

Bayburt İli ve Çevresinde Bulunan İçme Suyu Kaynaklarının Kalitesinin Değerlendirilmesi

Ümit YILDIRIM^{1*}, Onur GÜVEN²

¹Bayburt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, 69000, Bayburt

²Bayburt Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, 69000, Bayburt

¹<https://orcid.org/0000-0002-7631-7245>

²<https://orcid.org/0000-0001-5608-7633>

*Sorumlu yazar: umityildirim@bayburt.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.08.2024

Kabul tarihi: 21.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Kaynak suyu

İçme suyu

Su kalitesi

CBS

Bayburt

ÖZ

Bayburt il merkezi ve çevresini kapsayan bu çalışmada, doğal içme suyu kaynaklarının kalitesi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda iki farklı dönemde (kurak dönem; Eylül 2023 ve yağışlı dönem; Mayıs 2024) su numunesi alınarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kaynak sularının hem fiziksel hem de kimyasal içerikleri analiz edilerek çeşitli yöntemlerle (Piper ve Gibbs diyagramı) fasiyes ve köken özellikleri belirlenmiştir. Piper diyagramına göre her iki dönem su numunelerinin tamamı “kalsiyum-magnezyum-bikarbonat tipi” fasiyesindedir. Suyun bileşimine etki eden en büyük faktörün su-kayaç etkileşimi olduğu Gibbs diyagramı ile ortaya konmuştur. Kaynak sularının sulama amaçlı kullanılabilirliği, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Diyagramları ile yorumlanmıştır. İncelenen kaynak sularının tümü sulama suyu olarak kullanılabilir özelliktedir. Suların kaliteleri Su Kalitesi İndeksi (WQI) ve Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI) kullanılarak karakterize edilmiştir. WQI yöntemine göre doğal kaynak suları “mükemmel su”, “iyi su” ve “kötü su” olmak üzere üç sınıfa ayrılırken, HEI değerlerine göre “düşük kirlilik”, “orta kirlilik” ve “yüksek kirlilik” olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Kaynak suları Türk Standardı (TS 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen içme suyu standartlarıyla da karşılaştırılmıştır. Bazı numunelerin nitrat, florür, arsenik ve bor değerleri standart değerlerin üzerinden olup halk sağlığı açısından olumsuz etkileri nedeniyle içme amacıyla kullanılması önerilmemektedir.

Evaluation of the Quality of Drinking Water Resources in Bayburt Province and Its Surroundings

Research Article

Article History:

Received: 17.08.2024

Accepted: 21.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Spring water

Drinking water

Water quality

GIS

Bayburt

ABSTRACT

This study evaluated the quality of natural drinking water resources for the Bayburt city center and its surroundings. In this context, water samples were taken in two different periods (dry period, September 2023, and rainy period, May 2024) and evaluated separately. The spring waters' physical and chemical contents were analyzed, and their facies and origin properties were determined using various methods (Piper and Gibbs diagrams). According to the Piper diagram, the water samples in both periods were identified as the “calcium-magnesium-bicarbonate type” facies. The Gibbs diagram revealed that the most significant factor affecting the composition of the water is the water-rock interaction. The US Salinity Laboratory and Wilcox Diagrams interpreted the spring waters' usability for irrigation purposes. All of the examined spring waters can be used as irrigation water. The water qualities of these springs were identified using the Water Quality Index (WQI) and Heavy Metal Assessment Index (HEI). According to the WQI method, natural spring waters

are divided into three classes as “perfect water”, “good water” and “bad water”, while according to HEI values, they are divided into three classes as “low pollution”, “medium pollution” and “high pollution”. Spring waters were also compared according to drinking water standards determined by the Turkish Standard (TS 266) and the World Health Organization (WHO). Some samples have nitrate, fluoride, arsenic, and boron values above the standard values and are not recommended for drinking due to their negative effects on public health.

To Cite: Yıldırım Ü., Güven O. Bayburt İli ve Çevresinde Bulunan İçme Suyu Kaynaklarının Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 694-719.

1. Giriş

Kaynaklar, havzalarda güvenilir su sağlama noktasında önemli rol oynayan, içme-kullanma amacıyla yararlanılan yeraltı suyu formlarıdır (Nguyet ve Goldscheider, 2006). Bu suların mineral bileşimleri, jeolojik oluşumlara ve antropojenik etkilere bağlıdır (Dumarı ve ark., 2021). Kaynak sularının kalitesi, suyun geçtiği jeolojik ortamın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre değiştiği için önemli bir evresel gösterge olarak kabul edilmektedir (Jasik ve ark., 2017). Su kalitesi, suyun içilebilirliğini, insan temasının güvenliğini, ekolojik etkileri, endüstriyel alanda ve sulamada kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla değerlendirilmektir (Chauhan ve ark., 2020). Kaynaklardan elde edilen sular, yüzey sularına göre nispeten daha kaliteli olup (Ghanem ve ark., 2021) nüfus artışı, insan müdahaleleri, iklim değişikliği gibi faktörler bu suları hem miktar hem de kalite açısından olumsuz etkilemektedir (Pant ve ark., 2018).

Küresel ölçekte yaklaşık bir milyar insan güvenli içme suyuna ulaşmakta sıkıntı çekmektedir (Shigut ve ark., 2017). Özellikle gelişmekte olan ülkelerin kırsal bölgelerinde güvenli içme suyu olarak daha çok yeraltı suyu kaynakları ön plana çıkmaktadır (Shigut ve ark., 2017). Bununla birlikte küresel kentsel nüfusun yaklaşık %50’sinin yeraltı suyuna, kalanın ise yüzey suyuna bağımlı olduğu tahmin edilmektedir (UNESCO, 2022). Yeraltı sularının bu kadar tercih edilebilir olmasının en büyük nedenleri arasında arıtmaya daha az ihtiyaç duyulması ve biyolojik kirliliğin daha az olması gösterilmektedir (Appelo ve Postma, 2005). Bununla birlikte yapılan çalışmalar tatlı suya erişimin en büyük küresel sorunlarından biri olacağını göstermekte olup, bu yüzyılın ortalarında muhtemelen 2 ile 7 milyar arasında insan su kıtlığı olan ülkelerde yaşıyor olacaktır (Appelo ve Postma, 2005; Salehi, 2022; Carbon, 2024). Bu risk karşısında tatlı suların geniş potansiyeli ve onun sürdürülebilir bir şekilde yönetilme ihtiyacı göz ardı edilemeyecek bir konu olmaktadır (UNESCO, 2022).

Bayburt İli’nde içme-kullanma amaçlı kullanılan sular, farklı bölgelerdeki çeşitli kaynak sularından temin edilmektedir (Çevre Durum Raporu, Bayburt 2024). Bayburt İli’nin Aydıntepe İlçe’sinin %20’si kuyu sularından, %80’i kaynak suyundan, Arpalı, Gökçedere beldeleri ve Demirözü belediyesi ise sularının tümünü kaynak sularından sağlamaktadır (Çevre Durum Raporu, Bayburt 2024). Bayburt İli’nde sulama amaçlı kullanılan suların büyük çoğunluğu yüzey sularından temin edilmekte olup yeraltı ve kaynak suları da kullanılmaktadır. Bölgede genellikle yüzey suyu (Çoruh Nehri ve yan kolları) kalitesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yeraltı sularının kalitesine yönelik çalışmalar sınırlı sayıda

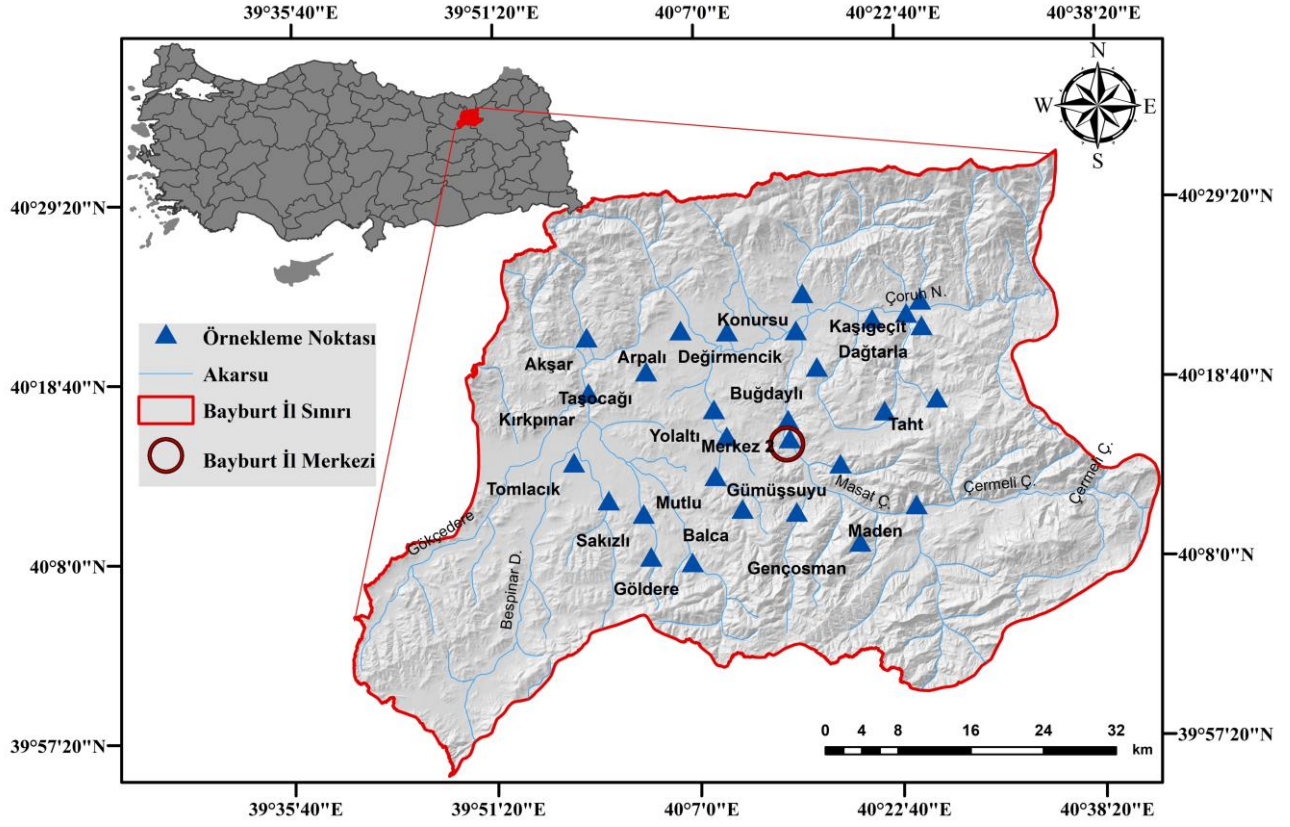
olup (Gültekin ve Dilek 2005; Sipahi ve Uslu, 2016; Semiz ve ark., 2021; Fırat Ersoy ve Hatipoğlu Temizel, 2022) bu çalışma literatüre önemli katkı sunacaktır.

Bu kapsamda Bayburt ili merkezinden 2 adet ve il merkezi civarında bulunan 27 köyden 27 adet olmak üzere içme suyu kaynağı olarak kullanılan toplamda 29 adet çeşme, pınarlardan (Şekil 1) yağışlı ve kurak dönemi temsil eden iki farklı dönemde su örnekleri alınarak fiziko-kimyasal değerlendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca su kalitesi değerlendirmeleri de yapılarak içme suyu kullanımını açısından irdelenmiştir.

