veya organik formda (organik olarak bağlı fosfatlar) olabilir (McNeely vd. 1979). Sucul ortamlardaki TP kaynakları tarımsal gübreler, evsel atıksular ve endüstriyel atıklardır. Yüksek konsantrasyonlarda TP, nehirlerdeki çözünmüş oksijen seviyelerini daha da tüketebilecek ötrofikasyonu teşvik ettiği belirlenmiştir (Fakayode, 2005). TP yerüstü suları için (İçme ve kullanma suyu potansiyeli olan) < 0.2 mg/L'nin altında olmalıdır (YKSY 2021). Folderesi Havzası'nda yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama TP değerleri 0.2 mg/L'nin altındadır (Şekil 19b). YSKY-2021'de belirtilen sınır değerlere göre tüm sular I. sınıf "çok iyi" su kalitesi sınıfında yer almaktadır.



Şekil 19. İncelenen suların NO₂-N (a) ve TP (b) değerlerinin mekânsal dağılımı

3.7. Ağır Metal Analizleri

Doğal çevre şartlarında su kaynaklarında ağır metallerin içeriği genellikle demir dışında çok düşük olur (Freze ve Cherry, 1979). Ancak endüstriyel, tarımsal, evsel atık sular, maden atıkları, egzoz gazı gibi birçok antropojenik ve jeojenik faktörler su kaynaklarında ağır metallerin artışına neden olabilmektedir (Tchounwou vd., 2012). Sulardaki iz element konsantrasyonlarını etkileyen diğer önemli parametre ise pH olup asidik sular daha yüksek iz element içeriğine sahiptirler.

Foldere Havzası'nda iz elementlerden Al, Fe, Mn, Pb, As, Zn, Li, Co, Cr, Ni ve Cu içerikleri belirlenmiştir (Tablo 11). Havzada çalışılan tüm sularda ortalama pH değerleri 7.72-8.28 arasında değişmekte olup sular bazik karakterdedir. Tablo 11 incelendiğinde Folderesi Havzası sularının iz element konsantrasyonları genel olarak düşüktür.

Tablo 11. Folderesi Havzası yüzey ve yeraltısularında ölçülen iz elementler (Birimler $\mu\text{g/L}$)

Parametreler	Tarih	FD-1	FD-2	FD-3	FD-4	FD-5	FD-6
Al ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	32.149	150.123	196.6	187.5	229.9	213.3
	Eylül 2023	35.15	147.3	187.3	171.4	227.3	209
	Aralık 2023	41.5	162.5	193.3	180	300.2	214
	Ortalama	36.27	153.31	192.40	179.63	252.47	212.10
Fe ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	275.96	20.3	33.7	61.7	44.2	28.3
	Eylül 2023	268.4	21.3	38.5	55	35.7	21
	Aralık 2023	290.3	41.2	49.3	67.4	53.1	24.7
	Ortalama	278.22	27.60	40.50	61.37	44.33	24.67
Mn ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	5.22	3.52	1.4	3.6	2.6	1.1
	Eylül 2023	4.3	4.5	1.5	2.9	2.7	1.2
	Aralık 2023	5.7	4.6	5.1	4	2.9	2.1
	Ortalama	5.07	4.21	2.67	3.50	2.73	1.47
Pb ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	3	9	13	13	10	8
	Eylül 2023	2.32	8.7	12.1	11	8	6
	Aralık 2023	2.1	7.9	13.4	10.7	7.6	6.4
	Ortalama	2.47	8.53	12.8	11.57	8.53	6.80
As ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	1	2.2	2.3	2	1.1	1
	Eylül 2023	1.1	1	1	1.4	1.2	1
	Aralık-2023	0.01	0.01	1	0.01	0.01	1
	Ortalama	0.70	1.07	1.43	1.14	0.77	1
Zn ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Eylül 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Aralık 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Li ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Eylül 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Aralık 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Co ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Eylül 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Aralık 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	0.1	1	1.01	1.2	1	1
	Eylül 2023	0.11	1.2	1	0.9	1	1.1
	Aralık 2023	0.1	0.9	1	1.2	1.1	1.11
	Ortalama	0.10	1.03	1.00	1.10	1.03	1.07
Ni ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	90	88	85	90	90	88
	Eylül 2023	75	72	84	85	87	78
	Aralık 2023	78	71	88.2	86.4	89.5	77
	Ortalama	81	77	85.7	87.1	88.8	81
Cu ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	50	55	53	60	65	55
	Eylül 2023	30	38	35	48	55	42
	Aralık 2023	32.4	41	36.8	45.4	65.1	48.2
	Ortalama	37.47	44.67	41.60	51.13	61.70	48.40
Parametreler	Tarih	FD-7 (Kaynak)	FD-8	FD-9	FD-10	FD-11 (Kuyu)	FD-12
Al ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	242.2	260	243.9	263.7	264.2	227.6
	Eylül 2023	221.2	212.2	240	229.4	212.8	204.3
	Aralık 2023	234.3	245.6	255	239.6	228.1	215.3
	Ortalama	232.57	239.27	246.30	244.23	235.03	215.73
Fe ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	43.8	140.2	92.8	45.4	48.6	47.1
	Eylül 2023	49.4	144.3	90.5	53.4	41.1	55.1
	Aralık 2023	55.6	149.3	97.2	75.2	62.3	71.1
	Ortalama	49.60	144.60	93.50	58.00	50.67	57.77
Mn ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	1.4	4.8	3	2.1	2	1.5
	Eylül 2023	2.1	5.7	2.8	3.8	6.1	2.3
	Aralık 2023	3.9	7.2	3.2	6.3	11.2	4.5
	Ortalama	2.47	5.90	3.00	4.07	6.43	2.77
Pb ($\mu\text{g/L}$)	Haziran 2023	13	11	10	8	20	8
	Eylül 2023	8	10.1	7	7.5	12	6.4
	Aralık 2023	7.2	9.4	6.2	8.1	12.1	6.7

Tablo 11'in devamı

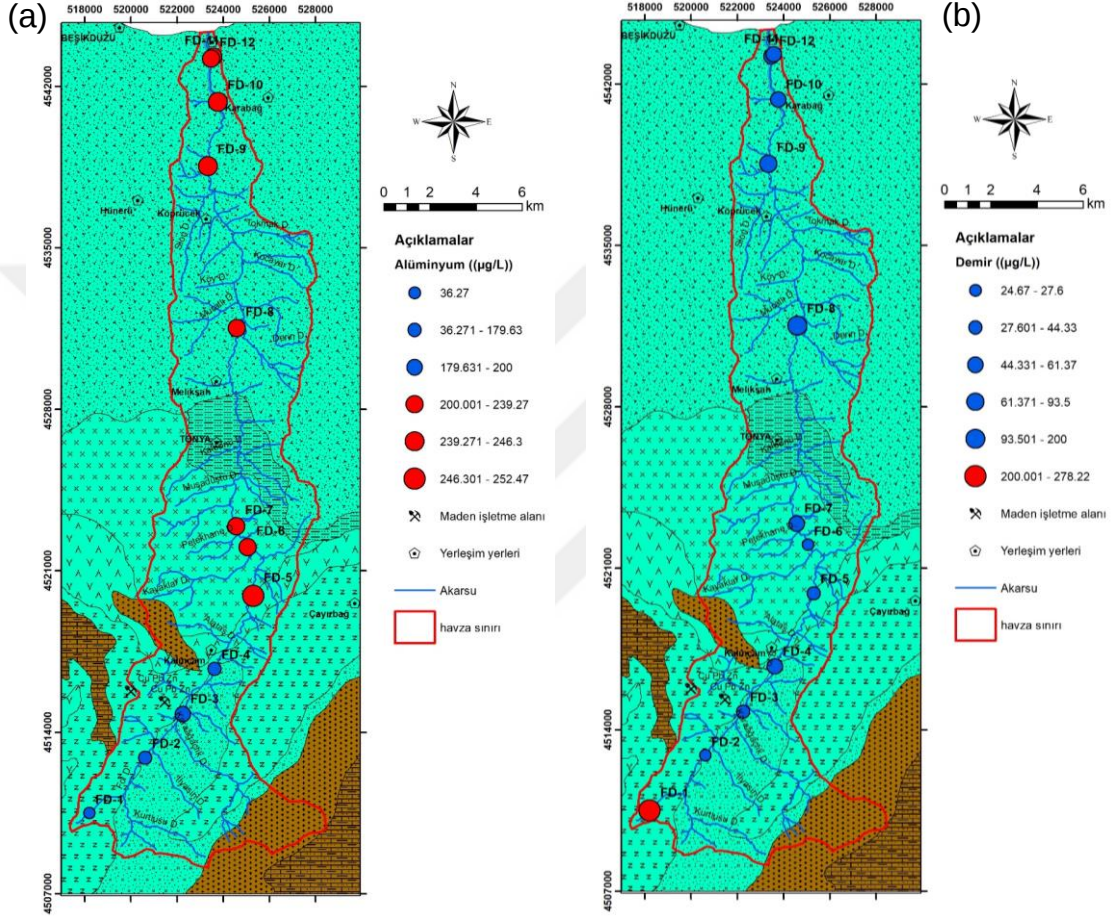
As (µg/L)	Haziran 2023	1	1.1	1.2	1	1.4	2
	Eylül 2023	1.1	1.3	1.4	1	1.1	1
	Aralık 2023	0.9	1.2	1.41	1.3	1.02	1
	Ortalama	1.00	1.20	1.34	1.10	1.17	1.33
Zn (µg/L)	Haziran 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Eylül 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Aralık 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Li (µg/L)	Haziran 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Eylül 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Aralık 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Co (µg/L)	Haziran 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Eylül 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Aralık 2023	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr (µg/L)	Haziran 2023	0.1	1	1	1	0.1	1.1
	Eylül 2023	0.1	1	1.1	1	0.14	1
	Aralık	0.1	1.2	1	1.02	0.1	1.12
	Ortalama	0.10	1.07	1.03	1.01	0.11	1.07
Ni (µg/L)	Haziran 2023	85	91	94	90	80	95
	Eylül 2023	25	74	78	70	55	81
	Aralık 2023	40	90	92	88	64.7	87.4
	Ortalama	50	85	88	82.67	66.57	87.8
Cu (µg/L)	Haziran 2023	60	65	55	65	58	58
	Eylül 2023	40	55	45	58	35	48
	Aralık 2023	42.8	56.4	40.5	56	35.1	52.4
	Ortalama	47.60	58.80	46.83	59.67	42.70	52.80

