

Şiran (Gümüşhane) İlçe Merkezi Su Kaynaklarının Kalitesi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Ümmühan Semiz¹, Mehmet Ali Gücer^{1,*}, Selçuk Alemdağ¹

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane.

Özet

İnceleme alanı, Gümüşhane (KD Türkiye) ilinin güneybatısında yer alan Şiran ilçe merkezini kapsamaktadır. Bu çalışmada, ilçe merkezindeki suların hidrojeokimyasal karakteristikleri incelenmiş ve metal element içerikleri belirlenmiştir. İnceleme alanında, temel birimleri kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl ve tüf ardışımından meydana gelen Eosen yaşlı Kelkit Formasyonu oluşturmakta olup Kuaterner yaşlı alüvyon ile uyumsuz bir şekilde örtülmüştür. Bu birimler hidrojeolojik özelliklerine göre taneli gözenekli serbest akiferleri oluşturmaktadır. Örneklerin pH, özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ) ve toplam sertlik (Fr°) değerleri sırasıyla 5.41-7.48, 106.9-141.3 $\mu S/cm$ ve 4.72-6.78 ($n=18$) arasında değişmektedir. Bu veriler, Kıta İçi Yerüstü Su Kaynakları sınıflamasına göre, suların çoğunlukla I. ve II. sınıf, az oranda ise III. sınıf kalitede olduğunu göstermektedir. İnceleme alanındaki sular genelde Ca-Mg- HCO_3 tipli karbonatlı ($Ca+Mg>Na+K$) olup, zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden ($HCO_3>SO_4+Cl$) daha fazladır. İnceleme alanındaki suların ($Ca+Mg$)/(SO_4+HCO_3) oranları sulara silikat ayrışmasının etkisini işaret etmekte, $Cl/(Cl+HCO_3)$ ve ($Na+K$)/($Na+K+Ca$) oranları ise, bu suların kimyasının kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması tarafından kontrol edildiğini, dolayısıyla su-kayaç etkileşimini göstermektedir. Su örneklerindeki çözünmüş potansiyel toksik element içerikleri, birkaç örnek dışında, kabul edilebilir sınırlar arasında dağılım sergilemektedir. Sonuç olarak, elde edilen hidrojeokimyasal veriler, inceleme alanındaki suların genel olarak içme suyu açısından iyi sınıf sular kategorisinde yer aldığını göstermiştir.

Anahtar Sözcükler

Hidrojeokimya, pH, Su Kalitesi, Şiran (Gümüşhane)

Investigation of Hydrogeochemical Characteristics and Quality of the Water Resources in Şiran (Gümüşhane) District Center, Turkey

Abstract

The study area is located of Şiran District Center in the southwest of Gümüşhane (NE Turkey). In this study, hydrogeochemical characteristics of water resources in district center were examined and metal element contents were determined. In the study area, the basement rocks are represented by Eocene Kelkit formation, which is composed of sandstone, claystone, marl, shale and tuff, and this unit is covered unconformably by the Quaternary aged alluvium. These units form granular porous unconfined aquifers according to the hydrogeological features. The pH, specific conductance (SC) and hardness (Fr°) values of the water resources in the study area varied between 5.41-7.48, 106.9-141.3 $\mu S/cm$ and 4.72-6.78 ($n=18$), respectively. According to the classification of Intra-Continental Water Resources, these data show that the samples are mostly class-I and II, rarely class-III water quality characteristics. The water resources in the study area are generally classified as Ca-Mg- HCO_3 type carbonated ($Ca+Mg>Na+K$), and generally their weak acids are more than strong acids ($HCO_3>SO_4+Cl$). In the study area, ($Ca+Mg$)/(SO_4+HCO_3) ratios indicated the effect of silicate weathering in the waters, and the $Cl/(Cl+HCO_3)$ and ($Na+K$)/($Na+K+Ca$) ratios show that the chemistry of waters is controlled by the chemical weathering of rock-forming minerals, hence, reflect the water-rock interaction. Except for a few, the concentration of dissolved potentially toxic elements in the water samples were distributed within acceptable limits. Consequently, the hydrogeochemical results showed that the water resources in the study area were in the category of good class waters in terms of drinking water.

Keywords

Hydrogeochemistry, pH, Water Quality, Şiran (Gümüşhane)

1. Giriş

Su, canlıların yaşamlarını sürdürmesi için gereken en önemli temel unsurlardandır. Yaşamsal faaliyetlerin devam ettirilebilmesi, suların etkin bir şekilde kullanılmasına ve su kalitesinin izlenerek kontrol altında tutulmasına bağlıdır. Yüze ve yeraltı sularının kalitesi (fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik vb.) suların içme, kullanma ve sulamaya uygunluğunun belirlenmesinde ve kalitesinin korunmasında en önemli kriterleri oluşturmaktadır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (456) 2331000 Faks: +90 (456) 2331075

E-posta: ummuhansemiz5555@gmail.com (Semiz Ü), maligucer@gmail.com (Gücer M.A), selcukalemdag@gmail.com (Alemdağ S)

Gönderim Tarihi / Received : 02/10/2020

Kabul Tarihi / Accepted : 08/12/2020

Bunun yanı sıra biyolojik sistemlerde değişik görevleri olan H, Na, K gibi elementler suda çözülmüş olarak bulunmakta ve canlıların başlıca besin maddelerini oluşturmaktadır. Bu özellik, suda çözülmüş olarak bulunan element düzeylerinin önemini ortaya koymaktadır. Vücuttaki bütün fizyolojik olayların yürütülmesinde su ya doğrudan ya da dolaylı olarak metabolik işlemlere katılır. Suyun insanlara hijyenik olarak, içerisinde As, Cu, Pb, gibi zararlı kimyasal maddeleri ve patojen mikroorganizmaları içermeyecek özellikte, sağlanması gerekmektedir.

Gümüşhane (KD Türkiye) genelinde, il merkezi içme suyu kalitesine yönelik şimdiye kadar yapılmış birkaç çalışma (Gültekin 1998; Gültekin ve Dilek 2005; Uslu 2014; Sipahi ve Uslu 2016) olmasına rağmen, Şiran içme sularının hidrojeokimyasal karakteristiklerine yönelik oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında Şiran’da, başta içme suyu olarak kullanılan kaynakların hidrojeokimyasal özellikleri ve su kalitesine yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Yerleşim yerindeki suların özelliklerinin ortaya konulması, bölgede bulunan mevcut kaynakların kullanılabilirliğinin belirlenmesi açısından önemlidir.

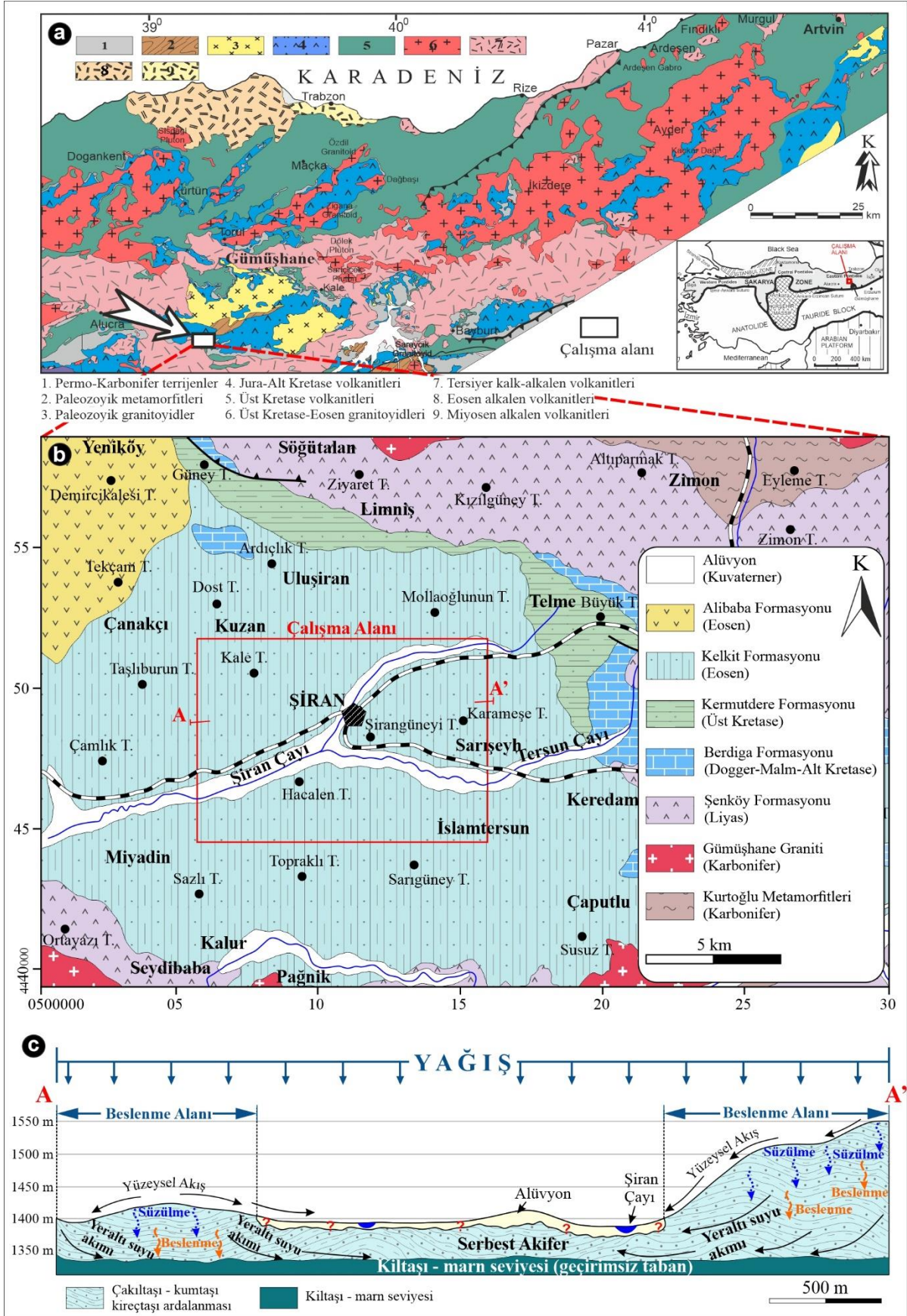
2. İnceleme Alanının Jeolojisi ve Hidrojeolojik Özellikleri

Ülkemiz, jeolojik olarak Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağında yer almakta ve daha yaşlı orojenik dönemleri de temsil etmektedir. Dolayısıyla, Türkiye farklı jeolojik kökenlere sahip birçok tektonik birliğin Geç Tersiyer dönemde bir araya gelmesi sonucu oluşmuş ve birçok tektono-stratigrafik birlikten meydana gelmiştir (Okay 2008; Göncüoğlu 2010). Karadeniz’in güneydoğu kesimi boyunca uzanan ve inceleme alanının da içerisinde yer aldığı Doğu Pontidler ise, yaklaşık 500 km uzunluğa ve 100 km genişliğe sahip bir orojenik kuşağı temsil etmektedir. Bu kuşak, Geç Kretase (Senoniyen) döneminde kuzeyde Avrasya levhası altına yiten Neotetis okyanusunun kuzey kolu üzerinde gelişmiş ve iyi korunmuş eski bir adayayı olarak bilinmektedir (Akin 1979; Şengör ve Yılmaz 1981; Akıncı 1984; Okay ve Şahintürk 1997; Yılmaz vd. 1997). Doğu Pontid orojenik kuşağı, tektonik olarak Sakarya Zonu’nun doğu kesimini teşkil etmektedir (Okay 1989; Okay ve Tüysüz 1999) (Şekil 1a).

