

Marmaris Peridotiti ile İlişkili Yüzey ve Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri: Acıpayam (Denizli) Batısı

Ayşen DAVRAZ 

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta.

Geliş Tarihi (Received): 27.04.2023, Kabul Tarihi (Accepted): 11.07.2023

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author*): aysendavraz@sdu.edu.tr

☎ +90 246 2111326 📠 +90 246 2370859

ÖZ

Güneybatı Türkiye'de Likya napları içerisinde bulunan Marmaris Peridotiti birimi geniş alanlarda yüzeylemektedir. Bu birimin kırık-çatlak düzlemleri boyunca farklı debilerde kaynak boşalimleri gözlenmektedir. Bu çalışmada Acıpayam (Denizli) ilçesi batısında Marmaris peridotiti ile etkileşimi olan yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. İnceleme alanında yüzey sularının Mg-HCO₃ su sınıfında, kaynak sularının ise Mg-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃ ve Ca-HCO₃ su sınıflarında oldukları belirlenmiştir. İnceleme alanında suların kimyasal yapısını oluşturan hidrojeokimyasal süreçlerin tespit edilmesinde majör iyon içerikleri kullanılmıştır. Bölgede yüzey ve yeraltısularının kimyasını denetleyen baskın faktörün silikat ayrışması olduğu belirlenmiştir. Su örneklerinde baskın katyon Mg⁺² olup, Mg⁺² artışı Marmaris peridotitini oluşturan harzburgit ve dünit birimleri içerisinde bulunan olivin ve piroksen minerallerinin ayrışmasından kaynaklanmaktadır. İnceleme alanında dere sularının As içeriği 13.3 ve 15.7 µg/l, kaynak sularının As içeriği ise 0.36-14.4 µg/l arasında değişmektedir. Cr içeriği dere sularında 8.5-12 µg/l, kaynak sularında 3.5-14.1 µg/l arasındadır. Sularda iz elementlerin varlığı Marmaris peridotiti ile kaya-su etkileşimi kaynaklıdır.

Anahtar Kelimeler: Acıpayam, hidrojeokimya, peridotit, silikat ayrışması

Hydrogeochemical Characteristics of Surface and Groundwaters Associated With Marmaris Peridotite: West of Acıpayam (Denizli)

ABSTRACT

The Marmaris Peridotite unit, located within the Lycian nappes in southwestern Turkey, crops out in large areas. Spring discharges at different flow rates are observed along the fracture-crack planes of this unit. In this study, the hydrogeochemical properties of surface and groundwaters interacting with Marmaris peridotite in the west of Acıpayam (Denizli) district were investigated. It was determined that the surface waters in the study area are in Mg-HCO₃ water class, and the spring waters are in Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and Ca-HCO₃ water classes. Major ion contents were used to determine the hydrogeochemical processes that make up the chemical structure of the waters in the study area. It has been determined that the dominant factor controlling the chemistry of surface and groundwaters in the region is silicate weathering. The dominant cation in the water samples are Mg⁺², and the Mg⁺² increase is due to the decomposition of olivine and pyroxene minerals in the harzburgite and dunite units that make up the Marmaris peridotite. In the study area, the As content of the stream waters varies between 13.3 and 15.7 µg/l, and the As content of the spring waters varies between 0.36-14.4 µg/l. The Cr content is between 8.5-12 µg/l in stream waters and 3.5-14.1 µg/l in spring waters. The presence of trace elements in the waters is due to the Marmaris peridotite and the rock-water interaction.

Keywords: Acıpayam, hydrogeochemistry, peridotite, silicate weathering,

GİRİŞ

Yüze ve yeraltı suyu kimyası jeojenik süreçler (kaya ayrışması ve iyon değişimi) ve antropojenik faaliyetler tarafından kontrol edilir. Yüze ve yeraltı sularının kimyasal bileşimi, etkileşimde oldukları kayaçların ve akiferlerin kimyasal ve mineralojik özellikleri, akış koşulları, suyun akiferde kalma süresi, akış hızı, oksidasyon/indirgenme, katyon değişimi, çözünme/çökelme, kimyasal ayrışma, suların karışması, tarımsal faaliyetler vb. gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedirler (Freeze ve Cherry, 1979; Appelo ve Postma, 1993). Bu süreçler içerisinde suların hidrojeokimyasal yapısını denetleyen en önemli faktör olarak jeojenik süreçler sayılabilir.

Bu çalışmada Marmaris peridotitinin geniş alanlarda yüzeyletiği ve bu birim ile ilişkili yüze ve yeraltısularının bulunduğu Acıpayam (Denizli) batısındaki bölge seçilmiştir. Çalışmada bölgede bulunan yüze ve yeraltısularının hidrojeokimyasal yapısının tespiti ve bu su sınıflarını denetleyen hidrojeokimyasal süreçlerin tanımlanması amaçlanmıştır.

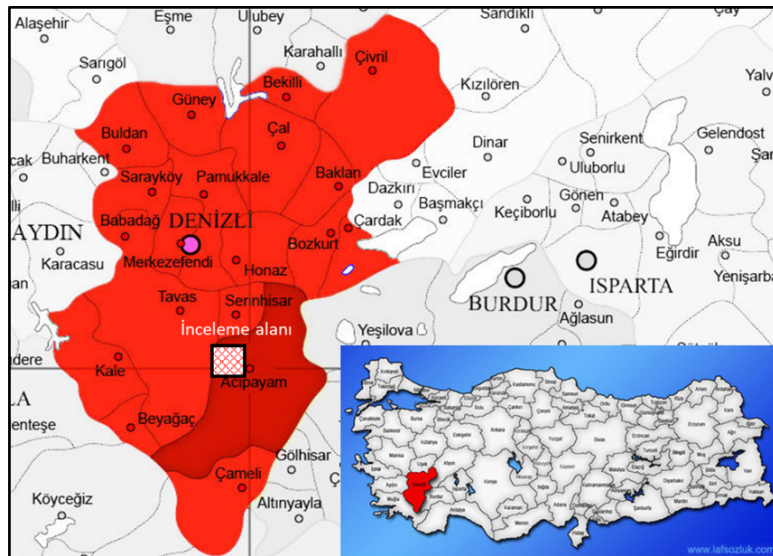
Marmaris peridotiti, Likya naplarının beş ayrı tektonik birliğinden biri olan Marmaris ofiyolit napına aittir ve Kızılcaadağ melanj ve olistrosromu ile birlikte bu napı temsil etmektedirler. Likya napları Güneybatı Türkiye'de Menderes Masifi ile Beydağları Otoktonu arasında yer alan allokon konumlu kütleler olarak tanımlanmaktadır (Şenel ve ark., 1989). Ofiyolitik kayaçlar değişen derecelerde serpantinleşmeden etkilenen mafik ve ultramafik kayaçları içerir. Ofiyolitik birimlerdeki bazik-ultrabazik kayaçlar su-kaya etkileşim süreçleri ile bol miktarda ikincil mineral oluşumuna yol açmaktadır (Guillot ve Hattori, 2013; D'Alessandro ve ark., 2018). Kıtaldaki eski serpantinler, kuzey Hindistan, Türkiye ve Appalachians'ta

olduğu gibi paleo-okyanusların kapanmasıyla ilişkili kenet zonlarında iyi bir şekilde yüzeylemektedir (Coleman, 1977). Serpantinler, çoğunlukla serpantin grubu minerallerden krizotil, lizardit ve antigoritten oluşan kayaçlardır. Olivince zengin ultramafik kayaçların hidrasyonu ile oluşurlar ve ağırlıkça ~%13'e kadar H₂O içerirler (Guillot ve Hattori, 2013). Dünyanın farklı yerlerinde peridotitler ve ofiyolitik kayaçlar ile ilişkili yüze ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal faşiesleri, iyon içerikleri, nadir toprak elementlerinin varlığı ile ilişki ve izotop içerikleri gibi konuların araştırıldığı araştırmalar bulunmaktadır (D'Alessandro ve ark., 2018; Giampouras ve ark., 2019; Demer ve ark., 2019; Zwicker ve ark., 2022).

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

Acıpayam ilçesi Denizli iline bağlı Akdeniz Bölgesi içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1). Acıpayam Ovası'nda Kuvaterner alüvyal yelpaze, yamaç molozu ve alüvyonlar ile Pliyosen Çameli formasyonundan yeraltısuyu alınmaktadır. Acıpayam Ovasında yeraltısuyu boşalımı ova içerisinden geçen Dalaman Çayı'na doğrudur. Ovada açılmış drenaj kanalları vasıtasıyla da Dalaman çayına yeraltısuyu boşalımı olmaktadır (DSİ, 1974). Acıpayam ilçesi batısında geniş alanlarda yüzeyleyen Marmaris peridotiti ile ilişkili bölgede çok sayıda kaynak boşalimleri bulunmaktadır. Acıpayam'da tarımsal faaliyetler yaygın geçim kaynağı olması yanısıra ovanın batısında yüzeyleyen Marmaris peridotiti birimi içerisinde bulunan krom işletmeleri de önemli ekonomik katkı sağlamaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

Çalışma Alanının Jeoloji ve Hidrojeolojik Özellikleri

Acıpayam ovası ve batısında Likya naplarına ait Bodrum ve Marmaris ofiyolit napına ait birimler yüzeylenmektedir. Bölgede, Bodrum napına ait Dikilitaş formasyonu, Ürmükdağ kireçtaşı, Karaböğürtlen, Sandak ve Bozdağ formasyonları yüzeylenmektedir. Dolomitik kireçtaşı, pelletik kireçtaşı, oolitik kireçtaşı ve rudist parçalı kireçtaşlarından oluşan Dikilitaş formasyonu Acıpayam batısında Kırdığı çevresinde gözlenmektedir (Şekil 2). Dikilitaş formasyonunun mercanlı kireçtaşları ise Kağnıgediği üyesi olarak adlandırılmıştır. Karaböğürtlen formasyonu konglomera, kumlu-killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, kumtaşı, kalsitürbidit, kiltası ve siltaşlarından oluşmaktadır. Liyas yaşlı Sandak formasyonu mikrit, sparimikrit, pelsparit, oolitic mikritler ve dolosparitlerden oluşmaktadır. Bozdağ formasyonu ise çört yumrulu kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Ürmükdağı kireçtaşı; orta-kalın-çok kalın tabakalı, kalkarenit, intrasparit, biyosparit, biyomikrit ve oolitic-pelletli biyomikritlerden yapıldır. Hisarköy formasyonu mikrit ve türbiditik çökellerden oluşmaktadır (Akdeniz, 2011).