Doğal süzülmeden ve çözünürlüğünün düşük olmasından dolayı yeraltı sularında Alüminyum (Al) konsantrasyonu oldukça düşüktür. Al'nin sudaki varlığı suyun kökeni ve maden sahaları hakkında bilgi verir (Şahinci 1986). TSE-266'da Al için sınır değer 0.2 mg/L (200µg/L)'dir. İncelen su örneklerinden FD-1, FD-2, FD-3 ve FD-4 hariç diğer tüm sularda Al konsantrasyonu izin verilen sınır değer üzerindedir (Şekil 20a).

Demir (Fe), demir içeren minerallerin (pirit, biyotit, piroksen, magnetit, amfibol gibi) ayrışmasıyla ortaya çıkar. En fazla Fe iyonlarının izlendiği sular karbonatlı kayalardan gelen sulardır. Mangan (Mn) ise sucul ortamlarda hidroksit halinde bulunur ve pH değerinin artışıyla çökmeye başlar. Mangan asidik ortamlarda Mn^{+2} , bazik ortamlarda Mn^{+4} şeklinde bulunur (Hem 1985). TSE-266'da Fe ve Mn için sınır değerler sırasıyla 200 µg/L ve 50 µg/L'dir. İncelen su örneklerinden FD-1 hariç tüm sularda ortalama Fe konsantrasyonu izin verilen sınır değer altındadır (Şekil 20b). Mn bakımından tüm sular TSE-266'ya göre uygun sınırlar içerisindedir (Tablo 11). YSKY-2021'e göre yüzey suları Mn konsantrasyonu bakımından değerlendirildiğinde tüm sular I. Sınıf "çok iyi" sınıfında yer almaktadır.

Kurşun kayaları oluşturan minerallerin çoğunun yapısında vardır ve sulara hem jeojenik yollarla hem de antropojenik faaliyetler sonucu geçebilir (Hem 1985). TSE-266'da Pb için sınır değer 50 µg/L olup Foldere Havzası'ndaki tüm sular standartlara uygun aralıklardadır.

Arsenik (As), doğada serbest bir şekilde bulunan son derece toksik elementlerden biridir. Yüksek seviyelerde As'ye uzun süre maruz kalmak insan sağlığı için oldukça zararlıdır. (Kabata-Pendias ve Szteke 2015). Arsenik için WHO 10 µg/L, TSE-266 50 µg/L üst limit değeri verilmiştir. Folder Havzası'na incelenen suları tümü standartlara göre uygun sınırlar içerisinde yer almaktadır.



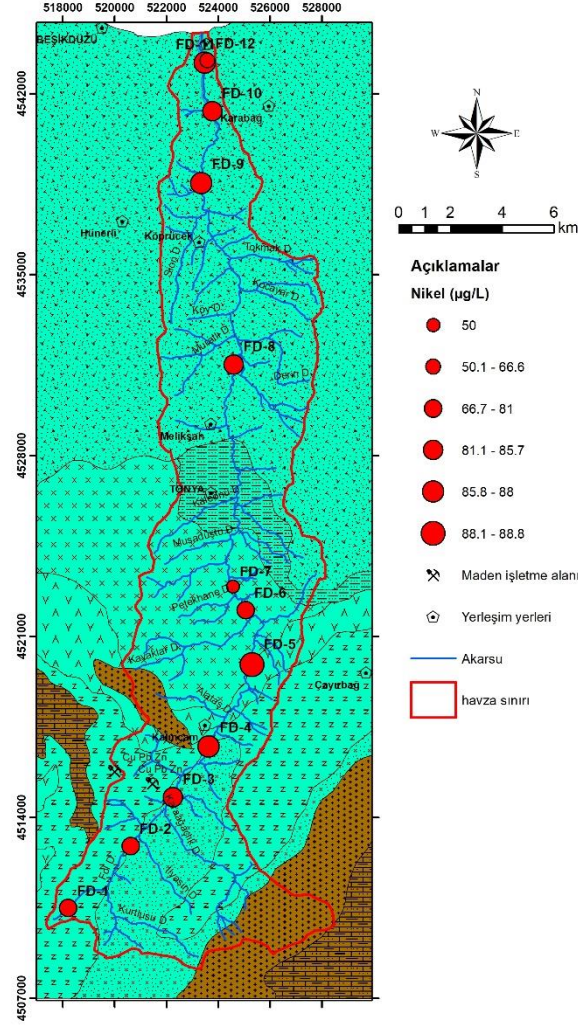
Şekil 20. İncelenen suların Al (a) ve Fe (b) değerlerinin mekânsal dağılımı

Esansiyel bir element olan Çinko organizmalardaki biyolojik süreçlerde önemli bir role sahiptir (Odobasic 2012). Yüksek düzeylerde Zn'ye maruz kalmak vücutta toksik etkiler oluşturabilir (Plum vd. 2010). Yüzey suyu ve yeraltı suyundaki Zn seviyeleri normalde sırasıyla 0,01 ve 0,05 mg/L'yi aşmaz (WHO 2004). Lityum, piroksen ve mika olmak üzere birçok mineralde bulunur. Lityum flora fauna ve su ortamlarına yönelik çok büyük bir tehdit oluşturmaz. Lityum bitkiler tarafından kolayca emilir ve bitkilerin topraktaki lityum konsantrasyonlarının bir göstergesi olmasına neden olur (Shaw ve Sturchio, 1992). Su standartlarında lityum konsantrasyonu için herhangi bir sınır değeri verilmemiştir. Kobalt (Co), kayalarda, toprakta, suda, bitkilerde, hayvanlarda ve havada doğal olarak az miktarda bulunur.

Literatürde yapılan çalışmalarda Co'nun herhangi bir toksikolojik etkisine rastlanmamış olup su standartlarında herhangi bir sınır değeri verilmemiştir. Foldere Havzası'nda tüm örnek noktalarında Zn, Li ve Co konsantrasyonları $<0.001 \mu\text{g/L}$ olarak ölçülmüştür.

Krom (Cr) kayalarından, tarımdan ve endüstriyel atıklardan suyun bünyesine karışabilir. Çoğu zaman suyun temas ettiği kayaların özelliklerine bağlı olarak derişimi artabilir (Hem 1985). Krom konsantrasyonu için WHO ve TSE-266 standartlarında $50 \mu\text{g/L}$ 'yi geçmemesi önerilmektedir. YSKY-2021'de Cr için herhangi bir sınır değeri verilmemiştir. İnceleme alanındaki tüm sular Cr bakımından standartlara uygun değerler aralığındadır.

Nikel (Ni), nikel cevheri içeren kayalarından (özellikle magmatik kayalar) çözünmenin bir sonucu olarak sularda nikel mevcut olabilir. İçme suyundaki nikelin ana kaynağı, borular ve bağlantı parçaları gibi içme suyuyla temas eden metallerden sızan metallerdir. (WHO,2014). Nikel konsantrasyonu için WHO-2011 de $70 \mu\text{g/L}$ ve TSE-266 standartlarında $50 \mu\text{g/L}$ 'yi geçmemesi önerilmektedir. YSKY-2021'de Ni için herhangi bir sınır değeri verilmemiştir. Foldere Havzası'nda yeraltı sularının ortalama Ni konsantrasyonu $50 \mu\text{g/L}$ (FD-7) ve $66.5 \mu\text{g/L}$ (FD-11) dir. Tüm yüzey sularına ait ortalama Ni konsantrasyonu $77-88.8 \mu\text{g/L}$ arasında değişmektedir. Elde edilen bu değerler ile inceleme alanında örneklenen tüm yüzey ve yeraltı sularında Ni konsantrasyonu TSE-266 standartlarında verilen sınır değerler üzerindedir (Şekil 21).



Şekil 21. İncelenen suların Ni değerlerinin mekânsal dağılımı

Nikel konsantrasyonunun sınır değerlerin üzerine ulaşması Foldere Havzası'nda yüzeylenen magmatik kayalarda bulunan Ni içeren minerallerin çözünmesinin bir sonucu olarak düşünülmektedir.

