



Araştırma Makalesi / Research Article

Karagöl (Borçka-Artvin) Gölü ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi

Hydrogeochemical Investigation of Karagöl (Borçka-Artvin) Lake and Its Vicinity

Şehnaz ŞENER , Hülya KİBAR 

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ISPARTA

Geliş (Received): 11 Mayıs (May) 2017, Düzeltme (Revised): 27 Temmuz (July) 2017, Kabul (Accepted): 03 Ağustos (August) 2017

ÖZ

Bu çalışmada, Karagöl ve çevresinin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenerek bölgedeki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri, kullanım durumları ve kirlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışma alanında Üst Kretase-Kuvaterner zaman aralığında farklı yaş ve litolojiye sahip kaya birimleri yüzeylemektedir. Çalışma alanında yeraltı suyu rezervuarları alüvyon ve içerisinde yer yer kireçtaşı, kumtaşı seviyeleri olan kırık ve çatlaklı magmatik kaya birimleri olup en önemli yüzey suları ise Çoruh Nehri ve Karagöl'dür. Çalışma alanındaki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla, yüzey suyu ve kaynak suyu örneklerinin hidrojeokimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölgedeki su kaynaklarının, Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve NaHCO₃ sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Su tiplerinin gelişmesindeki ana etken kayaç-su etkileşimi olup genel olarak Na ve Ca iyonlarının artışı Na-Ca feldspatlar ile, Mg iyon artışı ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat minerallerinin ayrışması sonucunda gerçekleşmektedir. Su örneklerindeki baskın HCO₃ iyonu; kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldspat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineralleri ile ilişkili kaya-su etkileşimi sonucunda artış göstermektedir. Su kalitesi bakımından incelendiğinde çalışma alanındaki suların tamamı I. su kalite sınıfında yer almakta olup yapılan değerlendirmelere göre içme ve sulama suyu olarak kullanıma uygundur.

Anahtar Kelimeler: Ayrışma, Hidrojeokimya, Hidrojeoloji, Karagöl.

ABSTRACT

In this study, geological and hydrogeological properties of Karagöl and its surroundings were investigated and hydrogeochemical properties and quality of waters were evaluated. The rock units are observed with different age and lithology in the Upper Cretaceous-Quaternary time interval in the study area. The groundwater reservoirs are alluvium and fractured-fissured magmatic rock units with locally limestone, sandstone levels. The most important surface waters are Çoruh River and Karagöl Lake in the region. In order to determine hydrogeochemical properties of the surface and spring waters, hydrochemical analyses were performed. According to the obtained results, the water resources are in Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃, and NaHCO₃ facieses. The main factor in the development of water types is water-rock interactions. In general, increase of Na and Ca ions is related to Na-Ca feldspars alteration, while the Mg ions are mainly due to the weathering of silicate minerals such as biotite, amphibole, pyroxene. On the other hand, dominant HCO₃ ion shows an increase associated with limestone and clayey limestone units, and also with the secondary calcite minerals which are formed as a result of the feldspar mineral alteration. Water resources are classified as 1st water quality in terms of all parameters and suitable for drinking and irrigation.

Keywords: Weathering, Hydrogeochemistry, Hydrogeology, Karagöl.

GİRİŞ

İnsanoğlunun yarattığı olumsuz koşullar nedeniyle kullanılabilirliğini yitiren yüzey sularının en önemli alternatifi yeraltısularıdır. Günümüzde yüzey sularının kullanıma kazandırılması kolay olmasına rağmen bu sular, bölgesel kirleticilerden çok daha kolay etkilenmektedir. Bu nedenle su ihtiyacının karşılanmasında yeraltısuları daha önemli hale gelmiştir. Ancak, yeraltısularının sürdürülebilir kullanımı, plansız yönetimlere bağlı olarak aşırı çekimler ve kirleticiler sebebiyle tehlike altına girmektedir. Su kaynaklarının en etkin ve doğru şekilde kullanımı doğru su yönetimlerinin planlanmasına bağlıdır. Bu da kapsamlı hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemelerin yapılması ile mümkündür.