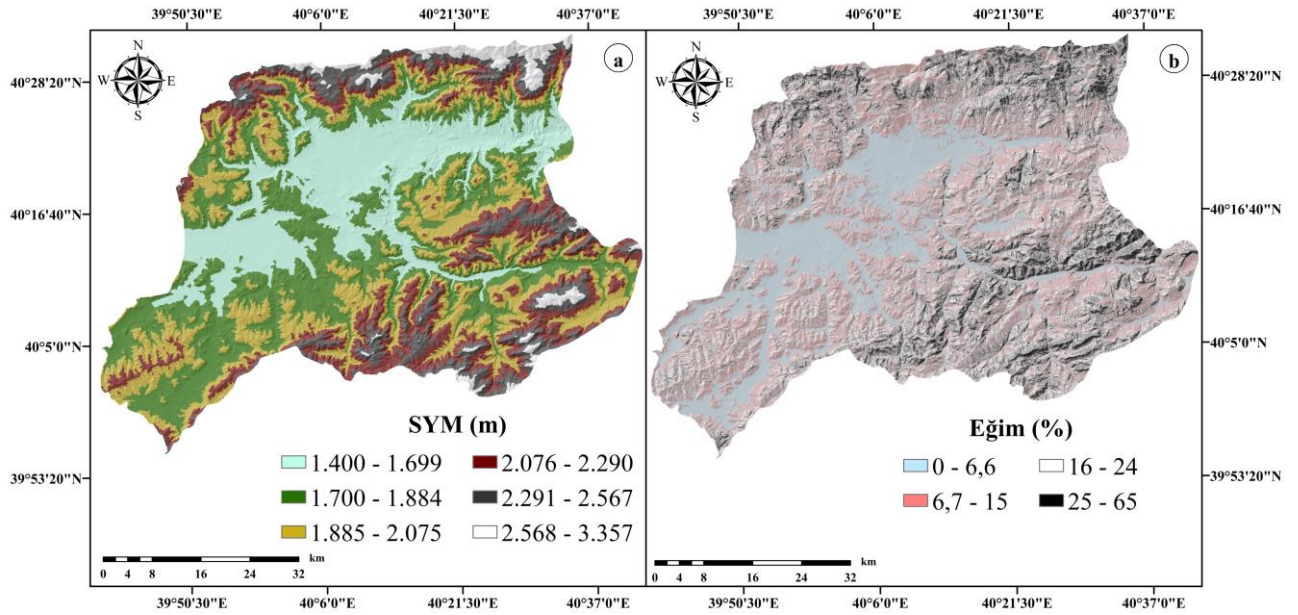
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Karadeniz Bölgesi'nin doğusunda yer alan çalışma alanının sınırlarını batıda Gümüşhane İli, kuzeyde Trabzon ile Rize İlleri, doğuda Erzurum İli ve güneyde Erzincan İli oluşturmaktadır. Çalışma alanı 40°33'–39°52' kuzey enlemleri ile 40°42'–39°37' doğu boylamları arasında (Şekil 1) olup, Türkiye'nin en büyük akarsu havzalarından biri olan Çoruh Nehri Havzası içerisinde yer almaktadır. Engebeli bir araziye sahip olan Bayburt İli'nin merkezi ova niteliği taşımaktadır. Bayburt Ovası, kuzeyinde Soğanlı (3.395 m), güneyinde Otlukbeli (2, 976 m), doğusunda Mescit (3, 239 m) ve batısında Giresun (3,107) dağları ile çevrilmektedir (Yazıcı, 1995). Yaklaşık 3,600 km² yüz ölçümüne sahip çalışma alanının en yüksek noktası 3,357 m, en alçak noktası ise 1,400 m (Şekil 2a) olup eğimi %0 ile %65 arasında (Şekil 2b) değişmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve örnekleme noktaları (yerleşim yerleri).



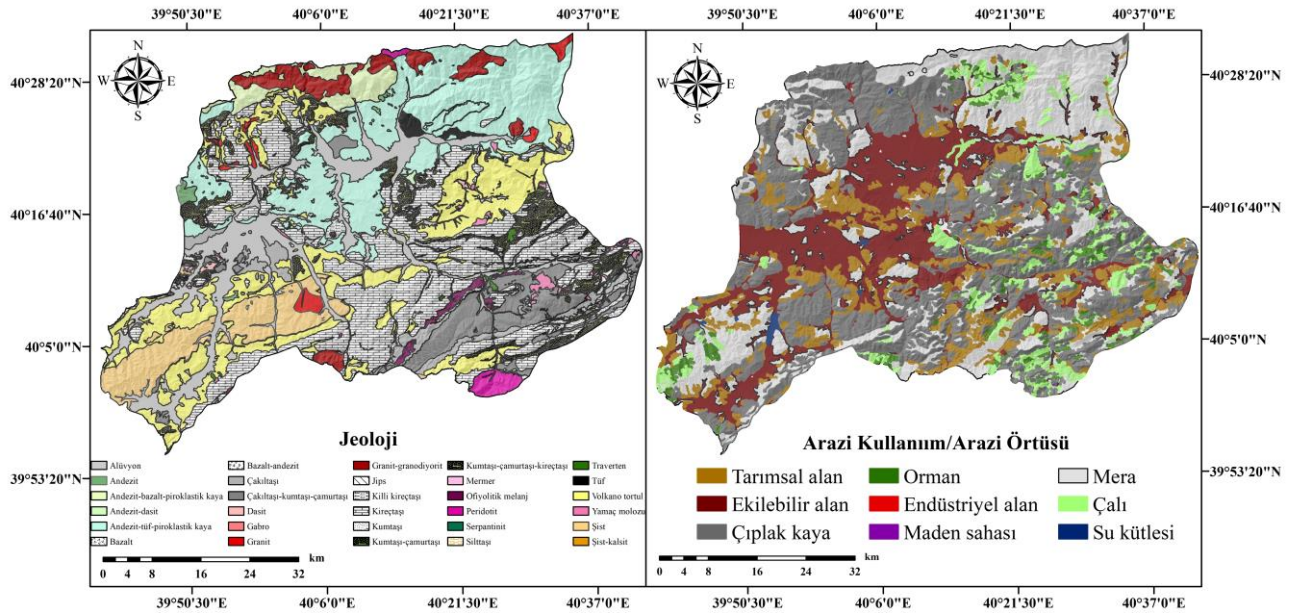
Şekil 2. Çalışma alanının (a) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve (b) eğim haritası

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en uzun, akış katsayısı açısından Türkiye'nin en hızlı üçüncü akarsuyu olan Çoruh Nehri Bayburt İl sınırları içerisindeki Mescit Dağı'ndan kaynaklanmaktadır (Yıldırım, 2021). Çoruh Nehri ve yan kolları özellikle sulama olmak üzere enerji üretiminde de yoğun olarak kullanılmaktadır.

Karakteristik olarak geçiş iklimine sahip olan çalışma alanı Karadeniz ve karasal iklim özelliklerini yansıtmaktadır. Bu bölgede kışlar oldukça soğuk ve yağışlı (çoğunlukla kar yağışı), yazları serin ve kurak geçmektedir. Ölçüm periyodu 1959–2023 olan meteorolojik verilere göre Bayburt ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 7,1 °C, ortalama yıllık toplam yağışı 449,9 mm'dir (MGM, 2024).

Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçlarına göre 2023 yılı itibariyle Bayburt İl nüfusu 86.047'dir (TUİK, 2024). Bölgenin gerek iklimsel gerekse topografik özelliklerinden dolayı ekonomi, tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Herhangi büyük bir endüstriyel kuruluşun olmadığı şehirde Bayburt'a özgü olan Bayburt taşı çıkarma ve işleme tesisleri bulunmaktadır. Bölgeye ulaşım yalnızca karayolu ile sağlanmaktadır.

Bayburt İli tektonik birlikler esas alındığında Doğu Pontid Kuşağında yer almaktadır (Ketin, 1959). Çalışma alanı temel olarak altı litolojik birimden oluşmaktadır (Şekil 3a). Bunlar; karbonatlı, metamorfik, ofiyolitik, plütonik, tortul ve volkanik kayalardır. Tortul kayaların büyük bir kısmını Eosen yaşlı volkano-tortul kayalar oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki en yaşlı birim Devoniyen–Karbonifer yaşlı metamorfik kayalardır (Keskin ve ark., 1989). Metamorfik kayalara sokulum yapan plütonik kayalar diğer bir birimi oluşturmaktadır (Keskin ve ark., 1989). Açısal uyumsuzluk ile metamorfik kayaların üzerinde karbonatlı kayalar yer almaktadır (Keskin ve ark., 1989). Bayburt İli'nde yer alan volkanik kayaları andezit, bazalt, olivin bazalt, kuvars diyorit porfir ve tonalit porfir gibi kayalar oluşturmaktadır (Keskin ve ark., 1989). Bu bölgede geniş alana yayılan sedimanter kayalar ile birlikte yer yer ofiyolit kayalar (ofiyolitik melanj) gözlenmektedir (Keskin ve ark., 1989; MTA, 2002a; MTA, 2002b). Özellikle Bayburt İli'nin güneyin kesiminde yüzlek veren ofiyolitik melanjlar (Otlukbeli melanjı) karbonatların üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Arslan ve ark., 2005). Melanj, karakteristik olarak radyolarit, çört, kireçtaşı, serpantin, silttaşı, spilitleşmiş bazalt ve keratofirleşmiş andezit bloklarından oluşmaktadır (Van ve Yalçınalp, 2010).



Şekil 3. Çalışma alanının (a) jeoloji (MTA, 2002) ve (b) CORINE arazi kullanım/arazi örtüsü sınıfları haritası (EEA, 2018)

Çalışma alanına ait arazi kullanım/arazi örtüsü (LULC) verileri Corine (EEA, 2018) veri tabanından temin edilmiştir. Veriler CBS ortamında ArcGIS 10.4 yazılımı aracılığıyla çalışma alanı sınırlarına entegre edilmiştir. Bu LULC katmanları kendi aralarında gruplandırılarak toplamda 12 adet LULC sınıfı oluşturulmuştur (Şekil 3b). Alansal olarak en geniş yayılımı gösteren LULC sınıfını 1046 km² ile “mera” oluşturmaktadır. Meraları takiben toprak oluşumunun gözlenmediği ve 959 km² alana sahip “çıplak kaya” sınıfı gelmektedir. Bayburt İli’nde ekonomik faaliyetin başında tarım ve hayvancılık gelmektedir (Birinci, 2013). Bu bakımdan alansal büyüklük olarak 3. ve 4. LULC sınıfını “ekilebilir (792 km²) ve tarımsal alan (455 km²)” oluşturmaktadır. Diğer LULC sınıfları ise sırasıyla; çalı (199 km²), orman (111 km²), yerleşim yeri (26 km²), su kütlesi (7,6 km²), maden sahası (3,5 km²), endüstriyel alan (2,1 km²) şeklindedir.

2.2. Örneklemeye ve Analiz

Bu çalışma kapsamında kurak (Eylül 2023) ve yağışlı (Mayıs 2024) mevsimleri temsil edecek şekilde iki farklı dönemde su numunesi alımı gerçekleştirilmiştir. İki farklı dönemde Bayburt ili merkezi ve civar köylerinde içme suyu kaynağı olarak kullanılan 29 farklı kaynak suyundan (çeşme ya da pınar) (Şekil 1) toplamda 58 adet su numunesi alınmış ve konumları GPS aracılığıyla kaydedilmiştir. Bu numunelerin sıcaklık, pH, Eh, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) gibi fiziksel parametreleri arazide (yerinde) WTW marka 3430 model multiparametre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Numunelerin majör anyon-katyon (HCO₃⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, SO₄⁻² F, Na, K, Ca ve Mg) ve iz element (Ba, Cr, Cu, Ni, Sb, As, Fe, Mn ve Zn) analizleri ise Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan VİTLAB marka dijital büret, Merck marka Prove 100 model spektrofotometre ve Agilent marka 7800 model ICP-MS cihazları ile gerçekleştirilmiştir.

Su örneklerinin fasiyeslerini belirlemek amacıyla Piper Diyagramından (Piper, 1944), su kimyasını kontrol eden ana mekanizmaları belirlemek amacıyla Gibbs Diyagramından (Gibbs, 1970), suların sulama amacıyla kullanılabilirliklerini sınıflamak amacıyla ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (USSLS, 1954) ile Wilcox Diyagramından (Wilcox, 1948) yararlanılmıştır.

Kaynak sularının içilebilirlik düzeylerini belirlemek ve kalitelerini karakterize etmek için Su Kalitesi İndeksi (WQI) ve Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI) kullanılmıştır. Bununla birlikte Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2022) ve Türk Standardı (TS 266, 2005) tarafından belirlenen içme suyu sınır değerleri referans alınarak sınır değeri aşan parametreler belirlenmiştir.