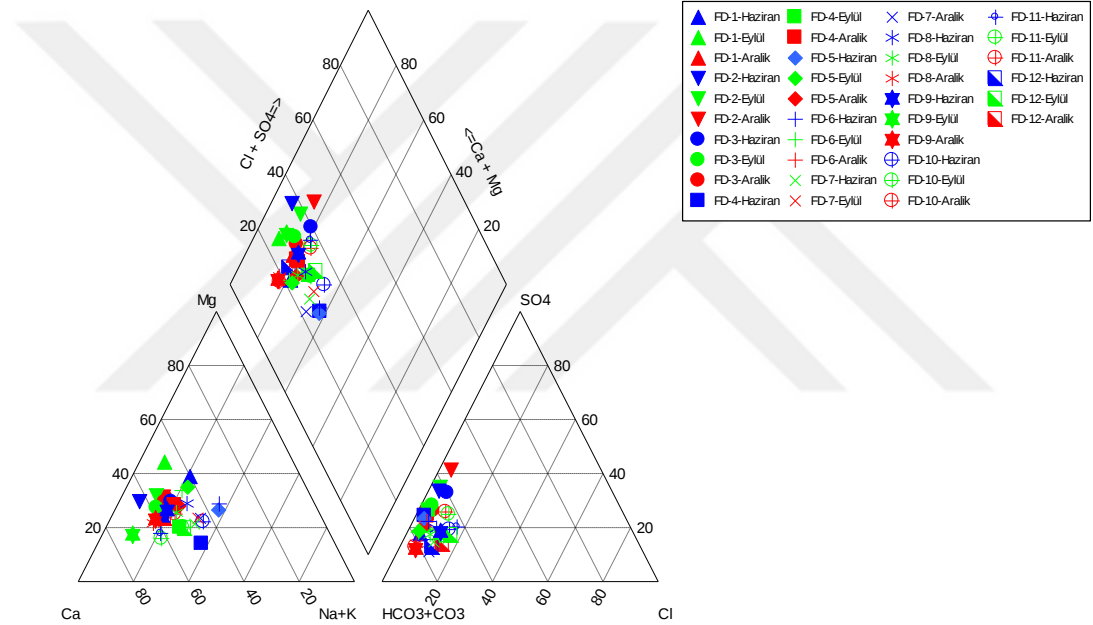
Bakır (Cu), Kayalarda bakırlı mineral (karbonat ve sülfür) veya doğal durumda bulunur. Bakır içeren minerallerin çözünürlükleri düşük olduğundan dolayı sulardaki Cu konsantrasyonları çoğunlukla doğal kökenli değildir (Hem, 1985). Bakırın sudaki konsantrasyonu 1 mg/Lnin üzerine çıktığında suda acı bir tat oluşur. Karbonat konsantrasyonu yüksek ve asidik karakterlerde olan sularda Cu konsantrasyonu da yüksek olabilir (Hem, 1985). Bakır konsantrasyonu için WHO-2011 de 2000µg/L ve TSE-266 standartlarında 3000 µg/L'yi geçmemesi önerilmektedir. YSKY-2021'de Cu için herhangi bir sınır değer verilmemiştir. İnceleme alanında yeraltı sularının ortalama Cu konsantrasyonu 47.6 µg/L (FD-7) ve 42.7 µg/L (FD-11) dir. Tüm yüzey sularına ait

ortalama Cu konsantrasyonu 37.4-61.7 µg/L arasında değişmektedir (Tablo 11). Bu değerler ile çalışılan tüm su örneklerinde Cr standartlara uygun değerler aralığındadır.

3.8. Suların Kimyasal Sınıflandırılması

3.8.1. Piper Diyagramına Göre Suların Sınıflaması

Foldere Havzası'nda çalışılan yüzey ve yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları (anyon-kasyon içeriği) kullanılarak piper diyagramı oluşturulmuş ve suların hidrokimyasal fasiyesleri ortaya konulmuştur (Şekil 22).



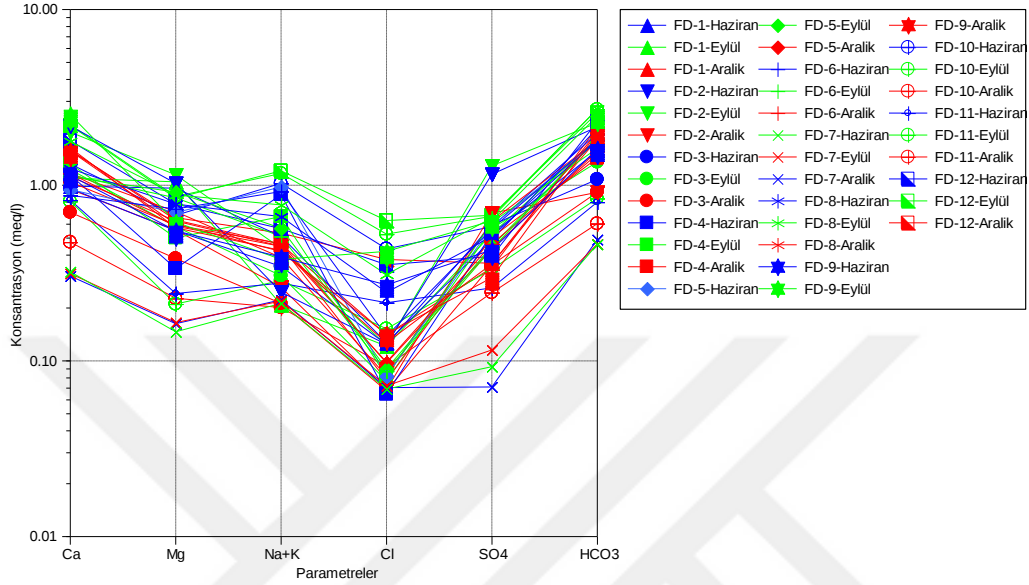
Şekil 22. Araştırılan su örneklerine ait Piper diyagramı

Bu diyagram değerlendirildiğinde Foldere havzasındaki tüm yüzey ve yeraltı suları $Ca+Mg > Na+K$ (Karbonatlı ve sülfatlı sular) ve $HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$ olup diğer bir ifadeyle zayıf asit kökleri > güçlü asit kökleridir. Diğer taraftan tüm suların karbonat sertliği %50'den fazla olan sulardır.

3.8.2. Schoeller Diyagramına Göre Suların Sınıflaması

Schoeller diyagramı iyonların toplu halde tek bir diyagram üzerinde gösterimi ve kökenleri benzer ya da farklı olan suların kıyaslanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu diyagramda kökenleri aynı ve aynı akiferden beslenen suların iyon dağılımları birbirine

paralellik gösterir. Foldere havzasında çalışılan tüm suların Schoeller diyagramı Şekil 23’de sunulmuştur. Çizilen diyagrama göre tüm iyonların mek/L cinsinden konsantrasyonlarını birleştiren doğruların konumları birbirine paralel ve çakışık olup suların beslenme kaynağının aynı olduğunu gösterir.



Şekil 23. Araştırılan su örneklerine ait Schoeller diyagramı

3.9. Su Kalitesi İndislerinin Değerlendirilmesi

3.9.1. Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndisi (WQI)

Su kalitesini değerlendirmek için birçok hesap yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden su kalitesi indeksi (WQI) hesaplamaları özellikle nehirlerin su kalitesini değerlendirmede önemli bir araçtır. Dünyada birçok araştırmacı tarafından formüle edilmiş ve en yaygın kullanılan su kalite indeksleri: Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi (WQI), Kanada Su Kalitesi İndeksi (CCME WQI), British Columbia İndeksi (BCWQI), Oregon Su Kalitesi İndeksi (QWQI), National Sanitation Foundation (NSF-WQI)’dir. Bu çalışmada ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksi (WQI) kullanılmıştır.

Yapılan hesaplamalarda tüm örnekleme istasyonları için üç farklı zamanda incelenen 14 parametrenin (pH, El, TDS, ÇO, Ca, Mg, Na, Cl, SO₄, F, NH₄_N, NO₃_N, NO₂_N, ve TP) ortalama değerleri kullanılmıştır. Hesaplamalar yapılırken YSKY-2021, TS266 (2005) ve WHO (2008) standardından yararlanılmıştır. Seçilen örnekleme istasyonlarındaki WQI

değerlerini belirlemek için öncelikle kullanılan parametrelere literatürde yapılan çalışmalar kullanılarak (Koçer and Sevgili 2014; Şener et al 2017; Li et al 2022) göreceli ağırlık (w_i) değerleri atanmıştır (Tablo 12).