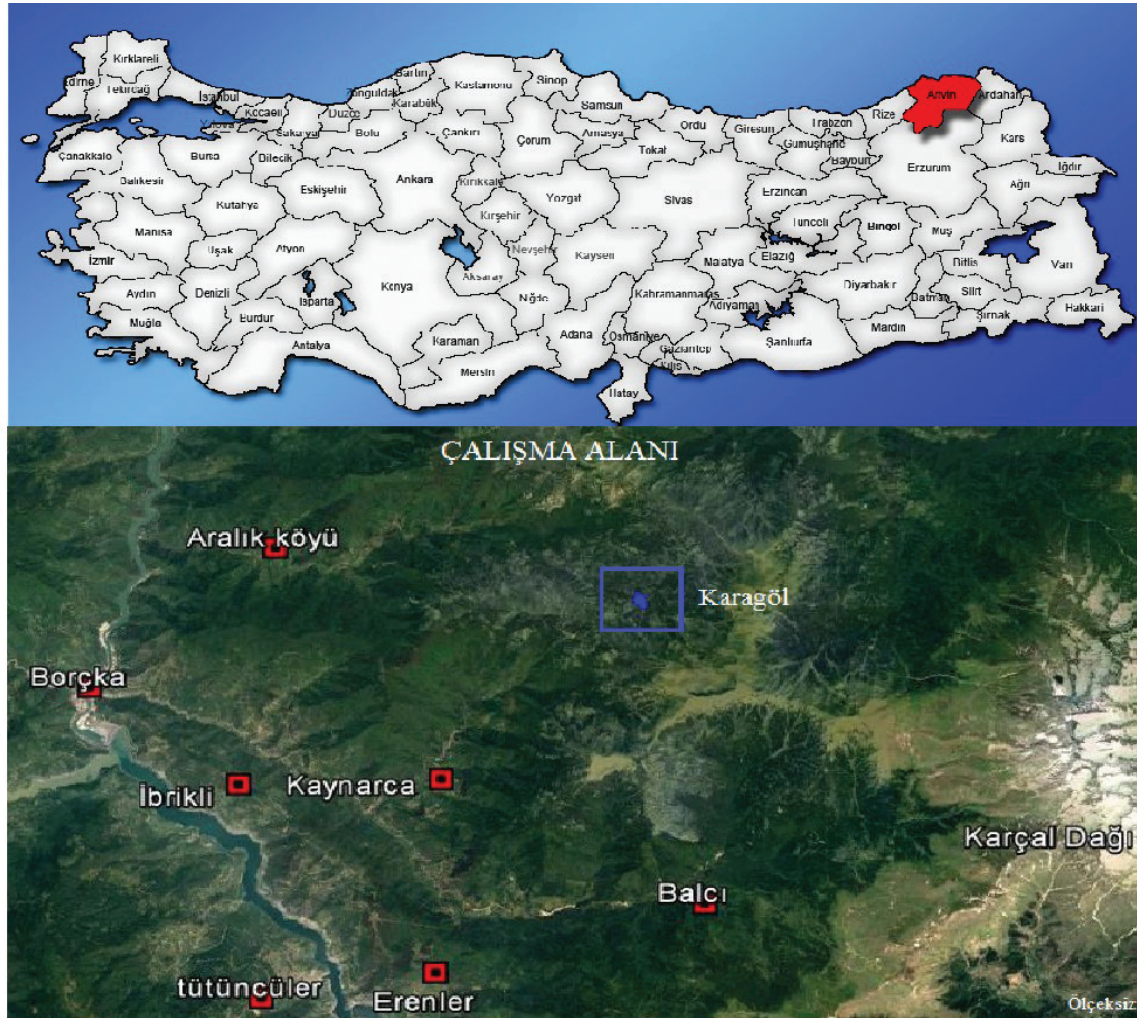
Artvin ili Borçka ilçesi sınırları içinde yer alan Karagöl, 368 hektar alana sahip olup, 14.08.2002 tarihinde Bakanlar Kurulu'na tabiat parkı olarak ilan edilmiştir. Savgule ve Heba Dereleri sularını Karagöl'e taşıyarak gölün beslenmesini sağlamaktadır. Gölde biriken sular, bir drenajla kuzeydeki küçük göle oradan da bir başka drenajla Cosidenara Deresi'ne bağlanarak inceleme alanını terk etmekte ve nihayetinde Çoruh Nehri'ne ulaşmaktadır. Çoruh Nehri ve Karagöl çalışma alanındaki en önemli yüzey sularıdır. Ayrıca bölgede çok sayıda kaynak

çıkışı gözlenmektedir. Ancak, yüzey suyu ve yeraltısuyu potansiyeline sahip olan bölgedeki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri daha önce incelenmemiş olup mevcut durumdaki kalitesi bilinmemektedir. Bu çalışmada Karagöl ve çevresinin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanındaki yüzey suyu ve kaynakların kimyasal özelliklerinin ortaya koyulması, kullanılabilirlik ve kalite durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı olarak seçilen Karagöl ve çevresi, Artvin ilinin Borçka ilçesi sınırları içinde yer almakta olup yaklaşık 410 km² bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı Borçka merkez, Aralık köyü, İbrikli köyü, Kaynarca köyü, Balcı köyü, Erenler ve Tütüncüler ile çevrili olup F47A2, F47A3, F47B1, F47B2, F47B3 ve F47B4 paftaları içinde yer almaktadır. Karagöl ilçe merkezine 25 km uzaklıktadır. Borçka'nın 2007 Yılı Genel Nüfus Sayımı verilerine göre toplam nüfusu 29.079'dur. İlçe merkezinin nüfusu 10.433, köy nüfusu ise 18.646 kişidir. Köy nüfusunun büyük bir kısmı çay, fındık, tütün ve orman ürünleriyle geçimini sağlamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

Yöntem

Çalışma alanının, önceki çalışmalardan ve arazi çalışmalarından yararlanılarak 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak bölgedeki geçirimli ve geçirimsiz birimler ayırtlanmıştır. Çalışma alanındaki yüzey ve kaynak sularının hidrojeokimyasal özelliklerini, kalitesini ve kullanım koşullarını belirlemek amacıyla Mayıs (2016) döneminde

17 adet su örneği alınmıştır. Örneklerin sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazları kullanılarak yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin katyon analizleri, Bureau Veritas Mineral (Kanada) laboratuvarı'nda ICP-MS cihazı ile, anyon analizleri ise Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi

laboratuvarında spektrofotometrik yöntem ve titrimetrik yöntemler kullanılarak yaptırılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları kullanılarak, çalışma alanındaki suların iyon özellikleri, kullanım amaçları (içme ve sulama) ve kalite özellikleri incelenmiştir.