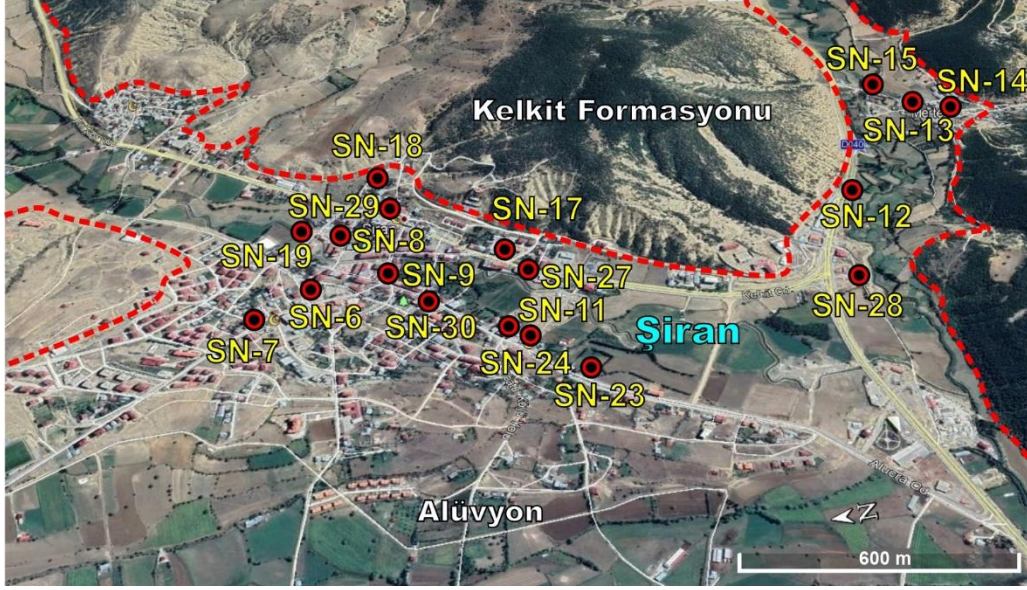
İnceleme alanının temel birimlerini Karbonifer yaşlı metamorfitletler (Topuz ve Altherr 2004; Topuz vd. 2007) ve onları keserek yerleşen Karbonifer yaşlı plütonlar (Yılmaz 1972; Çoğulu 1975; Topuz vd. 2010; Dokuz 2011; Kaygusuz vd. 2016; Karşlı vd. 2016) oluşturmuştur. Bölgede Paleozoyik temel, Alt-Orta Jura yaşlı volkanik ve volkanoklastik kayalardan oluşan ve Liyasik transgresyon (200-190 My) sonucu meydana gelen Şenköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür (Topuz vd. 2007; Kandemir ve Yılmaz 2009). Volkanoklastik istif üzerine Dogger- Malm-Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatları uyumlu olarak gelmiş olup, bu birim genel olarak gri-bej renkli, kalın ve masif katmanlı, zengin bentik foraminifer fosilleri içeren ve sığ denizel bir istif özelliği sunmaktadır (Pelin 1977). Üst Kretase, taban kesimlerinde türbiditik istif, üst kesimlerinde volkanik ağırlıklı kayalarla (Sipahi 2005; Sipahi ve Sadıklar 2014; Sipahi vd. 2019; 2020) temsil edilirken, tüm bu birimler üzerine taban çakıltısı ile uyumsuz olarak gelen Eosen ise üst kesimlere doğru volkanik tuf, nummulitli kireçtaşı ve volkanitler ile temsil edilmektedir (Tokel 1972; Bergougnan 1976). Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozları inceleme alanının en genç birimini oluşturur (Şekil 1b).

İnceleme alanında baskın litolojiyi Kelkit Formasyonuna ait çakıltısı, kumtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve şeyl ardışımından oluşan Eosen yaşlı birimler ve alüvyon/yamaç molozu birimleri meydana getirmektedir.

İnceleme alanı deniz seviyesinden 1400 metre yükseklikte yer almakta ve arazi bakımından daha çok bir platoyu andırmaktadır. Bununla birlikte, en önemli akarsuyunu Şiran çayı ve küçük kolları oluşturmaktadır. Özellikle Şiran-Tersun çayları ve dereler boyunca yayılım gösteren alüvyon ve yamaç molozu, akarsular tarafından taşınan kil, kum, çakıl, yamaç döküntüleri gibi tutturulmamış tortul malzemenin meydana gelmekte olup, çalışma alanında taneli gözenekli serbest akifer ortamı temsil etmektedir. Alüvyon tarafından örtülen Kelkit Formasyonu çok ince ve ince-orta tabakalı, açık yeşilimsi rengi ve yumuşak topografik görünümü ile dikkat çekmekte, genel olarak çakıltısı, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, şeyl, tuf ardalanmalı fliş özelliğinde olup (Tokel 1972; Bergougnan 1976) oldukça iyi tabakalı ve yer yer küçük ölçekli antiklinal ve senklinal kıvrımlı olarak görülmektedir. İstif içerisinde devamlılık arz etmeyen ve kalınlıkları birkaç cm’den birkaç metreye kadar değişen çakıltılı seviyeler gözlenmektedir. Birim içerisinde bol gözenekli ve çatlaklı tuf ve kumtaşları ile erime boşluklu kireçtaşları geçirimsizlik, depolama ve iletkenlik açısından akifer özelliği göstermesi ve taban kaya olarak marn, kiltası ve şeyl ara katkılı seviyelerden oluşması birimin serbest akifer olma özelliğinde olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, inceleme alanında yayılım gösteren alüvyon örtü ve Kelkit Formasyonu litolojik açıdan serbest akifer özelliğindedir. Bu litolojik birimlerin akifer yapısını daha iyi ifade edebilmek için, Şekil 1c’de yeraltı suyu akım modelini gösteren basit bir hidrojeolojik model oluşturulmuştur. Bu modele göre akifer sistem Şiran Çayı’nı beslerken, birim geçirimli olduğu için aynı zamanda Şiran Çayı’ndan beslenmektedir.



Şekil 1: a) Doğu Pontidlerin genelleştirilmiş jeoloji haritası, b) inceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojisi (Güven 1993), c) hidrojeolojik model



Şekil 2: Şiran ilçe merkezinden alınan su örneklerinin konumu

3. Malzeme ve Yöntem

İnceleme alanında, Şubat 2019 döneminde toplam 18 farklı su kaynağından (Şekil 2, Tablo 1) örnekleme yapılmış ve hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Her bir örnek polietilen örnek şişesi ile TS 266'ya uygun olarak alınmış ve etiketlenerek analiz sürecine kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir.

Tablo 1: İnceleme alanından alınan su örneklerinin yerleri ve konumu

S.No	Örnek No	Alındığı Yer	Konum (Boylam-Enlem)	
1	SN-6	Mertekli Mahallesi Merkez Çeşmesi	39.124367	40.191616
2	SN-7	Mertekli Mahallesi Meydan Çeşmesi	39.122474	40.203658
3	SN-8	Meydan Çeşmesi	39.127087	40.190960
4	SN-9	Çeşme (isimsiz)	39.124864	40.189755
5	SN-11	Çeşme (isimsiz)	39.121734	40.187059
6	SN-12	Göze (isimsiz)	39.126900	40.177936
7	SN-13	Merkez Çarşı Camii Şadırvanı	39.132074	40.173739
8	SN-14	Tekke Camii Şadırvanı	39.130866	40.172316
9	SN-15	Esentepe Camii Şadırvanı	39.131724	40.174284
10	SN-17	Şeyhi Şirani Çeşmesi	39.125417	40.186895
11	SN-18	Tekke Gözesi	39.155824	40.219212
12	SN-19	Osman Keleş Hayratı	39.127563	40.191941
13	SN-23	Çeşme (isimsiz)	39.119554	40.185389
14	SN-24	Çeşme (isimsiz)	39.121243	40.186599
15	SN-27	Göze (isimsiz)	39.124392	40.186402
16	SN-28	Çeşme (isimsiz)	39.124317	40.179633
17	SN-29	Çeşme (isimsiz)	39.217279	40.168581
18	SN-30	Göze (isimsiz)	39.252654	40.170074

Suların hidrojen iyonu aktivitesi (pH), toplam sertlik (F°), özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ- $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve kimyasal (çeşitli anyon ve katyon) analizleri Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. pH, F° ve ÖEİ analizleri APHA (2017)'ya göre sırasıyla SM 4500-H⁺, SM 2340 C. EDTA (titrasyon) ve SM 2510 metoduna göre analiz edilmiştir. Sülfat (SO₄²⁻), bikarbonat (HCO₃⁻) ve klorür (Cl⁻) gibi anyon analizlerinde de farklı teknikler kullanılmış olup APHA (2017)'ya göre sırasıyla turbidimetrik (SM 4500-SO₄²⁻.E), titrasyon (SM 2320 B. alkalinite) ve titrimetrik (SM 4500-Cl⁻ klorür) yöntemler kullanılmıştır. Katyon ve ağır metal (Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr) analizleri ise emisyon spektrometresi yöntemine göre (Balaram vd. 2013; Vysetti vd. 2014), Agilent 7700 marka ICP-MS (indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Metallerin ölçümünde kullanılan cihaza ait çalışma koşulları ve performansı ile ilgili bilgiler Tablo 2'de özetlenmiştir (URL-1 2011; Jankowski vd. 2005).

