



Araştırma Makalesi / Research Article

Değirmendere (Trabzon) Havzası Kaynak Sularında Su-Kayaç Etkileşimi

Water-Rock Interaction of Springwater in the Değirmendere Basin (Trabzon-NE Turkey)

Elham TAHMASEBZADEH BASTAM, Fatma GÜLTEKİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (Received): 22 Ağustos (August) 2016 / Düzeltme (Revised): 21 Kasım (November) 2016 / Kabul (Accepted): 13 Aralık (December) 2016

ÖZ

Genel olarak volkanik kayaların yüzeylendiği Değirmendere Havzası'nda litolojik olarak bazalt, altere bazalt, andezit, altere andezit, tuf, dasit, volkanik katkılı marn türü kayalar tespit edilmiştir. Havzada tektonik hatlarla ilişkili olarak karbondioksit ve çözülmüş madde miktarı yüksek çok sayıda su kaynağı bulunmaktadır. Bunlar arasında incelenen 4 kaynaktaki debilerin 46-158 ml/sn, pH'nın 5.32-6.99, özgül elektriksel iletkenlik değerlerinin (ÖEİ) 603-1899 $\mu\text{S}/\text{cm}$, çözülmüş oksijenin (ÇO) 3.20-9.35 mg/l ve toplam çözülmüş madde miktarının (TÇK) 380-1230 mg/l arasında değiştiği belirlenmiştir. Ca-HCO_3 su tipinde olan kaynakların kimyasal gelişiminde silikat ayrışması, karbonat ayrışması ve iyon değişimi türü su-kayaç etkileşim süreçlerinin etkili olduğu belirlenmiştir. İyon değişimini açıklamak için hesaplanan negatif Chloro Alkaline Indices (CAI) değerleri ters değiş tokuş olduğunu göstermiştir. $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ ilişkisine göre meteorik kökenli olan kaynak suları Doğu Karadeniz Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer almaktadır. İzotop değerlerine göre genç ve sığ dolaşimli yeraltı suyunu boşaltan kaynakların kimyasal bileşimleri yoğun ayrışmanın gözlemlendiği volkanik kayaların üst kısımlarındaki hareket sırasında gelişmiştir. Ba, Sr ve Zn elementleri kayalarda olduğu gibi kaynak sularında da yüksek değerlerdedir. Kaynak sularındaki Br (0.036-0.070 mg/l) ve Cr (0.0625 mg/l) değerleri Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te önerilen sınır değerleri aşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Değirmendere Havzası, Hidrokimya, Kaynak suyu, Su-kayaç etkileşimi, Trabzon.

ABSTRACT

In general, the rock types; basalt, andesite, altered andesite, tuff, dacite, and marl intercalating with volcanics, have been identified lithologically in the Değirmendere Basin. In the basin, there are many springs with a high carbon dioxide content and total dissolved solids, all of which are related to tectonic lines. Of these, four springs have discharge rates, pH, specific electrical conductivity (SEC) and total dissolved solids (TDS), respectively, 46-158 ml/sec, 5.32-6.99, 603-1899 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 380-1230 mg/l. It is determined that silicate weathering, carbonate weathering and ion-exchange type water-rock interaction processes were effective on the chemical evaluation of the Ca-HCO_3 water type springs. The Chloro Alkaline Indices (CAI), which are calculated to explain the ion-exchange, indicated a reverse exchange. Based on $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ correlation, the springs which have a meteoric origin lie on the Eastern Black Sea Meteoric Water Line. According to the isotopic values, the chemical composition of the young and shallow circulating springs was developed during circulating to the upper parts of the volcanic rocks where an intense weathering was observed. The concentration of Ba, Sr and Zn are high as in the rocks. Br (0.036-0.070 mg/l) and Cr (0.062 mg/l) values of the springs exceed the limit recommended in the Natural Mineral Water Regulation (2004).

Keywords: Değirmendere Basin, Hydrochemistry, Spring water, Water-rock interaction, Trabzon.

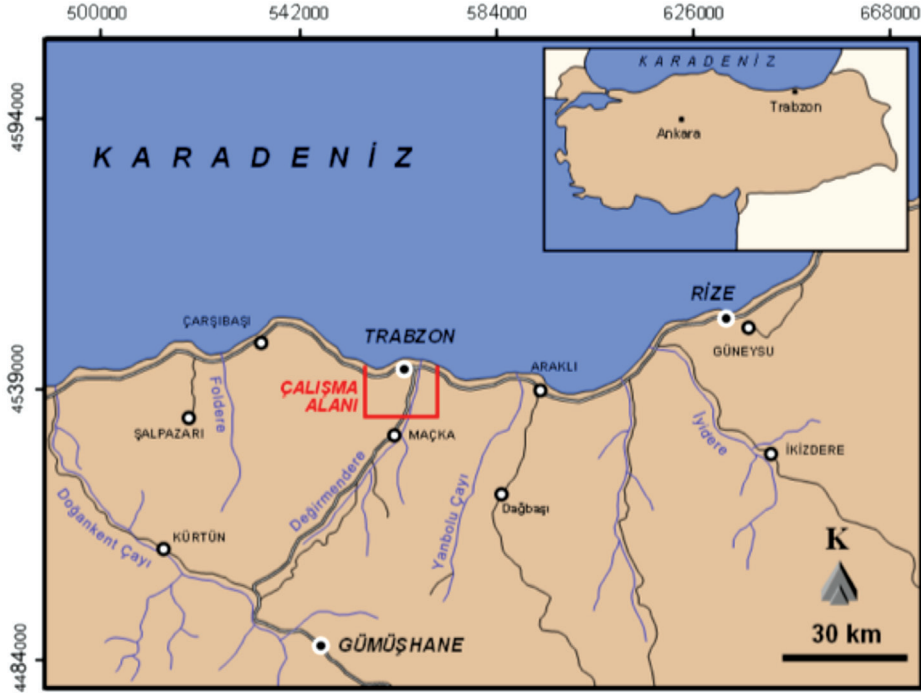
GİRİŞ

Yeraltı sularının doğal boşalımı olan kaynakların kimyasal bileşimleri, suyun içerisinden geçtiği kayaçların ve zeminlerin kimyasal bileşimine, jeokimyasal süreçlere, suyun jeolojik formasyonlardaki minerallerle karşılaşma sırasına bağlı olarak değişiklik gösterir (Freeze ve Cherry, 1979). Bu değişiklikler kayaçların kimyası ile yakından ilişkilidir. Su-kayaç etkileşimi hakkında yapılan çalışmalarda kayaçlardaki kimyasal ayrışmanın su kimyasını doğrudan etkilediği görülmüştür (Davraz, 2003; Zhu, 2005; Scislewski ve Zuddas, 2010; Hamzaoui-Azaza vd., 2011).

Ilıman ve yağışlı bir iklime sahip Doğu Karadeniz Bölümü'nde engebeli topoğrafya sunan volkanik kayaçların çatlaklarından boşalan küçük debili kaynaklara sıklıkla rastlanmaktadır. Bir kısmı yöre halkı tarafından şifalı su olarak anılan bu kaynakların toplam çözünmüş madde miktarları genelde 500-1500 mg/l arasında değişiklik gösterir. Bu çalışmada normal yeraltı sularına göre daha fazla iyon içeriğine sahip bu sulara kayaç kimyasının su kimyası ve içilebilir özellikleri üzerine etkisi araştırılmak istenmiştir. Bu amaçla Aşağı Değirmendere (Trabzon-KD Türkiye) Havzası'nda yer alan ve çevre sakinleri tarafından kullanılan Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynakları incelenmiştir. Yörede daha önce yapılan çalışmalardan kaynakların

pH değerlerinin 5.5 ile 6.2, elektriksel iletkenlik değerlerinin ise 500 ile 1850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Gültekin vd., 2010), CO_2 miktarlarının 16-6 ile 71.3 mg/l (Kara, 1997) arasında değiştiği belirtilmiştir. Gültekin vd. (2005) aynı alanda yaptıkları çalışmada bazı kaynaklarda Cr, Sb, Se ve Pb değerlerinin standartlarda verilen sınır değerleri aştığını belirtmişlerdir. Değirmendere Havzası'nda yüzey sularında yapılan çalışmada ise nitrit, nitrat, amonyum, fosfat ve sülfat değerlerinin sırasıyla 0.037 mg/l, 3.85 mg/l, 0.118 mg/l, 0.068 mg/l ve 18.5 mg/l (Alkan vd., 2013) olduğu belirlenmiştir.