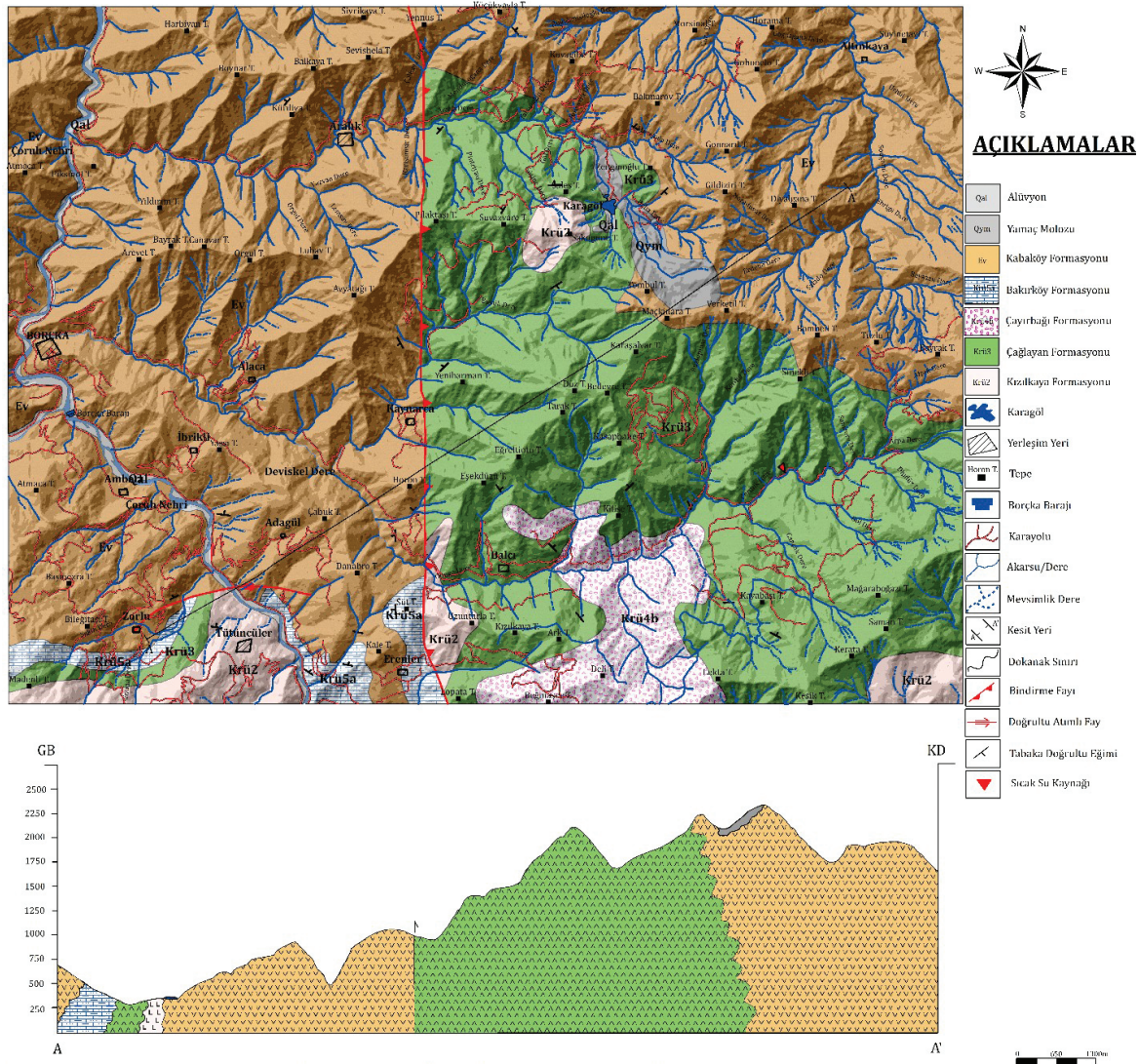
JEOLOJİ VE HİDROJEOLOJİ

Karagöl ve çevresi, jeotektonik bakımdan Doğu Karadeniz Dağları (Doğu Pontitler) içerisinde yer almaktadır. Bu kütleler Mesozoyik'te başlayıp Neojen sonlarına kadar süren Alp orojenezinin ve aynı dönemlere rastlayan volkanizmanın izlerini taşır (Kopar ve Sever, 2008). Saha genelinde, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı toleyitik ve kalko-alkalen kayalar izlenmektedir. Özellikle Üst Kretase dönemi bu bölümde yoğun şekilde volkanik aktivitenin görüldüğü dönem olup, asit ve bazik nitelikte periyodlarla kendini göstermiş, bu zamanın sonlarında ise volkanik aktivite denizaltı volkanizması şeklinde gelişme göstermiştir. Paleosen sonlarına doğru devam eden orojenik etkinlik Eosen'de de devam ederek denizel ortamda gerçekleşen yayılmaya bağlı olarak volkano-tortul istiflerin oluşmasına neden olmuştur (Güven ve Tosun, 1986; Yılmaz vd., 1998).