Tablo 2: ICP-MS cihazının çalışma şartları ve sistemin analitiksel karakteristiği

Element adı	Dalga boyu (nm)	Sisleştirici Basıncı (kPa)	Kararlılık ve numune alma süresi (s)	Peristaltik pompa hızı (rpm)	LOD ¹ (µg/L)	LOQ ² (µg/L)	BSS ³ (%)
Al	396.152	240	10	15	1.4	4.7	4.9
Cd	228.802	140	10	15	0.3	1	0.4
Co	340.512	240	10	15	0.1	0.3	0.7
Cr	425.433	240	10	15	0.2	0.6	1.3
Cu	324.754	240	10	15	0.3	1	0.6
Fe	371.993	120	10	15	1.6	5.3	1.2
Mn	403.076	240	10	15	0.4	1.3	0.7
Ni	352.454	240	10	15	1	3	0.9
Pb	405.781	240	10	15	0.4	1.3	1.5
Zn	213.857	140	10	15	1.2	4	1
Na	588.995	240	10	15	2.3	7.8	1.2
K	766.491	240	10	15	3.4	11.4	0.7
Ca	393.366	120	10	15	3.2	10.6	4.7
Mg	285.213	240	10	15	3.2	6.4	6.4

¹LOD: Gözlenebilirlik sınırı, ²LOQ: Tayin sınırı, ³BSS: Bağlı Standart Sapma

Sularda pozitif ve negatif yüklerin toplamı eşit olması gerektiğinden, analizlerin doğruluğu majör iyonlar için elektriksel yük dengesinden tahmin edilebilmektedir (örneğin, [Stumm ve Morgan 1970](#); [Appelo ve Postma 2005](#)). Çalışma alanından derlenen sularda, analiz sonuçlarının doğruluğu [Stumm ve Morgan \(1970\)](#) tarafından önerilen denklem (1) ile test edilmiş, analitik hata oranları (%fark) ise [Appelo ve Postma \(2005\)](#) tarafından önerilen elektronötrallite (%e) denklemi (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\left| \sum \text{anyon} - \sum \text{katyon} \right| \leq (0.1065 + 0.0155 \times \sum \text{anyon}) \quad (1)$$

$$\text{Elektriksel denge (\%e)} = \frac{\sum \text{katyon} - \sum \text{anyon}}{\sum \text{katyon} + \sum \text{anyon}} \times 100 \quad (2)$$

Hemen hemen tüm analiz sonuçlarında %2'ye varan hatalar kaçınılmazdır, ancak %5'in üzerindeki sapmalarda örnekleme ve analitik prosedürler yeniden gözden geçirilmelidir ([Appelo ve Postma 2005](#)). Çalışma alanındaki suların analiz sonuçlarında hata oranı (%e) -4.48 ile 3.92 (n= 18) aralığında değişmekte olup (Tablo 3), yukarıda verilen ölçütler dikkate alındığında, elde edilen sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Suların Hidrojeokimyasal Karakteristikleri

Örneklenen sular ana katyon ve anyonları açısından analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Bununla birlikte söz konusu sularda pH, ÖEİ ve F^o fizikokimyasal parametreler de belirlenmiştir.

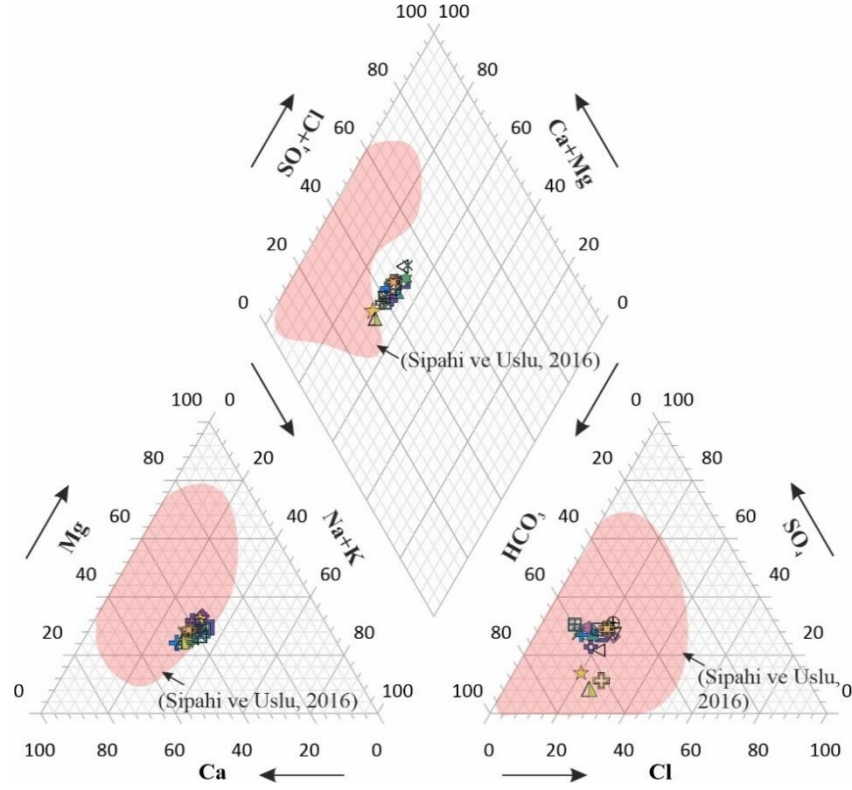
Tablo 3: İnceleme alanında örneklerin pH, ÖEİ, F° ve majör (anyon-kasyon) iyon analiz sonuçları ile hesaplanan yük-denge hatası (ydh) oranları (%fark)

Parametre	ÖEİ	Sertlik	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca	Mg	Na	K	ydh	Grafik	
Birimi	µS/cm	Fr°	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	% fark	Sembolü	
Örnek	pH											
SN-6	7.48	141.3	6.22	7.4	17.9	80.0	13.0	7.2	12.8	0.81	-3.87	▲
SN-7	7.13	117.0	5.41	18.7	11.2	56.0	13.1	5.2	11.4	0.44	-1.07	⊕
SN-8	7.01	110.9	4.83	14.5	10.8	47.7	11.1	5.0	11.1	0.36	2.45	⊕
SN-9	6.76	140.8	6.24	10.9	19.3	74.4	13.4	7.0	12.6	0.82	-4.48	⊕
SN-11	6.99	111.1	4.72	19.9	11.2	47.7	10.9	4.9	11.2	0.36	-2.46	⊕
SN-12	6.88	110.3	5.09	21.4	10.4	49.1	13.0	4.5	11.1	0.35	-1.10	⊕
SN-13	6.96	110.7	5.14	21.6	11.1	53.3	13.1	4.5	11.2	0.36	-3.63	⊕
SN-14	6.95	110.3	5.23	22.4	13.5	50.5	13.3	4.7	11.1	0.36	-4.23	★
SN-15	6.96	140.5	6.78	12.4	13.2	74.4	14.8	7.5	12.9	0.79	2.30	★
SN-17	6.88	110.6	5.20	21.5	11.1	44.9	12.8	4.9	10.8	0.32	0.62	✕
SN-18	6.89	106.9	5.09	20.5	9.8	53.3	12.8	4.6	10.8	0.31	-2.55	▼
SN-19	6.93	110.1	5.08	22.3	11.6	44.9	12.7	4.7	11.0	0.34	-0.83	◁
SN-23	6.67	128.1	5.82	20.4	12.0	65.9	13.4	6.0	11.9	0.55	-4.14	▽
SN-24	6.52	111.1	4.83	20.8	10.2	49.1	12.0	4.5	10.7	0.36	-2.80	▲
SN-27	6.35	111.4	5.36	18.2	7.8	51.9	14.0	4.5	11.2	0.35	3.92	□
SN-28	6.20	112.0	5.24	19.8	7.3	54.7	13.4	4.6	11.1	0.36	0.83	◆
SN-29	5.93	111.4	5.32	21.6	6.7	53.3	13.7	4.6	11.1	0.38	1.32	◇
SN-30	5.41	111.2	5.54	22.8	5.7	56.1	14.5	4.7	11.0	0.34	1.18	+
TİSS ¹	6-9	<2500	<50	<250	<250		<75	<50	<200	<12	-	
DSTİSS ²	6.5-9.2	<2500	<50	<250	<250		<200	-	<200	-	-	

¹TİSS (TS 266, 2005): Türkiye İçme Suyu Standardı, ²DSTİSS (WHO, 2014): Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standardı (izin verilebilir sınırların üzerinde çıkan sonuçlar koyu gösterilmiştir). Fr°: Fransız su sertliği.

Suların pH değerleri 5.41 ile 7.48 (n= 18) arasında değişmektedir (Tablo 3). SN-6, SN-7 ve SN-8 örneklerinin pH değerleri >7 olduğundan 'alkali sular', diğer örnekler ise (pH<7) 'asidik sular' sınıfında yer almaktadır. Örnekler, TS 266 (pH: 6-9) ve WHO (6.5-9.2) içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında SN-29 (pH: 5.93) ve SN-30 (pH: 5.41) hariç diğer örneklerin verilen limitler içerisinde yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, 2012 yılında yayımlanan (URL-2 2012) ve 2016 yılında revize edilen Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (Değişik: RG-10/8/2016-29797) Su Kalite Sınıflarına göre inceleme alanındaki sular yüksek kaliteli 'I. sınıf (çok iyi)' su olarak sınıflandırılabilir. Suların ÖEİ değerleri 106.9-141.3 µS/cm (n= 18) aralığında değişim sergilemekte (Tablo 3) ve TS 266 ile WHO içme-kullanma suları standartlarını (<2500 µS/cm) karşılamaktadır. TS 266'da önerilen ÖEİ kriterlerine göre incelenen sular I. sınıf su kalitesini yansıtmaktadır. İnceleme alanındaki suların sertliği 4.72 ile 6.78 F° (n= 18) arasında değişim sergilemektedir. Elde edilen bu değerler, SN-6, SN-9 ve SN-15 (6.22-6.78 F°) örneklerinin 'orta sert su', diğer örneklerin ise 'yumuşak su' sınıfında yer aldığına işaret etmektedir.