Tablo 12. WQI için seçilen on dört parametrenin ağırlık değerleri (w_i) ve bağıl ağırlıkları (W_i) (Koçer and Sevgili 2014; Şener et al 2017; Li et al 2022)

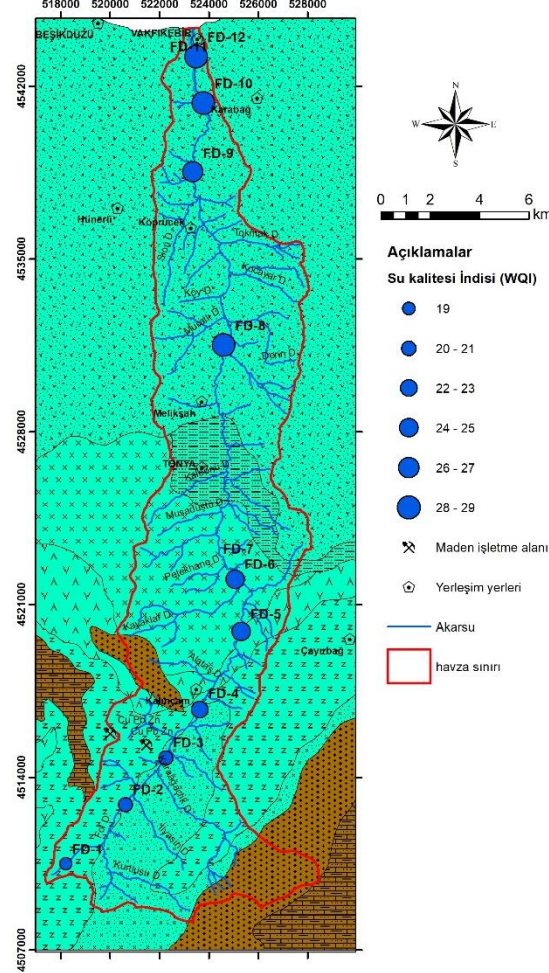
	YSKY-2021	Standards (TSE 266-2005)	WHO (2008)	Ağırlık (w_i)	Göreceli Ağırlık (W_i)
pH	7.5	6.5-8.5	6.5-9.5	4	0.067
Eİ	1000	2000		5	0.083
TDS			1000	5	0.083
ÇO	8			3	0.050
Ca		200	200	3	0.050
Mg		50	150	3	0.050
Na		200	200	4	0.067
Cl		250	250	5	0.083
SO4		250	250	5	0.083
F	1.5		1.5	4	0.067
NH4_N	1			4	0.067
NO3_N	10	50		5	0.083
NO2_N		0.15		5	0.083
TP	0.2			5	0.083
				$\Sigma 60$	1

Bu değerler; Eİ, TDS Cl, SO4, NO3_N, NO2_N ve TP için 5, pH, Na, F ve NH4_N için 4 ÇO, Ca, Mg için 3 olarak seçilmiştir (Table 12). Daha sonra denklem (1) kullanılarak parametrelerin bağıl ağırlıkları (W_i) (Tablo 12), denklem (2) ile kalite değerlendirme ölçeği (qi), denklem (3) ile alt indeksler (SI) ve son olarak alt indeksler toplanarak (denklem 4) WQI hesaplaması tamamlanmıştır (Tablo 13).

Tablo 13. Folderesi havzasında örnekleme istasyonlarında hesaplanan WQI değerleri ve su kalitesinin durumu.

Örnekleme İstasyonları	İndeks değeri (WQI)	Su Tipleri (Sahu ve Sikdar 2008)
FD-1	18.95	Mükemmel su
FD-2	21.05	Mükemmel su
FD-3	20.14	Mükemmel su
FD-4	22.9	Mükemmel su
FD-5	25.14	Mükemmel su
FD-6	24.53	Mükemmel su
FD-8	28.05	Mükemmel su
FD-9	26.86	Mükemmel su
FD-10	28.55	Mükemmel su
FD-12	28.29	Mükemmel su

Nihai hesaplanan WQI değerleri 18,95-28,55 arasında olup bu değerler, Sahu ve Sikdar, (2008) tarafından verilen WQI değeriyle karşılaştırılmıştır (Tablo 13). Foldere Havzasında örneklenen tüm istasyonlar ‘‘Mkemmek su’’ kategorisindedir (şekil 24).



şekil 24. Foldere Havzası yüzey suları için hesaplanan WQI değerlerinin mekânsal dağılımı

Elde edilen bu sonuç ile birlikte, su kalitesini değerlendirmek için çok sayıda WQI yöntemi vardır ve burada sonuçlar, su kalitesi parametrelerinin seçimine ve WQI yöntemlerine bağlı olarak değişebilir.

WQI hesaplamasında kullanılan tüm parametrelerin etkin ağırlık (Ewi) değerlerini hesaplamak için denklem (5) kullanılmıştır. Yapılan bu hesaplama ile parametrelerin WQI zerindeki etkisi belirlenmiştir.

lm yapılan tüm istasyonlardaki parametrelerin etkin ağırlık yüzdesi, etkin ağırlığın minimum, maksimum, ortalama ve standart sapması değerleri Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 12. Etkin ağırlığın istatistiksel analizi

Parametreler	Ağırlık (wi)	Göreceli Ağırlık (Wi) (%100)	Etkin Ağırlık (%)			
			Min.	Max.	Ort.	Standart Sapma
pH	4	6.67	25.41	36.20	29.54	3.69
Eİ	5	8.33	4.52	8.18	6.47	1.15
TDS	5	8.33	2.78	4.76	3.76	0.69
ÇO	3	5.00	19.33	27.05	22.24	2.71
Ca	3	5.00	2.03	7.84	3.84	1.91
Mg	3	5.00	2.58	5.75	3.59	0.99
Na	4	6.67	0.83	2.18	1.59	0.48
Cl	5	8.33	0.39	1.89	0.87	0.49
SO4	5	8.33	2.68	7.95	3.79	1.51
F	4	6.67	0.18	1.65	1.11	0.48
NH4_N	4	6.67	2.59	4.99	3.85	0.65
NO3_N	5	8.33	0.88	5.94	3.81	1.73
NO2_N	5	8.33	2.64	5.52	4.08	0.80
TP	5	8.33	0.88	19.15	11.46	7.31

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ortalama etkin ağırlık değerleri pH (% 29.54), ÇO (% 22.24) ve TP (%11.46) parametrelerinde gözlenmiş olup bu parametreler WQI hesaplamalarında en etkili parametrelerdir. Cl (% 0.87) ve F (% 1.11) en düşük ortalama etkin ağırlık değerlerine sahiptir. pH, ÇO ve TP parametreleri WQI tarafından atanan nispi ağırlıkları (pH için %6.67; ÇO için % 5 ve TP için %8.33) bir miktar aşan yüksek etkili ağırlık (pH % 29.54, ÇO %22.24 ve TP %11.46) göstermiştir (Tablo 14).

Cl, Na ve F parametreleri yüksek bağıl ağırlıklara sahipken diğer taraftan daha düşük ortalama etkin ağırlıklara sahiptir.

Daha önce farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda maksimum ortalama etkin ağırlık değerleri COD ve Mg (Şener et al. 2017), Na (Zahedi 2017), TH, EC, TDS, and pH (Rostami et al. 2019) parametrelerinde gözlemlenmiştir. Sonuç olarak her bir parametrenin etkin ağırlığı, tüm kalite parametrelerinin değerlerinden etkilenir, bu da WQI'deki en etkin kalite parametresinin farklı bölgelerde ayırt edilmesini mümkün kılar (Rostami et al. 2019).

3.9.2. Ağır Metal Kirlilik İndisi (HPI)

Ağır metal kirlilik indeksi (HPI), ayrı ayrı ağır metallerin suyun genel kalitesi üzerindeki bileşik etkisini gösteren her parametreye bir derecelendirme veya ağırlık (W_i) atanarak geliştirilen bir yöntemdir (Reza ve Singh 2010). Ağır metaller bakımından genel bir su kalitesi değerlendirmesinin yapılabilmesi için HPI yöntemi son zamanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Brraich ve Jangu 2015). Foldere Havzası'nda HPI için sekiz ağır metalin (Al, Fe, Mn, Pb, As, Cr, Ni ve Cu) ortalama konsantrasyonları (M_i) ile eşitlik 6'da verilen ve Mohan ve diğ. (1996) tarafından önerilen formül kullanılmış olup eşitlik (6) daki Q_i değerlerini hesaplamak için eşitlik (7) kullanılmıştır. Hesaplamalar için kullanılan diğer veriler Tablo 15'de verilmiştir.

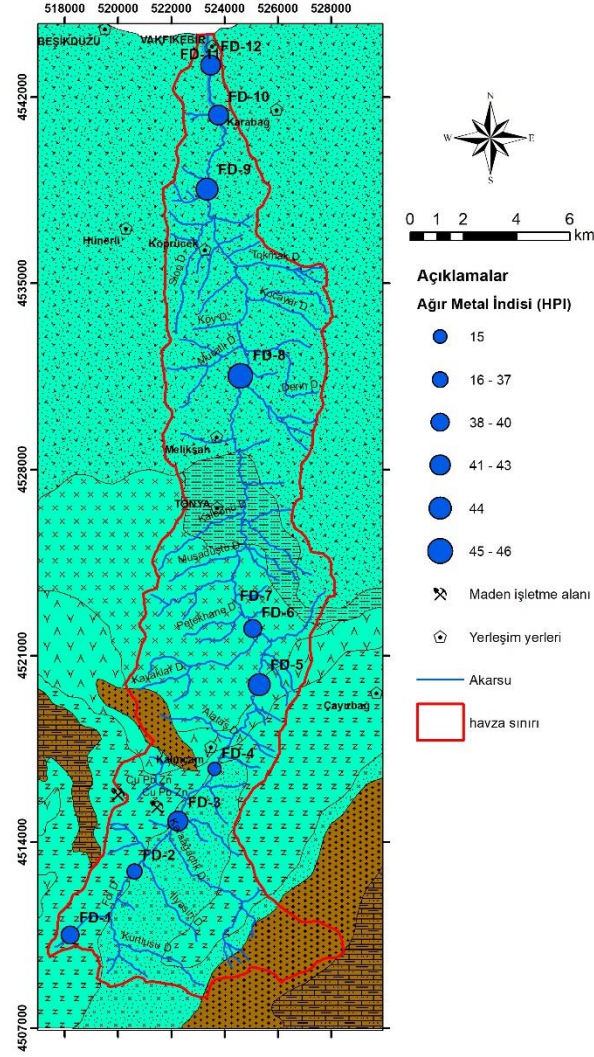
Tablo 13. HPI hesaplamaları için kullanılan veriler

Kullanılan Ağır metaller ($\mu\text{g/l}$)	Si (Yönetmelikte izin verilen yüksek değer)	li (Tavsiye edilen değer)	Birim Ağırlık ($W_i=1/S_i$)
Al	200	-	0.0050
Fe	200	-	0.0050
Mn	50	-	0.0200
Pb	50	-	0.0200
As	50	-	0.0200
Cr	50	-	0.0200
Ni	50	-	0.0200
Cu	3000	-	0.0003
			$\Sigma W_i=0.110$

Foldere Havzası'nda seçilen tüm yüzeysuyu istasyonları arasında ağır metal kirlilik yükünü karşılaştırmak için tüm örnek noktalarında HPI ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 16, Şekil 25). Elde edilen sonuçlar Tablo 3'e göre değerlendirilmiştir.