WQI, her bir su kalitesi parametresini inceleyerek içme amaçlı genel su kalitesini yorumlamak için etkili bir araç olarak kullanılmıştır (Adimalla, 2019). Bu çalışmada, Ulusal Sanitasyon Vakfı (NSF) tarafından geliştirilen WQI kullanılmaktadır (Brown ve ark., 1970). WQI hesaplaması dört adımda gerçekleşmekte olup parametrelerin seçimi ve önem derecesine göre ağırlıklandırılmaları yapıldıktan sonra hesaplama sürecine başlanmaktadır. Çalışma kapsamında indekste kullanılmak üzere pH, TDS, Na, TH, Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻ ve F⁻ parametreleri seçilmiş olup 2 ile 5 arasında ağırlık atanmıştır (Tablo 1). Bu parametreler, verilerin mevcudiyetine ve insan tüketimi için uygun su kalitesinin tanımlanmasındaki göreceli önemlerine göre seçilmiş olup literatürde ağırlıklar en önemli parametreler için 5, en düşük öneme sahip parametreler için ise 1 olarak kullanılmaktadır (Chung ve ark., 2015; Adimalla, 2019; Aydın ve ark., 2020; Aly ve ark., 2024). İlk adımda göreceli ağırlıklar hesaplanmaktadır (Denklem 1).

$$Wi = wi \div \sum_{i=1}^n wi \quad (1)$$

Burada; Wi göreceli ağırlık, wi her parametrenin ağırlığı ve n ise parametre sayısıdır. İkinci adımda her bir su numunesinin derişimi içme suyu standardına bölünerek 100 ile çarpılmaktadır (Denklem 2). İçme suyu standart değerleri için WHO (2022) referans alınmıştır.

$$Qi = (Ci \div Si) \times 100 \quad (2)$$

Burada; Qi kalite derecelendirmesi, Ci her bir su örneğindeki her bir kimyasal parametrenin mg/L cinsinden derişimi ve Si ise WHO tarafından belirlenen içme suyu standart değeridir. Üçüncü adımda ise su kalitesi alt indeksi Denklem 3 ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan Sli kullanarak her bir örneğin WQI değeri Denklem 4 ile bulunmaktadır (Tablo 1).

$$Sli = Wi \times Qi \quad (3)$$

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

Burada; Sli su kalitesi alt indeksi, Qi kalite derecelendirmesi olup n ise parametre sayısıdır.

Su örneklerindeki ağır metal seviyelerini değerlendirmek için niceliksel bir ölçüm olan (Badeenezhad ve ark., 2023) HEI yöntemi Denklem 5’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$HEI = \sum_{i=1}^n H_c/H_{mac} \quad (5)$$

HEI yönteminde kullanılmak üzere Ba, Cr, Cu, Ni, Sb, As, Fe, Mn ve Zn parametreleri seçilmiştir. Denklemde verilen H_c parametrenin örnekteki derişimi ($\mu\text{g/L}$) olup H_{mac} ise parametrenin WHO’ya göre kabul edilebilir maksimum derişimidir ($\mu\text{g/L}$) (Edet ve Offiong, 2002).

Tablo 1. Su kalitesi indeksi (WQI) hesaplamalarında kullanılan kimyasal parametreler ve ağırlık (W_i) değerleri.

No	Parametre	WHO	Birim	Ağırlık (W_i)	Bağıl Ağırlık (W_i)
1	pH	6,5-8,5		4	0,137931
2	TDS	600	mg/L	4	0,137931
3	Na+	200	mg/L	3	0,103448
4	TH	300	mg/L	2	0,068966
5	Cl-	250	mg/L	3	0,103448
6	SO4-2	250	mg/L	4	0,137931
7	NO3-	50	mg/L	5	0,172414
8	F	1,5	mg/L	4	0,137931
Toplam				29	1,000000

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Su Kimyası

Çalışma alanındaki suların sıcaklığı kurak dönemde 9,9–22,4°C arasında değişirken, yağışlı dönemde 8,7–14,4°C arasında değişmektedir (Tablo 2). Yağışlı dönemde düşüş gösteren su sıcaklığı çalışma alanının farklı yerlerinde yüksek değerler sergilemektedir (Şekil 4a ve Şekil 4b). Soğuk geçen aylar ve kar erimelerine bağlı olarak yağışlı dönem su numunelerinin sıcaklıkları daha düşüktür. Kurak döneme göre (6,89–8,07) yağışlı dönemde (6,93–7,93) azalış gösteren (Tablo 2) pH’ın dağılım haritası Şekil 4c ve Şekil 4d’de sunulmuştur. Ofiyolitik kayaçlarla etkileşim halinde olan suların pH’ı yüksek olurken karbonatlı kayaçlarla etkileşim halindeki suların pH’ı düşük olmaktadır (Yıldırım ve ark., 2020). Bununla birlikte yağışların pH’ının yediden düşük olduğu (~5,6) göz önünde bulundurulduğunda, yağışlı döneme ait suların pH’nın düşük olduğu gözlenmiştir. Suların Eh değerleri kurak dönemde -62,2 ile 2,7 mV, yağışlı dönemde ise -53,8–0,9 mV (Tablo 2) arasında değişmekte olup çalışma alanındaki dağılımı Şekil 4e ve Şekil 4f’de gösterilmiştir. Sıcaklık ve Eh ile ilişkili olan DO, kurak dönemde 5,0–8,9 mg/L, yağışlı dönemde ise 3,2–10,2 mg/L (Tablo 2) değer aralığında değişirken yağışlı dönemde DO değerleri yüksek seviyededir (Şekil 5a ve Şekil 5b). Soğuk suların sıcak sulara göre daha yüksek çözünüş oksijen tutma kapasitesinin olduğu bilinmekte olup (Sória ve ark., 2020), suların sıcaklığının düşmesinde ise yağış önemli bir yer tutmaktadır (Lakshmi ve Madhu, 2013). Tuzluluğun bir göstergesi olan EC’nin iki örnek dışında düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Yağışlı döneme (Şekil 5c) göre daha yüksek EC değerlerine sahip kurak dönem örneklerinin dağılımı (Şekil 5d) verilmiş olup iki

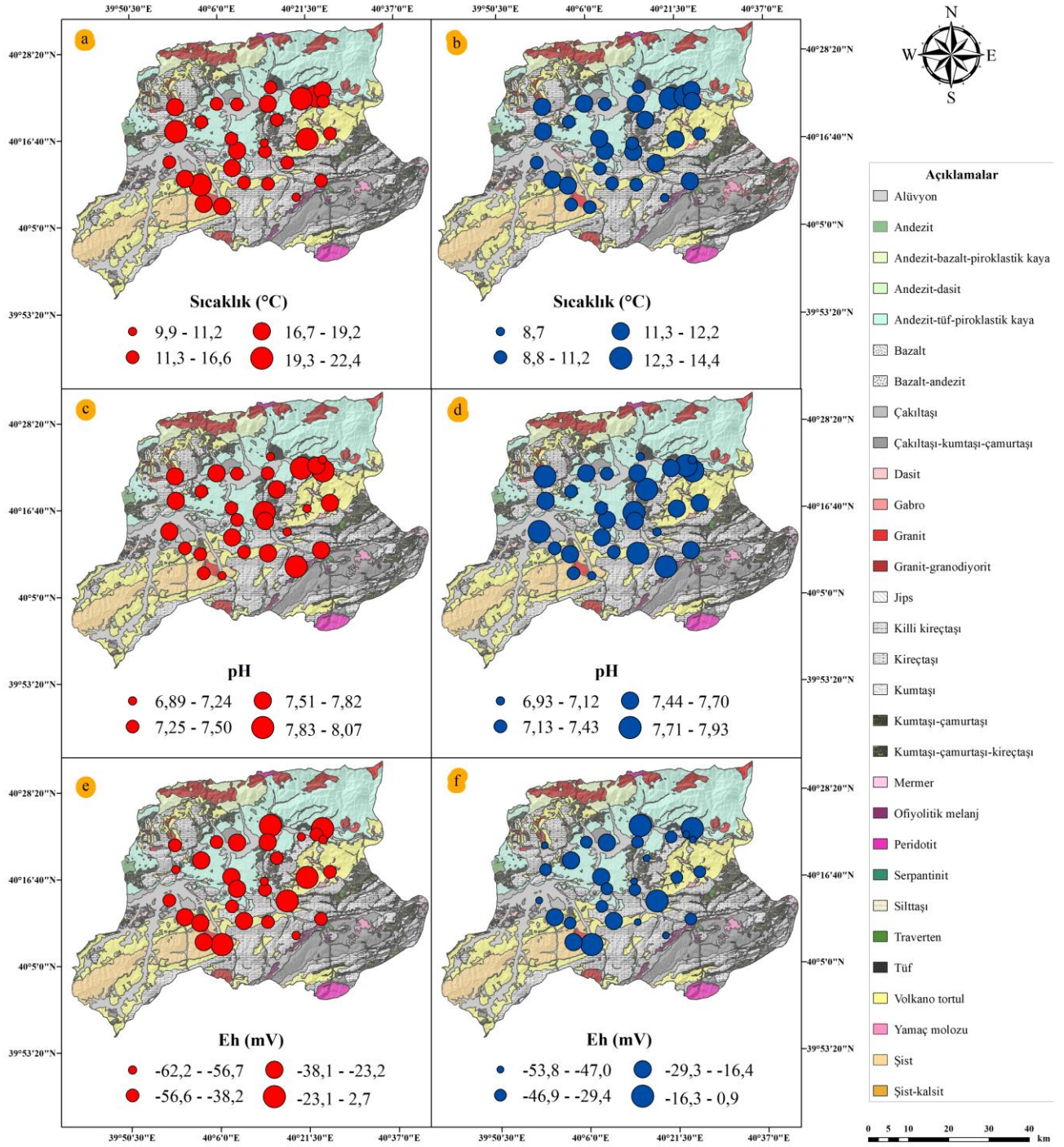
dönemin minimum ve maksimum değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda elde su kimyası verilerinde tüm örnekler için anyon-katyon dengeleri için hata oranı %5’in altında olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Kurak ($n=29$) ve yağışlı ($n=29$) dönem numunelerinin fizikokimyasal parametrelerine ve WQI değerlerine ait tanımlayıcı istatistikleri