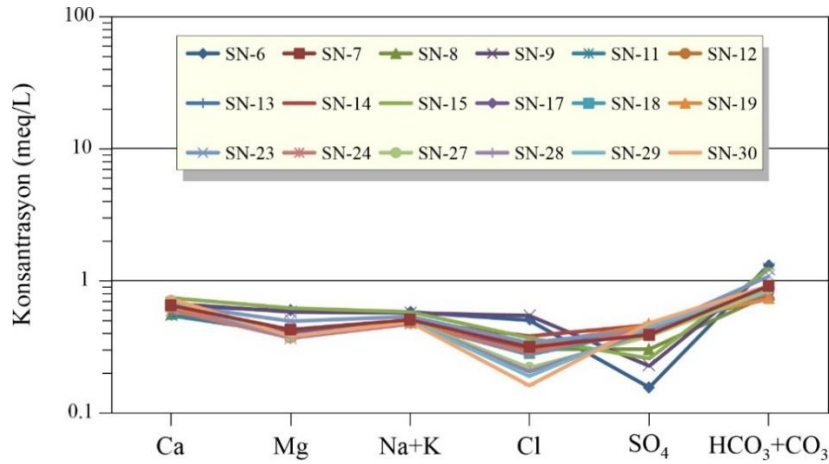
Fizikokimyasal özelliklerin yanı sıra, inceleme alanındaki suların kimyasal yapısı ve su tipleri Piper (1944) ve yarı logaritmik Schoeller (1955) sınıflama diyagramları ile belirlenmiştir. Piper sınıflamasına göre, su örneklerinin düşük SO₄ ve Cl içeren Ca-Mg-HCO₃ tipi sular sınıfında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Genel olarak karbonatlı (Ca+Mg>Na+K) sular sınıfında olan örneklerde, zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden (HCO₃>SO₄+Cl) daha fazladır. Schoeller (1955) su sınıflamasına göre, tüm örnekler klorür içerikleri bakımından 'normal klorürlü sular' sınıfına ve sülfat konsantrasyonları açısından 'normal sülfatlı sular' sınıfına girmektedir (Tablo 4). Karbonat miktarı açısından ise 'hipokarbonatlı sular' karakteri sergilemektedir (Tablo 4). Örneklerin kation-anyon konsantrasyonlarındaki dağılımlarına bakıldığında ise, genel olarak Ca>Na>Mg>K ve HCO₃>SO₄>Cl sıralaması sergilediği ve karbonatlı kayalardan gelen sular dağılımına benzer yönelim gösterdiği belirlenmiştir (Schoeller 1955), (Şekil 4).



Şekil 3: Su örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı. Kapalı alanlar Gümüşhane il merkezi içme sularının değerlerini (Sipahi ve Uslu 2016) göstermektedir (semboller Tablo 3'deki gibidir)

Tablo 4: Klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre suların sınıflandırılması (Schoeller 1955)

Klorür Sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat Sınıflaması	
Su Sınıfı	Klorür Miktarı (meq/L)	Su Sınıfı	Sülfat Miktarı (meq/L)	Su Sınıfı	Karbonat Miktarı (meq/L)
Hipoklorürlü sular	>700	Hiposülfatlı sular	>58	Hiperkarbonatlı sular	>7
Klorotalastik sular	420-700	Sülfatlı sular	24-58	Normal karbonatlı sular	2-7
Klorürce zengin sular	140-420	Oligosülfatlı sular	6-24	Hipokarbonatlı sular	<2
Orta klorürlü sular	40-140	Normal sülfatlı sular	<6		
Oligoklorürlü sular	15-40				
Normal klorürlü sular	<15				



Şekil 4: İnceleme alanı örneklerinin yarı logaritmik Schoeller diyagramı

4.2. Hidrojeokimyasal Süreçler

Hidrojeokimyasal süreçler, genellikle iyon değişimi, mineralizasyon, ayrışma ve çözünme gibi süreçleri kapsamakta olup, suların kimyasal analiz sonuçları kullanılmaktadır. Jeolojik oluşumlar, yeraltı suları ve kayalar arasında gelişen reaksiyonlar (iyonların göreceli hareketliliği, su-kayaç etkileşimi vb.) suların kalitesini ve içilebilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir (Cederstorm 1946; Yousef vd. 2009). Kristalin kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kalkgranülit gibi karbonat açısından zengin kayalar karbonat ayrışmasının ana kaynaklarıdır. Bu kayalardaki mevcut karbonatlar, sulama, yağış ve yeraltı suyu hareketi gibi olaylar sırasında çözülerek yeraltı suyu sistemine eklenebilir (örneğin, Subramani et al. 2010).

Yeraltı suyu bileşiminin akifer litolojisi ile ilişkisini bilmek ve yeraltı sularındaki yağış, kayaç etkileşimi ve buharlaşma baskınlığı gibi kimyasal bileşenlerin kaynağını temsil etmek için bazı anyon (HCO_3 , Cl gibi) ve katyon (Na , Ca , K gibi) değerleri kullanılmaktadır (Gibbs 1970). İnceleme alanındaki örneklerde $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$ oranları 0.05-0.21 ($n=18$) arasında, $(\text{Na}+\text{K})/(\text{Na}+\text{K}+\text{Ca})$ oranları ise 0.28-0.51 aralığında değişim sergilemektedir. Bu değerler incelenen suların kimyasının kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması tarafından kontrol edildiğini, dolayısıyla su-kayaç etkileşimini göstermektedir (Gibbs 1970).

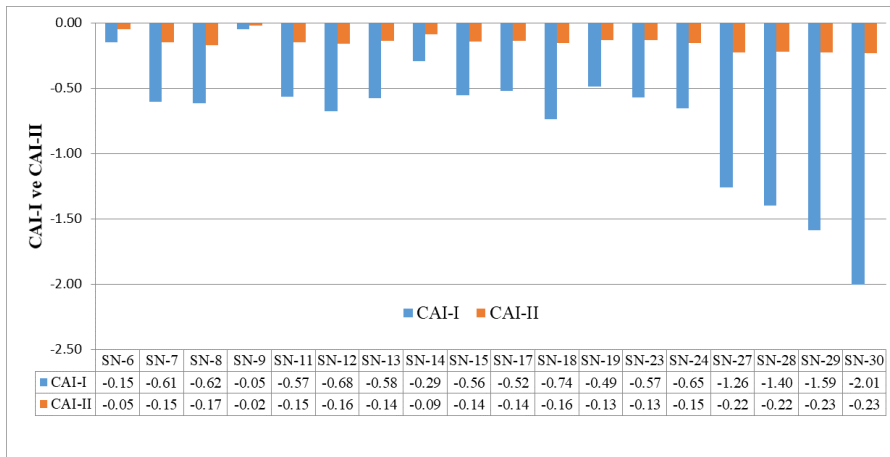
4.2.1. İyon Değişimi

İyon değişimi, yeraltı sularındaki iyonların konsantrasyonundan sorumlu olan önemli süreçlerden biridir. Kaynak sularında iyon değişimleri kloroalkalin indeksleri (CAI) ile belirlenebilmektedir (Schoeller 1965; 1977). Bu kapsamda kullanılan kloroalkalin indeksleri I ve II aşağıda verilen (3) ve (4) no'lu eşitliklerden hesaplanmakta olup, tüm değerler meq/L cinsinden ifade edilmektedir. Örneklenen sular için hesaplanan kloroalkalin indeksleri 1 ve 2 (CAI-I ve CAI-II), iyon değişim sürecinin meydana geldiğini kuvvetle düşündürmektedir.

$$\text{CAI-I} = [\text{Cl}-(\text{Na}+\text{K})]/\text{Cl} \quad (3)$$

$$\text{CAI-II} = [\text{Cl}-(\text{Na}+\text{K})]/(\text{SO}_4+\text{HCO}_3+\text{CO}_3+\text{NO}_3) \quad (4)$$

Bu doğrudan bir baz (katyon-anyon) değişim reaksiyonunu işaret etmekte olup, indekslerin değerleri pozitif veya negatif olabilmektedir. Yeraltı suyunda Na^+ veya K^+ ile Mg^{+2} veya Ca^{+2} arasında bir iyon değişimi söz konusu olduğunda, kloroalkalin indekslerin her ikisi de pozitif, ters iyon değişimi söz konusu olduğunda ise negatif olacaktır (Schoeller 1965; 1977). Bir başka ifade ile, sudaki Na^+ ve K^+ iyonlarının, kayaçtaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları ile yer değiştirmesi pozitif iyon değişimi ile açıklanmaktadır. Ters durumunda, eğer indis negatif ise sudaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları ile kayaçtaki Na^+ ve K^+ iyonlarının yer değiştirdiği anlamına gelmektedir. İnceleme alanındaki suların CAI-I değerleri -0.05 ile -2.01 arasında değişmekte iken, CAI-II değerleri -0.02 ile -0.23 aralığında dağılım sergilemektedir (Şekil 5). Hesaplanan tüm değerler negatif olduğundan, örneklerde ters iyon değişiminin gerçekleştiğini ve kayaların Na^+ ve K^+ iyonlarının suların Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirdiğine işaret etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: İncelenen suların kloroalkalin indekslerine (CAI-I ve CAI-II) göre dağılımı

4.2.2. Karbonat Ayrışması

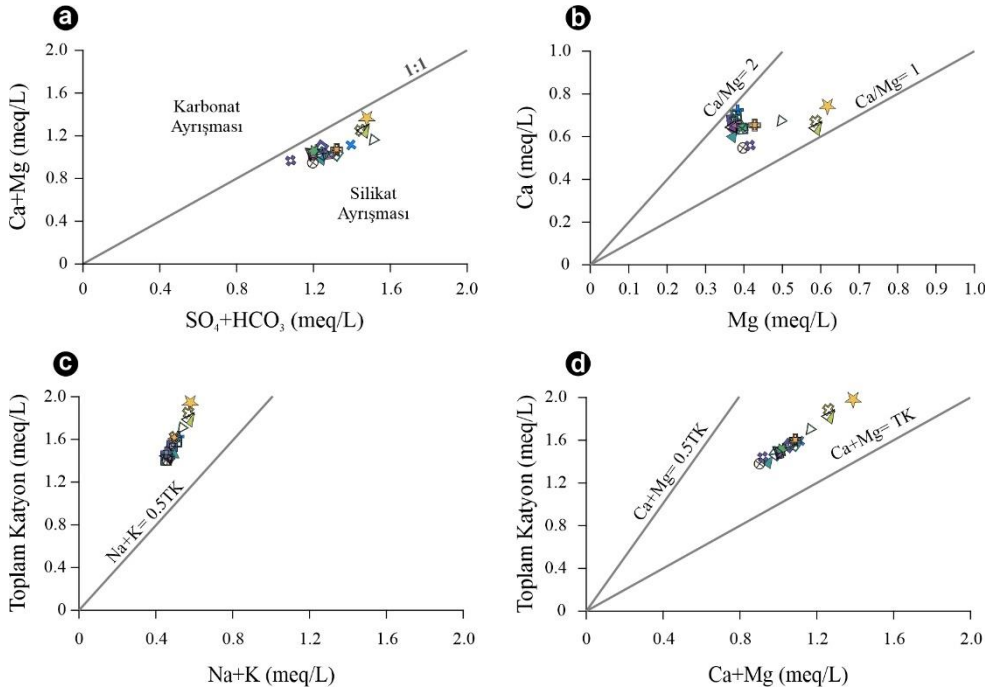
Örneklerin Mg ve Ca konsantrasyonları sırasıyla 4.47 - 29.39 mg/L ($n=18$) ve 10.93 - 100.74 mg/L ($n=18$) arasında değişmektedir. SO_4 ve HCO_3 konsantrasyonları ise sırasıyla 7.45 - 73.90 mg/L ($n=18$) ve 44.90 - 381.62 mg/L ($n=18$) arasındadır. İncelenen suların Mg ve Ca baskın katyonları, HCO_3 ise baskın anyonu teşkil etmektedir.