Tablo 14. Foldere Havzasında yüzeysuyu örneklerinin HPI'ya göre sınıflandırılması

İstasyonlar	HPI değerleri	HPI Kalite sınıfları (Elumalai et al., 2017)
FD-1	39.52	İyi
FD-2	37.40	İyi
FD-3	42.84	İyi
FD-4	15.45	Mükemmel
FD-5	43.66	İyi
FD-6	38.48	İyi
FD-8	46.17	İyi
FD-9	44.36	İyi
FD-10	41.92	İyi
FD-12	42.46	İyi



Şekil 25. Foldere Havzası yüzey suları için hesaplanan HPI değerlerinin mekânsal dağılımı

Foldere Havzası’nda HPI kalite sınıflarına göre FD-4 istasyonu “Mükemmel” sınıfta yer alırken diğer örnekleme noktaları (FD-1, FD-2, FD-3, FD-5, FD-6, FD-8, FD-9, FD-10 ve FD-12) “iyi” sınıfta olduğu belirlenmiştir

4. TARTIŞMA

Su kalitesi belirlenmesine yönelik çalışmalar son zamanlarda dünyada ve ülkemizde giderek önem kazanmıştır. Su kalitesi çalışmalarında hangi değişkenlerin kullanılacağı, kalite parametreleri ve ülkede kullanılan su standartlarındaki limit değerlerden yararlanılarak belirlenir. Su kaynakları yönetiminde etkili bir şekilde kullanılan su kalitesi indeks modelleri çok sayıdaki değişkenin korelasyonun ve istatistiksel yorumunun yapılmasını gerekli kılar. Diğer taraftan su kalitesi indeks yöntemleri etkili ve oldukça kolay bir şekilde uygulanan yöntemlerdir.

Bu çalışmada Foldere Havzası (Trabzon-Vakfikebir-Tonya)'nın su kalitesi incelemesi yapılarak havza içerisinde on adet yüzeysuyu ve iki adet yeraltısuyunun hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Havzanın su kalitesi özellikleri hidrojeokimyasal (SAR, %Na, KI, RSC, MH ve toplam sertlik), WQI ve HPI su kalitesi indekslerine göre değerlendirilmiştir.

Foldere Havzasında örneklenen yüzey sularında ölçülen sıcaklık değeri ortalama 12.5-20.03 °C arasında, yeraltı sularında ortalama 13.8-16.5 °C arasında değişmektedir. Yağışlı (Haziran 2023) Kurak (Eylül 2023) ve ara (Aralık 2023) mevsimlerde belirlenen sıcaklık değerleri mevsimsel hava sıcaklık farklarına uygun olarak değişmiştir. Bu mevsimsel değişimler çevreyi ve sucul ekosistemi etkileyecek değerlerde değildir. Bölgede daha önce yapılan çalışmalarda, Trabzon ilindeki tüm akarsu havzalarında su sıcaklıkları yönetmeliklere uygun sınırlar içerisinde olduğu belirlenmiştir (Celep 2009). Giresun ili Aksu dersinde yıllık ortalama su sıcaklığı 12.53 °C (Şengün, 2013), Yağlıdere Havzası'nda ortalama 15.02 °C (Hatipoğlu Temizel 2023), Rize-Fırtına Deresi'nde 10.53 °C (Gedik vd.2012)'dir.

Foldere Havzası'nda yüzey sularında ortalama pH değeri 7.72-8.28 arasındadır. Havzada yeraltı sularından ortalama pH'ı 8.25- 8.3 olup standartlara uygun sınırdadır. Bu değerler ile Havza pH bakımından hem sucul yaşam hem de içme kullanma ve sulama suyu bakımından uygundur. Celep 2009 tarafından yapılan çalışmada Trabzon ili tüm akarsu havzalarının pH parametresi bakımından TS-266, 2005'e uygun sınırlar içerisinde olduğu belirlenmiştir. Yağlıdere Havzası mansap kısmında ölçülen pH değerleri asidik özellikte olup standartlara (TSI-266, 2005; WHO, 2014) uygun değildir (Hatipoğlu Temizel 2023). Mert Irmağı (Samsun)'nda yapılan çalışmada yıllık ortalama pH değeri 7.19 ile yönetmeliklere uygun

aralıktadır (Bakan ve Şenel 2000). Giresun ili Aksu Deresi'nin ortalama pH'ı 7.42 olup havza pH bakımından I. Sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir (Şengül, 2013).

İnceleme alanında yüzey sularından ortalama Eİ değerleri 140.6-266.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında olup YSKY-2021'de belirtilen sınır değerlere göre tüm yüzeysuyu izleme istasyonları çok iyi su kalitesi sınıfında yer almaktadır. Yerlatisularında Eİ ortalama 43.5- 45.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Bu değerler ile havzadaki yeraltı suları TSE 266 standartlarında uygun sınırlar içerisinde yer almaktadır. Trabzon ili Tüm akarsu havzalarında ölçülen Eİ değerleri TS-266, 2005'e göre uygun sınırlar içerisinde (Celep 2009). Yağlıdere Havzasında yer alan maden sahalarını drene eden akarsuların Yağlıdere'ye karıştığı kısmında ölçülen Eİ oldukça yüksek değerler (2456 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sunarken havzanın üst ve orta kısımlarında daha düşük (38.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$) değerlerdedir.

Sulardaki yüksek TDS miktarı suda yaşayan organizmalar için sorun çıkartabilmekte ve suyun tadını bozabilmektedir. Diğer taraftan TDS'nin düşük olması sudaki canlıların büyümesine engel olabilir. TDS, tuzluluğun artışı, sudaki iyon içeriğinin değişimi ve iyonların toksisitesi ile toksisiteye neden olabilir (Weber-Scannell ve Duffy, 2007). Foldere Havzası'nda yeraltı sularının ortalama TDS miktarları 27.8-38.6 mg/L, yüzey sularına ait ortalama TDS miktarları 75-141.6 mg/L arasında değişmektedir. Bu değerler ile havzada yer alan tüm istasyonlarda TDS değeri standartlara uygun aralıktadır. Trabzon ili tüm akarsu havzalarında ölçülen TDS miktarı 21-287 mg/L dir. Aksu Deresi'nde yapılan çalışmada ortalama TDS miktarı 190 mg/L olarak saptanmıştır (Şengül, 2013).

Çözünmüş oksijen miktarı su kirliliğinin belirlenmesinde oldukça önemli bir parametre olup yüzey sularında çözünmüş oksijen miktarının azlığı kirliliğin en önemli göstergesidir. Su ortamlarındaki oksijen miktarı su sıcaklığına, atmosferde bulunan oksijenin kısmi basıncına, sudaki organizmalara ve mineral konsantrasyonuna bağlı olarak değişir (Anonim, 2014).

İnceleme alanında ölçüm istasyonlarında ÇO konsantrasyonları en yüksek Haziran ayında ölçülmüş olup yüzeysularında ortalama 7.85-8.96 mg/L yeraltı sularında 8.75-8.88 mg/L arasında değişmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre Foldere Havzası suları çok iyi-iyi su kalitesi sınıfında yer almaktadır. Gültekin vd. 2012 tarafından yapılan çalışmada Trabzon ili akarsularının ortalama 8,87-11 mg/L arasında değişen ÇO değerleri ile kaliteli su sınıfına girdiği belirlenmiştir. Solaklı ve Sürmene Derelerinin ortalama ÇO değerleri 9.6 ve 9.7

mg/L dir (Boran ve Sivri 2001). Arılı Deresinde ölçülen ÇO miktarı 9.36 mg/L olup dere yüksek kaliteli su sınıfı içerisinde yer almaktadır (Öz ve Ertaş, 2016). Aksu Çayında ÇÖ değeri ortalama 9,85 mg/L ve %89,96 oksijen doygunluğuna sahip olması akarsuyun “temiz su” sınıfında olduğunu göstermektedir (Şengün, 2013).