İnceleme alanı Trabzon İli sınırları içerisinde olup, yaklaşık 1061 km^2 'lik yağış alanına sahip Değirmendere Havzası'nın aşağı kısımlarında yer alır (Şekil 1). Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü'nün 1970-2012 yılları arasındaki kayıtlarına göre çalışma alanında ortalama toplam yıllık yağış 821.6 mm ve ortalama sıcaklık ise 14.7°C'dir (MGM, 2015). Havzada en fazla yağış Ekim ayında, en düşük yağış ise Temmuz ayında kaydedilmiştir. Havzadaki yıllık gerçek buharlaşma-terleme miktarı ise 550 mm olarak hesaplanmıştır. Yoğun bitki örtüsü ile kaplı olan alan engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Dağınık ve kırsal yerleşimin olduğu çalışma alanında başlıca fındık, kısmen sebze tarımı yapılmakta ve tarım faaliyetleri ile ilgili olarak tarımsal ilaç ve gübre kullanılmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

MATERYAL VE YÖNTEM

Haziran 2012 tarihinde başlayıp, Mart 2013'te tamamlanan arazi çalışmaları sırasında jeolojik çalışmalar, kayaç ve su örneklemeleri ile yerinde su kimyası ölçümleri yapılmıştır. Jeolojik haritalama işlemleri, alanda daha önce yapılmış olan çalışmalardan revize edilmiştir. Kayaç jeokimyası için havzada yüzeylenen kayaçların ayrılmış ve ayrışmamış kısımlarından örnekler alınmıştır.

Kaynaklara ait sıcaklık, pH, debi, özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), toplam çözünmüş madde miktarı (TÇK) ve çözünmüş oksijen (ÇO) değerleri YSI 556 model çok parametrelili ölçüm cihazı ile yerinde ölçülmüştür. Kaynaklardan Haziran 2012 tarihinde kimyasal ve izotopik analizler yapılmak üzere örnek alınmıştır. Örneklemede majör iyon analizleri için 1

litrelik, iz element analizleri için 100 ml'lik polietilen şişeler, Oksijen-18 ve Döteryum izotopu için 100 ml, trityum izotopu için 500 ml'lik polietilen şişeler kullanılmıştır. Örnek alınmadan önce şişeler 3 kez kaynak suyu ile çalkalanmıştır. Laboratuvar çalışmalarında alınan su örneklerinden majör iyon ve Trityum analizleri Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Su Kimyası Laboratuvarı'nda, iz element analizleri ACME Analitik Laboratuvarı'nda (Kanada), Oksijen-18 ve Döteryum izotopları ISO ANALYTICAL (İngiltere) Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

Kayaç örnekleri öncelikle Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında ince kesit haline getirilerek polarizan mikroskopta incelenmiş ve kayaç türleri

tespit edilmiştir. Daha sonra her bir litolojiden seçilen ayrışmış ve ayrışmamış kayaç örnekleri aynı laboratuvarında çeneli kırıcıda kırılıp, bilyeli değirmende öğütülmüştür. Toz haline gelen örneklerle ait tüm kayaç analizleri Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde ICP-MS yöntemi ile analiz edilmiştir.

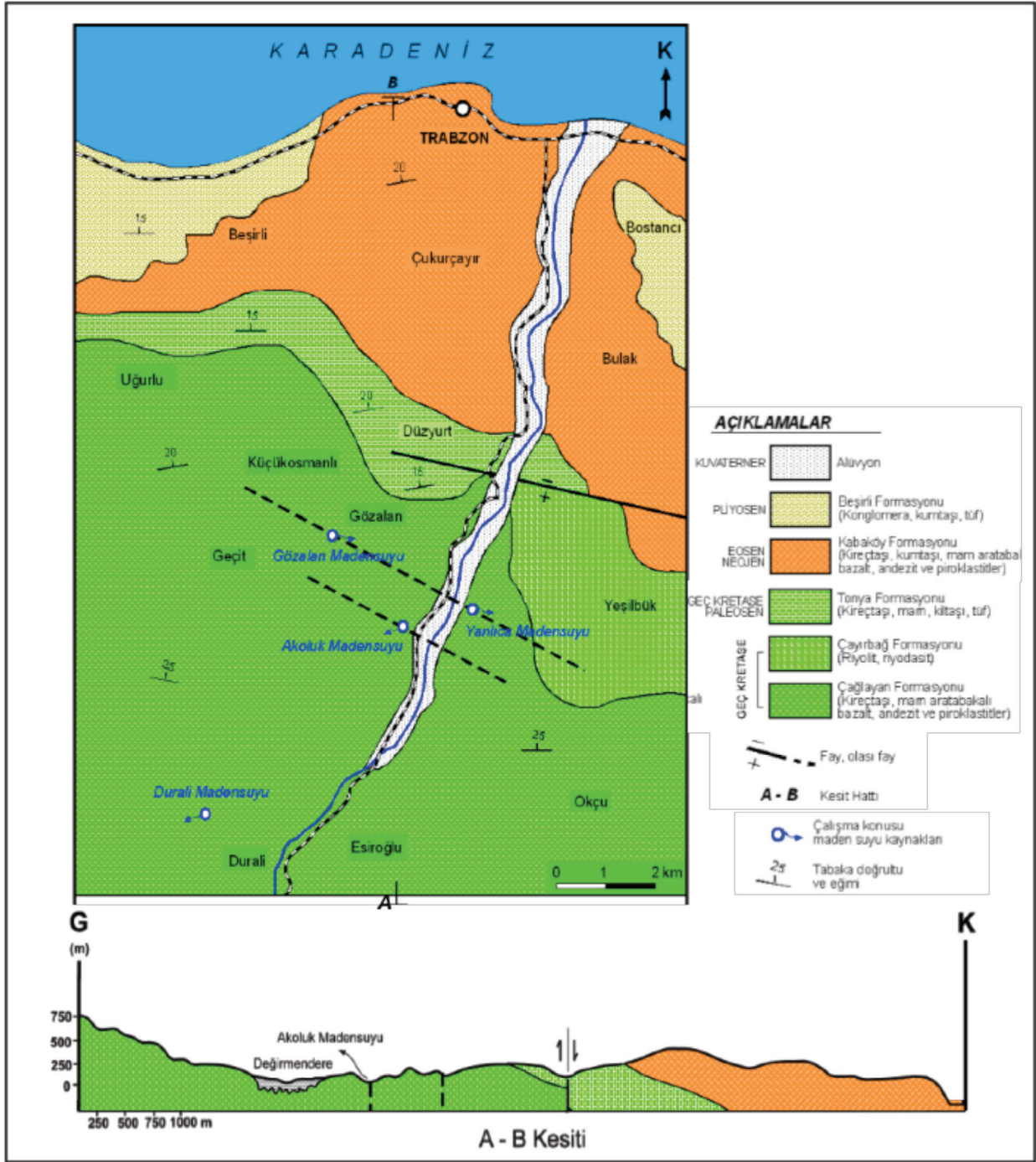
Suların farklı minerallere doygunluk durumlarının belirlenmesi için PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) yazılımı kullanılmıştır.

JEOLJİK-HİDROJEOLJİK YAPI

Çalışma alanında genellikle tortul ara seviyeler içeren volkanik kayaçlar yüzeylenir. Alandaki en yaşlı birim Geç Kretase yaşlı, altta koyu renkli bazalt, andezit ve piroklastitlerden, üst seviyelerde kırmızı mikritik kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marnlardan oluşan Çağlayan formasyonudur (Güven, 1993). Bazalt ve andezitlerde kloritleşme ve epidotlaşma görülmektedir. Bazaltik yastık lavlarda gaz boşlukları genellikle kalsit, klorit ve zeolit gibi minerallerle dolmuştur. Çağlayan formasyonu, alt seviyelerde dasitik, riyolitik ve riyodasit ve bunların piroklastiklerinden, üst seviyelerde ise kumtaşı, killi kireçtaşı, marn ve tüfile temsil edilen Çayırbağ formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenir (Güven, 1993). Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya formasyonu (Korkmaz, 1993) genel olarak beyaz, açık gri, sarımsı renkli kireçtaşı, killi kumlu kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşur. Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy formasyonu (Güven, 1993) inceleme alanında daha çok

bazalt türü kayaçlarla temsil edilir. Birim yer yer kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakaları içeren masif veya kalın tabakalanmalı bol ojit ve hornblendli bazalt, andezit ve piroklastlarının oluşturduğu bir volkano tortul istifdir. Kabaköy formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen Pliyosen yaşlı Beşirli formasyonu (Güven, 1993) konglomera, kumtaşı ve tüflerden oluşmuştur (Şekil 2). Elemanlarının çoğunluğu çakıl, kum ve silt az miktarda da kilden oluşan alüvyonlar Değirmendere Havzası'nda güneyden kuzeye doğru genişleyen yüzeylemeler sunar.