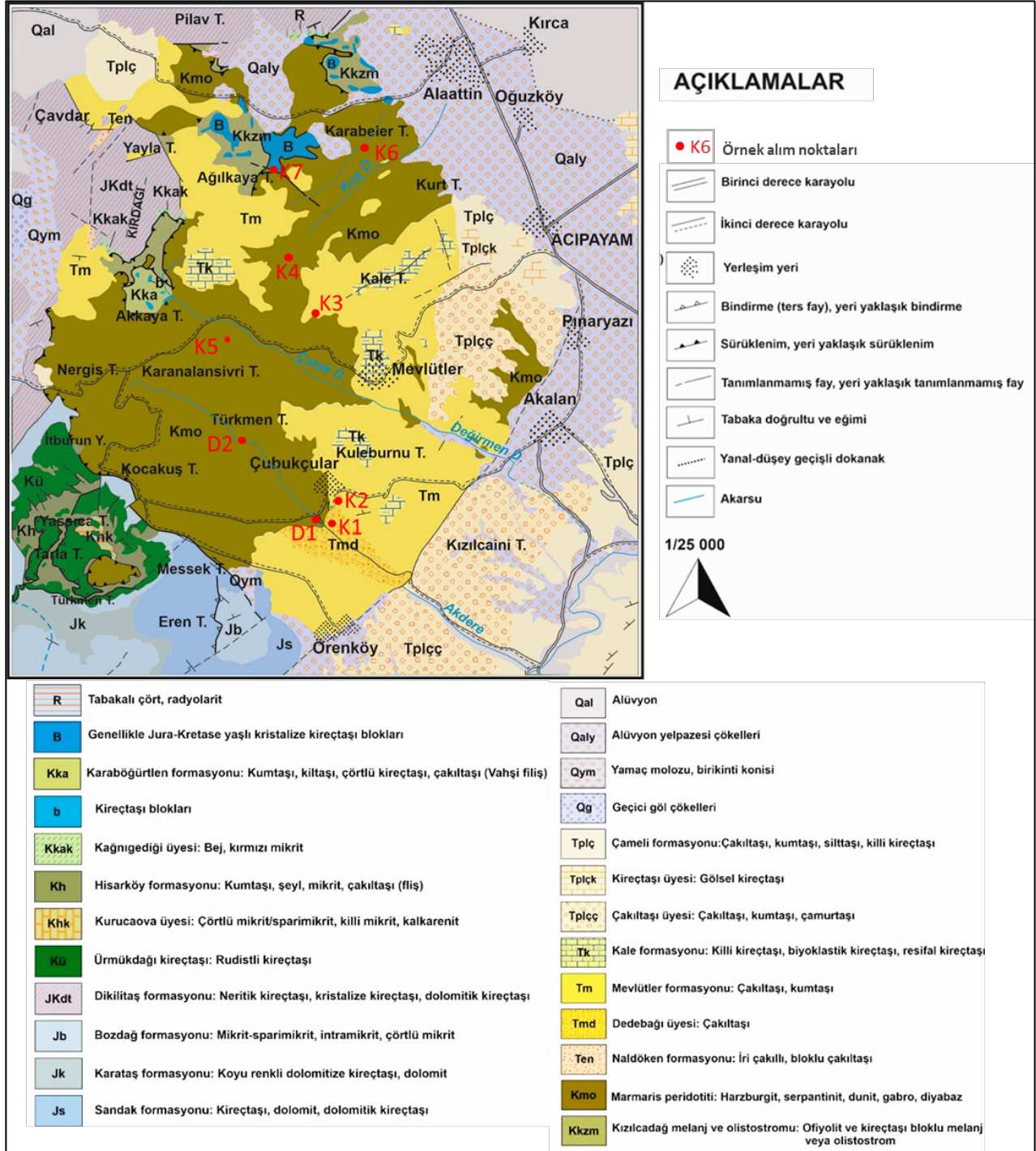
Likya naplarının en üst yapısal birimi olarak değerlendirilen Marmaris ofiyolit napına ait Acıpayam batısında geniş alanlarda yüzeyleyen Marmaris peridotiti ve Kızıladağ melanj ve olistrosromu birimleri bulunmaktadır. Marmaris peridotiti serpantin, peridotit, piroksenit, gabro ve diyabaz gibi ultramafik – mafik kaya topluluklarından oluşmaktadır. Marmaris peridotitinin egemen kaya türü harzburjit olup yüksek topoğrafyalarda sert yüzeyler halinde gözlenmektedirler. Harzburjitler ile geçişli de bulunabilen dünitler ise daha düşük topoğrafyalarda yüzeylenmektedir. Serpantinleşme peridotit kütlesinin hemen her kesiminde, özellikle karbonat napları ile olan tektonik dokanıklarda etkindir. Gabro ve diyabazlar genellikle izole dayklar şeklindedir (Akdeniz, 2011). Acıpayam kuzeyinde peridotit napının altında, Çameli dolayında ise üstünde gözlenen Kızıladağ melanj ve olistrosromu sedimanter, volkanik, metamorfik ve ofiyolitik kayaları kapsayan karmaşık bir yapı sunmaktadır. Kırdığı (Acıpayam batısı) güneyinde kırmızı radyolarit ve tabakalı çörtler yaygındır. Birim içerisinde ayırtlanabilen irili ufaklı kireçtaşı bloklarının çoğunluğu kristalize yapıldır.

Acıpayam ve çevresinde örtü kayaları olarak Alt Miyosen yaşlı Mevlütler ve Kale formasyonları, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Çameli formasyonu ve Kuvaterner birimler yüzeylenmektedir. Acıpayam'ın batı güneybatısında geniş alanlarda yayılım gösteren Mevlütler formasyonu çakiltası, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır. Mevlütler formasyonunun tabanındaki kötü boylanmalı, kaba taneli çakiltası seviyeleri Dedebağı üyesi olarak adlanmıştır. Kale formasyonu ise çakıllı kumtaşı, marn, siltaşı, çamurtaşı,

kumlu kalkarenit ardalanmasından oluşmaktadır (Akdeniz, 2011). Likya napları üzerinde açıl uyumsuz olarak bulunan Çameli formasyonu kiltası, kumtaşı, çakiltası, marn, konglomera gibi litolojilerden oluşmaktadır. Birim Kuvaterner oluşuklar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Acıpayam güneyi ve batısında geniş alanlarda gözlenen kumtaşı ve çamurtaşı ara seviyeli gevşek veya zayıf tutturulmuş çakiltaslarından oluşan birim Çakiltası üyesi olarak adlandırılmıştır. Acıpayam yerleşim yerinin bulunduğu alan ve çevresi Alüvyon Yelpaze üzerinde bulunmaktadır. Alüvyon yelpazede bölgede bulunan formasyonlara ait kayaçları içermekte olup kireçtaşı, konglomera, ofiyolit çakılları yoğunluktadır. Alüvyon inceleme alanının doğusunda bulunan Acıpayam ovasında geniş alanlarda ve dere yataklarında gözlenmektedir.

Acıpayam çevresinde en önemli akifer birimler alüvyon, alüvyon yelpaze ve Çameli formasyonunun çatlaklı kumtaşı, kireçtaşı, konglomera seviyeleridir. Ova alanında bu birimlerde açılmış çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. Acıpayam Ovasında yeraltısuyu boşalımı ova içerisinden geçen Dalaman Çayı'na doğrudur. Ovada açılmış drenaj kanalları vasıtasıyla da Dalaman Çayı'na yeraltısuyu boşalımı olmaktadır (DSİ, 1974). Bölgede yüzeyleyen Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları ve Ürmükdağı kireçtaşları ile Hisarköy, Sandak, Bozdağ ve Dikilitaş formasyonları karstik akifer özelliği taşımaktadır. Kireçtaşları birbirini kesen kırık, çatlak ve erime boşluklarının yoğunluğuna bağlı olarak yeraltısuyu bulundurabilmektedir. İnceleme alanında yüzeyleyen Mevlütler, Kale, Karaböğürtlen ve bu formasyonlara ait üye birimler az geçirimli birimlerdir. Bu formasyonlar içerisindeki çakiltası, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri kalınlıkları ve yayılımlarının artışı oranında yeraltısuyu bulundurabilmektedir. Ancak, bu litolojilerin geçirimsiz özellikteki marn, çamurtaşı ve siltaşı seviyeleri ile arda lanmalı halde bulunması önemli miktarda yeraltısuyu bulundurma kapasitelerini kısıtlamaktadır. İnceleme alanı ve çevresinde bu birimlerden boşalan çok sayıda su kaynağı bulunmaktadır.

Marmaris Peridotiti ile İlişkili Yüzeysel ve Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri: Acıpayam (Denizli) Batısı



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası ve örnek alım noktaları

Marmaris peridotiti birimi içerisindeki kırık-çatlak sıklığına bağlı olarak yeraltısuyu bulundurabilmekte olup Acıpayam batısında bu birimden boşalan düşük debili kaynaklar mevcuttur. Bölgede küçük alanlarda gözlenen Kızılcadağ melanj ve olistostromu ise birim içerisinde karmaşık olarak bulunan litolojilerin yeraltısuyu bulundurma özelliklerinin kısıtlı olması nedeniyle geçirimsiz özelliktedir.