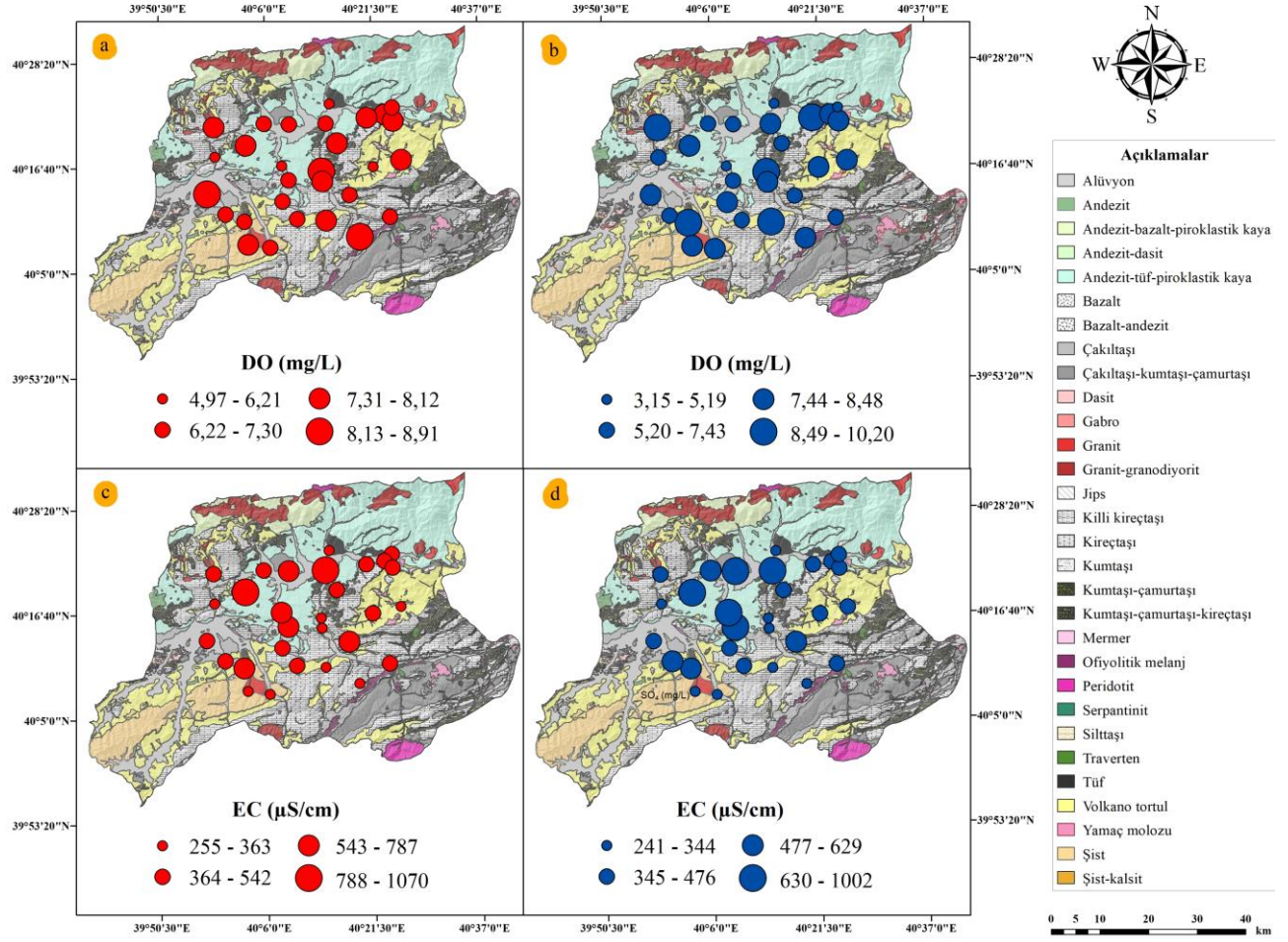
Parametre	Birim	Kurak Dönem				Yağışlı Dönem			
		En düşük	En yüksek	Ort.	Medyan	En düşük	En yüksek	Ort.	Medyan
Sıcaklık	°C	9,9	22,4	16,7	16,4	8,7	14,4	11,4	11,4
pH		6,89	8,07	7,57	7,61	6,93	7,93	7,54	7,56
Eh	mV	-62,2	2,7	-35,7	-38,2	-53,8	0,9	-32,4	-33,5
EC ^a	µS/cm	255	1070	490	426	241	1002	470	419
DO ^b	mg/L	5,0	8,9	7,3	7,3	3,2	10,2	7,6	8,0
Cl ⁻	mg/L	0,1	36,0	3,7	1,2	0,4	45,3	5,6	1,9
HCO ₃ ⁻	mg/L	129	555	238	222	111	444	217	210
F ⁻	mg/L	0,8	2,1	1,3	1,2	0,7	2,0	1,2	1,2
NO ₃ ⁻	mg/L	0,4	209,6	18,7	6,0	0,2	176,6	15,5	6,0
NO ₂ ⁻	mg/L	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
SO ₄ ⁻²	mg/L	6,0	63,0	18,9	11,0	2,0	68,0	18,7	9,0
Ca	mg/L	38,3	126,9	69,1	67,8	29,6	133,5	72,7	68,4
Mg	mg/L	2,3	52,1	18,1	16,5	2,5	56,3	17,6	15,9
Na	mg/L	0,5	117,4	17,2	10,9	1,1	73,4	15,9	9,8
K	mg/L	0,1	89,0	4,7	0,9	0,1	85,5	4,5	0,6
WQI ^c		52	122	79	75	44	113	72	70

Ort.: ortalama

^aelektriksel iletkenlik, ^bçözünmüş oksijen, ^cSu Kalitesi İndeksi,

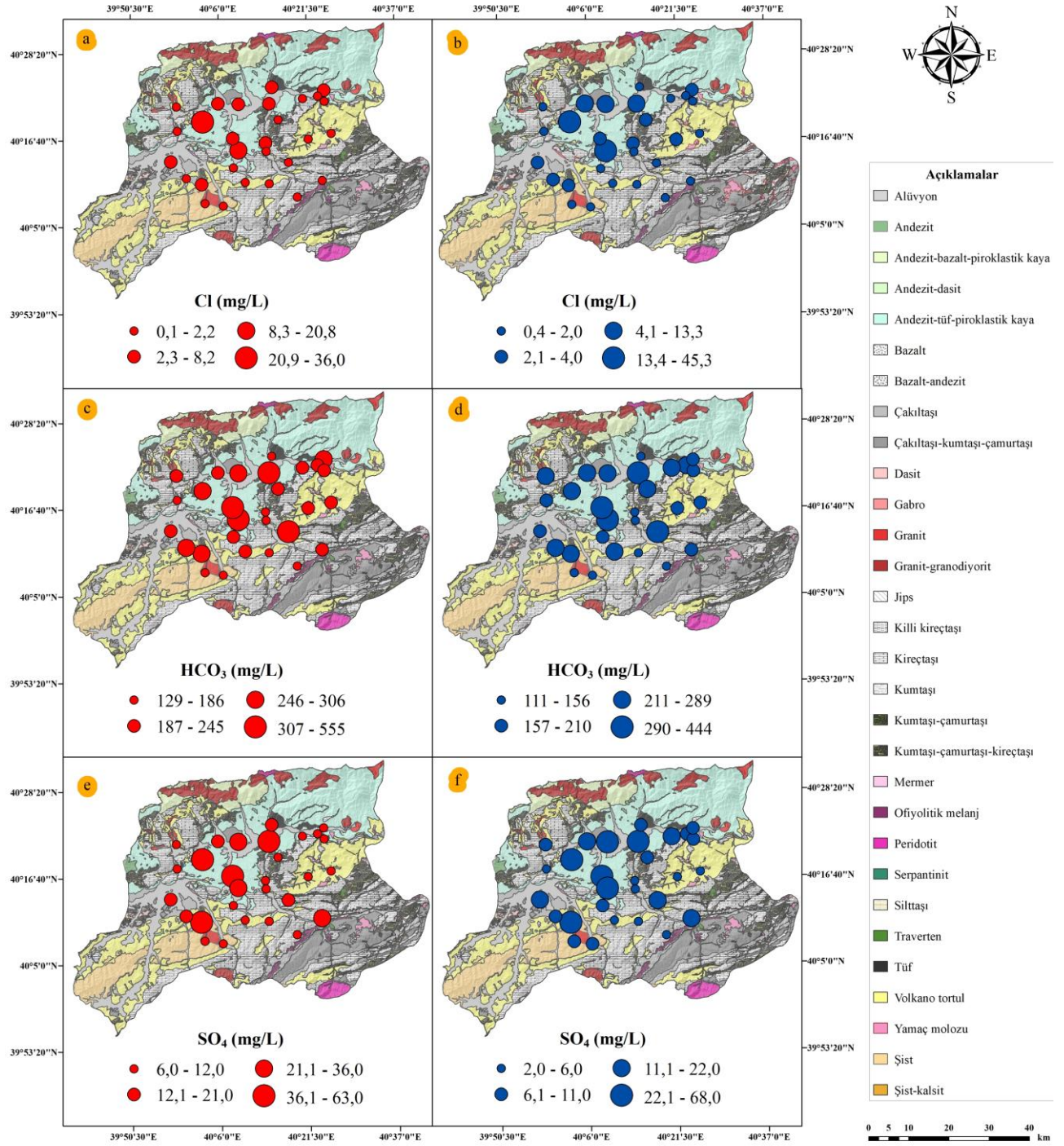


Şekil 4. Su numunelerine ait sıcaklık, pH ve Eh dağılım haritaları; kurak dönem (a, c, e), yağışlı dönem (b, d, f)

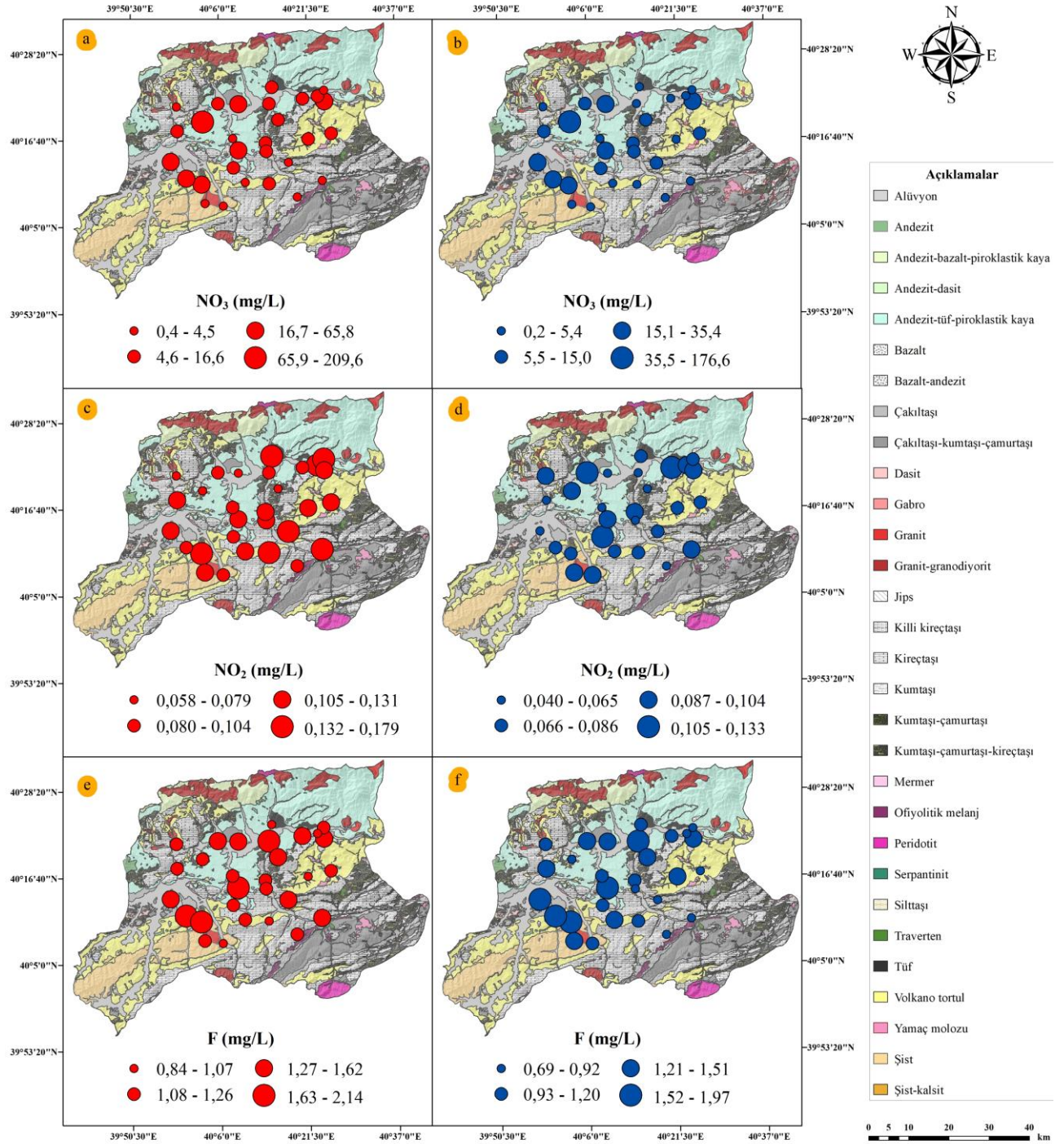


Şekil 5. Su numunelerine ait sıcaklık, DO ve EC dağılım haritaları; kurak dönem (a, c), yağışlı dönem (b, d)

Majör anyonların (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- ve F^-) kurak ve yağışlı dönem derişimleri Tablo 2’de sunulmuştur. Klorür derişimleri nispeten düşük (Şekil 6a ve Şekil 6b) olup bikarbonat derişimleri ise karbonatlı kayaçların yoğunluğuna bağlı olarak (Yıldırım ve ark., 2020) yüksek değerlere sahiptir (Şekil 6c ve Şekil 6d). Tortul kayaçların hâkim olduğu bölgelerde yüksek sülfat derişimleri gözlenmektedir (Şekil 6e ve Şekil 6f). Çoğu kaynak sularında görülen sülfatın kaynağı olarak jips minerali gösterilmektedir (Hem, 1985; White, 2010). Kurak döneme göre yağışlı dönemde nitrat (Şekil 7a ve Şekil 7b) ve nitrit (Şekil 7c ve Şekil 7d) değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Arazi kullanım/arazi örtüsü haritası incelendiğinde (Şekil 3b), yüksek derişimdeki nitrat tarımsal faaliyetlerin olduğu bölgelerde dağılım göstermektedir. Kurak dönem örnekleri yağışlı döneme göre daha yüksek florür derişimine sahip olup dağılımları Şekil 7e ve Şekil 7f’de görselleştirilmiştir.