Havzadaki birimleri genellikle volkanik kayaçlar oluşturmaktadır. Bu kayaçların geçirgenliklerini soğuma çatlakları ile bozunmaya bağlı kırık-çatlak sistemleri denetlemektedir. Bazalt-andezit türü volkanik kayaçlarda prizmatik kolonsu yapılar belirgindir. Bu yapılar volkanik kayaçların birincil porozitelerini oluşturur. Tektonik faaliyetler sonucunda kazanmış oldukları çatlaklı oldukları çatlaklı yapı ikincil gözeneklilik olmayan bu geçirimli düzeyler yüzeyden beslenimin sığ derinliklere inmesini sağlar. Eğimli bir topoğrafyanın egemen olduğu alanda bu sığ derinliklere inen sular yamaçlardan genellikle küçük debili kaynaklar şeklinde boşalırlar. Dolayısıyla volkanik kayaçlar yeraltı suyu bakımından sadece çatlaklı oldukları yersel alanlarda önem taşımaktadır. Bu küçük kaynaklar mevsimlere bağlı olarak değişen debilerle boşalırlar. İnceleme alanında Geç Kretase yaşlı birimlerle Eosen yaşlı birimlerin faylı dokanağı ve kaynak sularının belirli bir hat boyunca dizim göstermeleri, incelenen kaynakların fay kaynağı olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 2. Aşağı Değirmendere Havzası (Trabzon) jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of the Lower Değirmendere Basin (Trabzon) (modified from Güven, 1993).

KAYAÇ KİMYASI

Geç Kretase yaşlı farklı formasyonlardan alınan kayaçların makroskobik ve mikroskobik incelemelerinden genellikle bazalt, altere bazalt, andezit, altere andezit, tuf (andezitik ?), dasit, volkanik katkılı marn oldukları belirlenmiştir (Çizelge 1). Bazaltlar ve altere bazaltlar yaklaşık % 70- 80 Ca'lı plajioklas ve % 10 ojit minerallerinden oluşmakta olup ikincil olarak kalsit ve kuvars mineralleri içerirler. Altere türlerinde ikincil mineral oranları daha düşüktür. Andezitler % 75-80 Na'lı plajioklas ve % 10-15 hornblend minerallerinden oluşmaktadır. Dasitler plajioklas, kuvars ve altere biyotitlerden meydana gelmiştir. Dasitik tüfler % 30 kayaç parçası, % 70 civarında kuvars, plajioklas ve diğer mineral tanelerinden oluşmuştur. Ayrılmış ve ayrılmamış kayaçların kimyasına göre; marnlar dışındaki tüm kayaçlarda (andezit, bazalt, dasit ve altere türleri) SiO_2 en bol bulunan oksittir. İkinci sırada genellikle Al_2O_3 yer alır (Çizelge 1). Alterasyonun etkileri bazaltlarda MgO'lerde % 30, Al_2O_3 'lerde % 20 ve Na_2O 'lerde %10'luk artışlar, CaO'lerde % 25 ve Fe_2O_3 'lerde %20'lik azalmalar şeklinde görülmektedir. Ayrılmış andezitik kayaçlarda % 40- 50 Al_2O_3 artışlarına karşılık, % 80- 90 Na_2O , % 85- 90 CaO, % 30-80 MgO değerlerinde azalmalar görülmektedir. Her iki kayaç grubunda SiO_2 ve K_2O değerleri ayrılmış türlerinde artmıştır. Kimyasal analizi yapılan kayaçların iz element değerleri ise Çizelge

2'de verilmiştir. Kayaçların iz element içerikleri incelendiğinde Ba, Sr, Zr, Rb, Zn ve Ce gibi iz elementlerin yüksek değerlerde, Se, Cd, Sn, Sb ve Hg gibi elementlerin ise düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Ayrılmış bazaltlarda Co, Ni, Cu ve Zn değerlerinde azalma, Rb, Sr, Ba, Cs ve Pb değerlerinde artma gözlenmektedir. Andezitlerin ayrılmış türlerinde ise Co, Zn ve Mo elementlerinde azalma, Rb, Zr ve Ba elementlerinde artış görülmektedir. Çağlayan formasyonunu temsil eden altere andezitlerde iz element değerleri diğer kayaç türlerine göre daha yüksektir.

SU KİMYASI

Değirmendere vadisindeki Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynak sularının fizikokimyasal özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. İnceleme alanındaki kaynak sularının sıcaklıkları 12.48-17.54 °C, debileri 46-158 ml/sn, pH değerleri 5.32-6.99, özgül elektriksel iletkenlik değerleri (ÖEI) 603-1899 $\mu\text{S}/\text{cm}$, çözülmüş oksijen miktarı (ÇO) 3.20-9.35 mg/l ve toplam çözülmüş madde miktarı (TÇK) 380-1230 mg/l arasında değişmektedir. Bu parametreler açısından kaynaklarda mevsimsel değişimler görülmemektedir. Akoluk kaynağında ilk ölçümlerde gözlenen farklılık, ölçümlerin kaynağın boru ile taşındığı yerde yapılmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 1. Ayrışmamış ve ayrışmış volkanik kayaların ana element analiz sonuçları (% ağırlık).
Table 1. Major oxides compositions of unaltered and altered volcanic rocks (wt. %).

Örnek No	Ba-2	Ba-1	Mac	AK-1	AK-2	DU-2	ES-1	A-2	DU-1	A-1	S-1
Litoloji	Bazalt	Altere Bazalt	Tüf	Marn (volkanik katkılı)	Volkanik Breş	Tüf	Andezit	Altere Andezit	Altere Andezit	Dasit	Bazalt
Formasyon adı	Çatak	Çatak	Çatak	Çağlayan	Çağlayan	Çağlayan	Çağlayan	Çağlayan	Çağlayan	Çayırbag	Kabaköy
Na₂O	2.23	2.53	3.01	0.081	0.22	1	5.08	0.8	0.37	2.4	3.07
MgO	8.731	11.33	3.422	0.283	8.595	1.267	0.987	0.679	0.14	0.946	6.714
Al₂O₃	12.29	14.89	12.99	3.798	12.19	11.57	11.84	16.65	21.65	13.91	13.09
SiO₂	43.62	46.32	59.33	25.7	48.74	67.96	62.54	63.79	57.25	62.36	51.66
P₂O₅	0.1614	0.3155	0.1187	0.0345	0.0098	0.0628	0.161	0.0817	0.1077	0.0403	0.0637
SO₃	0.0331	0.0039	0.6868	0.0150	0.0007	0.0007	0.0605	0.0822	0.0078	0.0133	0.0074
K₂O	1.539	1.167	0.8747	1.067	0.7847	2.242	0.2071	3.659	6.773	1.551	0.3659
CaO	7.714	5.914	7.924	39.62	7.261	2.358	3.742	0.3487	0.5384	4.844	6.982
TiO₂	1.155	1.458	0.6528	0.1348	0.4858	0.2632	0.6875	0.3654	0.3139	0.2062	0.6354
V₂O₅	0.0211	0.0402	0.0297	0.0029	0.0207	0.008	0.0123	0.0092	0.0212	0.007	0.0474
Cr₂O₃	0.0152	0.0039	0.0017	0.0028	0.0064	0.0020	0.0074	0.0118	0.0025	0.0356	0.002
MnO	0.1871	0.2023	0.1416	0.272	0.0666	0.043	0.1554	0.0781	0.0474	0.0323	0.1936
Fe₂O₃	13.24	10.5	7.371	2.145	10.374	3.408	6.737	3.411	3.549	2.673	11.23
Ateşte Kayıp	8.79	4.87	3.82	26.62	11.37	8.9	6.93	9.73	8.69	10.76	5.95

Tahmasebzadeh Bastam, Gültekin

Çizelge 2. Ayrışmamış ve ayrışmış volkanik kayaların iz element analiz sonuçları (ppm).

Table 2. Trace element results of unaltered and altered volcanic rocks (ppm).