Araştırma Yöntem ve Arazi Çalışmaları

Bu çalışmada Acıpayam ilçesi batısında geniş alanlarda yüzeyleyen Marmaris peridotiti ve çevresinde bulunan kayalarla ilişkili yüzeysel ve yeraltısularından su örnekleri alınmıştır. Örnek alım işlemleri sırasında, öncelikle yerinde ölçüm parametreleri olarak bilinen, sıcaklık (T), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), toplam çözünmüş katı madde (TDS) ve elekt-

riksel iletkenlik (EC) parametreleri ölçülmüştür. Katyon ve iz element analizleri Bureau Veritas (Kanada) laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Bu analiz grubu için alınan örneklerin pH değeri arazide %5'lik nitrit asit (HNO_3) ilave edilerek 2'nin altına düşürülmüştür. Su örneklerinin azot türü ve anyon analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Su, Kayaç ve Mineral analiz laboratuvarında yaptırılmıştır. Çalışma alanında bulunan yüzeysel ve yeraltısularının hidrojeokimyasal yapısını denetleyen hidrojeokimyasal süreçlerin değerlendirilmesinde farklı oranlar ve grafikler kullanılmıştır. Arazi çalışması sırasında kaynaklarda debi ölçümleri de yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Su Noktaları

İnceleme alanı olarak seçilen Acıpayam batısında Mevlütler formasyonu, Dedebağı üyesi, Marmaris peridotiti ve Jura-Kretase kireçtaşları birimlerinden boşalan kaynaklar bulunmaktadır. Söz konusu kaynaklardan arazi çalışması sırasında yapılan debi ölçümlerine göre kaynak debilerinin 0.20-4.24 l/s arasında değiştiği belirlenmiştir. Kaynakların koordinat ve debi bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

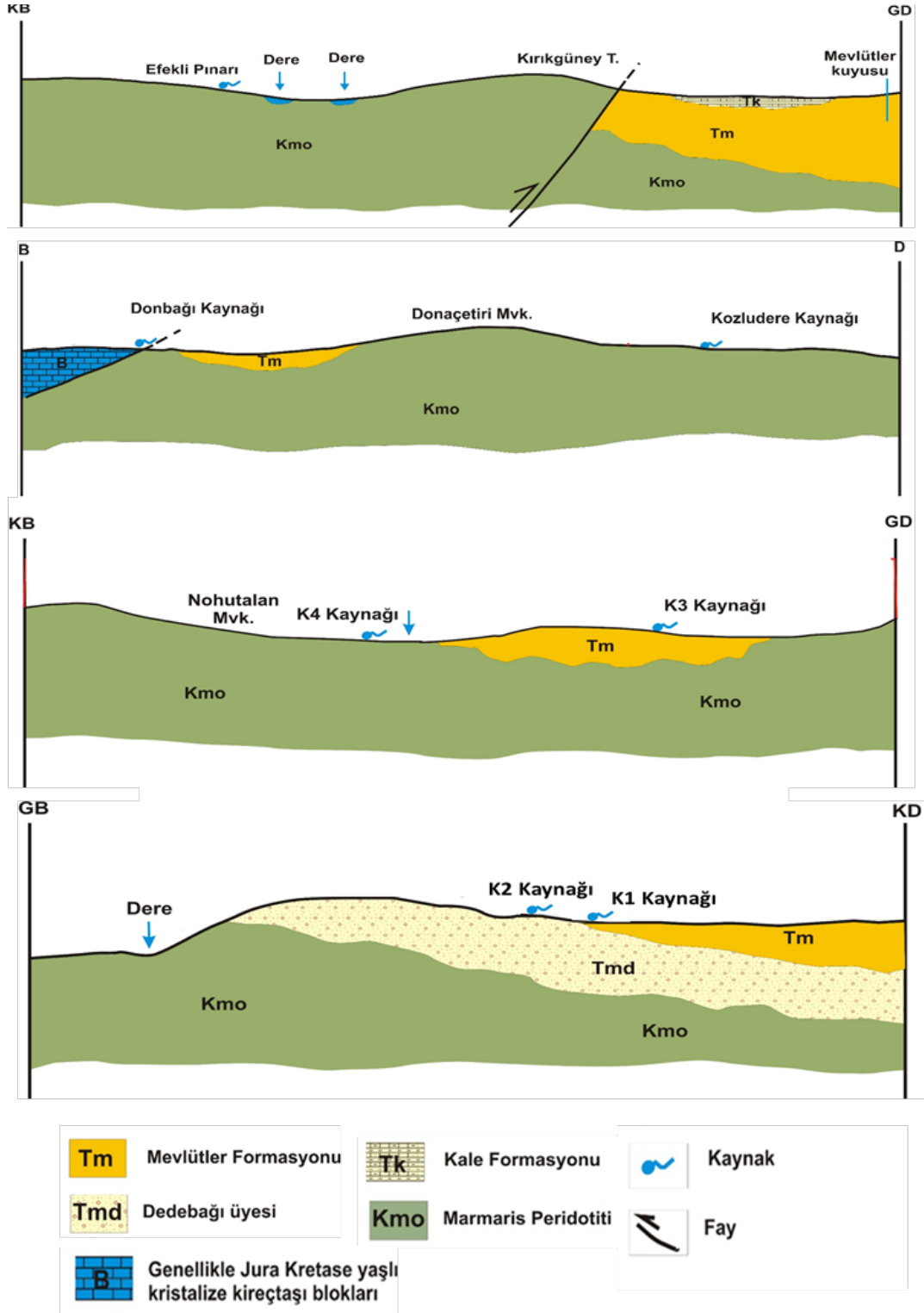
Tablo1. İnceleme alanında bulunan su kaynaklarına ait bilgiler

Kaynak Adı	Kaynak Koordinatları			Debi l/s
	X	Y	Z	
K1	4136872	701941	1193	1
K2	4137296	701890	1201	2.63
K3	4142506	700345	1302	4.24
K4	4143946	700045	1278	3.75
Efekli pınarı (K5)	4141538	698775	1341	2.50
Kozludere kaynak (K6)	4146938	701141	1179	0.20
Donabağı kaynağı (K7)	4147221	701134	1169	0.20

Donabağı kaynağı (K7), kaynak grubu şeklinde Kızıl-cadağ melanj ve olistrosromu ile bu birim içerisindeki kireçtaşı bloğu arasında bulunan fay düzlemi ile ilişkili olarak Marmaris peridotiti birimi içinden boşalmaktadır. Efekli (K5), Kozludere (K6) ve K4 kaynakları Marmaris peridotiti biriminden, K3 kaynağı ise Mevlütler formasyonundan boşalmaktadır. Mevlütler formasyonu içerisindeki çakıltaşı ve kumtaşı seviyeleri yeraltısuyu bulundurabilmektedir. K1 ve K2 kaynakları Mevlütler formasyonunun tabanında bulunan

çakıltaşından oluşan Dedebağı üyesi biriminden boşalmaktadır. Çakıltaşlarının akifer olma kapasitesi yayılımları ve kalınlıklarının büyüklüğü ile doğru orantılıdır (Şekil 3). Yeraltısularının en önemli beslenme elemanı yağıştır. Yağış suları ile beslenen bu kaynakların debileri yağış miktarı ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir.

Marmaris Peridotiti ile İlişkili Yüze ve Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri: Acıpayam (Denizli) Batısı



Şekil 3. Kaynaklara ait şematik enine kesit

Yüze ve Yeraltısuyu Örneklerinin Hidrojeokimyasal Özellikleri

Çalışma kapsamında kaynak suları ve Marmaris peridotiti birimi içerisinde bulunan dere sularından örnekler alınmıştır. EC değeri, kaynak suları için 440-840

$\mu\text{S/cm}$ arasında, dere suları için 610-630 $\mu\text{S/cm}$ arasında ölçülmüştür. PH değeri ise kaynak sularında 7.41-8.0, dere sularında 8.36-8.41 arasındadır (Tablo 2).

Tablo 2. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

	D1	D2	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
pH	8.41	8.36	8.0	7.41	7.92	7.86	7.5	7.2	7.48
EC ($\mu\text{h/cm}$)	610	630	520	440	650	840	820	835	580
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	8.3	8.36	8.0	7.41	7.92	7.86	7.8	7.82	8.2
TDS (mg/l)	310	310	260	220	320	420	451	459	319
Sertlik (Fr°)	43.86	43.45	36.19	31.28	46.56	51.16	51.6	52.5	29.65
Na^+ (mg/l)	1.64	1.59	4.15	3.71	1.74	4.86	1.45	2.50	1.89
K^+ (mg/l)	0.27	0.18	0.36	0.40	0.29	0.48	0.45	0.50	0.25
Ca^{+2} (mg/l)	8.99	8.07	48.71	77.27	19.28	29.46	28.41	30.1	102.1
Mg^{+2} (mg/l)	101.2	100.77	58.46	29.17	101.5	106.56	108.2	109.5	25.2
CO_3^{2-} (mg/l)	54.0	54.0	30.0	0.00	30.0	24.0	20.0	22.0	25.0
HCO_3^- (mg/l)	457.5	439.2	372.1	359.9	481.9	524.6	510.2	525.6	595.0
Cl^- (mg/l)	3.31	3.31	7.89	4.86	3.18	6.59	7.1	6.68	2.65
SO_4^{2-} (mg/l)	3.19	2.96	5.46	4.35	2.63	5.78	5.68	5.65	4.10
Al ($\mu\text{g/l}$)	3	2	1	2	4	14	12	10	2
As ($\mu\text{g/l}$)	13.3	15.7	8.5	9.0	13.5	14.4	7.8	8.2	0.36
B ($\mu\text{g/l}$)	6	5	12	12	13	8	<0.05	<0.05	<0.05
Cr ($\mu\text{g/l}$)	12.0	8.5	8.9	4.9	9.0	14.1	13.2	12.7	3.5
Cu ($\mu\text{g/l}$)	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.7	0.9	0.5
Fe ($\mu\text{g/l}$)	<10	<10	<10	<10	14	<10	<10	<10	<10
Mn ($\mu\text{g/l}$)	0.25	0.34	0.13	0.25	2.86	0.49	0.39	0.51	0.15
Ni ($\mu\text{g/l}$)	2.9	2.6	4.6	7.4	2.9	7.9	<0.10	0.19	<0.10
Pb ($\mu\text{g/l}$)	<0.2	0.4	<0.2	<0.2	<0.2	3.8	<4.50	<4.50	7.76
Si (mg/l)	15.21	13.42	29.79	18.99	18.18	11.46	12.15	11.56	28.89
Zn ($\mu\text{g/l}$)	12.6	4.3	1.5	3.3	2.3	3.5	2.9	3.1	1.2
F (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.037	0.00	0.00	0.03	<0.012	0.03
NO_2 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<0.005	<0.005	<0.005
NO_3 (mg/l)	0.368	0.350	0.097	1.490	1.349	0.087	<1.00	1.95	1.08
% Na	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.61	1.02	1.13
SAR	0.21	0.19	1.28	2.19	0.45	0.65	0.03	0.05	0.04
$\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$	1.05	1.15	0.44	0.66	0.93	1.60	1.47	1.59	0.72
Na/Cl	0.763	0.742	0.807	1.175	0.844	1.134	0.315	0.580	1.093
CAI-I	0.161	0.204	0.152	-0.248	0.078	-0.199	0.625	0.351	-0.173
CAI-II	0.002	0.002	0.005	-0.005	0.001	-0.004	0.012	0.006	-0.001
Su sınıfı	Mg- HCO_3	Mg- HCO_3	Mg-Ca- HCO_3	Ca-Mg- HCO_3	Mg- HCO_3	Mg- HCO_3	Mg- HCO_3	Mg- HCO_3	Ca- HCO_3