Çalışma alanının 1/50000 ölçekli jeoloji haritası arazi ve literatür çalışmaları sonucunda hazırlanmış ve Şekil 2'de sunulmuştur. Çalışma alanı ve yakın çevresinin en yaşlı birimi Mesozoyik yaşlı Kızılkaya formasyonudur. Bu birimin üzerine sırasıyla Mesozoyik yaşlı Çağlayan formasyonu, Çayırbağı formasyonu ve

Mesozoyik-Senozoyikyaşlı Bakırköy formasyonu gelmektedir. Bakırköy formasyonunun üzerinde Senozoyik yaşlı Kabaköy formasyonu uyumsuz olarak yerleşmiştir. Tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ile alüvyon birimleri bulunmaktadır.

Kızılkaya formasyonu; gri, beyaz rekli riyodasitik-dasitik karakterli lav ve piroklastlarından oluşur. Lavlarda yer alan kolonlu yapılar ve yer yer de akıntılı (flüvdal) yapılar gözlenir. Hidrotermal girdiler sonucu sülfürlü mineralizasyon oluşumları ve buna bağlı olarak da yan kayalarda yer yer hidrotermal ayrışmalar (silişleşme, serizitleşme ve killeşme) mevcuttur. Formasyon içerisinde; piritleşme, silisleşme, kaolenleşme, serizitleşme, kloritleşme ve limonitleşme izlenen alterasyon ürünleridir. Kızılkaya formasyonu bazik volkano-tortul karakterli Çağlayan formasyonunu uyumlu olarak üzerler. Kızılkaya formasyonu içinde, fosil içerir tortul seviye bulunmadığından formasyonun yaşı göreceli olarak belirlenmiştir. Kızılkaya formasyonu çalışma alanı dışında gözlenen Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak formasyonunu ve Kampaniyen-Mestristiyen yaşlı Çağlayan formasyonunu uyumlu olarak üzerlediğinden yaşı göreceli olarak Santoniyen-Kampaniyen (Üst Kretase) olarak belirlenmiştir (Yılmaz vd., 1998). Çağlayan formasyonu; genellikle gri, yeşil renkli andezitik bazalt, bazalt lav ve piroklastları ile birlikte ardalanmalı olarak bulunan kırmızı-bordo renkli çamurtaşı, gri renkli marn ve kumtaşlarından oluşur. Formasyon içindeki tabakalarda bindirmenin etkisiyle gelişmiş dalgalı kıvrım yapıları görülür. Ayrıca, bazaltlarda yastık lav yapıları gelişmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası ve enine kesiti.

Figure 2. Geological map and cross-section of the study area.

Çağlayan formasyonu riyodasit-dasitik lav ve piroklastlarından oluşan Kızılkaya formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunur. Çağlayan formasyonunun yaşı, içerdiği fosil bileşenlerine göre Kampaniyen-Maestrihtiyen (Üst Kretase) olarak belirlenmiştir (Yılmaz vd., 1998). Birim, Borçka ilçesinin doğusunda, Karagöl'ün kuzeyinde, batısında ve güneyinde oldukça geniş bir alanda gözlenmektedir. Çayırbağı formasyonu; fazla yaygın olmayan riyolit ve riyodasitik karakterli lav ve piroklastlarından meydana gelmiştir. Volkanojenik dom yapıları iyi gelişmiştir. Lavlarda prizmatik kolon yapıları ve akışkan yapılar görülmektedir. Çayırbağı formasyonunun üzerinde yanal geçişli ve uyumlu olarak Bakırköy formasyonu gelmektedir. Çayırbağı formasyonunun içinde yaş verebilecek tortul seviyeler mevcut değildir. Ancak, Kampaniyen-Maestrihtiyen yaşlı Çağlayan formasyonunun üzerinde uyumlu olarak yer alması ve Maestrihtiyen-Paleosen yaşlı Bakırköy formasyonları ile de uyumlu olarak örtülmesi dolayısıyla formasyonun yaşı Maestrihtiyen olarak kabul edilmiştir (Yılmaz vd., 1998). Formasyon, çalışma alanında Balı beldesinin kuzeydoğu ve güneydoğusunda dar alanlarda izlenmektedir. Bakırköy formasyonu; Borçka ilçesi Cankurtaran Geçidi yöresinde izlenen türbiditik karakterli bir birim olup genellikle killi kireçtaşı, marn, şeyl ve az oranda da kumtaşlarından oluşmuştur. Bakırköy formasyonu, Çayırbağı formasyonunun üzerinde yanal geçişli ve uyumlu olarak bulunmakta iken üstte Kabaköy formasyonu birim üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Bakırköy formasyonunun yaşı içerdiği fosil türlerine göre Maestrihtiyen-Paleosen olarak belirlenmiştir (Yılmaz vd., 1998). Formasyon çalışma alanında Zorlu beldesinin güneyinde ve Erenler beldesinin kuzey ve batısında izlenmektedir. Kabaköy formasyonu; kırmızı bir çimento matriksi ile

tutturulmuş iri çakıllı konglomera seviyesi ile başlar. Çakıllar çoğunlukla bazalt, dasit ve granitten oluşur. Konglomera seviyesinin üzerine kumtaşı ve bol nummilitli kireçtaşları gelir. Toplam olarak 20-30 m kadar bir kalınlık gösteren bu taban seviyesi üzerinde kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakalı andezit lav ve piroklastları yer almaktadır. Kabaköy formasyonu bazik volkano-tortul bir seriden oluşan Çağlayan formasyonunun üzerine transgresif diskordan olarak gelmektedir. Üstte ise Kuvaterner birimler tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Çalışma alanında Borçka ilçesi, Muratlı ve Camili yörelerinde oldukça geniş bir alanda yüzeylenmektedir.