Element	Ba-2	Ba-1	Mac	AK-1	AK-2	DU-2	ES-1	A-2	DU-1	A-1	S-1
Co	56.7	51.7	29	16.5	53.7	35.7	37.2	17.8	22	16	43.9
Ni	90.1	48.9	12.5	6.3	20.1	7.6	2.1	5	17.4	5.2	7.7
Cu	4.6	5.3	17.6	17.4	40.3	10.5	7.2	15.9	6.1	6.3	38.6
Zn	155.6	120.3	77.4	29.4	56.5	80.9	70	41	71.7	28.1	62.3
Ga	15.3	19	14.9	6.9	15.4	17.4	11.7	15.6	23.9	11.9	11.8
Ge	0.8	1.1	2.4	1.1	1.3	1.4	0.9	1.5	2.3	0.8	0.8
As	3.7	3.9	17	5.5	3.3	2	5.8	5.2	5.1	1.4	1.2
Se	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.7	0.3	0.4
Br	0.4	0.4	0.4	0.9	0.3	0.4	0.9	1	1	0.3	0.4
Rb	22.3	25.1	25.9	62.3	14.1	57.8	1.3	48	77.6	23.8	3.7
Sr	104	510.5	283.1	413.7	120.7	941	107.6	28.5	2974	71.1	239.5
Y	29.9	28.2	21.7	13.8	3.9	64.5	28.4	43.6	25.7	22.9	8.6
Zr	154.9	169.8	92.6	49.5	44.5	176.5	68.9	225.1	315	164.5	31.2
Nb	8.1	6.5	6	3.6	3.1	11.2	3	3.3	96.1	2.7	3.5
Mo	4.4	4.9	3.3	3.1	3.2	3.9	7.9	3.5	4.9	5.9	3.6
Cd	1	1	0.8	0.9	0.8	1.4	0.8	1.3	1	0.7	1.2
Sn	1.1	2.2	1.7	1.2	1.3	3.7	1.2	2.7	2	0.8	1
Sb	1	1	2.8	1.1	0.9	1	0.9	0.9	1.1	0.9	1
Cs	3.8	22.3	3.7	16.3	15.5	3.8	13.5	8.8	7.9	3.6	7
Ba	360.4	469.7	154.1	174.8	53.8	280.6	57.5	163.2	2868	110.9	29.2
La	29.5	72.7	31.5	75	48.9	7.6	40.1	35.9	146.7	35.4	19.9
Ce	51.9	124.2	51	100.4	69.2	86.8	50.2	49.2	232.3	54.8	23.6
Hf	5.1	4.8	6.3	4.8	5.8	3.7	3.7	5	4.2	3.7	6.1
Ta	5.2	4.7	5	4.6	6.4	3.9	3.6	4	4.4	3.1	6.9
W	6.4	5.5	4.2	4	3.9	3.9	4.4	2.9	4.5	3	4.3
Hg	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	0.9	1.2	1.1	1.6	1	1.3
Tl	1.7	1.7	1.7	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.6	1	1.4
Pb	9.3	18.5	62.8	25.5	1.4	7.3	4.2	2.3	51.8	7.5	1.4
Th	1.7	1.5	6.5	5.8	1.2	3	1.1	4.5	75.5	4.6	0.4
U	8.9	8.8	8.3	13.4	8.6	18.9	1.04	13	9.3	2.3	17.7

Çizelge 3. Kaynak sularında yerinde ölçülen parametreler.
Table 3. In-situ measured parameters of springs waters.

Parametreler	Kaynaklar	Haz.2012	Ekim 2012	Kas. 2012	Ara. 2012	Mart 2013
T (°C)	Gözalan	13.9	13.9	13.8	13.7	13.6
	Akoluk	15.1	17.5	13.5	12.5	12.9
	Durali	13.3	14.4	14.8	13.6	12.8
	Yanlıca	13.9	14.4	14.2	14.2	13.9
Q (ml/sn)	Gözalan	71	69	65	61	84
	Akoluk	46	46	50	48	52
	Durali	78	101	142	173	158
	Yanlıca	82	81	87	95	92
pH	Gözalan	-	6.31	5.88	5.86	5.82
	Akoluk	-	6.99	5.83	6.18	6.26
	Durali	-	6.08	5.32	5.56	5.54
	Yanlıca	-	6.22	5.60	6.03	6.20
ÖEİ (µS/cm)	Gözalan	1880	1899	1885	1872	1781
	Akoluk	922	1710	1613	1587	1538
	Durali	885	910	919	922	903
	Yanlıca	630	619	614	610	603
TÇK (mg/l)	Gözalan	1220	1230	1220	1210	1150
	Akoluk	590	1110	1040	1030	990
	Durali	570	590	590	590	580
	Yanlıca	400	400	390	390	380
ÇO (mg/l)	Gözalan	3.97	3.20	3.82	7.06	4.75
	Akoluk	3.81	8.69	8.06	9.35	7.77
	Durali	3.62	5.09	4.96	4.34	4.42
	Yanlıca	4.85	7.80	8.12	8.44	7.90

Çalışma alanındaki kaynak sularının major iyon ve iz element içeriği Çizelge 4'te verilmiştir. Kaynaklarda en yüksek değere sahip iyonlar katyonlarda Ca^{+2} , anyonlarda ise HCO_3^{-} 'tir. Piper diyagramına göre kaynak sularının $Ca-HCO_3$ 'lü su sınıfında ve karbonat sertliklerinin % 50'den fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3a). Schoeller diyagramı ise suların kimyasal açıdan benzer bileşimde olduklarını göstermektedir (Şekil 3b).

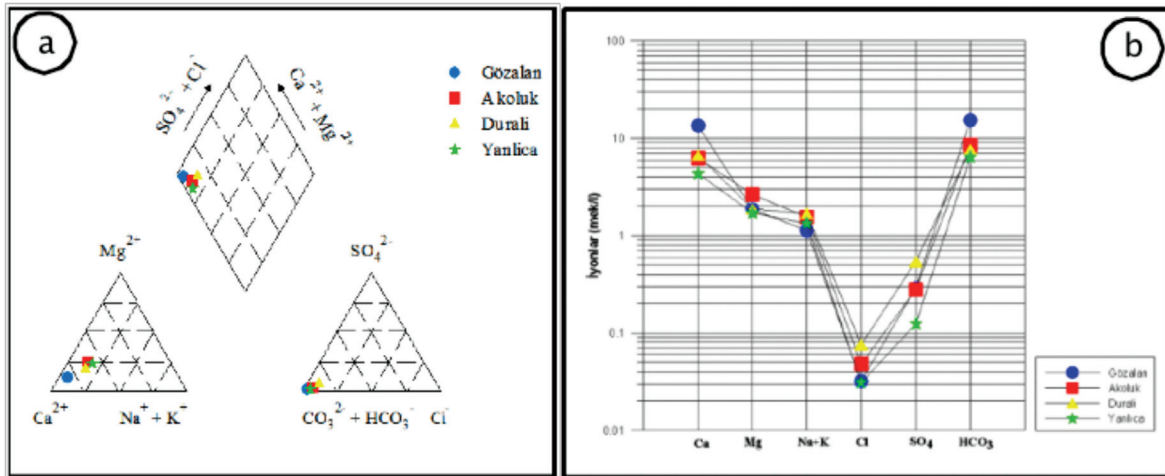
Suların doygunluk durumlarının değişimi, hidrokimyasal evrimin safhalarını belirlemede yardımcı olur ve hangi kimyasal reaksiyonların su kimyası üzerinde etkili olduğunu göstermesi (Drever, 1997; Langmuir, 1997) açısından önemlidir. İnceleme alanında yüzeyleyen volkanik kayalarda birincil olarak plajiyoklas ile ojit, hornblend ve kuvars gibi silikatlı mineraller, ikincil olarak kalsit, kuvars ve klorit türü mineraller belirlenmiştir. Kayalarda

bulunan bu minerallere göre kaynak sularının doygunluk durumları incelenmiş (Şekil 4), genel olarak montmorillonit, illit ve kaolinit gibi kil minerallerine aşırı doygun, götit, mika ve kuvars minerallerine doygun olduğu belirlenmiştir. Aşırı doygunluk uyumsuz çözünme, ortak iyon etkisi, hızlı sıcaklık artışı, buharlaşma ve CO₂ kaybı gibi değişik faktörlerden meydana gelebilir (Appelo ve Postma, 1994; Langmuir, 1997). Sular kalsit, aragonit, albit, serizit, florit, K- feldispat, rodokrozit, siderit gibi minerallere doygun değildir. Bu durum kaynak sularının kimyasal gelişiminde silikatlı kayaç ayrışmasının karbonatlı kayaçlardan daha etkili olduğunu göstermektedir.