K5: Efekli kaynağı, K6:Kozludere kaynağı, K7:Donbağı kaynağı

Yüze ve yeraltısularından baskın anyon HCO_3 olup 359.9 ve 595 mg/l arasında değişmektedir. Sularda HCO_3 varlığı için en bilinen model, kalsiyum karbonatın CO_2 ile çözünmesidir. Eşitlik 1'de verilen bu modelde HCO_3 ve Ca, yağmur suyunun sızması sırasında yüze ve yeraltı sularına salınacaktır. Benzer şekilde, silikat ayrışması da sulardaki HCO_3 konsantrasyonunu arttırmaktadır (Elango ve Kannan, 2007).



Çalışma alanındaki yüze ve yeraltı sularında baskın katyon Mg^{+2} 'dir. Mg^{+2} iyonları kaynak ve dere sularında 10.2 ile 109.5 mg/l arasında tespit edilmiştir. Sularda Mg^{+2} iyonu genel olarak dolomit mineralinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, magmatik (olivin, piroksen, ojit, biyotit) ve metamorfik (serpantin, tremolit, talk) kayaç mineralleri ile evaporit ile etkileşimi

olan sularda Mg^{+2} bulunabilmektedir (Singh ve ark., 2012).

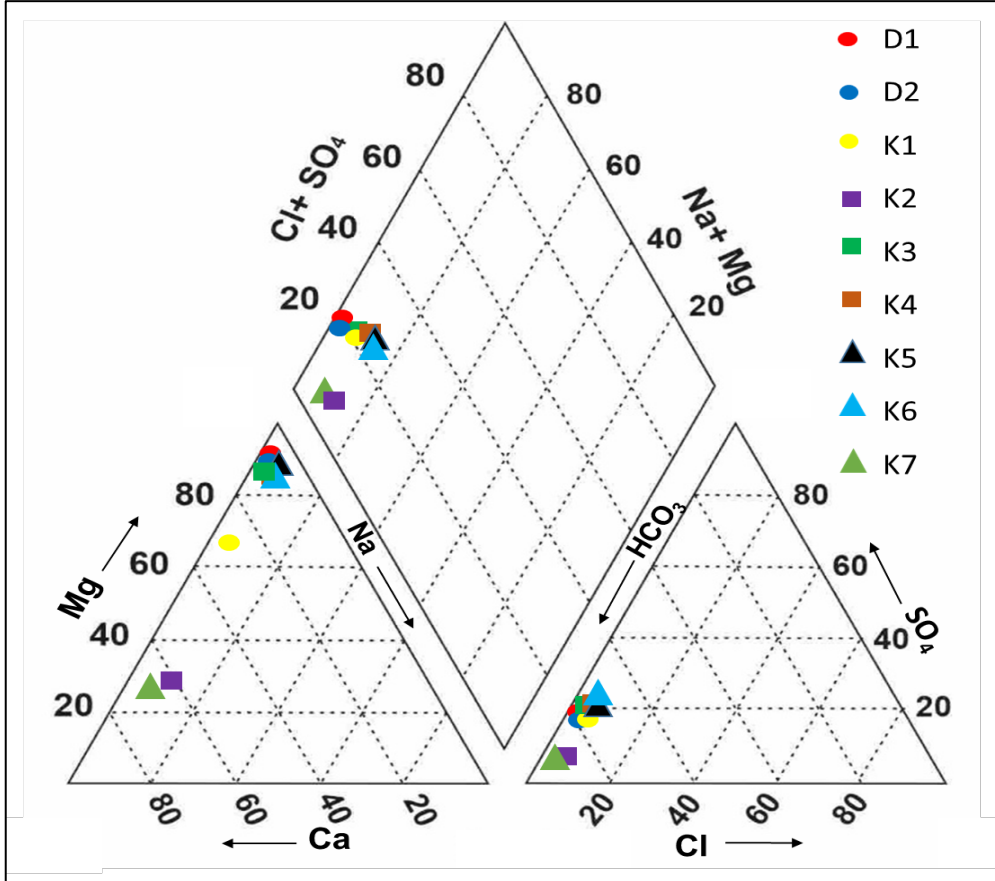
Ca^{+2} konsantrasyonları kaynak ve dere suyu için 8.07-102.1 mg/l aralığında değişmektedir (Tablo 2). Sularda kalsiyum en çok kalsit, dolomit, aragonit, anhidrit ve jips mineralleri ile ilişkili olarak bulunmaktadır. Ayrıca, kalsiyum iyonları amfibol ve piroksen grupları, apatit, vollastonit, florit ve bazı feldispat minerallerinin çözünmesinden de elde edilebilir.

Su Tipleri

Hidrolojik sistemlerde suyun kimyasal karakteri hidrokimyasal fasiyes kavramı ile belirlenmiştir (Back, 1966). Hidrokimyasal fasiyes, kayaçlardaki mineraller ile yüze ve yeraltı suları arasında meydana gelen hidrokimyasal süreçlerin etkilerini yansıtır (Sajil Kumar, 2013). Hidrokimyasal fasiyes kavramı, yeraltı ve yüze sularının kimyasal değerlendirmesi için

birçok çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Piper (1944) suyun hidrojeokimyasal fasiyeslerinin belirlenmesinde kullanılan ilk grafik uygulamaları önermiştir. Bu diyagram su örnekleri arasındaki farklılıkları ve benzerlikleri ortaya koymaktadır. İnceleme alanında yüze ve yeraltı suları Piper diyagramı üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 4). Yüze suları Mg-HCO₃ su sınıfında kaynak sularında ise Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃ su sınıfları tespit edilmiştir. Suların tümünde alkali toprak element-

leri (Ca²⁺+Mg²⁺), alkali elementleri (Na⁺+K⁺) toplamından büyük, zayıf asit kökleri (CO₃+HCO₃), güçlü asit kökleri (Cl⁻+SO₄²⁻) toplamından büyüktür. Mg²⁺ artışı peridotit birimiyle kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Günümüzde serpantin mineralojisinin, Mg²⁺ bakımından zengin olivin ve ortopirokserin yaklaşık Mg₃Si₂O₅(OH)₄ formülüne sahip serpantin minerallerine dönüştüğü peridotitin nispeten düşük sıcaklıkta hidrasyonundan kaynaklandığı bilinmektedir (Evans ve ark., 2013).

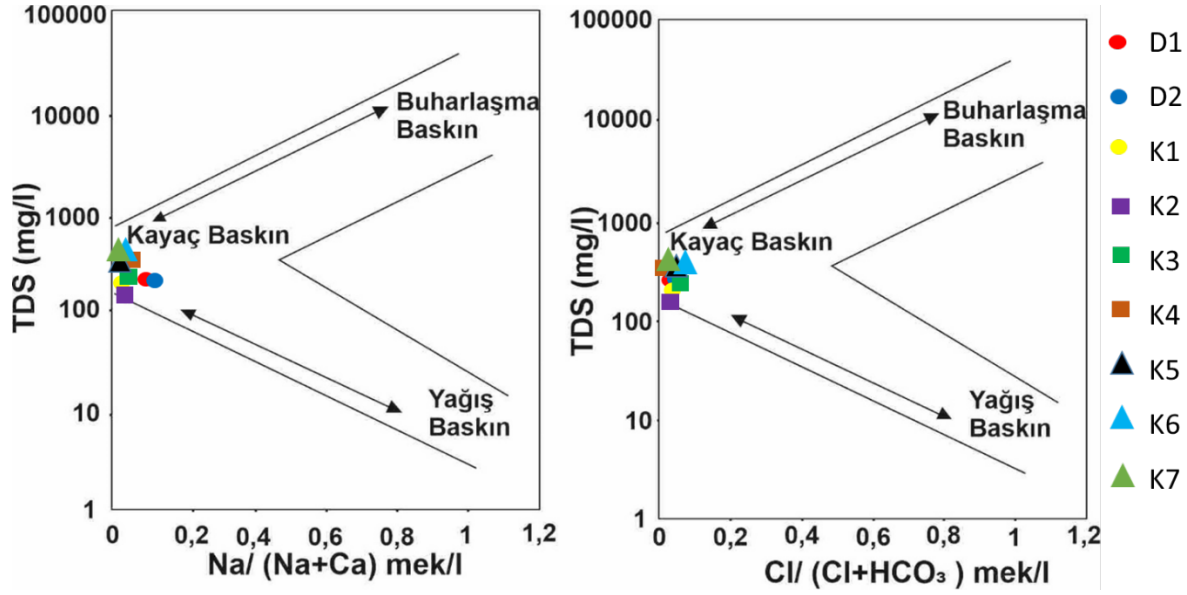


Şekil 4. Piper diyagramı

Hidrojeokimyasal Proseslerin Tanımlanması

Gibbs (1970) diyagramı, suyun sahip olduğu iyonik oranları kullanarak su bileşimi ve kökeni hakkında bilgi edinmekte kullanılmaktadır. Bu diyagram ile su kimyasını kontrol eden süreçler tespit edilebilmektedir. İnceleme alanındaki su örnekleri Gibbs diyagramı üzerinde "**Kayaç Baskın**" alanında olup kaya-su etkileşiminin yüze ve yeraltı sularının kimyasını

denetleyen temel faktör olduğu söylenebilir (Şekil 5). Suların kayalarla etkileşimi sırasında gerçekleşen süreçlere bağlı olarak kimyasal yapıları biçimlenmektedir. Suların kimyasal yapısı iyon alışverişi, ayrışma-çözünme (silikat ayrışması -karbonat ayrışması) ve buharlaşma gibi muhtemel hidrojeokimyasal süreçler ile denetlenmektedir (Johnson, 1979).