Kuvaterner birimlerden yamaç molozu; Karagöl'ün kuzey-güney doğrultusunda yer alan, tutturulmamış ve az tutturulmuş çamurtaşı, kumtaşı özellikle olan iri malzemelerden oluşmuştur. Birim genellikle üzerinde yer aldığı birimin daha üst kotlarda mekanik olarak ayrışması ve su-rüzgar etkisiyle aşağı doğru taşınması sonucu oluşmuştur. Alüvyon ise yine Karagöl'ün çevresinde, akarsu yataklarında özellikle Çoruh Nehri'nin kenarlarında yüzeylenmektedir. Birim çakıl, kum, kil ve silt çökellerinden oluşmuştur. Bunlar, akarsuların getirdikleri güncel malzemelerdir. Birimin yaşı stratigrafik konumuna göre Kuvaterner'dir.

Çalışma alanında bulunan litolojik birimler, fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından Az Verimli Gözenekli Akifer, Yersel Verimli Çatlaklı Kaya Akiferi ve Akifüj olmak üzere üç ayrı grupta incelenmiştir. Çalışma alanında yer alan Bakırköy formasyonu genel olarak şeyl, marn ve killi kireçtaşı içeriği nedeniyle "Akifüj" olarak; Kabaköy formasyonuna ait andezit, bazaltik lav, kireçtaşı, kumtaşı; Çayırbağı formasyonuna ait riyolitik, riyodasitik lav; Çağlayan formasyonuna

ait bazaltik lav, piroklast, çamurtaşı, kumtaşı çökelleri; Kızılkaya formasyonuna ait dasit, riyodasit lav içerikleri ve kırık-çatlaklı yapıları nedeniyle “Yersel Verimli Çatlaklı Kaya Akiferi” olarak; alüvyon ve yamaç molozları ise bölgedeki yayımları ve litolojik özellikleri dikkate alınarak “Az Verimli Gözenekli Akifer” olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışma alanı içerisindeki en önemli yüzey suyu noktaları Çoruh Nehri ve Karagöl'dür. Elektrik üretmek amacı ile inşaa edilmiş Borçka Barajı, çalışma alanındaki önemli bir su yapısıdır. Ayrıca bölgede çok sayıda sürekli ve mevsimsel yüzeysel akış ile su kaynakları bulunmaktadır. Ancak, çalışma alanında yeraltısuyu derinliğini ve akifer karakteristiklerini belirlemede yardımcı olacak sondaj kuyusu ve/veya sığ kuyu bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında bölgenin yeraltısuyu seviye ve dinamiği ile birlikte akiferin permeabilite, transmisibilite, depolama katsayısı gibi karakteristik özellikleri hakkında bilgi elde edilememiştir.

HİDROJEOKİMYA

Hidrojeokimyasal değerlendirmede kullanılan su örneklerinin alındığı lokasyonlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Çalışma alanı içerisinde bulunan yüzey ve kaynak sularının iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, hidrojen iyonu aktivitesi (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sodyum iyon yüzdesi (%Na) gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, suların sınıflandırılmasında su örneklerinin major anyon ve katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2}) analiz sonuçlarından yararlanılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca su örneklerinin major iyonlara ait analiz sonuçları kullanılarak çalışma alanının hidrojeokimyasal

özellikleri harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3).

Suların sertliği kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve +2 veya daha yüksek değeriğe sahip metal katyonlarından (Sr^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{+3} , Al^{+3}) ileri gelmektedir (Şahinci, 1991). Ülkemizde suların sertlik derecesini belirtmek için Fransız Sertlik Derecesi (°F) kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki suların toplam sertlik değerleri 1.82 °F ile 16.2 °F arasında değişmekte olup KG-14 nolu su örneği ‘az sert sular’ sınıfında, KG-12, KG-13, KG-17 nolu su örnekleri ‘yumuşak sular’ sınıfında, diğer tüm su örnekleri ise ‘çok yumuşak sular’ sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanındaki su örneklerin pH değerleri 7.28 – 9.21 arasında olup genel olarak “Bazik” ve “Bazik karakterli” sular sınıfında yer almaktadır (Çizelge 1). Çalışma alanından alınan su örneklerinin özgül elektriksel iletkenlik değerleri yerinde ölçümler ile belirlenmiş olup 53–150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki yüzey sularının analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerleri genel olarak 0.15 ile 0.37 arasında, % Na değerleri ise 5.54– 22.70 arasında değişmektedir.