DOĞAL İZOTOPLAR

Son yıllarda izotop çalışmaları ile suyun kökeni, beslenme alanı ve su-kayaç etkileşimleri gibi konulara açıklık getirilebilmektedir. İncelenen kaynak sularında $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H çevresel izotop içerikleri belirlenmiştir. Kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri -9.64 ile -8.89 (‰

SMOW), $\delta^2\text{H}$ değerleri -60.42 ile -56.23 (‰ SMOW) ve trityum değerleri 6.60 - 8.40 TU (± 0.40) arasında olup bu değerlere göre kaynak suları meteorik kökenlidir. Küresel Meteorik Su Doğrusu (Craig, 1961), Doğu Karadeniz Meteorik Su Doğrusu (DKMD: $\delta^2\text{H}=8 \delta^{18}\text{O}+16$) (Ekmekçi ve Gültekin, 2015) ve kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkileri Şekil 5a'da verilmiştir. İncelenen kaynak suları DKMD üzerinde yer almaktadır. $\delta^2\text{H}$ değeri daha küçük olan Gözalan kaynağının diğer kaynaklara göre daha yüksek kotlardan beslendiği, Durali kaynağında ise göreceli olarak bir $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesi olduğu söylenebilir. Kaynak sularının birbirlerine göre bağlı yeraltında kalış süreleri trityum-klorür ilişkisi (Şekil 5b) ile belirlenmeye çalışılmıştır. Trityum değerleri arasında çok büyük farklar bulunmamakla beraber yüksek trityum değerleri Gözalan ve Akoluk kaynaklarında, nispeten yüksek klorür değeri ise Yanlıca kaynağında görülmektedir. Bu durum Yanlıca kaynak suyunun yeraltında kalış süresinin kısmen diğer kaynaklara göre daha uzun olabileceğini göstermektedir.

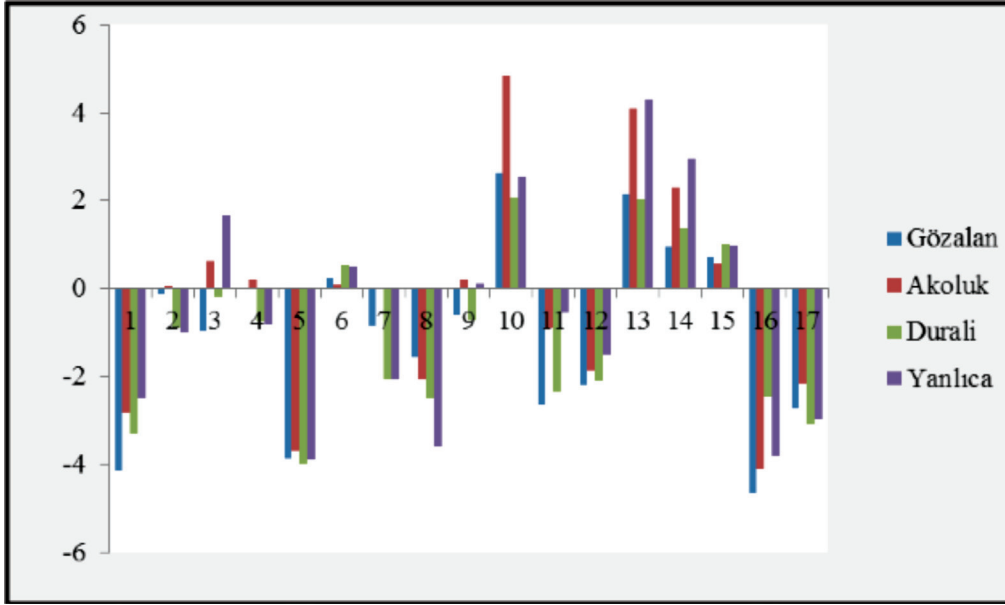


Şekil 3. Kaynak suyu örneklerinin Piper (a) ve Schoeller (b) diyagramları.

Figure 3. Piper diagram (a) and Schoeller diagram (b) of the spring water samples.

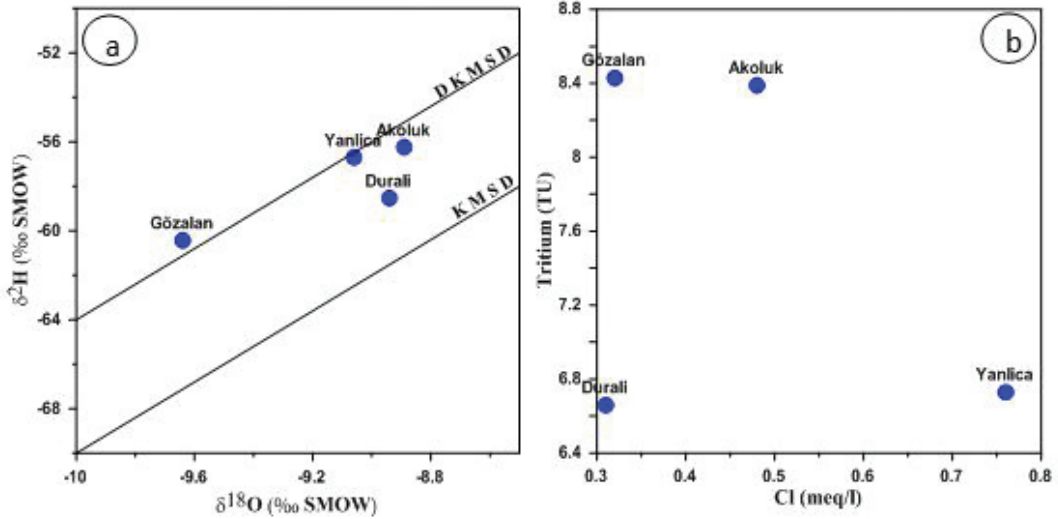
Çizelge 4. Kaynak sularının kimyasal analiz sonuçları (mg/l).
 Table 4. Results of chemical analysis of springs waters (in mg/l).

Parametre	Gözalın	Akoluk	Duralı	Yanlıca
Ca ⁺²	270.1	125.6	86.5	134.3
Mg ⁺²	22.3	31.5	20.6	22.6
Na ⁺	22.3	35.2	30.0	37.6
K ⁺	6.2	1.0	1.0	2.0
HCO ₃ ⁻	941.0	519.2	389.4	467.2
SO ₄ ⁻²	14.0	13.5	6.0	26.2
Cl ⁻	11.4	17.4	11.1	27.2
F ⁻	0.27	0.21	0.04	0.12
SiO ₂	44.5	33.5	84.4	88.5
NO ₂	<0.01	<0.01	<0.01	0.07
NO ₃	10.45	33.9	50.37	14.5
PO ₄	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NH ₄	0.82	0.52	0.45	0.25
Al	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
As	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008
B	0.032	0.037	0.014	0.023
Ba	0.48995	0.05022	0.02299	0.00309
Br	0.024	0.036	0.046	0.04
Cd	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
Cr	0.0625	0.0304	0.0351	0.0267
Cs	0.00021	<0.00001	0.00042	<0.00001
Cu	0.0007	0.0004	0.0005	0.0003
Fe	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Li	0.0057	0.0015	0.0053	0.0024
Mn	<0.00005	<0.00005	0.01075	0.00038
Mo	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001
Pb	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Rb	0.01776	0.00056	0.00355	0.00018
Sc	0.01	0.006	0.013	0.012
Se	0.001	0.0006	0.0025	0.0008
Sr	1.65287	0.43925	0.30241	0.17113
U	0.00246	0.00148	0.00025	0.00009
Zn	<0.0005	<0.0005	0.0084	<0.0005



Şekil 4. Seçilen bazı minerallere göre doygunluk indisleri (SI). 1:albit, 2:aragonit, 3:Ca- montmorillonit, 4:kalsit, 5:seruzit, 6: kalsedon, 7:dolomit, 8:florit, 9:gibsit, 10:götüt, 11:illit, 12:K- feldispat, 13:K-mika, 14:kaolinit, 15:kuvars, 16:rodokrozit, 17:siderit).

Figure 4. Saturation indices (SI) of some selected minerals. (1:albite, 2:aragonite, 3:Ca- montmorillonite, 4:calcite, 5:cerusite, 6: chalcedony, 7:dolomite, 8:fluorite, 9:gibbsite, 10:goethite, 11:illite, 12:K- feldspar, 13:K-mica, 14:kaolinite, 15:quartz, 16:rhodochrosite, 17:siderite).



Şekil 5. İncelenen kaynak sularında $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ (a) ve Cl-Tritiyum (b) ilişkisi. (KMSD: Küresel Meteorik Su Doğrusu, DKMSD: Doğu Karadeniz Meteorik Su Doğrusu).

Figure 5. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ (a) and Cl-Tritium (b) relation for the studied spring waters (KMSD: Global Meteoric Water Line, DKMSD: Eastern Black Sea Meteoric Water Line).