İncelenen sular Ca+Mg'a karşı SO_4+HCO_3 grafiğine (Şekil 6a) aktarıldığında, tüm örneklerin 1:1 denge çizgisinin altında yer aldığı ve güçlü bir korelasyon ($R^2 = 0.99$) gösterdiği $[(Ca+Mg) = 0.9807 \times (SO_4+HCO_3) - 0.2021]$ ortaya konmuştur. Elde edilen bu değerler, incelenen sularda silikat ayrışmasının etkisine işaret etmektedir.

Yeraltı sularında kalsit ve dolomitin çözünme süreçleri, Ca/Mg oranı ile de ifade edilebilmekte olup, Ca/Mg = 1 oranı dolomitin çözünmesi süreçlerini, daha yüksek oranlar ise daha fazla kalsit katkısını göstermektedir (Maya ve Loucks 1995). Ca/Mg oranının 2'den daha yüksek çıkması ise yeraltı suyuna Ca ve Mg katkısı olan silikat minerallerinin çözünmesini işaret etmektedir (Katz vd. 1998). Bu yaklaşımlar çalışma alanına uygulandığında, örneklerin Ca/Mg oranlarının 1'in üzerinde ve 1:1 denge çizgisi çevresinde dağılım gösterdiği ve genel olarak sularda kalsit ve dolomit çözünürlüğünün etkisine işaret etmektedir (Şekil 6b). Ancak, SN-7 no'lu örnekte Ca/Mg oranı 2'nin üzerinde (Ca/Mg = 2.08) çıkmış olup, bu örnek için silikat minerali ayrışmasının etkin olduğunu göstermektedir.

4.2.3. Silikat Ayrışması

Silikat minerallerinin kimyasal reaksiyonlara katılımı yeraltı sularının jeokimyasında önemli bir rol oynamaktadır. Silikatların ayrışması genellikle uyumsuz olup, çözünmüş türlerle birlikte çeşitli katı fazlar (çoğunlukla killer) oluşturduğundan, silikatla ayrışma ürünlerinin nicelendirilmesi daha zordur (Das ve Kaur 2001). Bununla birlikte, yeraltı sularında silikat ayrışması Na+K ile toplam katyon (TK) arasındaki oranlara göre tahmin edilebilmektedir. İncelenen sular Na+K'a karşı TK diyagramında, 'Na+K=0.5×TK' çizgisine yakın ve üzerinde yer almıştır (Şekil 6c). Örneklerde gözlenen bu dağılım, hidrojeokimyasal süreçlerde silikat ayrışmasının katkısı ile birlikte, esas olarak Na^+ ve K^+ iyonlarının yeraltı suyuna katkıda bulunduğunu göstermektedir (Stallard ve Edmond 1983; Sarin vd. 1989). Na^+ ve K^+ iyonlarının kaynak sularına katkısında, bu bölgede gözlenen granitik ve volkanik kayalarda yaygın olan plajiyoklas (albit) ve K-feldispat (ortoklas ve mikroklin) minerallerinin ayrışmasının büyük ölçüde etkili olduğunu işaret etmektedir. Benzer şekilde, Ca+Mg'a karşı TK diyagramında, tüm örnekler 'Ca+Mg=TK' ile 'Ca+Mg=0.5×TK' çizgileri arasında pozitif yönde lineer bir dağılım sergilemektedir (Şekil 6d). Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarındaki bu artışın silikat minerallerinin ayrışmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. İncelenen suların Ca-Mg- HCO_3 tipi sular sınıfında olması da silikat minerallerindeki ayrışmanın etkisini desteklemektedir.



Şekil 6: İncelenen suların ayrışma diyagramları. a) Ca+Mg'a karşı SO_4+HCO_3 diyagramı, b) Ca-Mg diyagramı, c) toplam katyon'a karşı Na+K diyagramı ve d) toplam katyon'a karşı Ca+Mg diyagramı (semboller Tablo 3'deki gibidir)

4.3. Potansiyel Toksik Element İçeriklerinin Değerlendirilmesi

Örneklenen sular bazı önemli iz element içerikleri açısından analiz edilerek sonuçlar Tablo 5'de, çözünmüş potansiyel toksik elementlerin (Cu, Co, Ni, Pb, Fe, Zn) dağılımları ise Şekil 7'de verilmiştir. Ayrıca, örneklerdeki metal konsantrasyonlarına ilişkin analiz sonuçları İnsani Tüketim Amaçlı Sular (TS 266 2005) ve Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu (WHO 2014) standartları (kabul edilebilir maksimum değerler) ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 5: İncelenen suların iz element analiz sonuçları

Parametre Birimi	Fe µg/L	Zn µg/L	Cu µg/L	Al µg/L	Mn µg/L	Cd µg/L	Co µg/L	Ni µg/L	Pb µg/L	Cr µg/L
Örnek										
SN-6	68.3	249.4	25.7	32.7	tsa	tsa	tsa	10.3	tsa	tsa
SN-7	59.8	262.9	28.1	14.1	tsa	tsa	tsa	tsa	23.5	tsa
SN-8	60.4	267.0	20.4	17.3	tsa	tsa	tsa	tsa	16.1	tsa
SN-9	61.5	272.4	22.0	42.2	tsa	tsa	tsa	12.1	24.6	tsa
SN-11	63.7	264.7	24.9	17.7	tsa	tsa	81.0	tsa	tsa	tsa
SN-12	65.6	256.9	25.5	15.1	tsa	tsa	128.9	tsa	tsa	tsa
SN-13	66.7	263.7	25.8	14.0	tsa	tsa	123.5	tsa	tsa	tsa
SN-14	66.1	259.5	25.8	tsa	tsa	tsa	106.2	tsa	tsa	tsa
SN-15	67.0	260.1	30.1	23.7	tsa	tsa	87.8	tsa	tsa	tsa
SN-17	96.2	249.7	27.1	tsa	tsa	tsa	66.5	tsa	tsa	tsa
SN-18	72.2	240.3	26.6	tsa	tsa	tsa	50.2	tsa	tsa	tsa
SN-19	72.2	233.5	26.3	tsa	tsa	tsa	50.9	tsa	tsa	tsa
SN-23	68.6	227.0	28.0	11.0	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
SN-24	64.8	230.0	53.8	16.1	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
SN-27	67.2	182.6	26.0	10.6	tsa	tsa	82.3	tsa	tsa	tsa
SN-28	66.2	166.1	27.3	11.0	tsa	tsa	115.2	tsa	tsa	tsa
SN-29	66.9	168.0	31.7	10.3	tsa	tsa	97.6	tsa	tsa	tsa
SN-30	64.7	134.0	44.0	tsa	tsa	tsa	83.1	tsa	tsa	tsa
TISS ¹	<200	<5000	<2000	<200	<50	<5	≤10	<20	<10	<50
DSTİSS ²	<300	<15000	<2000	<200	<100	<3	-	<20	<10	<50

¹TISS (TS 266, 2005): Türkiye İçme Suyu Standardı, ²DSTİSS (WHO 2014): Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standardı (izin verilebilir sınırlar üzerinde çıkan sonuçlar koyu gösterilmiştir). tsa: tayin sınırı altında.

Doğada bulunan sularda majör iyonlar dışında farklı yollarla (asit maden/kaya drenajı, asit yağmurları, endüstriyel atıklar vb.) çözünerek geçen yüksek miktarlarda metal element (Fe, Mn, Cr, Cd, Al, Zn, Cu, Co, Ni, Pb vb.) konsantrasyonları canlı yaşamı ve çevresel etkiler açısından büyük problemlere yol açabilmektedir. Doğal sularda Fe dışındaki ağır metaller 1 ppm'den daha düşük konsantrasyonlarda bulunmakta olup (Freeze ve Cherry 1979), bu elementlerden bazıları sularda istenmeyen metalik bir tad ve bulanıklığa sebep olmakta iken, Cu, Pb gibi toksik elementler sağlık açısından ciddi problemler teşkil etmektedir (Dündar ve Aslan 2005).

Fe ve Mn doğada bulunan ve yer kabuğunda doğal olarak oluşmuş en yaygın metal grubu elementlerdendir. Fe elementi kayalarda özellikle piroksen, amfibol, biyotit, granat, magnetit, pirit gibi minerallerin ayrışması sonucu yaygın olarak Fe⁺² iyonu, asit çözeltilerde ise genellikle Fe⁺³ iyonu şeklinde açığa çıkmaktadır. Bu metaller, canlıların bünyesinde yoğunlaştığında birçok kronik ve dejeneratif hastalıklara neden olabilmektedir (Zaloğlu 2001; Özbolat ve Tuli 2016). İncelenen suların Fe içerikleri 59.84-96.21 µg/L (ortalama: 67.7, n= 18) arasında değişmektedir. TS 266'da içme sularının Fe değerinin 200 µg/L'den az olması gerektiği belirtilmiş olup, incelenen suların suların Fe değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Örneklerin Mn konsantrasyonları ise ölçüm sınırı (<12.5 µg/L) altındadır.

Cu elementi kayalarda pirit, kalkopirit, bornit, malahit, azurit gibi minerallerde yaygın olarak bulunmakla birlikte, doğal sularda ise genellikle eser miktarda (50 µg/L'ye kadar) bulunabilmektedir (McNeely vd. 1979). Bununla birlikte belirli bir seviyede Cu elementi bulunması, canlı yaşamı açısından önem arz etmektedir. Ancak belirli oranların üzerinde olması, gerek canlı yaşamı açısından, gerekse çevresel etkileri bakımından ciddi problemler ortaya çıkaracaktır. İçme sularında Cu miktarının yüksek olması merkezi sinir sistemi bozuklukları nedeniyle mukozal iltihaplanma, damar hastalığı, karaciğer ve böbrek hastalıklarına ve depresyona neden olabilmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1994; Baysal 1999; Soylak ve Doğan 2000). İncelenen suların Cu değeri 20.40-53.80 µg/L (ortalama: 28.8, n= 18) aralığında olup, TS 266'da izin verilebilir en üst değerin (<2000 µg/L) oldukça altındadır.