Suların Kimyasal Sınıflaması

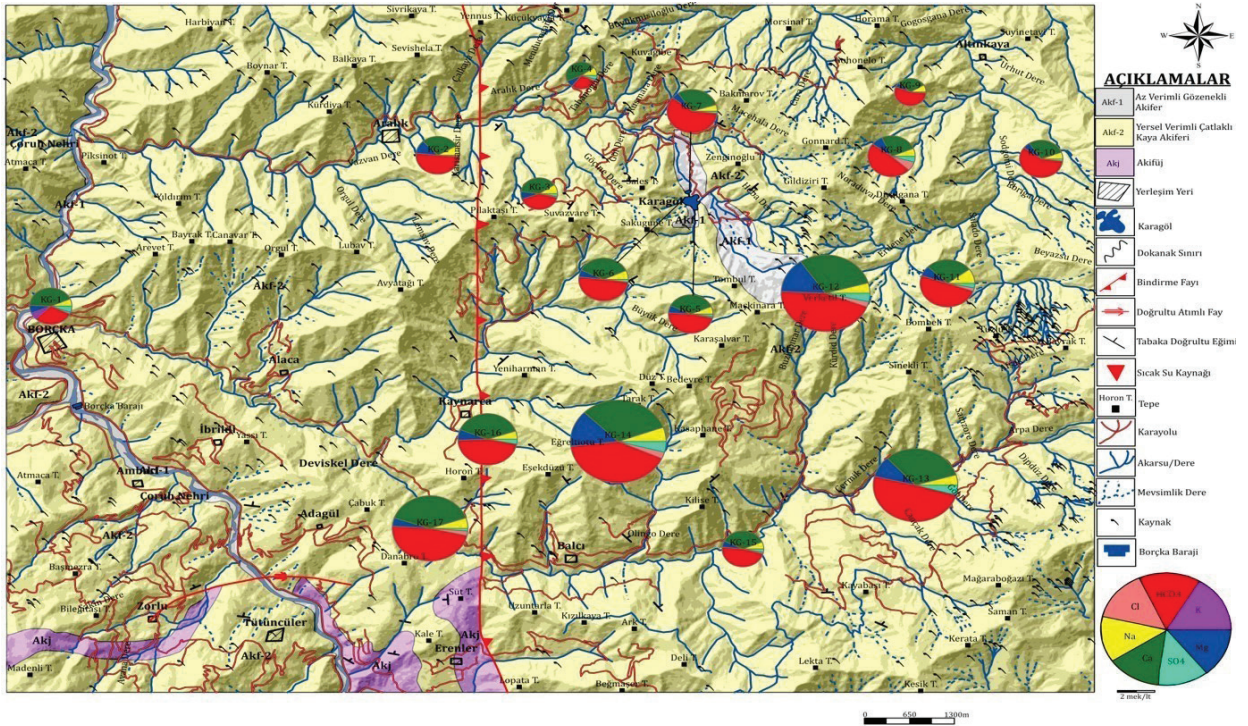
Çalışma alanındaki yüzey ve kaynak sularını temsil eden su örneklerine ait analiz sonuçları Piper Diyagramı üzerinde gösterilerek su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir (Şekil 4). Buna göre, KG-1 nolu su örneği dışındaki tüm yüzey ve kaynak suyu örnekleri; alkali toprak elementlerin toplamı (Ca+Mg), alkali elementlerin toplamından (Na+K) büyük, zayıf asit kökleri toplamının ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) güçlü asit köklerinin toplamından ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$) büyük ve karbonat sertliği % 50'den

Şener, Kibar

fazla olan suları temsil etmektedir. Piper Diyagramı'na göre su örneklerinin tamamının genel olarak Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. KG-1 nolu su örneği ise Ca-Na-HCO₃'lü sular fasiyesinde yer almaktadır.

Bu durum, su örneklerinin kayaç-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Genel olarak çalışma alanında yersel verimli çatlaklı kaya akiferini temsil eden formasyonlar; andezit, dasit ve bazalt lavları ile piroklastik kayaçlar ve yer yer tabakalı kumtaşı, kireçtaşı, marn seviyelerini içermektedirler. Ortaç ve mafik magmatik kayaçlarda yoğun olarak Na-Ca feldspat ve koyu renkli silikat mineralleri (biyotit, amfibol,

piroksen) hakimdir. Genel olarak Na ve Ca iyonlarının artışı Na-Ca feldspatlar ile, Mg iyonları ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat minerallerinin ayrışması sonucunda gerçekleşmiş olabilir. Su örneklerindeki baskın HCO₃ iyonu ise bölgede yer yer çökelmiş olan kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldspat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineraleri ile ilişkili kaya-su etkileşimi sonucunda artış göstermektedir. Ayrıca, bölgedeki magmatik kayaçların kırık ve çatlaklarında yoğun olarak kalsit dolguları bulunmakta olup, bu çatlaklar içerisindeki yeraltısuyu, kalsit mineralini kolaylıkla çözerek HCO₃ iyonu bakımından zenginleşmektedir.