Şekil 5. Gibbs diyagramı

Kayaların ayrışması, akifer sistemlerindeki jeokimyasal döngüyü kontrol eden önemli süreçlerden biridir (Berg, 1932). Kimyasal ayrışmanın doğası ve hızı, ana kaya türü, topografya ve iklim sistemi ile birlikte birbirine bağlı değişkenlere bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterir. Silikat ayrışması sert kayalık arazide su kimyasını kontrol eden önemli jeokimyasal süreçlerden biridir (Garrels ve Mackenzie, 1967). Yeraltısuyunun mevcut kimyasal bileşiminin açıklanmasında çeşitli katyonların anyonlara karşı iyonik ilişki grafikleri kullanılmaktadır (Hounslow, 1995).

Minerallerin çözünmesi ve ayrışması $(Ca+Mg)/(HCO_3+CO_3+SO_4)$ grafiği ile tanımlanabilmektedir. Bu grafikte, örnek noktaları 1:1 doğrusu üzerinde ve yakınında ise kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğu düşünülür (Datta ve Tyagi, 1996). Grafikte 1:1 denge çizgisinin altına ve üstüne düşen numuneler sırasıyla iyon değişimi ve ters iyon değişimi işlemlerini gösterir (Rajmohan ve Elango, 2004). İyon değiştirme işlemi sırasında Ca^{+2} katyonları toprakta tutulur ve Na^+ katyonları sulara salınır. Tersine, ters iyon değiştirme işlemi yoluyla, Na^+ katyonları toprakta tutulur ve Ca^{+2} katyonları sulara salınır. Grafikte çakıldaş ile ilişkili olan su kaynaklarının 1:1 denge çizgisi üzerinde, dere suyu örneklerinin 1:1 denge çizgisine yakın olup hemen altında, peridotitlerle ilişkili olarak boşalan kaynak sularının 1:1 denge çizgisinin üzerinde ve kireçtaşı-peridotit ilişkili kaynak suyunun ise 1:1 denge çizgisinin altında yer aldığı görülmektedir (Şekil 6a).

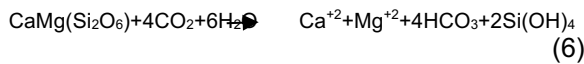
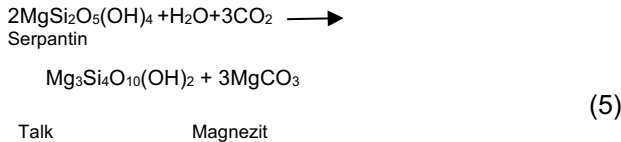
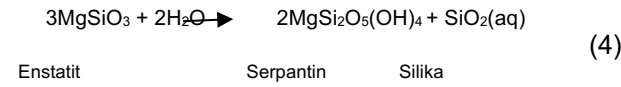
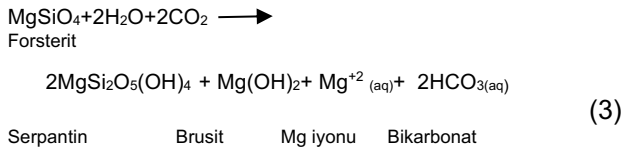
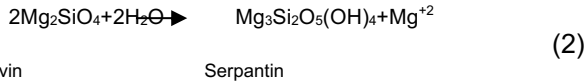
Yüze ve yeraltı sularında çözülmüş iyonların ana kaynağını daha iyi tanımlayabilmek için, su numunelerinin iyon içerikleri $(Ca+Mg)/HCO_3$ diyagramında gösterilmiştir (Şekil 6b). Grafikte çoğu veri noktasının 1:1 denge çizgisinin üzerine düştüğü görülmektedir.

Bu, kalsiyum ve magnezyumun büyük bir bölümünün karbonat olmayan kaynaklardan türetildiğini düşündürmektedir. Bu durum, silikat ayrışmasının suda çözülmüş tuzların varlığı ile ilgili birincil mekanizma olduğunu göstermektedir (Elango ve ark., 2003; Kumar ve ark., 2012).

İnceleme alanında dere suyundan alınan örnekler (D1, D2), peridotit biriminden boşalan kaynak sularından alınan örnekler (K4, K5, K6), Mevlütler formasyonundan boşalan kaynak (K3) ve Dedebağı üyesinden boşalan kaynak sularından (K2) alınan örneklerde Mg^{+2} içeriklerinin baskın olduğu görülmektedir. Dere suları bölgede geniş alanlarda yüzeyleyen Marmaris peridotiti ile uzun temas süresine sahiptir. Mevlütler formasyonu ve Dedebağı üyesini oluşturan çakıldaşları ise kireçtaşı, serpantin, peridotit, gabro, diyabaz, çört çakıllarından oluşmaktadır (Akdeniz 2011). Mg^{+2} , ofiyolitik kayalarda serpantinleşme süreçleri sırasında ferromagnezyen minerallerden (olivin, piroksen ve serpantin) salınan önemli bir elementtir (Garrels, 1967; Chavagnac ve ark., 2013; Monnin ve ark., 2014; Voutsis ve ark., 2015; Demer ve ark., 2019).

İnceleme alanında bulunan ofiyolitik birimlerin petrografik özelliklerinin incelenmesine yönelik yapılan bir araştırmada, bölgede Marmaris peridotitlerinin harzburjit ve dünit birimlerinden oluştuğu belirlenmiştir. Farklı kalınlıklara sahip harzburjitlerde, dünit birimine yakınlık ve uzaklığa bağlı olarak ortopiroksen ve olivin miktarında değişim olduğu tespit edilmiştir (Kahrman, 2012). Harzburjitler içerisinde olivin mineralinin %75-85 arasında en fazla görülen mineral olduğu, ortopiroksen (enstatit-bronzit) mineralinin ise %15-20 oranında bulunduğu, klinopiroksen mineralinin çok az olup %2-4 oranında olduğu belir-

lenmiştir. Dunit kayacında ise en fazla bulunan mineral %90-95 oranında olivindir. Dunitlerde ortopiroksen %5-8 oranında ve klinopiroksen % 1- 3 oranında bulunduğu tespit edilmiştir (Kahriman, 2012). Kahriman (2012) tarafından yapılan çalışmada, bölgede serpantinleşmiş peridotitlerde %3-8 oranında serpantin minerali olarak lizardit minerali gözlenmiştir. Bu mineraller yanısıra Marmaris peridotitini oluşturan kayalar içerisinde kromit, pikotit, manyetit minerallerine de rastlanmıştır (Kahriman 2012). Bu araştırma sonuçlarında göre, inceleme alanındaki peridotitlerin başlıca olivin ve ortopiroksen (enstatit)'den yapıldığı görülmektedir. Serpantinleşme sırasında karbondioksit (CO₂) ile ilişkili su varlığında gelişen süreçlerde Mg⁺² ve HCO₃⁻ elementleri açığa çıkmaktadır. Bu süreçler eşitlik 2, 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir.



İnceleme alanında sadece Kızılcadağ melanj ve olistrosromu (Kkzm), kireçtaşı bloğu ve Marmaris peridotiti ile ilişkili fay düzleminden boşalan Donabağı kaynağı (K7) ve Dedebağı üyesinden boşalan kaynak suyunda (K1) Ca⁺² baskın katyondur. Doğal sularla Ca⁺² varlığı etkileşimde olan kireçtaşı, mermer gibi karbonatlı kayalar, metamorfik ve mağmatik kaya mineralleri veya bazı feldispatların bozunumu ile ilişkilidir. Ca⁺² içeren mineraller kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jips, amfibol ve piroksen grupları, florit, apatit gibi minerallerdir. Ofiyolitik kayalardan Ca-HCO₃ su türleri, meteorik suyun karbonat kayaları (Voutsis ve ark., 2015) veya gabro ve bazaltik kayalarla etkileşimi yoluyla üretilebilir. An-