Co, genellikle volkanik kayalarda bulunmakla birlikte, vücutta aşırı birikme sonucu kanser, akciğer ve kalp hasarı ve işlev bozukluğu ile kolesterol, yağ seviyesi ve kan şekeri gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir (Atabey 2005). İnceleme alanı su örneklerinin Co içerikleri SN-6, SN-7, SN-8, SN-9, SN-23 ve SN-24 nolu örneklerde TS 266'da izin verilebilir sınır olan 10 µg/L'nin altında iken, diğer örneklerde bu değerin üzerinde dağılım sergilemiştir. Co içeriğinin, çalışma alanı ve yakın çevresinde yaygın gözlenen volkanik kayaların ve maden yataklarının varlığından etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir.

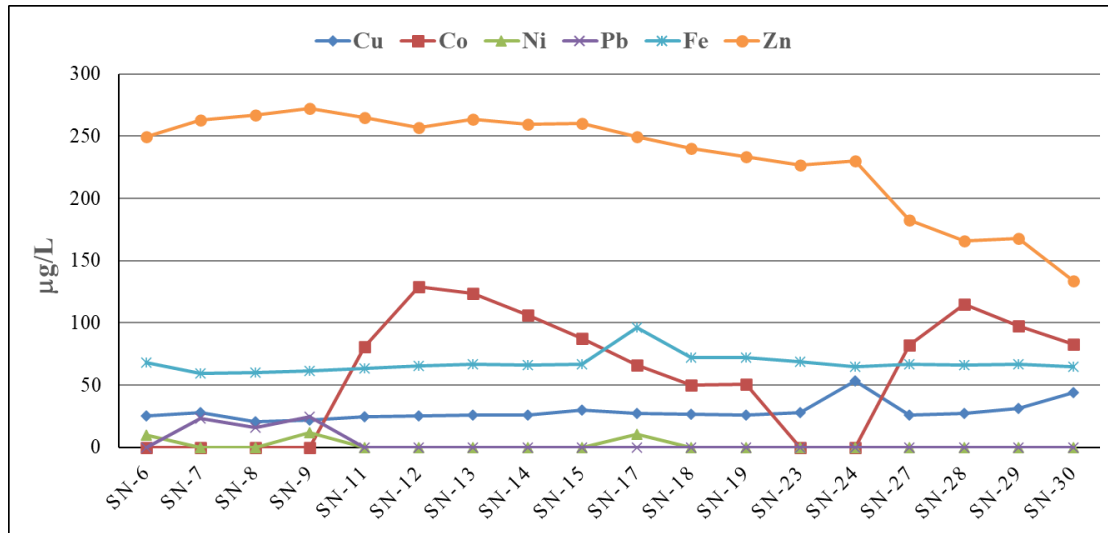
Ni bileşikleri pratik olarak suda çözünmeyip, sulardaki doğal Ni miktarı çok düşüktür. Genellikle bazik ve ultrabazik kayalarda gözlenmektedir. Ni elementi vücuda solunum, içilen su ve/veya beslenme yoluyla alınmaktadır. Ni toksik bir element olmadığından, gıda ve sulara belirli bir miktarda bulunmasının ciddi bir sağlık problemine yol açacağı düşünülmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1994). İçme ve kullanma sularında izin verilebilir maksimum Ni değeri <20 µg/L olup, incelenen suların Ni değerleri 20 µg/L'nin altındadır. Dolayısıyla, Ni içeriklerinin TS 266'da izin verilebilir aralıklara uygun olduğu görülmektedir.

Zn, doğada çoğunlukla bazik ve ultrabazik kayalarda ve pek çok mineralde bulunmakta olup, içme suyu ile de vücuda alınabilmektedir. Ancak, insan vücudunda Zn elementi için depo sisteminin olmayışı, bu elementin vücutta artması ile ciddi sağlık problemleri meydana getireceği gibi, suyun tadını ve görünüşünü de değiştirecektir (Baysal 1999). İncelenen suların Zn değeri 134.03-272.35 µg/L (ortalama: 232.7; n= 18) aralığında olup, TS-266'da izin verilebilir maksimum değer (<5000 µg/L) oldukça altındadır. Bununla birlikte, örneklerin Zn içeriğinin sınır değer (100 µg/L) üzerinde dağılım sergilediği ve çalışma alanında gözlenen alterasyon alanlarında sülfürlü minerallerin yıkanması sonucu açığa çıkan asit maden sularından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Yüksek oranda toksik bir element olan Cd, doğada genelde Zn, Cu ve Pb elementleri ile birlikte ince partiküller halinde bulunur ve çoğunlukla endüstriyel atıklardan itibaren sulara karışır. Cd ve bileşikleri kanserojenik olup, baş ağrısı, susuzluk hissi, bronşit, sinirlilik, anemi, böbrek taşı gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1994). İnceleme alanındaki suların Cd değeri cihaz ölçüm sınırı altında olup, TS 266'ya göre izin verilebilir sınırlar (<10 µg/L) içerisinde yer aldığı kabul edilmektedir.

Yerkabuğunun doğal bir bileşeni olan ve doğada en çok PbS, PbZn vb. bileşikler halinde bulunan Pb elementi, Pb içeren bileşiklerin çözünürlüğünün düşük olması ve düşük mobilitesinden dolayı akarsu ve yeraltı suyu gibi doğal sulara birkaç µg/L'den 20 µg/L'ye kadar değişen oranlarda bulunur (Matthes 1982). İnsan vücudunda çok farklı (içme suyu, yiyecek, sigara, toz, toprak, hava, boya, egzoz dumanı vb.) yollardan alınmakta olup, toksik etkisi bulunmaktadır. İncelenen birkaç örneğin (SN-7, SN-8 ve SN-9) Pb konsantrasyonlarının, izin verilebilir değer olan ≤10 µg/L'nin üzerinde oldukları görülmektedir. Diğer örnekler ise ölçüm sınırı altında kalmaktadır.

Bir diğer ağır metal olan Cr elementinin Cr⁺⁶ iyonu kanserojen özellikte olup, içme sularında bulunması ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir (Özbolet ve Tuli 2016). Sulara Cr elementinin bulunması su kirliliğini işaret etmektedir. İçme sularının kullanılabilmesi için Cr konsantrasyonunun <50 µg/L olması istenmektedir. İncelenen tüm suların Cr değerleri tayin sınırı altında çıkmıştır. Bu dağılımın, Cr elementinin en önemli kaynak kayalarından olan ultramafitlerin inceleme alanı ve yakın civarında gözlenmemesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 7: İnceleme alanındaki suların potansiyel toksik element (Fe, Zn, Cu, Co ve Pb) içeriklerinin karşılaştırılmış dağılımı

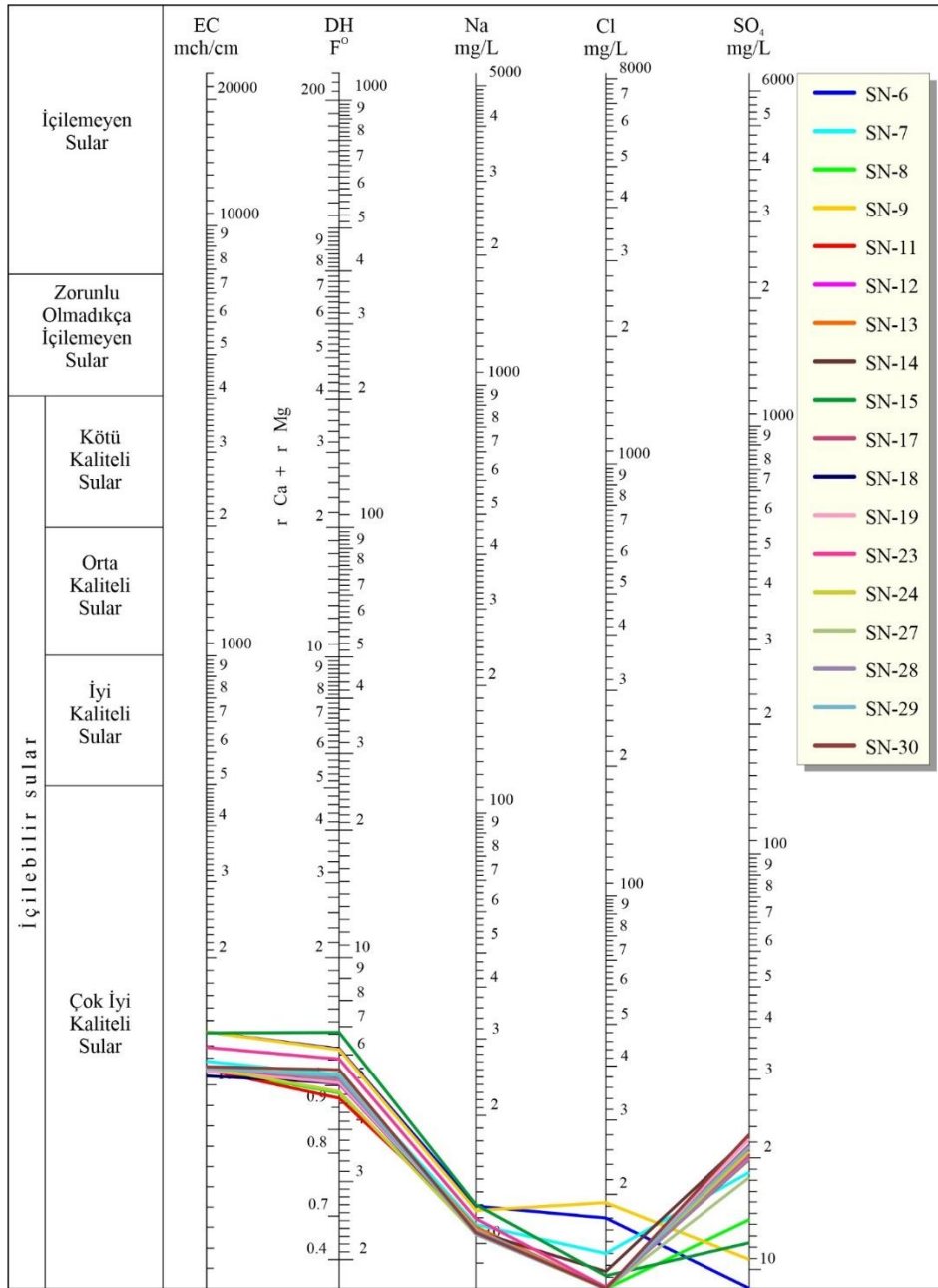
4.4. Suların İçilebilirliği ve Kalitesi

İnceleme alanındaki suların su kalitesinin değerlendirilmesinde TSE (TS 266 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO 2014) standartları kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, inceleme alanındaki kaynak sularının içilebilirliğini belirlemek için Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılmıştır (Şekil 8).