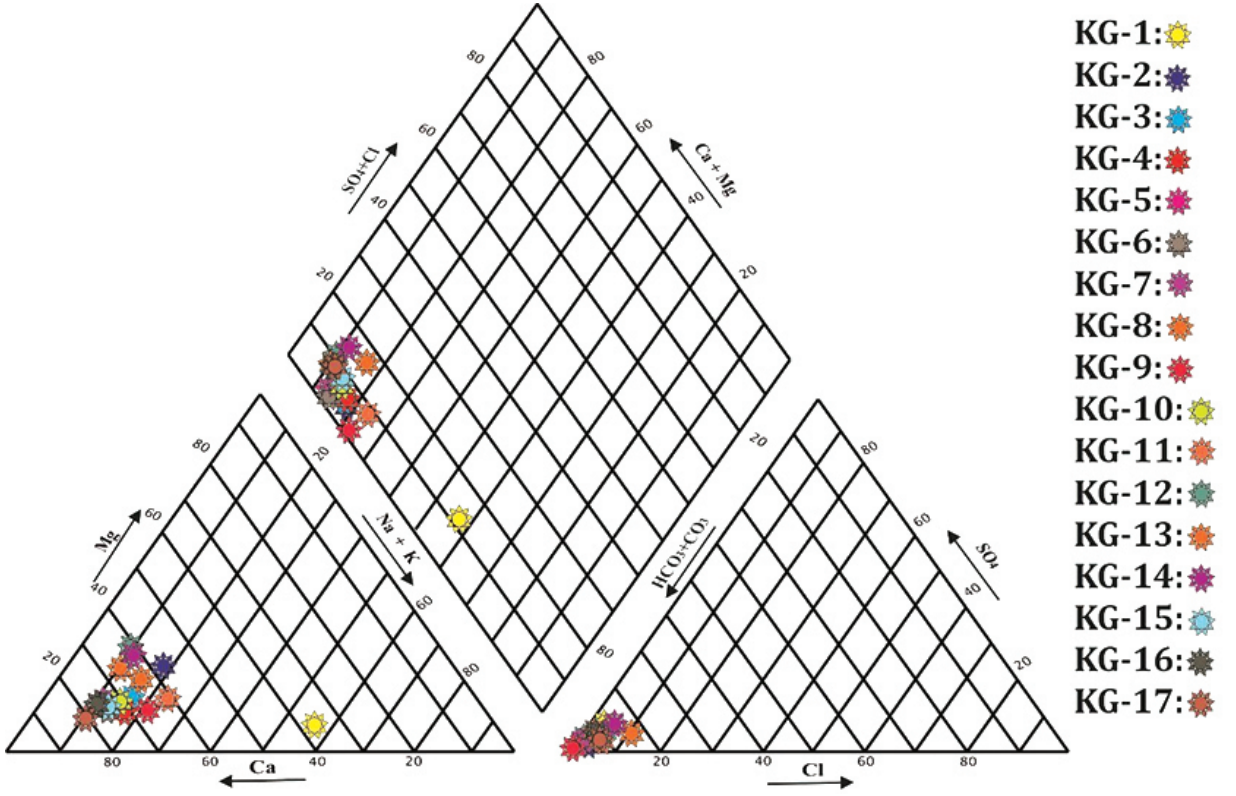
Şekil 3. Su ana iyon konsantrasyonları dağılımlarının harita üzerinde gösterimi.

Figure 3. Presentation of major ion concentration distributions on the map.

Çizelge 1. Su örneklerinin hidrojeokimyasal özellikleri.
Table 1. Hydrogeochemical properties of water samples.

Mevki	Numune Tipi	Num no	Na ⁺ mek/l	K ⁺ mek/l	Ca ⁺⁺ mek/l	Mg ⁺⁺ mek/l	Cl ⁻ mek/l	SO ₄ ⁻ mek/l	HCO ₃ ⁻ mek/l	CO ₃ ⁻ mek/l	Sic. (C ^o)	Sertlik (Fr ^o)	EC µS/cm	pH	%Na SAR	Su Sınıfı	
Çoruh Nehri	Yüzey suyu	KG-1	0.085	0.079	0.562	0.095	0.023	0.072	0.4	0.4	14,00	2.48	94	8.6	5.54	0.15	Ca-Na-HCO ₃
Aralık-1	Kaynak suyu	KG-2	0.118	0.014	0.392	0.159	0.018	0.014	0.7	0	13,90	2.98	73	7.28	17.3	0.23	Ca-HCO ₃
Aralık-2	Kaynak suyu	KG-3	0.095	0.008	0.379	0.077	0.012	0.028	0.4	0.4	10,20	2.1	74	8.14	17	0.20	Ca-HCO ₃ -CO ₃
Maysur	Kaynak suyu	KG-4	0.073	0.007	0.330	0.056	0.017	0.035	0.2	0.8	12,50	1.95	63	8.07	15.67	0.17	Ca-CO ₃
Savgule Dere	Yüzey suyu	KG-5	0.093	0.009	0.534	0.091	0.015	0.032	0.7	0.4	10,00	2.4	88	7.87	12.8	0.17	Ca-HCO ₃
Karagöl-1	Yüzey suyu	KG-6	0.123	0.008	0.648	0.095	0.009	0.036	0.9	0.2	12,80	2.92	87	8.44	14.1	0.20	Ca-HCO ₃
Karagöl-2	Yüzey suyu	KG-7	0.09	0.009	0.550	0.099	0.012	0.035	1.1	0	12,10	2.42	82	7.83	12.1	0.16	Ca-HCO ₃
Çamdallı-1	Kaynak suyu	KG-8	0.103	0.006	0.420	0.132	0.120	0.076	0.8	0.2	17,20	2.3	70	8.5	15.6	0.20	Ca-HCO ₃
Çamdallı-2	Kaynak suyu	KG-9	0.063	0.006	0.216	0.036	0.008	0.004	0.4	0.2	12,70	1.82	53	7.92	19.6	0.18	Ca-HCO ₃
Bozçalı	Kaynak suyu	KG-10	0.08	0.007	0.387	0.076	0.009	0.026	0.8	0.2	12,80	2.14	75	8.18	14.55	0.17	Ca-HCO ₃
Vertekil-1	Kaynak suyu	KG-11	0.225	0.008	0.604	0.155	0.053	0.067	1.1	0.2	12,30	3.06	89	8.09	22.7	0.37	Ca-HCO ₃
Vertekil-2	Kaynak suyu	KG-12	0.252	0.014	1.750	0.857	0.132	0.207	2.6	0.2	16,70	14	140	9.05	8.8	0.22	Ca-Mg-HCO ₃
Salerde	Kaynak suyu	KG-13	0.239	0.003	1.684	0.493	0.042	0.226	2.6	0	17,10	9.98	138	8.21	9.9	0.23	Ca-HCO ₃
Balı	Kaynak suyu	KG-14	0.378	0.014	2.163	0.964	0.177	0.281	2.8	0.2	15,70	16.2	150	8.76	10.8	0.30	Ca-Mg-HCO ₃
Erenler	Kaynak suyu	KG-15	0.081	0.010	0.461	0.072	0.018	0.037	0.6	0	14,80	2.25	79	8.51	13	0.17	Ca-HCO ₃
Kaynarca-1	Kaynak suyu	KG-16	0.134	0.008	0.997	0.174	0.024	0.076	1.2	0.2	10,80	5.75	107	8.41	10.2	0.18	Ca-HCO ₃
Kaynarca-2	Kaynak suyu	KG-17	0.220	0.017	1.666	0.171	0.098	0.054	2.0	0.2	15,00	9	127	9.21	10.6	0.23	Ca-HCO ₃