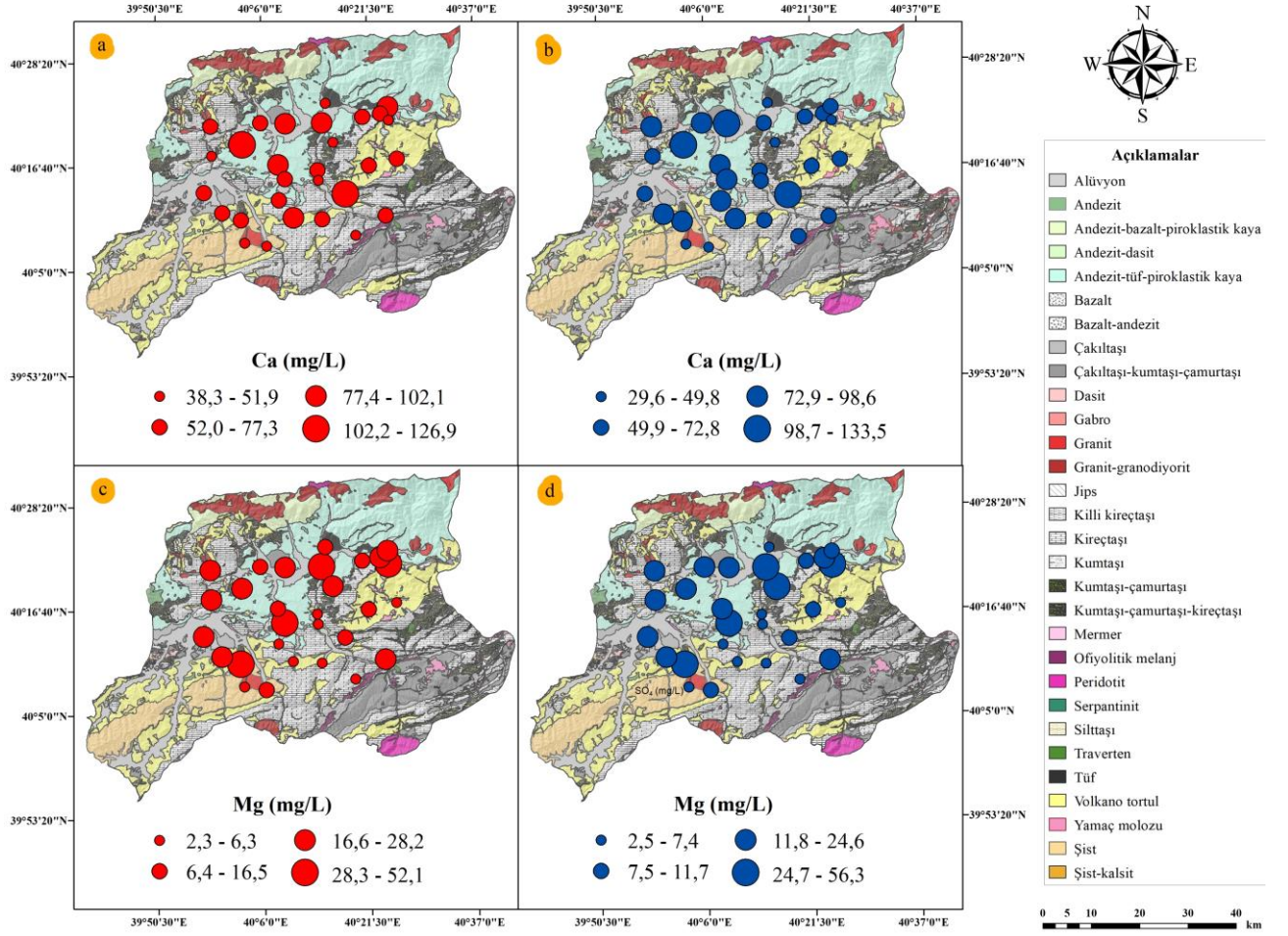
Şekil 6. Su numunelerine ait Cl⁻, HCO₃⁻ ve SO₄⁻ dağılım haritaları; kurak dönem (a, c, e), yağışlı dönem (b, d, f)



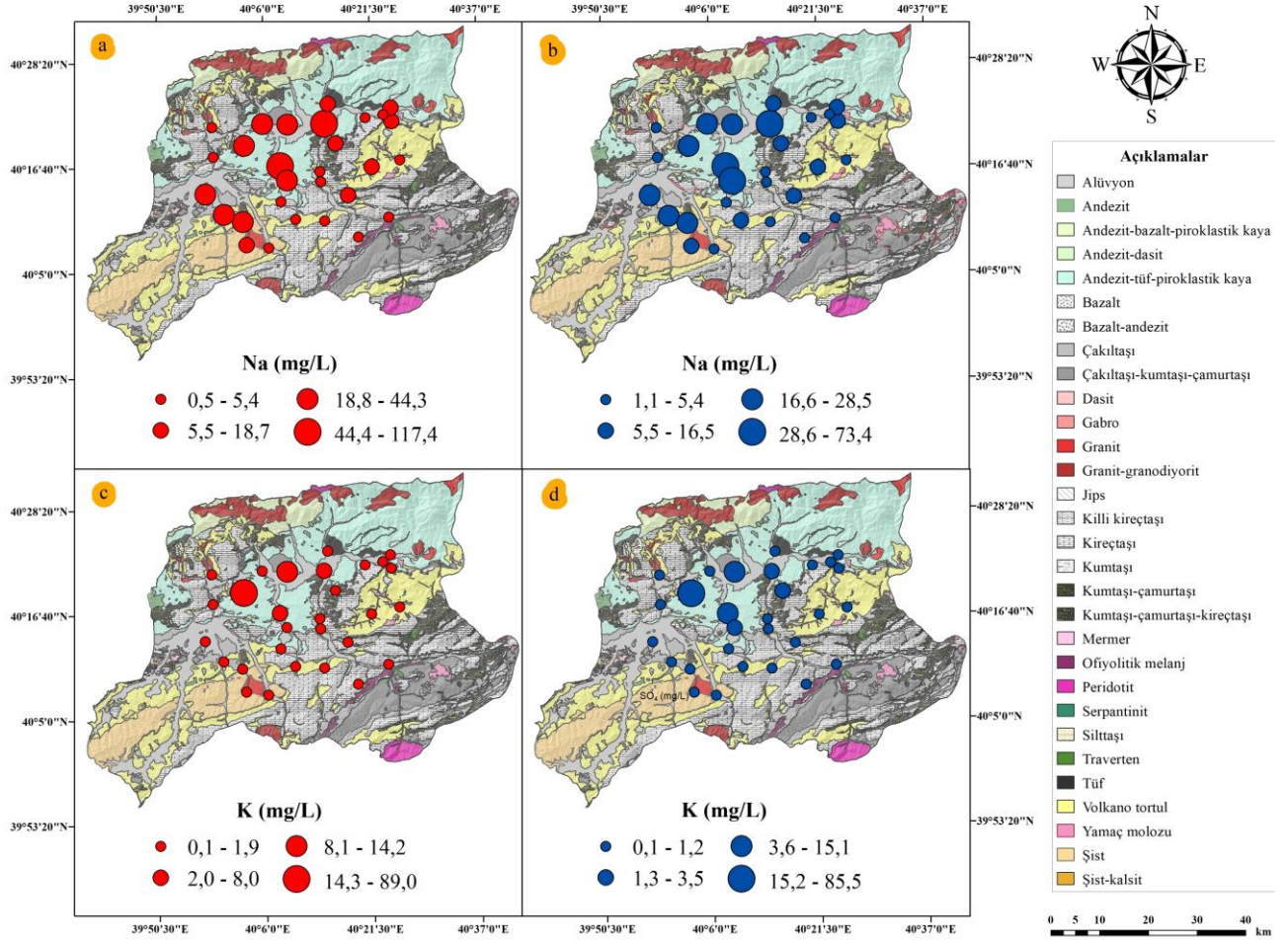
Şekil 7. Su numunelerine ait NO₃⁻, NO₂⁻ ve F⁻ dağılım haritaları; kurak dönem (a, c, e), yağışlı dönem (b, d, f)

Kurak ve yağışlı dönemlerdeki derişimlerinde kritik bir fark göstermeyen kalsiyum ve magnezyumun (Tablo 2) ana kaynağını karbonatlı kayaçlar (kireçtaşı ve dolomit gibi) oluşturmaktadır (White, 2010). Çalışma alanındaki yüksek kalsiyum (Şekil 8a ve Şekil 8b) ve magnezyum (Şekil 8c ve Şekil 8d) derişimleri karbonatlı kayaçlarla etkileşim halinde olan sularda gözlenmiştir. Majör katyonlardan sodyumun kurak dönem örneklerindeki derişimi 0,5–117,4 mg/L arasında değişirken yağışlı dönem örneklerindeki derişimi 1,1–73,4 mg/L arasında değişmektedir (Tablo 2). Yağışların ve beslenme miktarının etkisiyle yağışlı dönem örneklerinin sodyum derişimleri daha düşük seviyelerdedir (Şekil 9a

ve Şekil 9b). Potasyum derişimleri kurak dönemde 1,1–89,0 mg/L, yağışlı dönemde ise 0,1–85,5 mg/L aralığında değerler almaktadır (Tablo 2). Kurak ve yağışlı döneme ait su örneklerinin potasyum dağılım haritası Şekil 9c ve Şekil 9d’de gösterilmiştir.

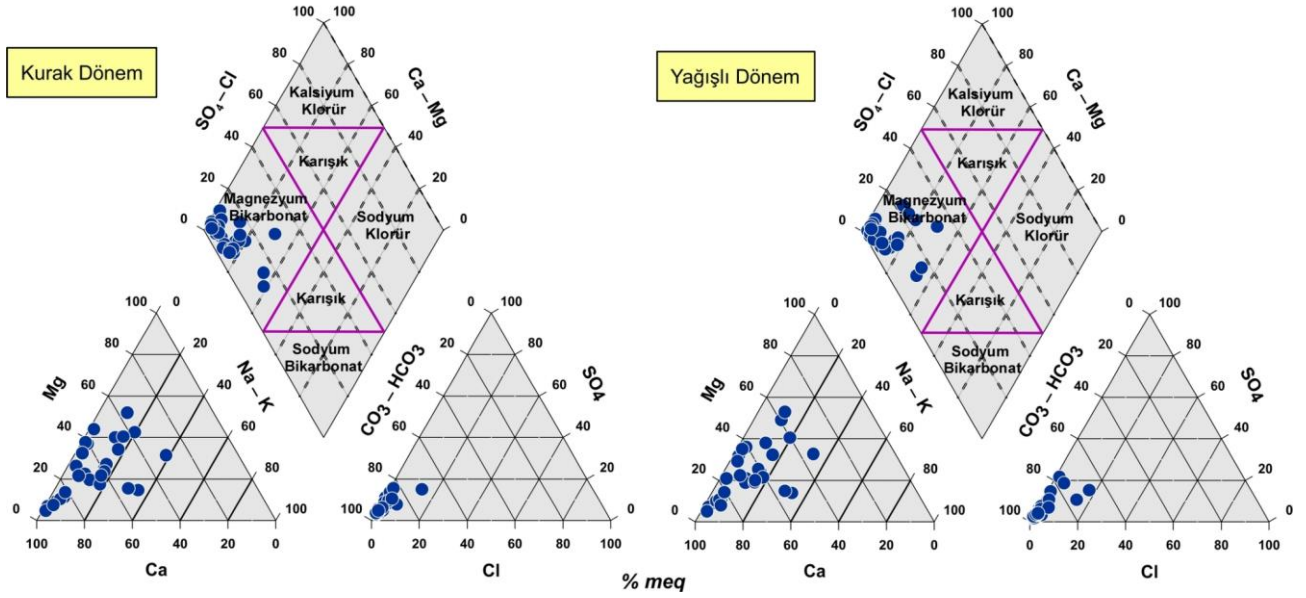


Şekil 8. Su numunelerine ait Ca ve Mg dağılım haritaları; kurak dönem (a, c), yağışlı dönem (b, d)