Tarımsal üretimin verimliliği için su çok önemli bir girdi olup kaliteli su kullanmak gereklidir. Kalitesiz su kullanımı sonucu zamanla toprak yapısı da bozulmakta ve bu durumun ortadan kaldırılması zaman almakta ve maliyetli olmaktadır. Sularda bazı majör iyonlar (Bor ve Klorür) bitkilere toksik etki yapabildiğinden dolayı bu iyonlar sulamasuyu olarak kullanılacak ortamlarda öncelikle araştırılmalıdır. Ca ve Mg konsantrasyonları zaman zaman su ortamlarında sertlik oluşturabilecek seviyeye ulaşabilmekte, yüksek miktarlarda Na toprağın kimyasal ve fiziksel yapısını değiştirebilmektedir. Tüm bunlara ek olarak sulama suları Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Sodyum Yüzdesi (%Na), Kelly İndeksi (KI) , Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC), Magnezyum Tehlikesi (MH) ve toplam sertlik gibi parametreler bakımından değerlendirilmelidir. Foldere Havzası yüzey suları SAR bakımından “mükemmel su”, % Na bakımından “mükemmel-iyi” sınıfında olup K), RSC ve MH bakımından sulama amaçlı kullanım için uygundur. Sular toplam sertlik parametresi bakımından yumuşak sular sınıfına girmektedir. Daha önce Trabzon ili Karadere yüzey suyunda yapılan çalışmada Karadere’nin SAR KI, MH, RSC ve PI parametreleri bakımından tarımsal sulamaya uygun olduğu ve “sodyuma karşı hassas olan bitkiler dışındaki tüm bitkilerde” kullanılabileceği belirlenmiştir (Fırat Ersoy ve Hatipoğlu Temizel 2022).

Yüzeysel su kalitesi açısından önemli olan diğer parametreler besin elementleri (amonyum azotu, nitrat azotu, nitrit azotu ve toplam fosfor) dir. Çalışılan sularda sırasıyla $\text{NH}_4\text{-N}$ ortalama 0.11-0.21 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ ortalama 0.2-2 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ ortalama 0.01-0.02 mg/L ve TP ortalama 0.004-0.11 mg/L arasında değişmektedir. Bu değerler ile Foldere Havzası “çok iyi” su kalitesi sınıfında yer almaktadır. Trabzon ilinde daha önce yapılan çalışmalarda Foldere ve İskefiye Derelerinin $\text{NO}_2\text{-N}$ konsantrasyonu, Kalanima, Sera ve Solaklı derelerinde $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonu çevresel atıklar nedeni ile mansap kısımlarda yüksek çıkmıştır (Celep 2009). Aksu Deresi havzasında ortalama nitrit konsantrasyonu 0,01 mg/L, ortalama nitrat konsantrasyonu 1,35 mg/L dir. Nitrat ile kıyaslandığında daha toksik olan nitrit açısından Aksu Deresi’nin II. Sınıf su kalitesinde olduğu belirlenmiştir (Şengün, 2013).

İnorganik ve organik fosfor gruplarının toplamı su ortamlarında toplam fosforu oluşturmaktadır. Su kaynaklarındaki fosfor çevredeki litolojik birimlerden, tarımsal faaliyetlerden, evsel ve endüstriyel atıklardan kaynaklanabilmektedir. Foldere Havzası'nda toplam fosfor değerleri oldukça düşük olup ortalama 0.004-0.13 mg/l arasında değişmektedir. Şengün 2013 Aksu Deresi TP değerini ortalama 0,563 mg/L olarak bulmuştur. Mert Irmağı'nda yapılan çalışmada en yüksek fosfor değeri 6.11 mg/L bulunmuştur (Bakan ve Şenel 2000). Yağlıdere çayında yapılan su kalitesi izleme çalışmasında TP değeri ortalama 0.04 mg/L bulunmuştur (Hatipoglu Temizel, 2023).

Sucul ortamlarda iz elementlerin doğal kaynakları jeojenik olaylar ve yağış belirlenir (Gonnea et al., 2014). Antropojenik kirlilik kaynakları arasında madencilik faaliyetleri, atık yakma ve mineral işleme vb. yer alır (Meng et al., 2016). İz metaller su ekosistemleri için büyük tehlike oluşturmaları (Zeng et al., 2020). Foldere Havzasında çalışılan sularda Al, Fe, Mn, Pb, As, Zn, Li, Co, Cr, Ni ve Cu elementlerinin analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda sularının iz element konsantrasyonları genel olarak düşük bulunmakla birlikte bazı istasyonlarda Al (FD-5, FD-6, FD-7 FD-8, FD-9, FD-10 FD-11 ve FD-12), Fe (FD-1) ve tüm istasyonlarda Ni konsantrasyonu standartlarda verilen sınır değerler üzerinde çıkmıştır. Bu parametrelerin kaynağının jeojenik olduğu düşünülmektedir.

Su kalitesi indeksi (WQI) hesaplamaları özellikle nehirlerin su kalitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan, su kalitesi parametrelerinin her birinin bütünleşik etkisini ortaya çıkartan bir derecelendirme tekniğidir (Horton 1965). Bu yöntem geçmişten günümüze su araştırmalarında yaygın olarak kullanılmakta olup fazla sayıda olan su kalitesi verisini anlaşılır bir şekilde azaltıp su kalitesini sınıflandırma amacına hizmet etmektedir. Bu çalışmada pH, Eİ, TDS, ÇO, Ca, Mg, Na, Cl, SO₄, F, NH₄_N, NO₃_N, NO₂_N, ve TP parametreleri kullanılıp Foldere Havzası'nın su kalitesi sınıfı belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda istasyonların WQI değerleri 18.95-28.55 arasında bulunmuştur. Bu değerler ile tüm örnekleme noktaları "Mükemmel su" kategorisindedir. Ölçüm yapılan tüm istasyonlardaki parametrelerin etkin ağırlık yüzdesi, etkin ağırlığın minimum, maksimum, ortalama ve standart sapması değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ortalama etkin ağırlık değerleri pH (% 29.54), ÇO (% 22.24) ve TP (%11.46) parametrelerinde gözlenmiş olup bu parametreler WQI hesaplamalarında en etkili parametrelerdir. Daha önce bölgede Yağlıdere Çayının nehir suyu kalitesi su kalitesi indeksi (WQI), çok değişkenli istatistiksel ve GIS teknikleri kullanarak değerlendirmiştir. Hesaplanan WQI değerleri ile Yağlıdere Çayı'nın memba ve orta kısmından

alınan örnekler “Mükemmel su” ve “iyi su” su kalitesi sınıfında iken diğer taraftan antropojenik ve jeojenik etkilerin baskın olduğu mansap bölgelerinde ise” Kötü su” ve “içmeye uygun değil” kalitesinde olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada WQI üzerindeki en etkili su kalitesi parametrelerinin Al, Fe ve Mn olarak belirlenip su kalitesinin jeojenik ve antropojenik baskılarla olumsuz etkilendiği yorumuna gidilmiştir. Kızılırmak ve Yeşilirmak havzasında yapılan WQI çalışmasına göre; Kızılırmak ilkbahar mevsiminde “zayıf”, diğer mevsimlerde “iyi” , Yeşilirmak kış mevsiminde “iyi” diğer mevsimler “zayıf” ve “çok zayıf” su kalite özelliğinde olduğu bulunmuştur (Şimşek vd. 2022).

Ağır metal kirlilik indisi (HPI), ağır metal konsantrasyonlarına göre suyun kalitesini yansıtır (Edet ve Offiong, 2002). HPI, her parametrenin suyun genel kalitesi üzerindeki birleşik etkisini derecelendirmek ve ağır metallerin neden olduğu kirlilik düzeyini değerlendirmek için kullanılır (Saleem ve diğ., 2019). Foldere Havzası’nda HPI hesaplaması için Al, Fe, Mn, Pb, As, Cr, Ni ve Cu elementleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre FD-4 istasyonu “Mükemmel” sınıfta FD-1, FD-2, FD-3, FD-5, FD-6, FD-8, FD-9, FD-10 ve FD-12 istasyonlarının “iyi” sınıfta olduğu belirlenmiştir. Van Gölü Havzasında yapılan bir çalışmada HPI değerlerinin belirlenmesi için Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se ve Zn elementleri kullanılmış, elde edilen HPI hesaplama sonuçlarına göre Van Gölü Havzası’nın tuzlu sularının “iyi” sınıf ve “kullanılamaz su” sınıfında olduğu belirlenmiştir (Atıcı vd. 2021). Ağır metal kirlilik indisi değerleri Düden Nehri için ortalama 80.4, Göksu Nehri için 60.2 olarak hesaplanmıştır (Leventeli ve diğ. 2019).

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı Folderesi (Tonya-Vakfikebir, Trabzon) Havzası'nın yüzey ve yeraltı su kalitesi parametrelerinin izlenerek güncel durumunu WQI, HPI ve CBS kullanılarak belirlemek ve sonuçlara göre önerilerinde bulunmaktır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Tonya ve Vakfikebir ilçelerinde bulunan Foldere Havzası 1/100.000 ölçekli Trabzon-F42 ve G42 paftaları içerisinde yaklaşık 187 km² lik bir alanı kapsamaktadır.

1- Kuzey Anadolu kıvrım kuşağının kuzeydoğusunda yer alan inceleme alanında Liyas-Dogger-Eosen arasında oluşmuş kayalar yer almaktadır. Çalışma alanındaki litolojik birimler yaşlıdan gence doğru Liyas-Dogger yaşlı Hamurkesen Formasyonu, Üst Kretase yaşlı Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu, Çağlayan Formasyonu, Çayırbağ Formasyonu, Paleosen yaşlı Bakırköy Formasyonu, Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ile Kaçkar Granitoyidi-1 ve akarsu boyunca uzanan kuvaterner yaşlı alüvyon oluşturmaktadır.