SU- KAYAÇ ETKİLEŞİMİ

Yeraltı sularındaki majör iyon derişimlerini karbonat ayrışması ve çökmesi, silikat ayrışması, iyon değişimi ve buharlaşma gibi hidrojeokimyasal süreçler kontrol etmektedir. Silikat ayrışmasının, yeraltı suyundaki SiO_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ve K^+ derişimleri, kalsit ve dolomit gibi karbonat ayrışmasının Ca^{2+} , Mg^{2+} ve HCO_3^- derişimleri açısından etkili olduğu bilinmektedir. Buharlaşma sürecinin etkileri ise Na^+ ve Cl^- iyonları ile TÇK değerlerinde gözlenmektedir (Gibbs, 1970). İncelenen kaynak sularında TÇK değerlerinin 400-1250 mg/l ve $(\text{Na}^{++}\text{K}^+)/(\text{Na}^{++}\text{K}^++\text{Ca}^{2+})$ oranlarının 0.09-0.26 arasında olması, kaynak sularının kimyasını başlıca su-kayaç etkileşiminin kontrol ettiğini göstermektedir. Beslenme havzalarında kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marn arakatlı bazalt, andezit ve dasit türü volkanik kayaçlar yüzeylenen kaynak sularında en fazla bulunan katyon 86.5-270.1 mg/l değerleri ile Ca^{+2} , en fazla bulunan anyon ise 389.4- 941 mg/l değerleri ile HCO_3^- 'tür. Kaynaklarda Mg^{+2} 20.6-31.5 mg/l, Na^+ ise 22.3-37.6 mg/l arasında değişen değerlerde bulunur. Silikatlı arazilerde yapılan su kimyası çalışmalarında Ca^{+2} ve HCO_3^- iyonlarının mek/l cinsinden oranının 1:2 olduğunda kalsit, 1:4 olduğunda dolomit çözünmesinin etkili olduğu belirtilmiştir (Garrels ve Mackenzie, 1971). Kaynaklarda bu oranın 0.67-0.88 arasında olması

kalsit ve dolomit dışındaki kayaç ayrışmasının daha etkili olduğunu göstermektedir. Majör iyonların hangi kimyasal olaylar sonucu su-kayaç etkileşimi ile suya geğmiş olabilecekleri Hounslow (1995)'e göre değerlendirilmiş ve incelenen kaynakları etkileyen kimyasal süreçler belirlenmiştir (Çizelge 5). Çizelge 5'e göre kaynak sularının kimyasal gelişiminde plajioklas ayrışması, ferromagnezyen mineraller içeren silikat ayrışması, iyon değişimi ve karbonat ayrışması süreçleri etkili olmuştur.

$(\text{Na}^{++}\text{K}^+-\text{Cl}^-)/(\text{Na}^{++}\text{K}^+-\text{Cl}^-+\text{Ca}^{+2})$ oranının <0.2 ve $\text{Na}^+ / (\text{Na}^++\text{Cl}^-)$ oranının >0.5 olması Na^+ iyonlarının kaynağının plajioklas ayrışması ve iyon değişimi olduğunu göstermektedir. $\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2 >10$ veya <5 olma durumu karbonat veya silikat ayrışmasını gösterir (Hounslow, 1995). Ancak çevre kayaçların bileşimleri ve Ca ve HCO_3^- oranları dikkate alındığında çalışma alanındaki suların kimyası üzerinde silikat ayrışmasının karbonat ayrışmasından daha etkili olduğu söylenebilir. Doğal sularda genellikle 1-30 mg/l (Hem, 1970) arasında bulunan SiO_2 , incelenen kaynak sularında 33.5 ile 88.5 mg/l arasında değişir. Silikatların bozunması albit, anortit, K-feldispat, piroksen ve biyotitin kaolinite dönüşme reaksiyonları (1-5) eşitlikleri (Appelo ve Postma, 1994), amfibolün ayrışma reaksiyonu ise (6) eşitliği (Sami, 1992) ile verilmiştir.

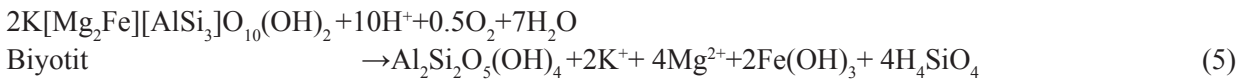
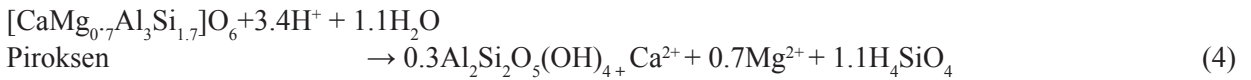
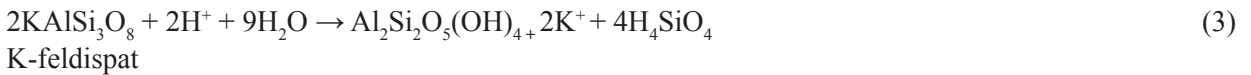
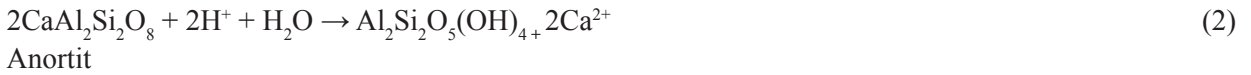
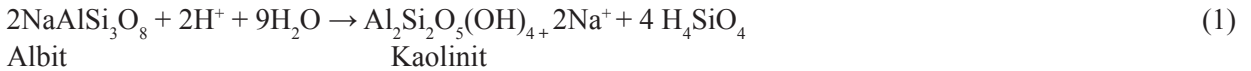
Tahmasebzadeh Bastam, Gültekin

Çizelge 5. İncelenen kaynak sularında gelişen su-kayaç etkileşim süreçleri (Hounslow, 1995).

Table 5. Water-rock interaction processes in the investigated spring waters (Hounslow, 1995).

Parametre ve süreç	Gözalan	Akoluk	Durali	Yanlıca
$(\text{Na}^++\text{K}^+-\text{Cl})/(\text{Na}^++\text{K}^+-\text{Cl}+\text{Ca}^{+2})$	0.07 Plajioklas Ayrışması	0.19 Plajioklas Ayrışması	0.19 Plajioklas Ayrışması	0.23 Olası Plajioklas Ayrışması
$\text{Na}^+/(\text{Na}^++\text{Cl})$	0.96 Iyon değişimi	0.96 Iyon değişimi	0.98 Iyon değişimi	0.97 Iyon değişimi
$\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2$ $\text{Mg}^{+2}/(\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2})$	21.13 0.12 Karbonat ayrışması	15.5 0.29 Karbonat ayrışması	4.61 0.21 silikat ayrışması (Ferromagnezyen mineraller)	5.2 0.28 silikat ayrışması (Ferromagnezyen mineraller)
$\text{Ca}^{+2}/(\text{Ca}^{+2}+\text{SO}_4^{-2})$	0.97 Karbonat veya silikat ayrışması	0.95 Karbonat veya silikat ayrışması	0.92 Karbonat veya silikat ayrışması	0.97 Karbonat veya silikat ayrışması
$(\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2})/\text{SO}_4^{-2}$	52.78 Dedolomitleşme yok	31.63 Dedolomitleşme yok	15.77 Dedolomitleşme yok	48.66 Dedolomitleşme yok
$\text{Cl}/\Sigma\text{anyon}$	0.002 Kayaç ayrışması	0.005 Kayaç ayrışması	0.009 Kayaç ayrışması	0.004 Kayaç ayrışması
$\text{HCO}_3^-/\Sigma\text{anyon}$	0.97 silikat veya karbonat ayr.	0.96 silikat veya karbonat ayr.	0.92 silikat veya karbonat ayr.	0.97 silikat veya karbonat ayr.

*Çizelgede iyon derişimleri mg/l' dir.



Kaynak sularındaki Ca^{2+} 'un kaynağını çoğunlukla çevre kayalarda yaklaşık % 70-80 oranında bulunan Ca 'lu plajiyoklaslar, % 5-10 oranındaki ojit ve hornblend gibi silikatlı mineraller, az miktarda da volkanik kayalarda ikincil mineral olarak bulunan kalsit ve ara seviyeler şeklinde bulunan kireçtaşları oluşturur. Mg^{+2} ise sulara volkanik kayalardaki piroksen, amfibol ve biyotit gibi koyu renkli minerallerden geçmiştir. Na^+ ise andezit, altere andezit ve dasit türü volkanik kayalarda % 70 oranında bulunan Na 'ca zengin plajiyoklasların ayrışması ve katyon değişimi olayları sonucu yeraltı suyuna karışmıştır. Havzada volkanik kayalarda yapılan ayrıntılı petrografik çalışmalarda (Aydın, 2003) feldispatoitlerde sodalitlerin ve opak mineral olarak piritlerin bulunduğu belirtilmiştir. Bu mineraller sulara düşük derişimlerde bulunan Cl^- (11.1-27.2 mg/l) ve SO_4^{-2} (6-26.2 mg/l) iyonlarının kaynağı olarak düşünülmektedir.