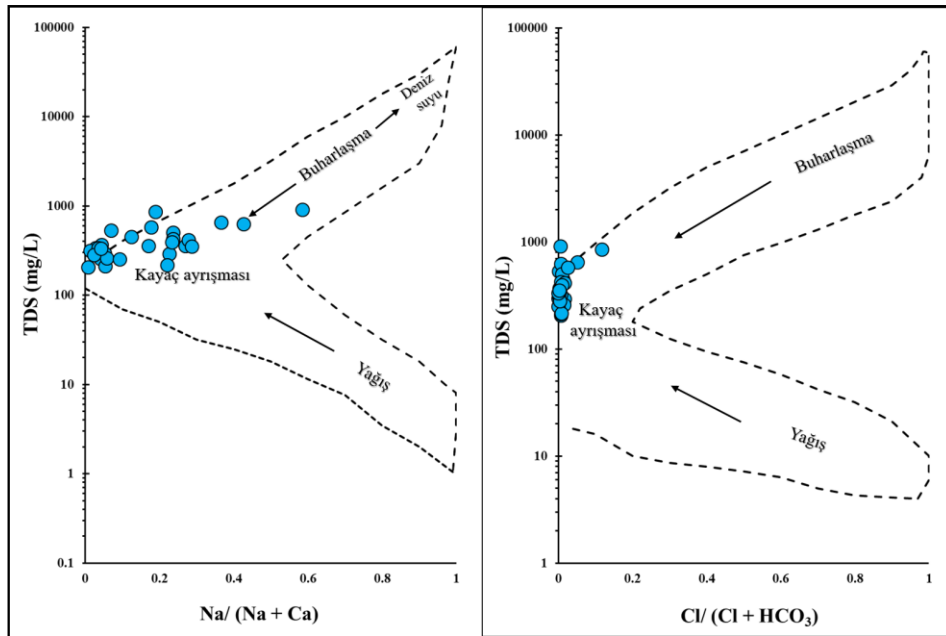
3.2. Hidrojeokimyasal Sınıflandırma

Kurak ve yağışlı dönem su örneklerinin fasiyeslerini belirlemek amacıyla oluşturulan Piper diyagramının (Şekil 10) katyon üçgeni incelendiğinde örneklerin büyük bir çoğunluğu “kalsiyum tipi” sular sınıfında olup kurak dönem örneklerinin beşi, yağışlı dönem örneklerinin ise dördü “karışık tip” sular sınıfındadır. Anyon üçgeni ele alındığında, her iki dönem örneklerinin tümü “bikarbonat+karbonat tipi” suları temsil etmektedir. Katyon ve anyon üçgenin birleşimini yansıtan elmas şeklin içeriğine göre her iki dönem örneklerinin tamamı “kalsiyum-magnezyum-bikarbonat tipi” fasiyesindedir.

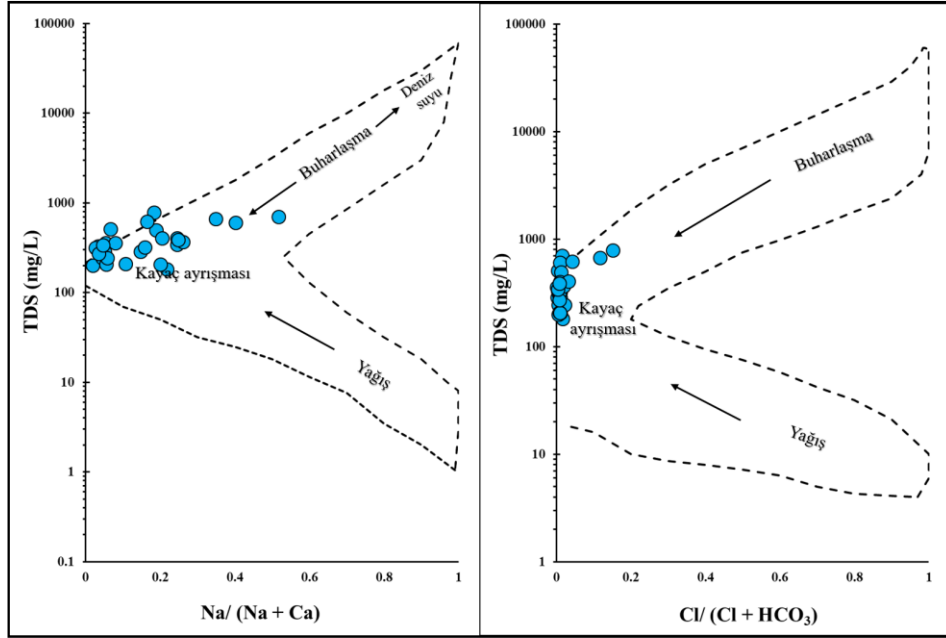


Şekil 10. Su numunelerine ait Piper diyagramı

Suyun bileşimine etki eden faktörleri ortaya koyan Gibbs diyagramında yağış baskınlığı, kayaç ayrışması (su-kayaç etkileşimi) ve buharlaşma faktörleri temel alınmaktadır (Gibbs, 1970). Doğal kaynak su örneklerinin genelinde su-kayaç etkileşimi baskındır (Şekil 11 ve Şekil 12). Karbonat minerallerinin baskın olduğu durumlarda daha düşük $Na/(Na+Ca)$ oranı gözlenirken nispeten daha yüksek $Na/(Na+Ca)$ oranları silikatlı kayalara işaret etmektedir (Banks ve Frengstad, 2006).



Şekil 11. Su numunelerine ait Gibbs diyagramı (kurak dönem)

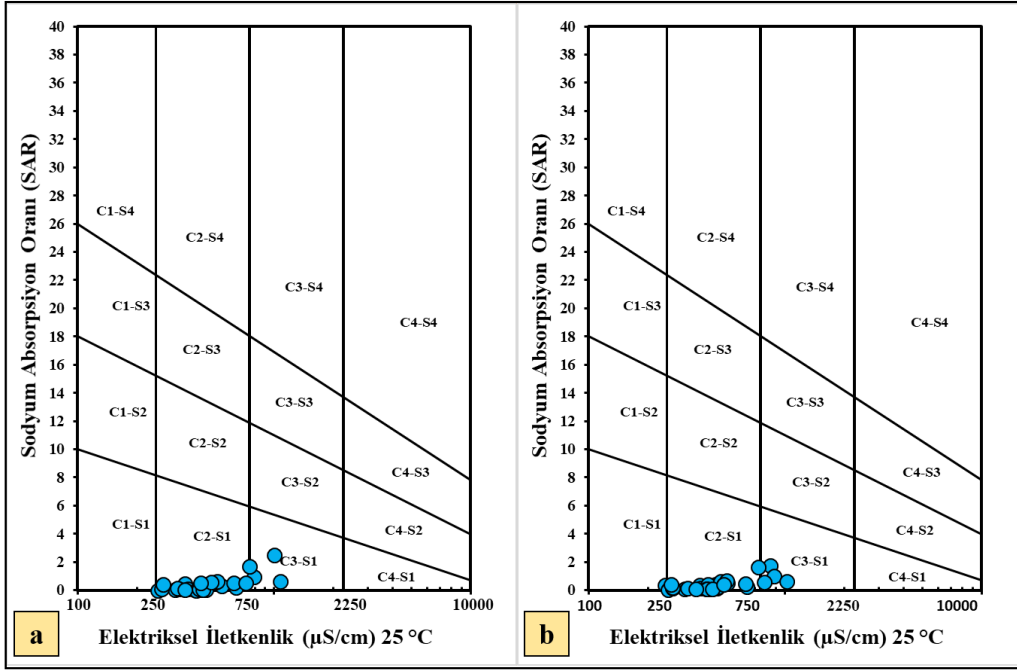


Şekil 12. Su numunelerine ait Gibbs diyagramı (yağışlı dönem)

Mevcut suların bünyesinde tuz gibi istenmeyen maddelerin bulunması, suların sulama amaçlı kullanımlarını sınırlamaktadır. Yüksek çözünmüş sodyum konsantrasyonları içeren sulama suyu, sodyumun toprakta bulunan killere adsorbe olan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının yerini alabilmesi nedeniyle sızma sorunları yaratmaktadır (Fetter, 2001). Suların sulama suyu olarak ve hangi tür çevresel ortamda kullanılabilirliklerinin değerlendirildiği ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı, $\mu\text{S}/\text{cm}$ cinsinden elektriksel iletkenliği ve Denklem 6'da verilen Sodyum Adsorpsiyon Oranını (SAR) esas almaktadır (USSLS, 1954). SAR, sulama sularındaki yüksek sodyum ve düşük kalsiyum derişimleri nedeniyle toprağın geçirgenliği azaltılabileceğinden sodyum (alkali) tehlikesini ifade etmektedir (Todd, 1980). Denklem 6'da kullanılan iyonların birimi meq/L 'dir.

$$SAR = Na \div \sqrt{((Ca + Mg) \div 2)} \quad (6)$$

SAR oranı ile sodyum doğru orantılı olup sodyum ne kadar yüksek ise SAR'da o kadar yüksek olmaktadır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre çalışma alanından elde edilen kurak ve yağışlı döneme ait doğal kaynak suları C2-S1 ve C3-S1 sınıfındadır (Şekil 13a ve Şekil 13b). C2 sular orta derece tuzluluğu temsil etmekte olup orta derece tuzdan etkilenmeyen bitkilerde kontrole gerek duyulmadan kullanılabilir. Yüksek tuzluğu temsil eden C3 suları, drenajı kısıtlı topraklarda kullanılmazken tuz kontrolü için özel yönetim gerekmektedir. S1 sular düşük sodyumlu sular sınıfında olup hemen hemen bütün toprak ve bitkilerde sulama amaçlı kullanılabilir.

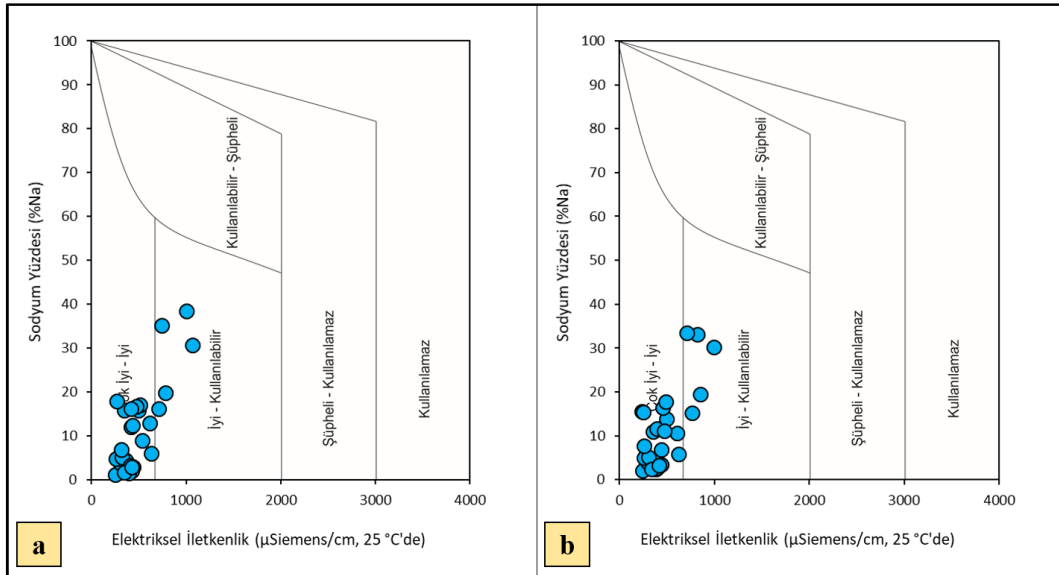


Şekil 13. (a) Kurak dönem ve (b) yağışlı dönem numunelerine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı

Suların sulama amaçlı kullanılabilirliklerinin değerlendirildiği bir diğer diyagram Wilcox diyagramıdır. Bu diyagramın X eksenini elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değeri, Y eksenini ise sodyum yüzdesi (%Na) oluşturmaktadır. Sodyum yüzdesi Denklem 7’de verilen formül ile hesaplanmakta olup formülden kullanılan birim meq/L’dir. Wilcox (1948)’e göre sodyum yüzdesi %80’in üzerinde olan sular sulama için uygun bulunmamaktadır.

$$\%Na = ((Na + K) \div (Ca + Mg + Na + K)) \times 100 \quad (7)$$

Kurak ve yağışlı dönem örneklerinin beşi “iyi-kullanılabilir” su sınıfında olup geriye kalan örneklerin tümü “çok iyi-iyi” sınıfındadır (Şekil 14a ve Şekil 14b).