2- Çalışma alanında tipik Karadeniz iklimi etkisini sürdürmektedir ve yıllık yağış miktarı 1014 mm dir. Yağışlar mevsimsel olarak %29 ile sonbahar, %27 kış, %23 ilkbahar ve %21 ile yaz mevsimlerinde gerçekleşmektedir. Tonya ilçesindeki yıllık toplam Etp 432 mm ve yıllık Etr 432 mm olarak bulunmuştur. Havzaya düşen yağışın yaklaşık %43'ü buharlaşma-terleme yolu ile tekrar atmosfere dönmektedir. Foldere Havzası'nda yağıştan yeraltına süzülen su miktarı 44.034×10^6 m³ olarak hesaplanmıştır.

3- Foldere Havzasındaki litolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Liyas-Dogger yaşlı bazalt andezit dasit ve piroklastitlerden oluşan birimlerin geçirgenlikleri yoktur. Ancak tektonik faaliyetlere bağlı olarak birimde meydana gelen çatlaklar birimlere yersel geçirimsizlik kazandırmıştır. Üst Kretase, Paleosen ve Eosen yaşlı bazalt, andezit, riyodasit, dasit, trakiandezit ve piroklastitlerinden oluşan birimler yarıgeçirimli özelliktedir. İnceleme sahasındaki granitoyitler (granit, granodiyorit ve tonalit) kırılmamış ve ayrışmamış alanlarda geçirimsizdir. Foldere havzasının mansap kısmında dar bir alanda yüzeyleme veren Kuvaterner yaşlı tutturulmuş blok, çakıl, kum, kil ve çamurtaşından oluşan Alüvyon geçirimli özelliktedir.

4- Foldere Havzası yüzey suları genellikle Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-Na-HCO₃, yeraltı suları Ca-Na-HCO₃ ve Ca-HCO₃ su tipindedir. Yüzey sularında pH ortalama 7.72-8.28, elektriksel iletkenlik (Eİ) ortalama 140.6-266.3 µS/cm, ve çözülmüş oksijen (ÇO) 7.85-8.96 mg/L arasında değişmektedir. Yeraltı sularında pH ortalama 8.3-8.25, Eİ ortalama 43.5-45.6 µS/cm ve ÇO ortalama 8.75-8.88 mg/L arasındadır.

5- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)’ne göre Folderesi Havzası’nda incelenen tüm sular pH, ÇO, Eİ, NH₄_N, NO₃_N, TP, F⁻ ve Mn bakımından I. sınıf “çok iyi” ve II. Sınıf “iyi” sınıfında yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266) yönetmeliklerine göre sular Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁻² içerikleri bakımından kullanım için sular herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır.

6- Foldere Havzası’nın kimyasal özelliklerini kapsamlı bir şekilde yorumlamak ve değerlendirmek için Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Sodyum Yüzdesi (%Na), Kelly İndeksi (KI) , Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC), Magnezyum Tehlikesi (MH) ve toplam sertlik olmak üzere altı gösterge seçilmiştir. Folder Havzasındaki yüzey sularında SAR değerleri ortalama 0.26-0.74, yeraltı sularında ortalama 0.34 (FD-7) ve 0.59 (FD-11) dur. Bu değerler ile inceleme sahasında tüm örnekleme noktaları için su sınıfı SAR bakımından “mükemmel” sınıfı göstermektedir. Sahada yüzey suyu örneklerinin sodyum içeriği % 11.3 ile % 28.06 arasında değişmektedir. Yeraltı sularında ise % Na oranı % 31.4 (FD-7) ve % 21.4 (FD-11) tür. Bu değerler ile incelenen tüm sular % Na bakımından “mükemmmel-iyi” sınıfında yer almaktadır. Foldere Havzası’nda incelenen tüm yüzey ve yeraltı sularında KI değerlerinin 1’den küçük olup sular sulama amaçlı kullanım için uygundur. Havzada tüm su örneklerinde RSC değerleri <1.25’tir. Bu değerler ile incelenen tüm sular sodyum tehlikesi bakımından düşük potansiyele sahip olup sulamaya uygundur. Foldere Havzası’nda tüm su örneklerinde MH değerleri <50’dir. Bu değerler ile incelenen tüm yüzey ve yeraltı sularının sulama suyu için uygun olduğunu göstermektedir. İnceleme alanındaki tüm su örnekleri toplam sertlik parametresi bakımından yumuşak sular sınıfına girmektedir.

7- Sularının ağır metal konsantrasyonları (Fe, Mn, Pb, As, Zn, Li, Co, Cr ve Cu) genel olarak düşük olup bazı istasyonlarda Al (FD-5, FD-6, FD-7 FD-8, FD-9, FD-10 FD-11 ve FD-12), Fe (FD-1) ve tüm istasyonlarda Ni konsantrasyonu standartlarda verilen sınır değerler üzerinde olduğu belirlenmiştir.

8- İnceleme alanındaki sular Piper diyagramına göre değerlendirildiğinde Foldere havzasındaki tüm yüzey ve yeraltı suları $Ca+Mg > Na+K$ (Karbonatlı ve sülfatlı sular) ve $HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$ olup diğer bir ifadeyle zayıf asit kökleri > güçlü asit kökleridir. Diğer taraftan tüm suların karbonat sertliği %50'den fazla olan sulardır. Schoeller diyagrama göre tüm iyonların mek/L cinsinden konsantrasyonlarını birleştiren doğruların konumları birbirine paralel ve çakışık olup suların beslenme kaynağının aynı olduğunu belirlenmiştir.

9- Folderesi havzası yüzey sularında 14 parametre (pH, Eİ, TDS, ÇO, Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 , F, NH_4_N , NO_3_N , NO_2_N , ve TP) havzanın yüzey suyu su kalitesi sınıfı belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda istasyonların WQI değerleri 18.95-28.55 arasında bulunmuştur. Su kalitesi indeksi (WQI) değerlerine göre Foldere Havzası “Mükemmel su” sınıfında olup WQI üzerindeki en etkili su kalitesi parametreleri pH, ÇO ve TP dir.

10- Foldere Havzası'nda HPI hesaplaması için Al, Fe, Mn, Pb, As, Cr, Ni ve Cu elementleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre FD-4 istasyonu “Mükemmel” sınıfta FD-1, FD-2, FD-3, FD-5, FD-6, FD-8, FD-9, FD-10 ve FD-12 istasyonlarının “iyi” sınıfta olduğu belirlenmiştir.

11- Su kalitesi değerlendirmesi yapabilmek için kullanılan Su kalitesi indis yöntemleri ekosistem yönetimi ve planlaması için bilimsel bir temel sağlamakta olup nehir veya havza ölçeklerinde yüzey suyu kalitesinin verimli bir şekilde değerlendirilmesine ve yönetilmesine yardımcı olur. Bu çalışma yüzey suyu kirliliğini önlemeyi amaçlayan ekosistem projelerine referans teşkil etmesi ve karar vericilerin sürdürülebilirliğe yönelik stratejiler geliştirmesine de destek olması bakımından önemlidir. Aynı zamanda bu çalışma gelecekte Foldere Havzası'nın kirlilik kontrolü için bir referans sağlayacaktır.

12- Folderesi Havzası'nda gelecekte kirliliğin oluşmaması için su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi sağlanmalıdır. Özellikle bu çalışmada takip edilen su kalitesi parametrelerinin yanında analizi yapılamayan ve su kalitesi izleme çalışmalarında önemli olan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), Fekal koliform (FC) ve toplam koliform (TC) gibi parametrelerin de mekânsal ve zamansal olarak izlenmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak su kalitesinin anlaşılması ve korunması, su kaynaklarımızın uzun vadeli sürdürülebilirliğinin sağlanması için esastır.

6. KAYNAKLAR

- Alver A., Baştürk E., (2019), Karasu Nehri Su Kalitesinin Farklı Su Kalite İndeksleri Açısından Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(2), 488-497
- Anonim, (2014a).pH, İletkenlik, Çözünmüş Oksi-jen, Sıcaklık, TDS ve Tuzluluk Tayini, Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü. Çevre Kimyası Laboratuvar Dersi Notları.
- Atıcı A. A., Sepil A ve Şen F. 2021. Van Gölü havzası tuzlu sularının su kalitesi özellikleri ve ağır metal kirlilik indeksinin belirlenmesi, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 58 (1): 285-294
- Aydın Uncumusaoğlu A, Akkan T (2017) Assessment of Water Quality of Yağlıdere Stream (Turkey) Using Multivariate Statistical Techniquess. Pol J Environ Stud 26(4):1715-1723. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.332812>
- Bakan, G. ve Şenel, D. 2000. Samsun Mert Irmağı-Karadeniz Deşarjında Yüzey Sediman (Dip Çamur) ve Su Kalitesi Araştırması. Turk J Engin Environ Sci,24:135-141.
- Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y. ve Köprübaşı, N., 1987. Migration of the Upper Cretaceous Subduction Related Volcanism Towards the Back-arc Basin of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey), Geological Journal, 34,95-106.
- Braich O.S., Jangu S. 2015. Evaluation of Water Quality Pollution Indices for Heavy Metal Contamination Monitoring in the Water of Harike Wetland (Ramsar Site), Int. J. Scientific and Research Publications, 5 1-6.
- Boran M, Sivri N (2001) Trabzon (Türkiye) İl Sınırları İçerisinde Bulunan Solaklı ve Sürmene Derelerinde Nütrient ve Askıda Katı Madde Yüklerinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi 18 (3-4): 343-348
- Celep 2009, Trabzon İli Yeraltı Ve Yerüstü Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal İncelemesi ve Su Kalitesinin İzlenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Chapman, D., 1992. Water Quality Assessment. In: Chapman D on behalf of UNESCO, WHO and UNEP, 58s, London.
- Dilek, R. ve Gültekin ,F. (2002), Hidrojeoloji Ders Notları, KTÜ Trabzon.
- Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSİ yayınları, 178s, Ankara.
- DSİ, Devlet Su işleri, (2015), Doğu Karadeniz Havzası Master Plan Çalışmaları İş, Doğu Karadeniz Havzası Hidrojeoloji Raporu, 552ss., (Yayımlanmamış).
- Eaton Frank, M. 1950 Significance of Carbonates in Irrigation Waters. Soil Sci. 69, 123–134.