Suların içilebilirliğinin değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden biri olan Cl iyonu için izin verilebilir değerler TS 266'e göre 30-250 mg/L ve WHO'ya göre <250 mg/L'dir. İnceleme alanı örneklerinde Cl değerleri 5.72-19.26 mg/L (n= 18) olup, izin verilebilir sınırlar içerisinde. SO₄ ise genellikle pirit, anhidrit ve jips gibi sülfürlü minerallerin oksidasyonu sonucu oluşmakta ve içme sularına doğal yollarla karışan önemli anyonlardan birini teşkil etmektedir.

Gerek TS 266, gerekse WHO'ya göre izin verilebilir SO_4 miktarı <250 mg/L'dir. Çalışma alanı örneklerinde bu değerler 7.45-22.82 mg/L (n= 18) arasında değişmekte olup, kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Na elementi doğal suların bileşiminde en yaygın olarak bulunan alkali metaldir ve genel olarak plajiyoklas ayrışması ve killeşme gibi süreçlerle sulara karışmaktadır. İncelenen örneklerin Na değeri 10.70-12.86 mg/L (n= 18) arasında değişmektedir. İncelenen sulara Na^+ değerleri 200 mg/L'den düşük olup, TS 266 ve WHO'ya göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

Kaynak sularının içilebilirliğinin tayin edildiği Schoeller diyagramına göre, örneklerin elektriksel iletkenlik, sertlik, Na, Cl ve SO_4 parametreleri açısından 'çok iyi kaliteli sular' sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 8). Bununla birlikte, su kirliliği ve kalitesini ortaya koymak amacıyla, elde edilen sonuçlar kıta içi su kalite standartları (URL-2 2012) ile bazı fizikokimyasal parametreler (pH, ÖEİ) ve iz elementler (Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr) açısından karşılaştırılmıştır (Tablo 6). Örneklerin büyük bir çoğunluğu su kalitesi açısından I. ve II. sınıf kaliteyi yansıtırken, bazı örneklerde (SN-24, SN-27, SN-28, SN-29 ve SN-30) birkaç parametre (pH, Zn, Cu, Co ve Pb) açısından kirlilik belirtisi göstermektedir. Kaynak sularının, özellikle fay zonu ve/veya maden yatağı gibi alanlarda meydana gelen su-kayaç etkileşimi ile bazı metal element konsantrasyonlarında artış gözlemlenmektedir. Nitekim, söz konusu örneklerde kirlenici olarak rol oynayan elementlerin başında Zn, Cu, Co ve Pb gelmekte olup, bu durumun, özellikle bölgede gözlenen maden yatakları, örneğin Gümüşdamla Yayla Pb-Zn±Au±Ag (Akbulut vd. 2014) ve Ünlüpınar Pb-Zn±Au (Akbulut vd. 2015) cevherleşmeleri ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8: İnceleme alanı su örneklerinin Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları

Tablo 6: İnceleme alanındaki örneklerin bazı fizikokimyasal parametreler ve iz elementler (metaller) açısından su kalite sınıfları

Örnek	Alındığı Yer	Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfı
SN-6	Mertekli Mahallesi Merkez Çeşmesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu	II
SN-7	Mertekli Mahallesi Meydan Çeşmesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr	I
		Zn, Cu, (Pb)	II, (III)
SN-8	Meydan Çeşmesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr	I
		Zn, Cu, Pb	II
SN-9	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr	I
		Zn, Cu, (Pb)	II, (III)
SN-11	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-12	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-13	Merkez Çarşı Camii Şadırvanı	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-14	Tekke Camii Şadırvanı	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-15	Esentepe Camii Şadırvanı	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-17	Şeyhi Şirani Çeşmesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-18	Tekke Gözesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-19	Osman Keleş Hayratı	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-23	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Cd, Co, Cr, Mn, Pb, Ni	I
		Zn, Cu	II
SN-24	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr, Pb	I
		Zn, (Cu)	II, (III)
SN-27	Göze (isimsiz)	ÖEİ, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Cu, (pH, Co)	II, (III)
SN-28	Çeşme (isimsiz)	ÖEİ, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Cu, (pH, Co)	II, (III)
SN-29	Çeşme (isimsiz)	ÖEİ, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Cu, (Co), [pH]	II, (III), [IV]
SN-30	Göze (isimsiz)	ÖEİ, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Cu, (Co), [pH]	II, (III), [IV]

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, Şiran (Gümüşhane, KD Türkiye) ilçe merkezi su kaynaklarının hidrojeokimyasal karakteristiklerini ortaya koyan ilk çalışma niteliğinde olup, ayrıca suların kirlilik parametreleri, içilebilirliği ve su kalitesi de irdelenmiştir. İnceleme alanında baskın litolojiyi çakıltası, kumtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve şeyl ardışımından oluşan Eosen yaşlı Kelkit Formasyonu ile alüvyon/yamaç molozu oluşturmaktadır. Su örnekleri genel olarak alüvyon üzerinde yer alan kaynaklardan derlenmiştir. Alüvyon ve yamaç molozu çalışma alanındaki taneli gözenekli serbest akifer ortamını temsil etmektedir.

İncelenen sular pH değerlerine göre çoğunlukla (15 örnek) asidik, çok az bir kısmı (3 örnek) ise az alkali özellik göstermektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Su Kalite sınıflandırmasına (URL-2 2012) göre, pH değerleri açısından 14 örnek I. sınıf su kalitesini, 4 örnek ise III. ve IV. sınıf su kalitesini yansıtmaktadır. TS 266 ve WHO içme suyu standartlarına göre 2 örnek dışındaki tüm sular içilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır. Suların OEİ değerleri TS 266 ile WHO içme-kullanma suları standartlarına göre I. sınıf su kalitesini yansıtmaktadır. İnceleme alanındaki suların büyük bir çoğunluğunun (15 örnek) yumuşak su, az bir kısmının ise orta-sert su (3 örnek) olduğu belirlenmiş, sertlik açısından suların içilebilir özellikte olduğu ortaya konmuştur. Sular düşük SO₄ ve Cl içeren Ca-Mg-HCO₃ tipli sular sınıfında yer almış ve genel olarak karbonatlı (Ca+Mg>Na+K) sular özelliği gösteren tüm örneklerin zayıf asit köklerinin, güçlü asit köklerinden (HCO₃> SO₄+Cl) daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. İncelenen örnekler Cl içerikleri bakımından 'normal klorürlü sular', sülfat konsantrasyonları açısından ise 'normal sülfatlı sular' özelliğindedir. Karbonat miktarı açısından ise genellikle 'hipokarbonatlı sular' özelliğindedir. Majör anyon konsantrasyonları bakımından Ca>Na>Mg>K ve HCO₃>SO₄>Cl sıralaması gösteren örnekler, Schoeller içilebilirlik sınıflamasına göre karbonatlı kayalardan gelen sular dağılımına benzer yönelim göstermiştir. Örneklerde Cl/(Cl+HCO₃) ve (Na+K)/(Na+K+Ca) oranları, incelenen su kaynaklarının kimyasının kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması tarafından kontrol edildiğini, dolayısıyla su-kayaç etkileşimine işaret etmiştir. İncelenen sulara ters iyon değişiminin gerçekleştiği, dolayısıyla kayaçların Na⁺ ve K⁺ iyonlarının suların Mg⁺² ve Ca⁺² iyonları ile yer değiştirdiği ortaya konmuştur. Mg ve Ca baskın katyonları, HCO₃ ise baskın anyonu teşkil etmiş ve Ca+Mg'a karşı SO₄+HCO₃ oranları sulara silikat ayrışmasının etkisine işaret etmiştir. Sulara Na+K ve toplam katyon oranları, hidrojeokimyasal süreçlerde silikat ayrışmasının katkısı ile birlikte, esas olarak Na ve K iyonlarının yeraltı suyuna katkıda bulunduğunu göstermiştir. Örneklerin çözünmüş Fe, Al, Mn, Cd, Ni ve Cr element içerikleri bakımından TS 266 ve WHO'ya göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde dağılım gösterdiği ve I. sınıf su kalitesini yansıttığı, buna karşılık bazı örneklerde ise birkaç parametre (Zn, Cu, Co ve Pb) açısından kirlilik belirtisi gösterdiği belirlenmiş olup, bu suların insani tüketim amaçlı kullanılmaması önerilmekte ve dönemsel olarak izlenmesi gerekmektedir. Bazı örneklerde gözlenen bu elementlerdeki artışların bölgede gözlenen maden yatakları ile ilişkili olabileceği düşünülmüştür. Schoeller sınıflamasına göre ise suların 'çok iyi kaliteli sular' sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, birinci yazarın Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir. Ayrıca, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü'nce de desteklenmiştir. Proje No: 19.F5114.07.02. Saha çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Nadire YAZICI, Yasin MERDAN ve Mustafa Gürbüz YAZICI'ya, su analizlerinin gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı Ali GÜNDOĞDU ve Cemalettin BALTACI'ya ve çalışmanın her aşamasında desteklerini esirgemeyen Ferkan SİPAHİ, Nafiz MADEN ve Enver AKARYALI'ya teşekkür ederiz. Ayrıca, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Baş Editör Prof. Dr. Halil AKINCI ve hakemlere şükranlarımızı sunarız.

Kaynaklar

- Akbulut K., Akaryalı E., Akpınar İ., Atay U., (2014), *Gümüşdamla Yayla (Kelkit- Gümüşhane) Pb-Zn±Au±Ag Cevherleşmesinin Petrografisi ve Cevher Mikroskobisi*. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, MTA, Ankara.
- Akbulut K., Akaryalı E., Aydınçakır E., Akpınar, İ., (2015), *Ünlüpinar Kelkit Gümüşhane Pb Zn Au Cevherleşmesinin Jeolojik Jeokimyasal ve Kökensel Olarak İncelenmesi*, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 34-39.
- Akın H., (1979), *Geologie, Magmatismus und Lagerstättenbildung im ostpontischen Gebirge/Türkei aus der Sicht der Plattentektonik*, Geologische Rundschau, 68, 253-283.
- Akinci Ö.T., (1984), *The Eastern Pontide Volcano-sedimentary Belt and Associated Massive Sulphide Deposits*, in: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*: Geological Society, London, Special Publications 17(1), 415-428.
- APHA, AWWA, WEF, (2017), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition, Washington DC, USA.
- Appelo C.A.J., Postma D., (2005), *Geochemistry, Groundwater and Pollution (second edition)*, A.A. Balkema Publishers, Leiden, the Netherlands, 598ss.
- Atabey E., (2005), *Tıbbi Jeoloji*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 124-134.
- Balaram V., Vummiti D., Roy P., Taylor C., Kar P., Raju A.K., Abburi K., (2013), *Determination of Precious Metals in Rocks and Ores by Microwave Plasma-Atomic Emission Spectrometry for Geochemical Prospecting Studies*. Current Science, 104 (9), 1207-1215.
- Baysal A., (1999), *Beslenme*, Hatipoğlu Yayınevi, Ankara, ss. 131-147.
- Bergougnan H., (1976), *Structure de la Chaîne Pontique dans le HautKelkit (nord-est de l'Anatolie)*, Bulletin de la Société Géologique de France, 18, 675-686.
- Cederstorm D.J., (1946), *Genesis of groundwater in the coastal plain of Virginia*, Environmental Geology, 41, 218-245.
- Çoğulu E., (1975), *Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü*, Doçentlik Tezi, İÜ Maden Mühendisliği, İstanbul.