Şekil 14. (a) Kurak dönem ve (b) yağışlı dönem numunelerine ait Wilcox diyagramı

3.3. Su Kalitesi

Su Kalitesi İndeksi (WQI), “mükemmel su” (WQI<50), “iyi su” (50<WQI<100), “kötü su” (100<WQI<200), “çok kötü su” (200<WQI<300) ve “içme amacına uygun olmayan su” (WQI>300) olmak üzere beş sınıfa ayrılmaktadır (Ramakrishnalah ve ark., 2009). Çalışma alanındaki doğal kaynak sularına uygulanan WQI yöntemine göre kurak dönem örneklerinin 25’i “iyi su”, dördü “kötü su” sınıfındadır (Şekil 15a). Kurak dönemde gözlenmeyen “mükemmel su” sınıfına yağışlı dönemde dört örnek dahil olmuştur. Kurak dönemdeki “kötü su” sınıfına dahil olan örnekler yağışlı dönemde de bu sınıfta yer almaktadır (Şekil 15b). Yağışlı dönemdeki geriye kalan örneklerin ($n=21$) tümü “iyi su” sınıfındadır. TDS, NO_3^- , F ve TH’ın yüksek derişimlerine sahip suların “kötü su” sınıfında olduğu belirlenmiştir. Sulardaki nitrat’ın başlıca kaynağını antropojenik etkenler (tarımsal, septik sistemler gibi) ve hayvansal atıklar oluşturmaktadır (Güler ve ark., 2017; Ji ve ark., 2018). Kötü su sınıfındaki sular tarımsal ve ekilebilir alanlarda dağılım göstermiştir (Şekil 15a ve Şekil 15b). Suda çözülmüş kalsiyum ve magnezyumun miktarını yansıtan TH’ın yüksek olduğu alanlarda karbonatlı kayalar yayılım göstermektedir.

Ağır Metal Değerlendirme İndeks (HEI) sonuçlarına göre sular üç sınıfa ayrılmaktadır. HEI değerleri 400’den küçük olan sular “düşük kirlilik” sınıfına, 400 ile 800 arasındaki sular “orta kirlilik” sınıfına ve 800’den büyük değerlere sahip sular ise “yüksek kirlilik” sınıfına ait olmaktadır (Edet ve Offiong, 2002). HEI değeri 800’den yüksek olan sular, kalite ve insan sağlığı açısından önemli riskler barındırmaktadır (Badeenezhad ve ark., 2023). Çalışma alanından alınan su örneklerinin kurak dönemdeki HEI değerleri 59 ile 2920 arasında değişirken, yağışlı dönemde bu değerler azalış göstererek 43 ile 2832 arasında değişmiştir (Tablo 3). Ayrıca, HEI hesaplamalarında kullanılan ağır metallerin istatistikleri de Tablo 3’de verilmiştir. Buna göre, genel anlamda su örneklerinin HEI’de kullanılan ağır metal derişimlerinde azalış gözlenirken arsenik ve demir içeriklerinin ortalama olarak arttığı belirlenmiştir. Bu artışın ise bölgedeki su-kayaç etkileşimine bağlı olarak meydana geldiği düşünülmüştür.

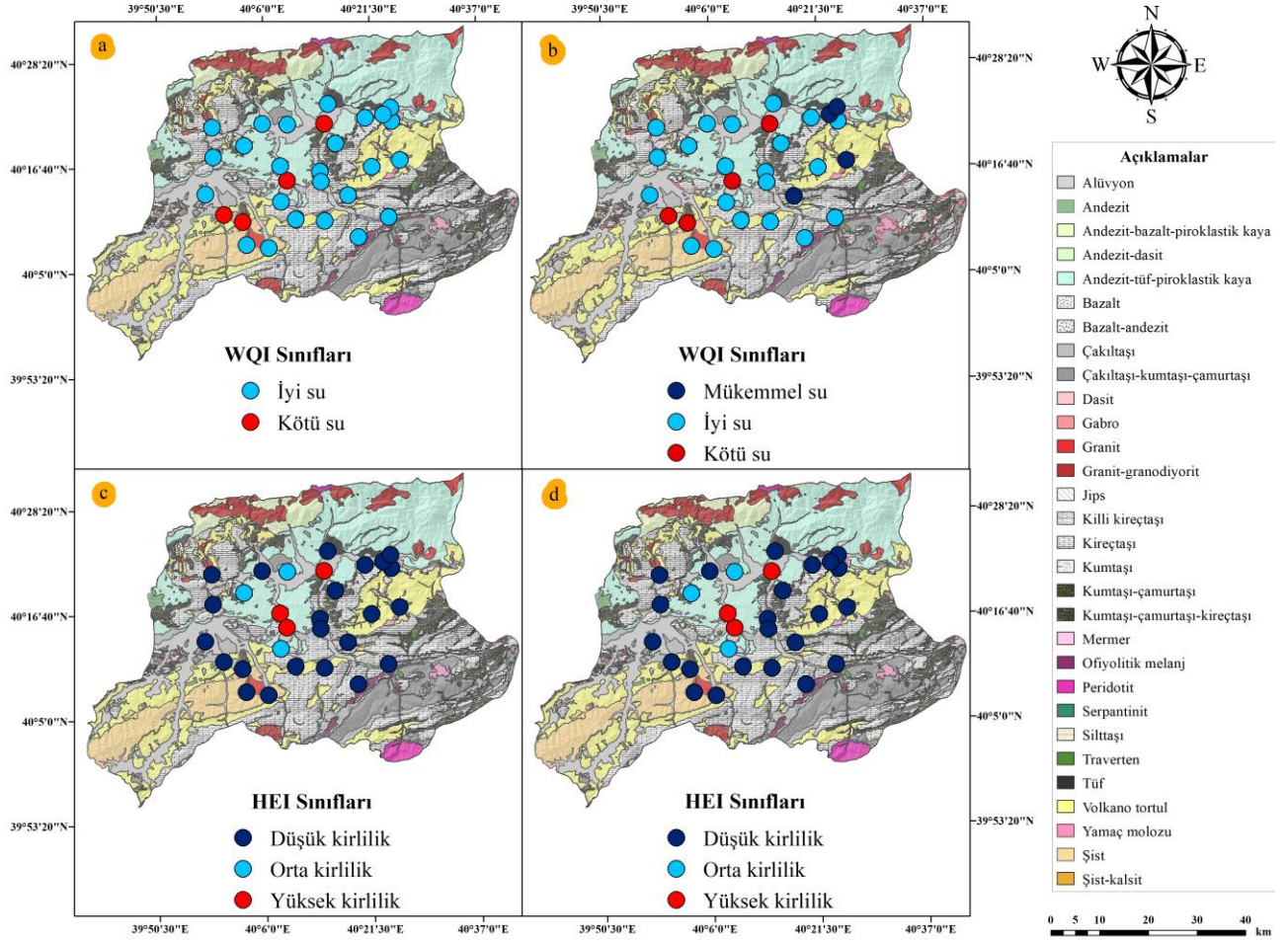
Çalışma alanının her iki dönemine ait su örneklerinin üçünde yüksek kirlilik, üçünde orta kirlilik ve 23’ünde ise düşük kirlilik gözlenmiştir (Şekil 15c ve Şekil 15d). Ağır metaller açısından yüksek kirlilik gösteren suların arsenik derişimleri yüksektir. Arseniğin jeojenik kaynaklı olduğu kuvvetle muhtemel olup arsenik kirliliğinin görüldüğü noktaların litolojisinin tortul kayalar oluşturmaktadır (Şekil 15c ve Şekil 15d). Bu tortul kayalar volkanik kökenli olup Eosen yaşlı volkano-tortul kayaç olarak adlandırılmaktadır (MTA, 2002a; MTA, 2002b). Yapılan bir çalışmada benzer şekilde yüksek arsenik derişimine sahip suların, Eosen yaşlı volkanik ürünlerle etkileşime girdiği tespit edilmiştir (Biçgel ve ark., 2021).

Tablo 3. Kurak (n=29) ve yağışlı (n=29) dönem numunelerinin ağır metal derişimlerine ve HEI değerlerine ait tanımlayıcı istatistikleri

Parametre	Birim	Kurak Dönem				Yağışlı Dönem			
		En düşük	En yüksek	Ort.	Medyan	En düşük	En yüksek	Ort.	Medyan
Ba	µg/L	8,9	183,6	71,9	65,8	6,2	245,2	74,6	57,6
Cr	µg/L	0,00	2,69	0,32	0,14	0,00	2,54	0,28	0,06
Cu	µg/L	0,00	1,48	0,54	0,51	0,05	1,27	0,50	0,51
Ni	µg/L	0,00	6,90	0,35	0,00	0,04	3,11	0,31	0,14
Sb	µg/L	0,00	0,40	0,05	0,01	0,02	0,32	0,05	0,03
As	µg/L	0,16	27,04	3,22	0,93	0,25	26,88	3,43	1,01
Fe	µg/L	0,00	33,16	2,45	0,24	0,40	65,05	9,01	2,32
Mn	µg/L	0,03	2,49	0,28	0,16	0,00	2,52	0,31	0,10
Zn	µg/L	0,00	3,45	0,30	0,09	0,01	0,97	0,17	0,13
HEI ^d		59	2920	403	179	43	2832	416	170

^dAğır Metal Değerlendirme İndeksi

İçme sularında izin verilen maksimum değerleri aşan parametreler nitrat, florür, arsenik ve bor'dur. Bu parametreler belirlenirken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standardı (TS 266) referans alınmıştır. Yüksek derişimde nitratlı suya maruz kalan bebeklerde "mavi bebek" olarak adlandırılan hastalık görülmektedir (WHO, 2022). Bu durum kandaki oksijen miktarının azalmasına bağlı olarak bebeklerde görülen renk değişikliğinin bir sonucudur. Sulardaki yüksek florür miktarları, ilk düzeyde dental fluorozis (dişlerde lekelenmeler) görülürken daha ileri düzeylerde bu hastalık iskelet sistemine taşınmaktadır (WHO, 2022). İyi bilinen toksik elementlerden arsenik üç örnekte sınır değeri aşmış olup bir örnekteki derişimi sınır değerin 2,5 katından fazladır. İçme suyu yoluyla yüksek düzeyde arsenik tüketiminin kanser gelişimiyle nedensel olarak ilişkili olduğuna dair çok güçlü kanıtlar bulunmaktadır (WHO, 2022). Borik asit veya boraksa kısa ve uzun süreli oral yolla maruz bırakılan erkek laboratuvar hayvanlarının üreme sisteminin olumsuz etkilendiğini kanıtlanmıştır. (WHO, 2022). Bununla birlikte borun zararlı etkisine yetişkinler kusma, ishal ve baş ağrısı ile tepki verirken çocuklarda ise havale, kanama gibi beyin zarı tahribi görülmektedir (Demirtaş, 2010).



Şekil 15. Su numunelerine ait WQI ve HEI dağılım haritaları; kurak dönem (a, c), yağışlı dönem (b, d)

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, Bayburt il merkezinde ve yakın çevresindeki 29 noktadan su örneği alınmıştır. Bu örnekler doğal kaynak suyu olarak nitelendirilmekte olup içme amacının yanında sulama suyu olarak da kullanılmaktadır. Su örnekleme ve analizleri kurak ve yağışlı dönemleri temsil edecek şekilde iki dönemde tamamlanmıştır. Suların “bikarbonat+karbonat” tipinde olduğu, bileşimlerini etkileyen en önemli faktörün ise su–kayaç etkileşimi olduğu belirlenmiştir.