- Edet, A.E., Offiong, O.E., 2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). *GeoJournal* 57, 295–304.
- Elumalai, V., K. Brindha & E. Lakshmanan. 2017. Human exposure risk assessment due to heavymetals in groundwater by pollution index and multivariate statistical methods: a case study from South Africa. *Water*, 9, 234.
- Fakayode, S.O., 2005. Impact assessment of industrial effluent on water quality of the receiving Alaro River in Ibadan, Nigeria. *Afr. J. Environ. Assess. Manag.* 10, 1–13.
- Freze, R. A. ve Cherry, J. A., 1979. *Groundwater*, Prentice- Hall, USA, 604p.
- Güven, İ., 1993. 1/100000 Ölçekli Paftaların Jeolojisi Komisyonu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Fırat Ersoy A ve Hatipoğlu Temizel E, 2022. Karadere Deresi'nin (Araklı-Trabzon) İçme ve Sulama Suyu Amaçlı Kullanım Uygunluğunun İncelenmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2): 238-249
- Gedik, K., Verep, B., Terzi, E. ve Fevzioğlu, S. 2012. Fırtına Deresi (Rize)'nin Fiziko-Kimyasal Açından Su Kalitesinin Belirlenmesi, *Ekoloji* 19, 76, 2535.
- Gültekin F., Fırat Ersoy A. F., Hatipoğlu E., Celep S., (2012), Determination of water quality parameters in wet season of surface water in Trabzon, *Ecology*, 21(82), 77-88.
- Güven İ. H., (1993), *Doğu Pontidler'in 1/250.000 ölçekli kompilasyonu*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hatipoğlu Temizel E. 2023 Assessment of the water quality using multivariate statistics and the water quality index: a case study of the Yağlıdere Stream (Giresun) in the Eastern Black Sea region, Turkey, *Environmental Monitoring And Assessment* , 195, 12, 1484
- Hem, J. D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263 p.
- Horton, R.K., (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300–306.
- Kabata-Pendias, A., & Szteke, B. (2015). *Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments* (p. 468). Boca Raton: CRC Press.
- Kelly W.P., (1963), Use of Saline Irrigation Water, *Soil Science*, 95(6), 385–391.
- Kocer, M.A.T., Sevgili, H., 2014. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms. *Ecol. Ind.* 36, 672–681.

- Leventeli, Y., F. Yalçın ve M. Kılıç. 2019. An investigation about heavy metal pollution of Duden and Goksu Streams (Antalya, Turkey). *Applied Ecology And Environmental Research*, 17 (2): 2423-2436.
- Li, L. M., Wu, J., Lu, J., Li, K. X., Zhang, X. Y., Min, X. Y., et al. (2022). Water quality evaluation and ecological-health risk assessment on trace elements in surface water of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 241, 113775. doi:10.1016/j.ecoenv.2022.113775.
- Mc. Neely, R., N. ve Neimanis, V., P., Dwyer, L., 1979. *Water Quality Source Book-A Guide to Water Quality Parameters*.
- Mohan, S.V., P. Nithila & S.J. Reddy. 1996. Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science and Health A*, 31 (2): 283-289.
- Odobasic, A. (2012). Water quality monitoring and assessment. In K. Voudouris & D. Voutsas (Eds.), *Determination and speciation of trace heavy metals in natural water by DPASV* (pp. 429–456). Intech: Croatia.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü DSİ 22. Bölge Müdürlüğü Doğu Karadeniz Havzası Hidrojeoloji Raporu, Trabzon.
- Öz Ü, Ertaş E. 2016. Arılı Deresi(Rize)'Nin Fiziko-Kimyasal Açından Su Kalitesinin Tespit Edilmesi, *Turkish J Aqua Sci*, 31(1): 30-39
- Paliwal KV (1972) Irrigation with saline water. In Monogram No. 2 (New Series). IARI, New Delhi, p 198
- Plum, L. M., Rink, L., & Haase, H. (2010). The essential toxin: impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7, 1342–1365.
- Poyraz, D. 2023 “Su Kalitesinin Zamansal Ve Mekânsal Değişiminin İstatistiksel Yöntemler İle Analiz Edilmesi: Acısu Deresi Uygulaması” Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya.
- Reza R, Singh G, 2010. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 7 785-792.
- Richards LA (1954) Diagnosis and improvement of saline alkali soils. US Department of Agriculture, Hand Book 60, pp 160. Washington.
- Rostami AA, Isazadeh M, Shahabi M, Nozari H (2019) Evaluation of geostatistical techniques and their hybrid in modelling of groundwater quality index in the Marand Plain in Iran. *Environ Sci Pollut Res* 26(34):34993–35009. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06591-z>.

- Sahu P, Sikdar PK (2008) Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata wetlands, West Bengal, India. *Environ Geol* 55:823-835. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1034-x>
- Shaw, D.M., Sturchio, N.C., 1992. Boron-lithium relationships in rhyolites and associated thermal waters of young silicic calderas, with comments on incompatible element behavior. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56, 3723–3731.
- Saleem, M., Iqbal, J., Shah, M.H., 2019. Seasonal variations, risk assessment and multivariate analysis of trace metals in the freshwater reservoirs of Pakistan. *Chemosphere* 216, 715–724.
- Smethurts, G., 1979. *Basic Water Treatment*, Thomas Telford Ltd., London.
- SUEN, 2022 Türkiye Su Enstitüsü, <https://suen.gov.tr/Suen/duyurular.aspx?dyr=2022>
- Şahinci, A., 1986. Yeraltı Suları Jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MM/JEO-86,99, İzmir.
- Şahin M, 2018 Porsuk Çayı'nın su kalite indekslerine göre değerlendirilmesi ve baraj gölü trofik seviyesinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Şener, S., Şener, E., Davraz, A., 2017. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Sci. Total Environ.* 584–585, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>.
- Şengün, E., 2013. Aksu Deresi Su Kalitesi Ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gireun üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun.
- Şimşek, A., Türkten, A. ve Bakan, G. 2022. Su Kalite İndeksi ve İstatistiksel Analiz Kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilırmak Nehirleri Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 645-662, 2022. DOI: 10.31466/kfbd.1100682.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., and Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Mol. Clin. Environ. Toxicol.* 101, 133–164.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate, *Geograph.*, Rev. 38, 55-94.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266) (2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular standardı (Rapor No. TS 266) Ankara: TSE.

- Ustaoglu F, Tepe Y, Taş B (2020) Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: a combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecol Indic* 113:105815. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815>.
- Verep, B., Serdar, O., Turan, D. ve Şahin, C., 2005. İyidere (Trabzon)'nin Fiziko-Kimyasal Açıdan Su Kalitesinin Belirlenmesi, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 14,57, 26-35.
- Weber-Scannell, P.K., Duffy, L.K., 2007. Effects of total dissolved solids on aquatic organisms: A review of literature and recommendation for salmonid species. *Am. J. Environ. Sci.* doi:10.3844/ajessp.2007.1.6.
- World Health Organization (WHO) (2017). *Guidelines for Drinkingwater Quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: WHO Publications.
- WHO, 2014 *Guideline for Drinking Water Quality*, third ed., vol. I. recommendations, Geneva.
- Wilcox L.V, (1955), *Classification and Use of Irrigation Waters*, Washington, D.C. United States Department of Agriculture, (969):1–19.
- Yavuz H. 2004. Giresun – Trabzon – Rize İllerinin Sahil Kesimlerinin Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ 22. Bölge Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü, Trabzon (Yayınlanmamış).
- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YKSY). 2021. Tarım ve Orman Bakanlığı. Resmî Gazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/06/20210616-1.htm>.
- Yidana SM, Yidana A (2010) Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. *Environ Earth Sci* 59:1461-1573. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0132-3>.
- Zahedi S (2017) Modification of expected conflicts between drinking water quality index and irrigation water quality index in water quality ranking of shared extraction wells using multi criteria decision making techniques. *Ecol Indic* 83:368–379.

ÖZGEÇMİŞ

Osman KÜÇÜK, eğitimlerini Trabzon'da tamamlayarak 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi- Jeoloji Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Mülga Trabzon Belediyesi Yapı Kontrol Şefliğinde 2.5 yıl Saha Mühendisi olarak görev yaptı. 2014-2022 yılları arasında Ortahisar Belediyesi'nde Yapı Kontrol Şefliği görevini yürüttü. 2022 yılından itibaren Trabzon Büyükşehir Belediyesi'nde Yapı Kontrol Danışmanı olarak görev yapmaktadır. 2022 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü- Jeoloji Ana Bilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Osman KÜÇÜK B2-C1 seviye İngilizce bilmektedir. Ayrıca 10 yıl amatör olarak futbol oynadı. Evli ve bir çocuk babasıdır.