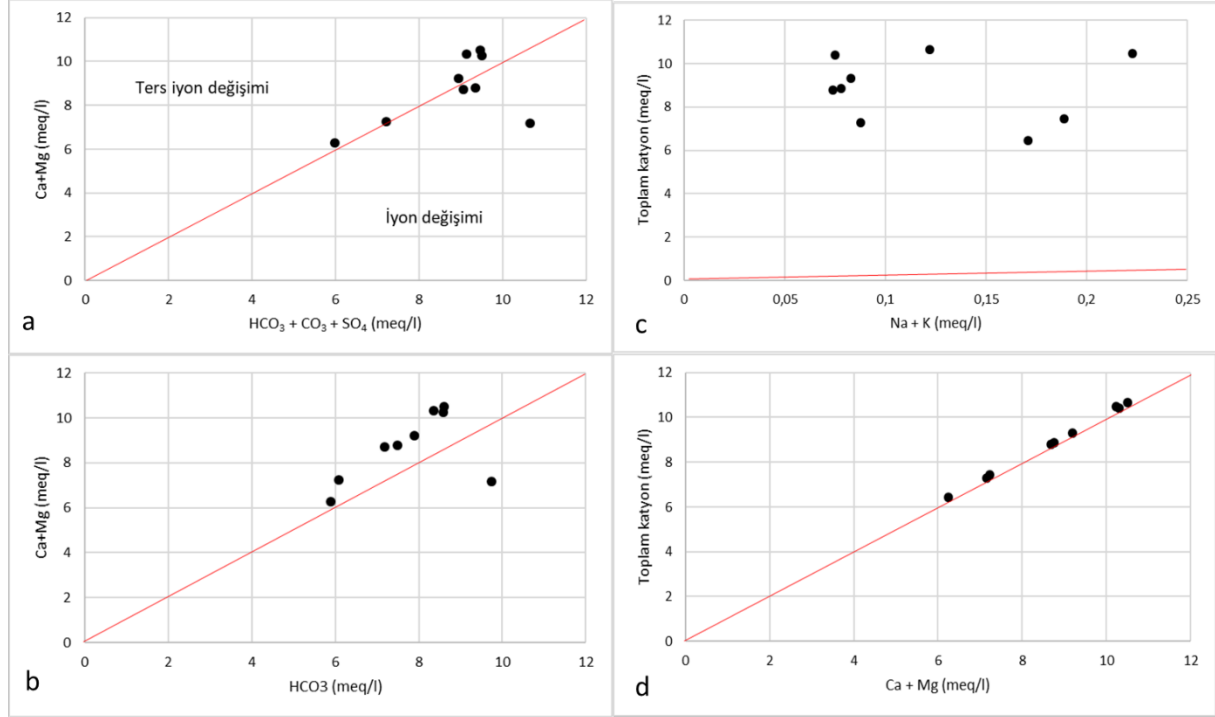
cak, ofiyolitik melanj birimleri içinde çok miktarda kireçtaşı blokları bulunduğu göz önüne alındığında, bu alloktan kireçtaşı bloklarından Ca-HCO₃ kaynaklı olması daha olasıdır. Melanj içerisinde Ca-HCO₃ ve Mg-HCO₃ tipi sular karıştırıldığında Ca-Mg-HCO₃ tipi sular üretilebilir (Demer et al. 2019).

Silikat ayrışmasıyla suya katyon katkısı (Na+K)/Toplam katyon grafiği kullanılarak tahmin edilebilmektedir (Stallard ve Edmond 1983). Bu dağılım diyagramında örnek noktalarının 1:1 denge çizgisi üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 6c). Bu durum, sudaki katyonların silikat ayrışmasından türetilmiş olabileceğini düşündürmektedir (Lakshmanan ve ark., 2003). (Ca+Mg)/Toplam katyon grafiğinde su örneklerine ait noktaların tamamı 1:1 denge çizgisinin üzerinde bulunmaktadır (Şekil 6d) ve (Ca⁺²+Mg⁺²) iyonlarının silikat minerallerinin ayrışmasından kaynaklandığını göstermektedir (Ghrefat ve ark., 2014; Thin, 2018).

Suların HCO₃/SiO₂ oranı ile akiferde oluşan ayrışma sürecinin türü belirlenebilir. HCO₃/SiO₂ <5 oranı silikat ayrışmasını gösterirken, HCO₃/SiO₂ >10 oranı karbonat ayrışmasını simgeler (Tay, 2012). Bölgede yüze ve yeraltı suyu örneklerinin HCO₃/SiO₂ oranı 5'in altında olup majör ayrışma sürecinin silikat ayrışması olduğu söylenebilir (Tablo 2).

İyon değişimi, suların iyon içeriklerini denetleyen önemli süreçlerden birisidir. İyon değişimi kloroalkali indeks (CAI-I=[Cl-(Na+K)]/Cl; CAI-II=[Cl-(Na+K)]/(SO₄+HCO₃+CO₃+NO₃)) değerlerinin hesaplanması ile tanımlanmaktadır (Schoeller, 1965; 1967). Pozitif CAI-I ve CAI-II değerleri Mg⁺² ve Ca⁺² iyonlarının suda bulunan Na⁺ ve K⁺ iyonları ile değişimini yansıtır. Negatif değerler kayadaki Na⁺ ve K⁺ iyonları ile suda bulunan Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarının değişimi olarak tanımlanmıştır. Su örneklerinin CAI-I ve CAI-II değerleri K2, K4 ve K7 örnekleri hariç negatiftir (Tablo 2). Bu durumda alanda genel olarak akifer kayaların sudaki çözünmüş iyonların birincil kaynakları olduğu ve reaksiyonun katyon-anyon değişim reaksiyonu olduğunu göstermektedir.

İnceleme alanında suların Na⁺ içeriği 1.59-4.86 mg/l ve Cl⁻ içerikleri ise 2.65-7.89 mg/l arasında değişmektedir. Su örneklerinin Na/Cl oranları ise 0.315-1.175 olarak belirlenmiştir. Na/Cl oranı K2, K4 ve K7 nolu örneklerde 1'den yüksek olup bu durum sudaki Na⁺ içeriğinin akifer ortamdaki silikat ayrışması kaynaklı olabileceği şeklinde yorumlanmaktadır. Na/Cl oranının bir civarında ve birden küçük değerleri iyon değişimi gibi bazı süreçlerin etkin olduğunu göstermektedir (Elango ve ark., 2003).



Şekil 6. İyon oranları

Su Örneklerinin İz Element İçerikleri

İnceleme alanında dere sularının As içeriği 13.3 ve 15.7 µg/l, kaynak sularının As içeriği ise 0.36-14.4 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 2). Yerkabuğunda en çok bulunan elementlerden biri olan As, metal olmayan veya metaloid olarak sınıflandırılmakta olup periyodik tabloda VA grubunda yer almaktadır. Arsenik (As) iyi bilinen toksik bir metaloidtir ve çevrede doğal olarak bulunur. As'e maruz kalma olayı kontamine içme suyu yoluyla meydana gelebilir. Uzun süreli As maruziyeti hastalık riskini artırabilir veya ölüme yol açabilir (Zhang, 2018). İnorganik As, oksijenli sular (Prohaska ve Stinger 2005) As(V) (arsenat H_3AsO_4) ve anaerobik sular (Pettine, 1992) (arsenit H_3AsO_3) olarak bulunur (Pettine, 1992). Daha hareketli olan As(III), As(V)'den daha zehirlidir (Basu, 2014).

İnceleme alanında çok geniş alanlarda gözlenen peridotit birimi içerisinde olivin ($(Mg,Fe)_2SiO_4$) ve piroksenin orto türü yaygın olarak bulunmaktadır (Kahriman, 2012). Olivin ve piroksen içerisindeki tipik As konsantrasyonları olivin için 0.08–0.17 mg/kg, piroksen için 0.05–0.8 mg/kg olarak verilmiştir. Ayrıca, peridotit, dünit gibi kayalarındaki As içeriği 0.03–15.8 mg/kg arasında olup ortalama 1.5 mg/kg'dır (Smedley ve Kinniburgh, 2002). Ultramafik kayalar hidrasyona uğrarken (olivin'den serpentine) metamorfik sıvılar için bir sünger görevi görür ve hidrasyon sırasında ultramafik kayalara As'ın dahil edilmesine dair farklı bulgular mevcuttur (Schmidt ve ark., 2003; Hattori ve ark., 2005; Ishimaru ve Arai 2008;

Ryan ve ark., 2011). Aşınma süreci peridotit kayalarda başlar ve bu kayalar içerisinde bol miktarda olivin, piroksen, magnezyum silikat ve genellikle %0.3 Ni içeren demir silikat mineralleri bulunur. Bu kayalar, laterizasyon ayrışmasından kolayca etkilenir. CO_2 bakımından zengin olan yeraltısuyu, olivin, serpantin ve piroksen gibi kararsız kaya minerallerini çözen saprolit bölgesi ile temas halinde olacaktır. Mg^{+2} , Si ve Ni yeraltısuyunun akışına göre çözülecek ve taşınacaktır. Oksitli bir bileşik haline gelen demir birikimi toprak yüzeyinin yakınında birikecek, magnezyum, nikel ve silika ise çözeltide kalacak ve su kaynağı toprağa nüfuz etmeye devam ettiği sürece aşağı doğru hareket edecektir. Bu işlemler dizisi ayrışma ve liç işlemidir (Chaerul ve ark., 2015). Daha fazla ayrışma sürecinde, su hala asidik olduğu sürece Mg^{+2} , Si ve Ni çözeltide kalacaktır. Oksidasyon işlemi sırasında, su asidik duruma gelene ve ferrihidrit minerali oluşturan çökeltiye ulaşana kadar Fe'i çözecektir. Bu sırada yağmur suları ile çözünen olivin ve piroksen minerallerinin çözünmesi sonucu arsenik iyonları ortaya çıkarak Nikelin mineraline (NiAs) dönüşmektedir (Chaerul ve ark., 2015). Ultramafik malzemeler daha sonra yüzeysel sularında çözülebilen önemli oranda arsenat içermektedir (Schneider, 2020).

İnceleme alanında dere sularında tespit edilen Cr içeriği 8.5-12 µg/l, kaynak sularında ise 3.5-14.1 µg/l arasında değişmektedir. Yerkabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom, kromit mineralinden ekonomik olarak üretilebilmektedir. Kromit minerali ve

krom yatakları kökensel olarak ilişkili oldukları ultrabazik kayalar içinde gözlenmektedir. Kromit genel olarak harzburjit ve dünit gibi ultramafik kayalarda bulunur. Dünya genelinde ultramafik kayalar ile ilişkili çok sayıda krom cevherleşmeleri gözlenmiştir (Shiryaev ve Vakhruşeva, 2020; Huang ve Deng, 2020). İnceleme alanında ultramafik kayalar harzburjit, dünit, dünitik zonlar/dünitik kılıf ile çevrili kromit kütleleri ve piroksenit damarları ile temsil edilmektedir. İnceleme alanı kromitlerinin harzburjitik yan kayaçlı kromit olduğu, yüksek krom içeriğine sahip olduğu ve podiform tipte kromit oluşumları olduğu belirlenmiştir (Kahrman, 2012).