Suların sulama suyu olarak kullanımı açısından çok fazla risk oluşturmayacağı, tuzluluğa hassas bitki ve topraklarda kullanılabilmesi ortaya koyulmuştur. İçme suyu olarak kullanım açısından, suların kalitesi WQI ve HEI yöntemleri ile değerlendirilmiştir. WQI değerlerine göre kurak dönem örnekleri “iyi su” ve “kötü su” olarak iki sınıfa ayrılırken yağışlı dönem örnekleri ise “mükemmel su”, “iyi su” ve “kötü su” olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Her iki dönem örneklerinin HEI değerleri suları üç sınıfa ayırmış olup her iki dönemde de “düşük kirlilik”, “orta kirlilik” ve “yüksek kirlilik” gözlenmiştir. Yüksek kirliliğe neden olan parametrenin arsenik olduğu tespit edilmiştir.

WHO ve TS 266 içme suları kılavuzları referans alınarak değerlendirilen bazı örneklerde nitrat, florür, arsenik ve bor parametreleri sınır değerleri aşmıştır. Özellikle arseniğin bir örnekte sınır değerinin 2,5 katından fazla derişimde olduğu vurgulanmıştır. Sınır değeri aşan parametrelerin yaratacağı riskler

önceki bölümde detaylandırılmıştır. Bu suların özellikle içme amacıyla kullanılması kısıtlanmalı takibi yapılarak sulama amacıyla kullanılması teşvik edilmelidir. Yerel yönetim ile iş birliği içinde olunmalı ve yöre halkının daha temiz su kaynaklarına ulaşması sağlanmalıdır. Ayrıca, yerinde arıtma yöntemlerinin kullanılarak kirli kaynakların içme-kullanma amaçlarına uygun hale getirilmesi de sağlanabilir. Bununla birlikte uzun yıllar bu suları tüketen insanların sağlık taramalarının yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya sağladığı maddi katkıdan ötürü (Proje Kod No: 2023/69004-01) Bayburt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz. Bu makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı, editör ve hakemlere teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışma 15-17 Mayıs 2024 tarihleri arasında Bayburt Üniversitesi tarafından organize edilen “International Congress on Multidisciplinary Approaches in Agricultural Sciences (ASMAC)” kongresinde sözlü sunum olarak sunulmuş ve özet metin olarak kongre kitabında yayınlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Adimalla N. Controlling factors and mechanism of groundwater quality variation in semiarid region of South India: an approach of water quality index (WQI) and health risk assessment (HRA). *Environmental Geochemistry and Health* 2019; 42: 1725-1752.
- Aly AA., Alharby MM. The water quality index and hydrochemical characterization of groundwater resources in hafar albatin, saudi arabia. *Arabian Journal of Geosciences* 2014; 8(6): 4177-4190.
- Arslan M., Aslan Z., Dokuz A. Bayburt tüflerinin petrografik, petrokimyasal ve petrolojik özellikleri: Doğu Pontid Güney Zonu'nda Eosen kalkalkalen felsik volkanizması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2005; 20(1): 49-68.
- Appelo CAJ., Postma D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2nd ed. Netherlands: A.A. Balkema Publishers; 2005.
- Aydın H., Ustaoglu F., Tepe Y., Soylu EN. Assessment of water quality of streams in Northeast Turkey by water quality index and multiple statistical methods. *Environmental Forensics* 2020; 22(1-2): 270-287.
- Badeenezhad A., Soleimani H., Shahsavani S., Parseh I., Mohammadpour A., Azadbakht O., Javanmardi P., Faraji H., Nalosi KB. Comprehensive health risk analysis of heavy metal pollution

- using water quality indices and Monte Carlo simulation in R software. *Scientific Reports* 2023; 13: 15817.
- Banks D., Frengstad B. Evolution of groundwater chemical composition by plagioclase hydrolysis in Norwegian anorthosites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2006; 70(6): 1337-1355.
- Biçgel BF., Kurt MA., Yıldırım Ü., Güler C., Güven O. Sivas Havzasındaki Eosen volkanizmasından kaynaklanan arsenik kirliliği: Yalınca köyü (Hafik, Sivas) eski içme suyu kaynağı. *NÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi* 2021; 10(2): 511-519.
- Birinci S. Bayburt ilinin coğrafyası. Atatürk Üniversitesi Yayınlanmamış Doktora Tezi, sayfa no:353, Erzurum, Türkiye, 2013.
- Brown RM., McClelland NI., Deininger RA., Tozer RG. Water quality index-do we dare? *Water Sewage Works* 1970; 117(10): 339-343.
- Carbon D. Linking water stress and measures of crisis management - A systematic review of emergency drinking water management in Germany. *Journal of Environmental Management* 2024; 359: 120901. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120901>
- Chauhan JS., Badwal T., Badola N. Assessment of potability of spring water and its health implication in a hilly village of Uttarakhand, India. *Applied Water Science* 2020; 10(2): 73.
- Chung SK., Senapathi V., Kim TH., Kim DS., Ramkumar T. Influence of hydrogeochemical processes and assessment of suitability for groundwater uses in Busan city, Korea. *Environment, Development and Sustainability* 2015; 17(3): 423-441.
- Demirtaş A. Bor'un insan beslenmesi ve sağlığı açısından önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2010; 41(1): 75-80.
- Dumaru B., Kayastha SP., Pandey VP. Spring water assessment for quality and suitability for various uses: the case of Thuligaad watershed, western Nepal. *Environmental Earth Sciences* 2021; 80(17): 586.
- Edet AE., Offiong OE. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring a study case from Akpabuyo-Odukpani area, lower cross river basin Nigeria. *GeoJournal* 2002; 57: 295-304.
- EEA (European Environment Agency). CORINE land cover 2018 (vector/raster 100 m), Europe, 6-yearly. <https://land.copernicus.eu/paneuropean/corine-landcover/clc2018?tab=download>. Erişim Tarihi: 11.07.2024
- Fetter CW. *Applied hydrogeology*, 4th ed. NJ: Prentice Hall, Inc; 2001.
- Fırat Ersoy A., Hatipoğlu Temizel E. Karadere Deresi'nin (Araklı-Trabzon) içme ve sulama suyu amaçlı kullanım uygunluğunun incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2022; 8(2): 238-249.
- Ghanem M., Ahmad W., Keilan Y., Sawaftah F., Schelster L., Schuettrumpf H. Spring water quality in the central West Bank, Palestine. *Journal of Asian Earth Sciences*: X 2021; 5(45): 100052.
- Gibbs JR. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 1970; 1088-1090.

- Güler C., Geoffrey DT., Tağa H., Yıldırım Ü. Process governing alkaline groundwater chemistry within a fractured rock (Ophiolitic Mélange) aquifer underlying a seasonally inhabited headwater area in the Aladağlar Range (Adana, Turkey). *Geofluids* 2017; 1: 1-22. <https://doi.org/10.1155/2017/3153924>
- Gültekin F., Dilek R. Gümüşhane yöresi mineralli su kaynaklarının iz element ve radyoaktivite içerikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 2005; 29(1): 36-43.
- Hem JD. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 4th ed. VA: U.S. Geological Survey Water Supply Paper; 1985.
- Jasik M., Małek S., Żelazny M. Effect of water stage and tree stand composition on spatiotemporal differentiation of spring water chemistry draining Carpathian flysch slopes (Gorce Mts). *Science of the Total Environment* 2017; 599-600: 1630-1637.
- Ji X., Wu RT., Long L., Guo C., Khashab NM., Huang F., Sessler JL. Physical removal of anions from aqueous media by means of a macrocycle-containing polymeric network. *J Am Chem Soc.* 2018; 140(8): 2777-2780.
- Keskin İ., Korkmaz S., Gedik İ., Ateş M., Gök L., Küçümen Ö., Erkal T. Bayburt dolayının jeolojisi. MTA Raporu (Derleme No: 8995); 1989.
- Ketin İ. Türkiye'nin orojenik gelişmesi. *MTA Dergisi* 1959; 53: 78-86.
- Lakshmi E., Madhu G. Trends in hydro-climatic variables and dissolved oxygen of the river Periyar, South India with potential impacts of global warming. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 2013; 172: 387-396.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). Resmi istatistikler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BAYBURT>. Erişim Tarihi: 18.07.2024
- MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü). 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Erzurum Paftası. Jeoloji Etüt Dairesi Başkanlığı; 2002a.
- MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü). 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Trabzon Paftası. Jeoloji Etüt Dairesi Başkanlığı; 2002b.
- Nguyet VTM., Goldscheider N. Tracer tests, hydrochemical and microbiological investigations as a basis for groundwater protection in a remote tropical mountainous karst area, Vietnam. *Hydrogeology Journal* 2006; 14(7): 1147-1159.
- Pant RR., Zhang F., Rehman UF., Wang G., Ye M., Tang H. Spatiotemporal variations of hydrogeochemistry and its controlling factors in the Gandaki River Basin, Central Himalaya Nepal. *Science of the Total Environment* 2018; 622-623: 770-782.
- Piper AM. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Eos Transactions American Geophysical Union* 1944; 25(6): 914-928.

- Ramakrishnalaha CR., Sadas Hivalaha C., Ranganna G. Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka state, India. *European Journal of Chemistry* 2009; 6(2): 523-530.
- Salehi M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International* 2022; 158. .
- Semiz Ü., Gücer MA., Alemdağ S. Şiran (Gümüşhane) İlçe Merkezi su kaynaklarının kalitesi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2021; 7(1): 59-74.
- Shigut DA., Liknew G., Irge DD., Ahmad T. Assessment of physico-chemical quality of borehole and spring water sources supplied to Robe Town, Oromia region, Ethiopia. *Applied Water Science* 2017; 7: 155-164.
- Sipahi F., Uslu S. Investigation of the quality and physical-geochemical characteristics of the drinking water in Gümüşhane (Turkey) city central. *Arabian Journal of Geosciences* 2016; 9(12): 600.
- Sória M., Tavares VEQ., Pinto MAB., Stumpf L., Zarnott D., Bubolz J., Nörenberg BG. Evaluation of physicochemical water parameters in watersheds of southern Brazil. *Revista Ambiente & Água* 2020; 15(5): 1-11.
- T.C. Bayburt Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. Bayburt ili 2023 yılı çevre durum raporu. Bayburt; 2024.
- Todd DK. Groundwater hydrology. 2nd ed. NY: Wiley; 1980.
- TS 266 (Türk Standardı). Sular - İnsani tüketim amaçlı sular. Türk Standartları Enstitüsü; 2005.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>. Erişim Tarihi: 18.07.2024
- EPA (Environmental Protection Agency). Factsheets on water quality parameters. 2021; <https://www.epa.gov/awma/factsheets-water-quality-parameters>. Erişim Tarihi: 21.07.2024.
- United Nations, The United Nations world water development report. Groundwater: making the invisible visible. Paris: UNESCO; 2022.
- USSLS (United States Salinity Laboratory Staff). Diagnosis and improvement of saline alkali soils, agriculture, US Department of Agriculture; 1954.
- Van A., Yalçınalp B. Kuşkayası (Otlukbeli - Erzincan) manganez yatağının jeolojik yerleşimi ve jeokimyasal özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 2010; 34(1): 41-55.
- White WB. Springwater geochemistry. In: Kresic N., Stevanovic Z (ed.), *Groundwater hydrology of springs*. Butterworth-Heinemann; 2010; 231-268.
- Wilcox LV. The quality of water for irrigation use. US Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 962, sayfa no: 40, Washington, D.C., 1948.
- WHO (World Health Organization). Guidelines for drinking water quality: 4th ed. WHO Publications; 2022.
- Yazıcı H. Şehir coğrafyası açısından bir inceleme: Bayburt. *Türk Coğrafya Dergisi* 1995; 30: 189-218.

- Yıldırım Ü. Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of Çoruh River Basin (Northern Turkey) using GIS technique. *Fresenius Environmental Bulletin* 2021; 30(05): 4962-4974.
- Yıldırım Ü., Güler C., Kurt MA., Güven O. Kaynağından Akdeniz'e Deliçay'ın (Mersin) debisi ve su kalitesinin değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2020; 10(4): 1121-1135.