Kaynak sularında gelişen su-kayaç etkileşim süreçlerinde iyon değişiminin de etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle yeraltı suyu ile çevre kayalar arasındaki iyon değişimini açıklamak için Schoeller (1965 ve 1967) tarafından önerilen CAI (Chloro Alkaline

Indices) indisleri hesaplanmıştır (Çizelge 6). Sulardaki Na^+ ve K^+ ile kayalardaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} un yer değiştirmesi doğrudan değiş tokuş, değişimin tersi olduğu durum ise ters değiş tokuş olarak adlandırılmaktadır. Doğrudan değiş tokuş işleminde indislerin her ikisi de pozitif, tersi durumda negatif değerler almaktadır. Kaynak suları için hesaplanan CAI indislerinin negatif değerler alması (Çizelge 6), ters değişimin olduğunu göstermektedir.

Kil mineralleri gibi kolloid boyutunda partikül içeren jeolojik birimlerde, partikül yüzeylerinde adsorplanmış iyonik bileşenler sudaki diğer iyonlarla yer değiştirme yeteneğine sahiptir. Bu tür iyonik yer değiştirmenin neden olduğu yüzey yükünün karakteri pH'a bağlıdır (Freeze ve Cherry, 1979; Appelo ve Postma, 1994). Yeraltı sularının pH değeri (6.5-8.5) kaolinit ve montmorillonit türü kil minerallerinin pH_{pzc} değerlerinden (4.6 ve 2.5) büyük olduğu için bu mineraller katyon absorplama eğilimindedir (Appelo ve Postma, 1994). pH değerleri 5.3 ile 6.9 arasında olan kaynaklarda, sulardaki Ca^{+2} ile kil minerallerine tutunmuş olan Na^+ 'un yer değiştirmesinden söz edilebilir.

Çizelge 6. İncelenen kaynak sularında CAI (Chloro Alkaline Indices) indisleri.

Table 6. CAI (Chloro Alkaline Indices) of the studied spring waters.

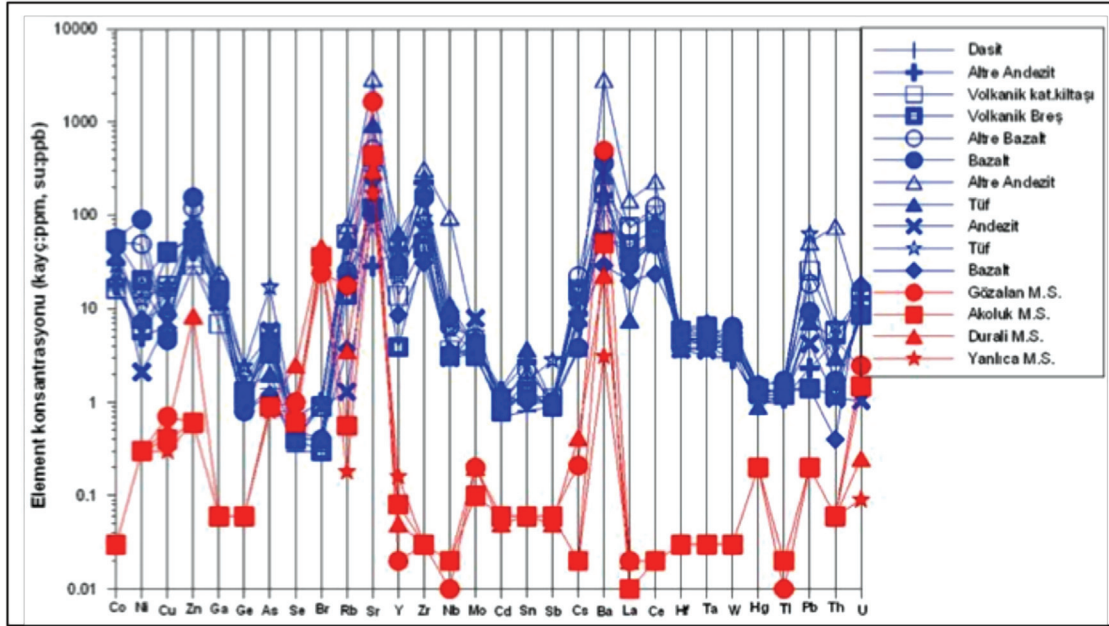
CAI	Gözalan	Akoluk	Durali	Yanlıca
$r \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{Cl^-}$	-1.128	-1.55	-1.68	-1.32
$r \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{SO_4^{-2} + HCO_3^- + NO_3^-}$	-0.055	-0.13	-0.14	-0.15

Florür değerleri ise 0.04-0.27 mg/l gibi oldukça düşüktür. Florür'ün kaynağı olarak bilinen ve oldukça düşük çözünürlüğü olan florit (CaF_2) hem sedimanter hem de magmatik kayalarda bulunur. İnceleme alanında yüzeyleme veren tuf gibi piroklastik kayalar da florür için kaynak oluşturur, ancak yüksek pH ve düşük Ca^{+2} değerlerinde yüksek F derişimleri görülmektedir (Hem, 1970). Ayrıca yeraltı sularındaki florür derişiminin yağışın potansiyel buharlaşmaya oranına göre belirlenen iklim türü ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Brant vd., 2004). Nemli iklim özelliğine sahip havzada (Gültekin vd., 2005) yer alan kaynakların pH değerinin düşük, Ca^{+2} derişiminin yüksek olması sularındaki F değerlerinin düşük olmasına neden olmuştur.

Sularda ölçülen iz element değerleri genel olarak düşüktür. Kaynaklarda gözlenen en yüksek değere sahip iz element Sr (0.17113-1.65287 mg/l), ikinci sırada ise Ba (0.00309-0.48995 mg/l) elementidir. Ba, doğada normal sularda daha düşük konsantrasyonlarda (0.043 mg/l) (Hem, 1970), doğal mineralli sularda ise daha yüksek değerlerde (0.16 mg/l) (Garboš ve Swiecicka, 2013), en yüksek değerde ise petrol sahalarındaki tuzlu sularda (650 mg/l) (Collins, 1975) gözlenmiştir. Karbonatlı kayalarda az miktarda bulunan Sr ve Ba kimyasal özellikleri Ca^{+2} ile benzer olup, granit siyenit gibi magmatik kayalardaki potasyum ve kalsiyum ile yer değiştirebilirler (Rankama ve Sahama, 1950). Sularda Cr (0.0267- 0.0625 mg/l), Br (0.024-0.046 mg/l) ve B (0.014- 0.037 mg/l) elementleri daha düşük değerlerde bulunur. Çözümlerde iki değerlikli baskın türler olan Cu, Zn ve Cd, incelenen kaynaklarda düşük değerlerdedir. Bunlar ve benzeri metalik element içeren minerallerin çözünürlükleri indirgeyici şartlar altında ve asidik koşullarda daha yüksektir.

Metalik elementler yüksek pH'larda (örğ. $\text{pH}>8$) ve oksik koşullarda oksit ve hidroksit mineralleri şeklinde çökeltme eğilimindedir. Ortamda indirgeyici sülfür türleri olduğunda Cu ve Pb içeren minerallerin çözünürlüğü indirgeyici koşullarda, yükseltgeyici koşullara göre daha düşüktür (Hem, 1970). Doğal sularda, Zn cevherleşmelerinin bulunmadığı alanlarda Zn konsantrasyonunun genellikle 10 ppb'nin altında, Cd konsantrasyonunun oldukça düşük (Hem, 1970) olduğu belirtilmiştir. Lokal yeraltı suyu sistemlerini temsil eden kaynak sularında eğilim oksijen tüketimine ve dolayısıyla indirgeyici (redüksiyon) koşullara doğru olduğundan Cu, Zn, Pb ve Cd elementlerini içeren minerallerin çözünürlükleri düşüktür.

Yeraltı sularının kimyasal gelişiminde içerisinde bulunduğu jeolojik birimi oluşturan minerallerin çözünürlüğü ve açığa çıkan elementlerin jeokimyasal hareketliliği önemlidir. Kaynak sularının iz element içerikleri ile kayaların iz element içerikleri karşılaştırıldığında indirgeyici koşullarda hareketli olan Ba ve Sr değerlerinin sularda da kayalarda olduğu gibi yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 6). Sulardaki içeriği kayalardaki derişimleri ile paralellik gösteren Zn indirgen ortamlarda hareketsiz olmasına rağmen karbonatlı ortamlarda hareketlidir. Ni, Cu, As, Se, Mo, Cd, Sn, Sb, Hf, Ta ve Th gibi hareketsiz olan elementler kayadaki bileşimlerine paralel derişim göstermektedir. Co, Zr, Nb ve Tl gibi elementlerin kayalardakinin aksine sularındaki derişimleri düşüktür. Hem yükseltgeyici, hem de indirgeyici şartlarda hareketli olan Br kayalardakinin aksine sularda yüksek derişimlerde bulunmaktadır.