Su örneklerinde Ni içerikleri 0.10-7.9 µg/l, Al içerikleri 1-14 µg/l, Fe içerikleri <10-14 µg/l, B içerikleri <0.05-13 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 2). Olivinde bulunan iz elementler iki gruba ayrılabilir. I. grupta bulunan Ni, Mn, Co, Cu, Zn, Li gibi elementler küçük konsantrasyon aralıklarındadır ve olivin ana kaynak mineralidir. Bunlar çoğunlukla iki değerlikli elementlerdir ve iyonik yarıçapları Mg'ninkine yakındır. II. grup elementler ise (Cr, Al, V, Sc, Ca, Na), esas olarak ana kayanın dengelenme sıcaklığı tarafından kontrol edilen geniş konsantrasyon aralıkları gösterir. Elementler, garnet, klinopiroksen, spinel gibi minerallerde de yüksek içeriklerde bulunabilir (De Hoog ve ark., 2010). Serpantinler, ayrıştığı yerde nikel cevheri üretebilirler (Guillot ve Hattori, 2013).

Deniz tabanına yakın yerlerde oluşan serpantin, serpantin yapısına sadece su değil aynı zamanda akışkan-hareketli elementler de (B, Li, As, Fe, Pb, U, Cr, Sr ve Ni gibi) ilave etmektedir. Bu şekilde, okyanus litosferindeki serpantinleşme, elementleri hidrosferden litosfere aktarmaktadır. Sonuç olarak, serpantinleşmiş manto peridotitinin batması, okyanustan mantoya büyük miktarlarda su ve sıvı-hareketli elementler taşımaktadır. Bu süreç aynı zamanda sıvı-hareketli elementleri su ile birlikte üstteki mantoya aktarmaktadır (Schmidt ve Poli, 2003). Bu nedenle, menşe yerlerinden (deniz tabanı veya dalma bölgesi) ve nihai jeolojik ortamdan bağımsız olarak tüm serpantinler, akışkan-hareketli elementler açısından orta ila güçlü bir şekilde zenginleştirilmiştir (Hattori ve Guillot, 2003; Guillot ve Hattori, 2013).

Bu durum, bölgede yüzey ve yeraltısularında yüksek oranda tespit edilen As, Cr, Ni, Al, Fe ve B içeriklerinin Marmaris peridotitleri ile kaya-su etkileşimi ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada Acıpayam (Denizli) batısında Marmaris peridotiti birimi ile ilişki yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. İnceleme

alanında geniş yayılım gösteren birim Marmaris peridotitidir. Marmaris peridotiti serpantin, peridotit, piroksenit, gabro ve diyabaz gibi ultramafik – mafik kaya topluluklarından oluşmaktadır. Marmaris peridotitinin egemen kaya türü harzburjit olup düşük topoğrafyalarda dünitler de yüzeylenmektedir. Serpantinleşme peridotit kütlelerinin hemen her kesiminde gözlenmektedir.

Acıpayam çevresinde en önemli akifer birimler alüvyon, alüvyon yelpaze ve Çameli formasyonunun çatlaklı kumtaşı, kireçtaşı, konglomera seviyeleridir. Ova alanında bu birimlerde açılmış çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. Marmaris peridotiti birimi içerisindeki kırık-çatlak sıklığına bağlı olarak yeraltı suyu bulundurulabilmekte olup Acıpayam batısında bu birimden boşalan düşük debili kaynaklar bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında kaynak suları ve Marmaris peridotiti birimi üzerinden akışa sahip dere sularından su örnekleri alınmıştır. Donabağı kaynağı, Kızılca-dağ melanj ve olistrosromu ile bu birim içerisindeki kireçtaşı bloğu arasında bulunan fay düzlemi ile ilişkili olarak Marmaris peridotiti birimi içinden boşalmaktadır. Efekli, Kozludere ve K4 kaynakları Marmaris peridotiti biriminden boşalmaktadır. K1 ve K2 kaynakları Mevlütler formasyonunun tabanında bulunan çakıltaşından oluşan Dedebağı üyesi biriminden, K3 kaynağı ise Mevlütler formasyonundan boşalmaktadır. EC değeri kaynak sularında 440-840 µS/cm, dere sularında 610-630 µS/cm arasında olduğu tespit edilmiştir. PH değeri kaynak sularında 7.41-8.0, dere sularında ise 8.36-8.41 arasındadır.

Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı sularında baskın katyon Mg^{+2} 'dir. Mg^{+2} iyonları kaynak ve dere sularında 10.2 ile 109.5 mg/l arasında tespit edilmiştir. Ca^{+2} konsantrasyonları kaynak ve dere suyu için 8.07-102.1 mg/l aralığında değişmektedir. HCO_3^- baskın anyon olup 359.9 ve 595 mg/l arasında değişmektedir.

Piper diyagramına göre yüzey suları $Mg-HCO_3$ su sınıfında, kaynak sularında ise $Mg-HCO_3$, $Mg-Ca-HCO_3$, $Ca-HCO_3$ ve $Ca-Mg-HCO_3$ su sınıfları tespit edilmiştir. Suların tümünde alkali toprak elementleri ($Mg^{+2} + Ca^{+2}$), alkali elementleri ($Na^{+} + K^{+}$) toplamından büyük, zayıf asit kökleri ($CO_3 + HCO_3$), güçlü asit kökleri ($Cl^{-} + SO_4^{-2}$) toplamından büyüktür. Yeraltı ve yüzey sularının majör iyon içerikleri suların etkileşimde oldukları kayalar ile ilişkili hidrojeokimyasal süreçler ile denetlenmektedir. Bu hidrojeokimyasal süreçler iyon alışverişi, ayrışma-çözünme (silikat ve karbonat ayrışması) ve buharlaşma olarak kabul edilmektedir. Gibbs diyagramında su örnekleri "Kayaç Baskın" alanında olup kaya-su etkileşiminin yeraltı ve yüzey sularının kimyasını denetleyen temel etken olduğunu göstermektedir.

Yeraltı ve yüze sularında Mg^{+2} içeriği 10.2 ile 109.5 mg/l arasında tespit edilmiş olup baskın katyondur. Sularında Mg^{+2} iyonu ofiyolitik kayalarda serpantinleşme süreçleri sırasında ferromagnezyen mineralerden (olivin, piroksen ve serpantin) salınan önemli bir elementtir. Daha önceki araştırmalarda inceleme alanındaki peridotitlerin başlıca olivin ve ortopiroksen (enstatit)'den yapıldığı belirlenmiştir. Olivin grubu mineralleri özellikle forsterit (Mg_2SiO_4) minerali magnezyum içeriği yüksek peridotit oluşturmaktadır. Serpantinleşme sırasında CO_2 ile ilişkili su varlığında gelişen süreçlerde Mg^{+2} ve HCO_3^- elementleri açığa çıkmaktadır. Su örneklerinde tespit edilen major iyon içeriklerine bağlı olarak hazırlanan grafikler yüze ve yeraltısularının katyon içeriklerinin baskın olarak silikat ayrışmasından türetilmiş olabileceğini göstermektedir.

İnceleme alanında dere sularının As içeriği 13.3 ve 15.7 $\mu g/l$, kaynak sularının As içeriği ise 0.36-14.4 $\mu g/l$ arasında değişmektedir. Ayrışma süreçleri sırasında peridotiti oluşturan olivin ve piroksen mineralinin çözünmesi sonucu arsenik iyonları ortaya çıkmaktadır. İnceleme alanında dere ve kaynak sularındaki As artışının tamamen suların etkileşim halinde oldukları Marmaris peridotitleri ile ilişkili olduğu görülmektedir.

İnceleme alanında dere sularında tespit edilen Cr içeriği 8.5-12 $\mu g/l$, kaynak sularında ise 3.5-14.1 $\mu g/l$ arasında değişmektedir. Kromit genel olarak harzburjit ve dünit gibi ultramafik kayalarda bulunur. İnceleme alanında ultramafik kayalar harzburjit, dünit, dünitik zonlar/dünitik kılıf ile çevrili kromit kütleleri ve piroksenit damarları ile temsil edilmektedir. Önceki araştırmalarda bölgedeki kromitlerinin harzburjitik yan kayaçlı kromit olduğu, yüksek krom içeriğine sahip olduğu ve podiform tipte kromit oluşumları olduğu belirlenmiştir. Bu durum bölgede yüze ve yeraltısularındaki krom içeriğinin Marmaris peridotitleri ile ilişkili olarak kaya-su etkileşimi kaynaklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, u örneklerinin Ni içerikleri 0.10-7.9 $\mu g/l$, Al içerikleri 1-14 $\mu g/l$, Fe içerikleri <10-14 $\mu g/l$, B içerikleri <0.05-13 $\mu g/l$ arasında değişmektedir. Bu iz element içerikleri de Marmaris peridotitleri kaynaklıdır.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, N. (2011). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:164, Denizli-N22 paftası
- Appelo, C.A.J., Postma, D. (1993). Geochemistry, groundwater and pollution. A. A.Balkema, Rotterdam.
- Back, W. (1966). Hydrochemical Facies and Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A:1-42.
- Basu, A., Saha, D., Saha, R., Ghosh, T., Saha, B. (2014). A review on sources, toxicity and remediation technologies for removing arsenic from drinking water. *Research on Chemical Intermediates*, 40: 447-485.