- Das B.K., Kaur P., (2001), *Major ion chemistry of Renuka lake and weathering processes, Sirmaur district, Himachal Pradesh, India*. Journal of Environmental Geology, 40, 908-917.
- Dokuz A., (2011), *A Salb Detachment and Delemination Model for the Generation of Carboniferous High Potassium I-Type Magmatism in the Eastern Pontides: The Köse Composite Pluton*, Gondwana Research, 19, 926-944.
- Dündar Y., Aslan R., (2005), *Yaşamı Kuşatan Ağır Metal Kurşunun Etkileri*, Kocatepe Tıp Dergisi, 6, 1-5.
- Freeze R.A., Cherry J.A., (1979), *Groundwater*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, vol. 7632, 604, USA.
- Gibbs R.J., (1970), *Mechanism Controlling World Water Chemistry*. Science 170 (3962), 1088-1090.
- Göncüoğlu M.C., (2010), *Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi*. MTA Genel Müdürlüğü, Monografi Serisi No: 5. Ankara 69s.
- Güler Ç., Çobanoğlu Z., (1994), *Su Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*. No: 12, Ankara. ISBN 975-7572-60-8.
- Gültekin F., Dilek R., (2005), *Gümüşhane Yöresi Mineralli Su Kaynaklarının İz Element ve Radyoaktivite İçerikleri*. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29, 36-43.
- Gültekin F., (1998), *Gümüşhane ve Bayburt Yöresi Mineralli Su Kaynaklarının Hidrokimyası ve İzotopik Özellikleri*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Güven İ.H., (1993), *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 Ölçekli Jeolojisi ve Komplasyonu*. MTA, Ankara.
- Jankowski K., Yao J., Kasiura K., Jackowska A., Sieradzka A., (2005), *Multielement Determination of Heavy Metals in Water Samples by Continuous Powder Introduction Microwave-Induced Plasma Atomic Emission Spectrometry After Preconcentration on Activated Carbon*. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 60, 369-375.
- Kandemir R., Yılmaz C., (2009), *Lithostratigraphy, Facies and Deposition Environment of the Lower Jurassic Ammonitico Rosso Type Sediments (ARTS) in the Gumushane Area, NE Turkey: Implications for the Opening of the Northern Branch of the Neo-Tethys Ocean*, Journal of Asian Earth Sciences, 34, 586-598.
- Karlı O., Dokuz A., Kandemir R., (2016), *Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlık and Casurluk Plutons: Insights from Geochemistry, Whole-rock Sr-Nd and In Situ Zircon Lu-Hf Isotopes, and U-Pb Geochronology*. Lithos, 266-267, 98-114.
- Katz B.G., Coplen T.B., Bullen T.D., Davis J.H., (1998). *Use of Chemical and Isotopic Tracers to Characterize the Interaction between Groundwater and Surface Water in Mantled Karst*. Groundwater, 35, 1014-1028.
- Kaygusuz A., Arslan M., Sipahi F., Temizel İ., (2016), *U-Pb Zircon Chronology and Petrogenesis of Carboniferous Plutons in the Northern Part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic Magmatism and Geodynamic Evolution*. Gondwana Research, 39, 327-346.
- Matthess G., (1982), *The Properties of Groundwater*. J.C. Harty, John Wiley and Sons., Inc., Canada, 406ss.
- Maya A.L., Loucks M.D., (1995), *Solute and Isotopic Geochemistry and Groundwater Flow in the Central Wasatch Range, Utah*, Journal of Hydrology, 172 (1-4), 31-59.
- McNeely R.N., Neimanis V.P., Dwyer L., (1979), *Water Quality Sourcebook-A Guide to Water Quality Parameters: Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada, 88ss.*
- Okay A.İ., Şahintürk Ö., (1997), *Geology of the Eastern Pontides, in: Robinson, A.G. (Ed), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. AAPG Bulletin, 68, 291-311.
- Okay A.İ., Tüysüz O., (1999), *Tethyan Sutures of Northern Turkey. The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, Geological Society London Special Publications, 156, 475-515.
- Okay A.İ., (1989), *Tectonic Units and Sutures in the Pontides, Northern Turkey, in: Şengör, A.M.C. (Ed), Tectonic Evolution of the Tethyan Region: NATO ASI Series C259*, Kluwer, Dordrecht, 109-116.
- Okay A.İ., (2008), *Geology of Turkey: A Synopsis*. Anschnitt, 21, 19-42.
- Özbolet G., Tuli A., (2016), *Ağır Metal Toksikitesinin İnsan Sağlığına Etkileri*. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 25(4), 502-521.
- Pelin S., (1977), *Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi*, KTÜ Yayınları, 87, 103.
- Piper A.M., (1944), *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses*. Transactions of the American Geophysical Union, 25, 914-923.
- Sarin M.M., Krishnaswamy S., Dilli K., Somayajulu B.L.K., Moore W.S., (1989), *Major ion chemistry of the Ganga-Brahmaputra river system: Weathering process and fluxes to the Bay of Bengal*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 53, 997-1009.
- Schoeller H., (1955), *Géochimie des eaux souterraines*. Rev. Inst. Franç. Pétrole, Paris, 10. No. 3-4.
- Schoeller H., (1965), *Hydrodynamique des Lacs Lekarst (Ecoulement Emmagasinement)*. Actes Colloques Doubronik, I, AIHS et UNESCO, ss. 3-20.
- Schoeller H., (1977), *Geochemistry of groundwater. In: Groundwater studies - An international guide for research and practice*. UNESCO, Paris, Ch. 15, ss.1-18.
- Sipahi F., (2005), *Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Sipahi F., Sadıklar M.B., (2014), *Geochemistry of Dacitic Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey)*. Geochemistry International, 4, 329-349.
- Sipahi F., Uslu S., (2016), *Investigation of the Quality and Physical-Geochemical Characteristics of the Drinking Water in Gümüşhane (Turkey) City Central*. Arabian Journal of Geosciences, 9, 600. doi: 10.1007/s12517-016-2620-6.
- Sipahi F., Gücer M.A., Sadıklar M.B., (2019), *Zigana Dağı (Gümüşhane, KD Türkiye) Dayklarının Jeokimyası ve Jeolojik Anlamı*. Yerbilimleri, 40(3), 293-325.
- Sipahi F., Gücer M.A., Sadıklar M.B., (2020), *Nature of clays in Late Cretaceous dacitic rocks in the eastern Sakarya Zone (NE Turkey): A geochemical and isotopic approach*. Turkish Journal of Earth Sciences, 29 (6), 831-852.
- Soylak M., Doğan M., (2000), *Su Kimyası*. Erciyes Üniversitesi Yayınları Yayın No: 120, Kayseri, ss.79-83.
- Stallard R.F., Edmond J.M., (1983), *Geochemistry of the Amazon: 2. The Influence of Geology and Weathering Environment on the Dissolved Load*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 88 (C14), 9671-9688.
- Stumm W., Morgan J.J., (1970), *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*, New York: Wiley-Interscience, 583ss.

- Subramani T., Rajmohan N., Elango L., (2010), *Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India*. Environmental Monitoring and Assessment, 162, 123-137.
- Şengör A.M.C., Yılmaz Y., (1981), *Tethyan Evolution of Turkey: a Plate Tectonic Approach*. Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tokel S., (1972), *Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region (Ne Turkey)*. PhD Thesis, University Colloge, London.
- Topuz G., Altherr R., (2004), *Pervasive Rehydration of Granulites During Exhumation-an Example from the Pulur Complex, Eastern Pontides, Turkey*. Mineralogy and Petrology, 81, 165-185.
- Topuz G., Altherr R., Schwarz W.H., Dokuz A., Meyer H.P., (2007), *Variscan Amphibolite-Facies Rocks from the Kurtoğlu Metamorphic Complex. Gümüşhane Area, Eastern Pontides, Turkey*. International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Topuz G., Altherr R., Wolfgang S., Schwarz W.H., Zack T., Hasanözbek A., Mathias B., Satır M., Şen C., (2010), *Carboniferous high-Potassium I-Type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane Pluton (NE Turkey)*. Lithos, 116, 92-110.
- TSE, (2005), *TS 266, Türk İçme Suyu Standartları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- URL-1, (2011), *Agilent 4100 Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometer*. Agilent Technologies, Inc., <https://www.agilent.com/en/products/mp-aes/mp-aes-systems/4100-mp-aes>. [Erişim 08 Nisan 2019].
- URL-2, (2012), *Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği*, Resmi Gazete 28483 (Değişik: RG-10/8/2016-29797), Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/08/20160810-9.htm>. [Erişim 11 Mart 2019].
- Uslu S., (2014), *Gümüşhane İl Merkezi İçme Sularının Fiziksel ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Vysetti B., Vummiti D., Roy P., Taylor C., Kamala C.T., Satyanarayanan M., Kar P., Subramanyam K.S.V., Raju A.K., Abburi K., (2014), *Analysis of Geochemical Samples by Microwave Plasma-AES*. Atomic Spectroscopy, 35 (2), 65-78.
- WHO, (2014), *Guidelines for Drinking-water Quality (Third Edition)*, Incorporating the First and Second Addenda, https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf. [Erişim 11 Mart 2019].
- Yılmaz Y., (1972), *Petrology and Structure of the Gümüşhane Granite and Surrounding Rock, NE Anatolia*. PhD Thesis, University of London, UK.
- Yılmaz Y., Tüysüz O., Yiğitbaş E., Genç Ş.C., Şengör A.M.C., (1997), *Geology and Tectonics of the Pontides*, in: Robinson, A.G. (Ed), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. AAPG Memoirs, 68, 183-226.
- Yousef A.F., Saleem A.A., Baraka A.M., Aglan O.S.H., (2009), *The Impact of Geological Setting on the Groundwater Occurrences in some Wadis in Shlatein-Abu Ramad Area, SE Desert, Egypt*. European Water, 25(26), 53-68.
- Zaloğlu N., (2001), *Manganezin Biyolojik Sistemlerdeki Etkileri*. Türk Biyokimya Dergisi, 26 (2), 61-69.