Şekil 6. İncelenen kaynak sularında (ppb) ve çevre kayaçlarında (ppm) iz element konsantrasyonları.

Figure 6. The trace element concentration in the studied spring waters (ppb) and country rocks (ppm).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yağışlı bir iklime sahip olan çalışma alanı ve çevresinde sürekli akışa sahip, normal sulara göre daha yüksek iyon içeren kaynaklarda su tipi Ca-HCO_3^- türüdür. Toplam iyon miktarları yıl boyunca değişiklik göstermeyen bu kaynak sularındaki majör iyonların mek/l değerlerine göre bolluk sıralamaları birbirine oldukça benzerdir. Genel olarak düşük konsantrasyonlarda olan iz elementler açısından da kaynak suları birbirlerine benzerlik gösterir. Havzada topoğrafik eğimin yüksek ve çok sayıda yan vadilerin olması havzaya düşen yağışın sığ dolaşimlarla kısa sürede vadi tabanlarına yakın kotlardan kaynaklar şeklinde boşalmasına neden olmaktadır. Kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ izotop değerleri de bunu destekler niteliktedir. Kaynakların beslenme havzalarında kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marn arakatıkları içeren bazalt, andezit ve piroklastik kayaçlar yüzeylenir. Kloritleşme ve epidotlaşma şeklinde yoğun ayrışmanın gözlemlendiği volkanik

kayaçlarda birincil olarak plajiyoklas, piroksen, biyotit ve hornblend mineralleri, ikincil olarak kuvars ve kalsit mineralleri tespit edilmiştir.

Kaynak sularının kimyasal bileşiminde silikat ayrışması, karbonatlı minerallerin çözünmesi ve iyon değişimi süreçlerinin etkili olduğu belirlenmiştir. Silikatlı minerallerin ayrışması kaynak sularının kimyası üzerindeki ana kontrol olarak yorumlanmıştır. Kayaçların ayrışmış türlerinde yüksek derişimlerde gözlenen ve indirgeyici ortam koşullarında hareketli olan iz elementler sulara da yüksek değerlerde bulunmaktadır.

Kayaç ayrışmasının etkili olduğu Değirmendere Havzası'nda volkanik kayaçların çatlak ve fay zonlarından yüzeye çıkan Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlica kaynak suları normal yeraltı sularına göre daha fazla iyon içerirler. Bu iyon içerikleri ile bu tür kaynaklar Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre «düşük mineralli su» ve «mineralli

su» sınıfında değerlendirilmektedir. Bu tür suların iz element konsantrasyonları içilebilme özelliklerini etkilemektedir. İncelenen kaynak sularının Br (0.036- 0.070 mg/l) ve Cr (0.0625 mg/l) değerleri Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te önerilen sınır değerleri aşmaktadır. Yönetmelikte verilen sınır değerleri aşmamasına rağmen Sr (0.17113-1.65287 mg/l) ve Ba (0.00309-0.48995 mg/l) konsantrasyonları da normal sulara göre daha yüksektir. Çözülmüş madde miktarı normal sular göre daha yüksek fakat mineralli sulara göre daha düşük olan bu kaynak suları, yan kayaçlardaki ayrışmaya bağlı olarak su-kayaç etkileşiminin gözlemlendiği sığ dolaşıma sahip yeraltı sularıdır. Yerleşim alanı içerisinde ve yoğun tarım faaliyetlerinin etki alanında bulunan bu kaynaklar ilaç, gübre ve evsel atıklar tarafından da kirlenmeye karşı korunmasızdır. Kaynakların hepsinde NO₃ ve NH₄ değerleri normal sulara göre daha yüksek, Durali kaynağında ise NO₃ konsantrasyonu Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te önerilen değeri aşmaktadır. Dolayısıyla bu tür kaynakların içilebilme özelliklerini etkileyen parametreler açısından bir süre takip edilip yönetmeliklerde verilen değerleri aşan parametrelerin olması durumunda da kaynakların kullanımlarının engellenmesi yöre halkı sağlığı açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Alkan, A., Serdar, S., Fidan, D., Akbaş, U., Zengin, B., Kılıç, M.B., 2013. Physico-chemical characteristics and nutrient levels of the eastern black sea rivers. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, 847-859.
- Appelo, C. A. J., Postma, D., 1994. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Rotterdam: Balkema, 536 p.
- Aydın, F., 2003. Değirmendere vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD- Türkiye) volkanitlerinin mineral kimyası, petrolojisi ve petrojenezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. Doktora Tezi, 232 s. (yayımlanmamış).
- Brunt, R., Vasak, L., Griffioen, J., 2004. Fluoride in groundwater: probability of occurrence of excessive concentration on global scale. *International Groundwater Resources Assessment Centre (Igrac) Report nr: Sp 2004-2*.
- Collins, A. J., 1975. *Geochemistry of oil field waters*: New York, Elsevier Scientific Pub. Co. 496 p.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric water. *Science*, 133, 1702-1703.
- Davraz, A., 2003. Kaya- su etkileşimi üzerine bir çalışma, Keçiözümlü- Değirmendere kaynağı (Isparta). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (2), 327-335.
- Drever, J. I., 1997. *The geochemistry of natural waters*. Third edition. New Jersey: Prentice-Hall. Inc. 436 p.
- Ekmekçi, M., Gültekin, F., 2015. Doğu Karadeniz bölümü suları çevresel duraylı izotop içeriğinin değerlendirilmesi. MÜHJEO'2015 Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, (Editörler: Ulusay, Ekmekçi, Ersoy ve Fırat Ersoy), Trabzon, 459-466.
- Freeze, R. A., Cherry, J. A., 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. Inc. 562 p.
- Garbos, S., Swiecicka, D., 2013. Determination of barium in natural waters by ICP-OES technique. Part II: Assessment of human exposure to barium in bottled mineral and spring waters produced in Poland. *Roczniki Panstwowege Zakladu Higieny*. 64, (2), 91-6.
- Garrels, R. M., Mackenzie, F.T., 1971. *Evolution of sedimentary rocks*. New York: WW Norton. 413 p.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science Journal*, 170,795-840.
- Gültekin, F., Dilek, R., Fırat Ersoy, A., Ersoy, H., 2005. Aşağı Değirmendere (Trabzon) havzası'ndaki suların kalitesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29 (1), 21-35.
- Gültekin, F., Fırat Ersoy, A., Hatipoğlu, E., 2010. Trabzon ili CO₂'ce zengin kaynak sularında su-

- kayaç ilişkisi, IV. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, (Editör: Şaşmaz), Elazığ, 113.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli kompilasyonu. MTA Yayınları, Ankara.
- Hamzaoui-Azaza, F., Ketata, M., Bouhlila, R., Gueddari, M., Riberio, L., 2011. Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss-Koutine aquifer, southeastern Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174, 283-298.
- Hem, J. D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Geological Survey (U.S.), Water-supply paper, Second Edition, 363 p.
- Hounslow, A. W., 1995. Water quality data: analysis and interpretation. Lewis Publishers, 416 p.
- Kara, İ., 1997. Termal ve mineralli sular envanteri Trabzon, MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara, (yayımlanmamış).
- Korkmaz, S., 1993. Tonya-Düzköy (GB Trabzon) yöresinin stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36, 151- 158.
- Langmuir, D., 1997. Aqueous environmental geochemistry. Prentice Hall, Inc., 601p.
- MGM, 2015. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllerimize ait istatistik verileri, 20 Kasım, 2015, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik>.
- Parkhurst, D. L., Appelo, C. A. J., 1999. User's guide to PHREEQC (version 2): A computer program for speciation, batch reaction, one dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report. pp. 99-4259.
- Rankama, K., Sahama, T. H. G., 1950. *Geochemistry*, The university of Chicago Pres, Chicago and London, 912 p.
- Sami, K., 1992. Recharge mechanisms and geochemical processes in a semi-arid sedimentary basin, Eastern Cape, South Africa. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 139, 27-48.
- Scislewski, A., Zuddas, P., 2010. Estimation of reactive mineral surface area during water-rock interaction using fluid chemical data. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 6996-7007.
- Schoeller, H., 1965. Qualitative evaluation of groundwater resources. In *Methods and techniques of groundwater investigations and development*, UNESCO, 54-83.
- Schoeller, H., 1967. *Geochemistry of groundwater-an international guide for research and practice (Chap.)*. UNESCO, 15, 1-18.
- T.C. Resmi Gazete, 2004. Doğal mineralli sular hakkında yönetmelik, 25657.
- Zhu, C., 2005. In situ feldspar dissolution rates in an aquifer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69 (6), 1435-1453.