- Berg, G., (1932). Das Vorkommen der chemischen Elemente auf der Erde. JA Barth.
- Chaerul, M., Pallu, S., Selintung, M., Patanduk, D.J. (2015). The relationship of ultramafic rocks and the occurrence of Arsenic heavy metal ion (As^{3+}) Cadmium (Cd^{2+}) and Chromium (Cr^{6+}) in river water (A Case Study: River Lambuluo Motui, Southeast Sulawesi). *International Journal of Science, Environment and Technology*, 4(4):896 – 904
- Chavagnac, V., Monnin, C., Ceuleneer, G., Boulart, C., Hoareau, G. (2013). Characterization of hyperalkaline fluids produced by lowtemperature serpentinization of mantle peridotites in the Oman and Ligurian ophiolites. *Geochem Geophys Geosyst*, 14(7):2496–2516.
- Coleman, R.G. (1977). Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere? Springer-Verlag, Berlin, 229 pp
- D'Alessandro, W., Daskalopoulou, K., Calabrese, S., Bellomo, S. (2018). Water chemistry and abiogenic methane content of a hyperalkaline spring related to serpentinization in the Argolida ophiolite (Ermioni, Greece). *Marine and Petroleum Geology*, 89:185–193.
- Datta, P.S., Tyagi, S.K. (1996). Major ion Chemistry of Groundwater in Delhi Area: Chemical Weathering Processes and Groundwater Flow Regime. *Journal of Geological Society India*, 47:179–188.
- De Hoog, C.J., Gall, L., Cornell, D.H. (2010). Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry. *Chemical Geology*, 270(1-4):196-215. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.11.017>
- Demir, S., Elitok, Ö., Memiş, Ü. (2019). Origin and geochemical evolution of groundwaters at the northeastern extend of the active Fethiye-Burdur fault zone within the ophiolitic Teke nappes, SW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 12:783
- DSİ, Genel Müdürlüğü (1974). Acıpayam ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu
- Elango, L., Kannan, R. (2007). Rock-water interaction and its control on chemical composition of groundwater. Section II, Paper 11, 229-247. Developments in Environmental Science 5, Series Editor: S.V. Krupa; Concepts and Applications in Environmental Geochemistry, Edited by D. Sarkar, R. Datta, R. Hannigan, Elsevier publication
- Elango, L., Rannan, R., Senthil, K.M. (2003). Major Ion Chemistry And Identification Of Hydrogeochemical Processes Of Groundwater in A Part of Kancheepuram District, Tamil Nadu, India. *Journal of Environmental Geosciences*, 10:157 – 166.
- Evans, B.W., Hattori, K., Baronnet, A. (2013). Serpentinite: What, why, where? *Elements*, 9: 99-106
- Freeze, A.R., Cherry, A.J. (1979). Groundwater. by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632 London UK.
- Garrels, R.M. (1967). Genesis of Some Groundwaters from Igneous Rocks. In P. Abelson (Ed.), *Researches in Geochemistry*, 2:405-420
- Garrels, R. M., Mackenzie, F.T. (1967). Origin of the chemical compositions of some springs and lakes. In W. Stumm (Ed.), *Equilibrium concepts innatural water systems. Advances in Chemistry Series*, 67:222–242.
- Ghrefat, H.A., Zaman, H., Batayneh, A.T., Zumlot, T. (2014). Major ion chemistry and weathering processes in the Midyan basin, northwestern Saudi Arabia. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10):8695-8705.

- Giampouras, M., Garrido, C. J., Zwicker, J., Vadillo, I., Smrzka, D., Bach, W., Peckmann, J., Jimenez, P., Benavente, J., Garcia-Ruiz, J. M. (2019). Geochemistry and mineralogy of serpentinization-driven hyperalkaline springs in the Ronda peridotites. *Lithos*, 350, 105215; DOI 10.1016/j.lithos.2019.105215
- Gibbs, R.J. (1970). Mechanism controlling world water chemistry. *Science*, 170:795-840
- Guillot, S., Hattori, K. (2013). Serpentinites: essential roles in geodynamics, Arc volcanism, sustainable development and the origin of life. *Elements*, 9:95–98.
- Hattori, K., Guillot, S. (2003). Volcanic fronts form as a consequence of serpentinite dehydration in the forearc mantle wedge. *Geology*, 31: 525-528
- Hattori, K., Takahashi, Y., Guillot, S., Johanson, B. (2005). Occurrence of arsenic (V) in forearc mantle serpentinites based on X-ray absorption spectroscopy study. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69:5585–5596.
- Hounslow, A.W. (1995). Water quality data analysis and interpretation. Lewis Publishers, Boca Raton
- Ishimaru, S., Arai, S. (2008). Arsenide in a metasomatized peridotite xenolith as a constraint on arsenic behavior in the mantle wedge. *Am. Mineral*, 93:1061–1065.
- Johnson, C.C. (1979). Land application of waste-an accident waiting to happen. *Groundwater*, 17(1): 69-72.
- Kahriman, S. (2012). Acıpayam ve Beyağaç (Denizli güneyi) bölgesindeki ofiyolitlerin jeolojisi, petrografisi ve petrokimyası. Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Kumar Singh, A., Mondal, G.C., Singh, T.B., Singh, S., Tewary, B.K., Sinha, A. (2012). Hydrogeochemical processes and quality assessment of groundwater in Dumka and Jamtara districts, Jharkhand, India. *Environmental Earth Science*, 67: 2175–2191.
- Lakshmanan, E., Kannan, R., Senthil Kumar, M. (2003). Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of ground water in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental Geosciences*, 10(4):157–166.
- Monnin, C., Chavagnac, V., Boulart, C., Ménez, B., Gérard, M., Gérard, E., Pisapia, C., Quéméneur, M., Erauso, G., Postec, A., Guentas- Dombrowski, L., Payri, C., Pelletier, B. (2014). Fluid chemistry of the low temperature hyperalkaline hydrothermal system of Prony Bay (New Caledonia). *Biogeosciences*, 11:5687–5706.
- Pettine, M., Camusso, M., Martinotti, W. (1992). Dissolved and particulate transport of arsenic and chromium in the Po River. *Science of the Total Environment*, 119:253-280
- Piper, A.M. (1944). A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 25:914-923.
- Prohaska, T., Stinger, G. (2005) Speciation of arsenic. In: Cornelis R (ed) Handbook of Elemental Speciation II - Species in the Environment, Food, Medicine and Occupational Health. Wiley, Chichester, pp 69-85 (<https://doi.org/10.1002/0470856009>)
- Rajmohan, N., Elango, L. (2004) Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. *Environmental Geology*, 46:47–61
- Ryan, P.C., Kim, J., Wall, A.J., Moen, J.C., Corenthal, L. G., Chow, D.R., Sullivan, C.M., Bright, K.S. (2011). Ultramafic-derived arsenic in a fractured bedrock aquifer. *Applied Geochemistry*, 26(4):444-457.
- Sajil Kumar, P.J. (2013) Interpretation of groundwater chemistry using piper and chadha's diagrams: a comparative study from perambalur taluk. *Elixir Geoscience*, 54:12208-12211.
- Schmidt, M.W., Poli, S. (2003). Generation of mobile components during subduction of oceanic crust. *Treatise on Geochemistry*, 3: 567-593
- Schmidt, G., Witt-Eickschen, G., Palme, H., Seck, H., Spettel, B., Kratz, K.L. (2003). Highly siderophile elements (PGE, Re and Au) in mantle xenoliths from the West Eifel volcanic field (Germany). *Chemical Geology*, 196:77–105.
- Schneider, K., Le Mestre, M., Desriaux, I., Gunkel-Grillon, P. (2020). First investigations on arsenic content in ultramafic rocks' alterites from Nickel mines, implications for surface waters quality in ultramafic watersheds (New-Caledonia). *Environmental Chemistry Letters*, 10.1007/s10311-020-01009-6. hal-02888355
- Schoeller, H. (1965). Qualitative Evaluation of groundwater resources. In methods and techniques of groundwater investigations and development (Pp. 54–83). Paris: UNESCO.
- Schoeller, H. (1967). Qualitative evaluation of groundwater Resources. In methods and techniques of Groundwater investigation and development. Water Research, Series-33: UNESCO, Pp. 45 – 52.
- Singh, A.K., Mahato, M.K., Neogi, B., Tewary, B.K., Sinha, A. (2012). Environmental geochemistry and quality assessment of mine water of Jharia coalfield, India. *Environmental Geology*, 65:49–65.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. (2002). A review of the source, behavior and distribution of As in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17:517–568.
- Stallard, R.F., Edmond, J.M. (1983). Geochemistry of the Amazon, the influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research*, 88: 9671 –9688.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, A.M., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbas, A., Örçen, S., Bilgi, C. (1989). Çameli (Denizli)- Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Rap: 9429 (yayımlanmamış), Ankara.
- Tay, C.K. (2012). Hydrochemistry of groundwater in the Savelugu–Nanton District, Northern Ghana. *Environmental Earth Science*, 67:2077–2087.
- Thin, P.P., Hendrayana, H., Wilopo, W., Kawasaki, S. (2018). Assessment of groundwater facies in Wates Coastal Area, Kulon Progo, Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Degraded Andmining Lands management*, 5(4):1389-1401
- Voutsis, A., Kelepertzis, E., Tziritis, E., Kelepertzis, A. (2015). Assessing the hydrogeochemistry of groundwaters in ophiolite areas of Euboea Island, Greece, using multivariate statistical methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 159:79–92.
- Zhang, C., Kibriya, M.G., Jasmine, F., Roy, S., Gao, J., Sabarinathan, M., Delgado, D., Ahmed, A., Islam, T., Eunos, M., Islam, Md.T., Hasan, R., Graziano, J.H., Ahsan, H., Pierce, B.L. (2018). A study of telomere length, arsenic exposure, and arsenic toxicity in a

Marmaris Peridotiti ile İlişkili Yüzey ve Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri: Acıpayam (Denizli) Batısı

Bangladeshi cohort. *Environmental Research*, 164:346-355
Zwicker, J., Smrzka, D., Vadillo, I., Jiménez-Gavilán, P., Giampouras, M., Peckmann, J., Bach, W. (2022).

Trace and rare earth element distribution in hyperalkaline serpentinite-hosted spring waters and associated authigenic carbonates from the Ronda peridotite. *Applied Geochemistry*, 147, 105492.