Şener, Kibar



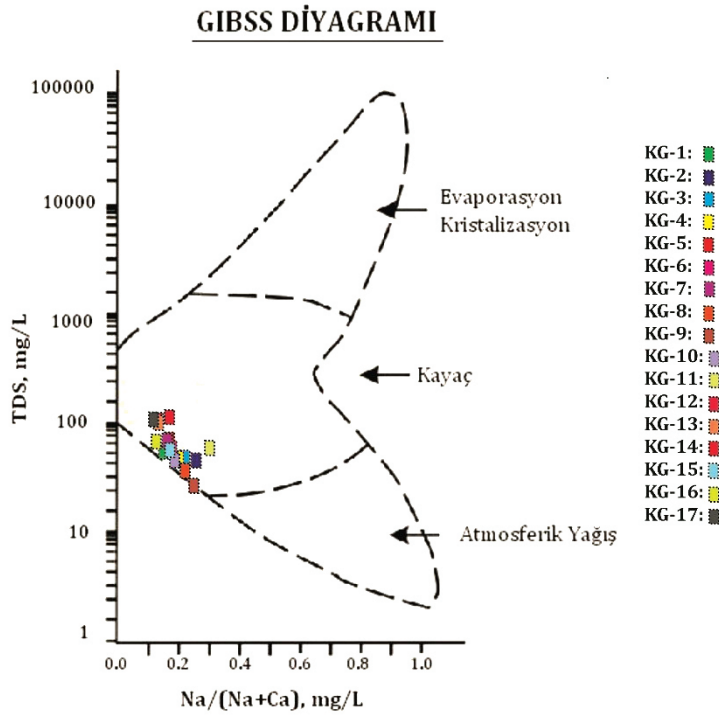
Şekil 4. Analiz edilen su örneklerin Piper Diyagramı.

Figure 4. Piper Diagram of the water samples analysed.

Çalışma alanında belirlenen su tipinin hangi işlev ve/veya mekanizma sonucu değiştiğini belirleyebilmek için, su örneklerinin iyonik oranları Gibss Diyagramı üzerine yerleştirilmiştir. Gibss Diyagramı'nda, su örneklerinin tamamı "Kayaç Baskın" bölgesine düşmektedir (Şekil 5). Bu da, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğunu göstermektedir.

Major iyonların İstatistiksel değerlendirilmesi

Çalışma alanındaki su örneklerinde ölçülen iyonların birbirleri ile ilişkilerini belirlemek için öncelikle korelasyon analizi yapılmıştır. Su örneklerinin analiz sonuçlarına göre Ca iyonu, Na ve HCO_3 ile çok yüksek pozitif korelasyon, Mg, Cl ve SO_4 ile yüksek pozitif korelasyon sunmaktadır. Mg iyonu, SO_4 ile çok yüksek pozitif korelasyona, Na iyonu ise HCO_3 ile çok yüksek pozitif korelasyona sahiptir (Çizelge 2). K iyonu ise diğer tüm iyonlar ile negatif korelasyon göstermektedir.



Şekil 5. Analiz edilen su örneklerin Gibss Diyagramı.

Figure 5. Gibss Diagram of the water samples analysed.

Çizelge 2. İnceleme alanındaki suların korelasyon katsayıları.

Table 2. Correlation coefficients of the waters in the study area.

Parametreler	pH	EC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²
pH	1								
EC	0.633	1							
Ca ⁺²	0.648	0.977	1						
Mg ⁺²	0.467	0.840	0.867	1					
Na ⁺	0.496	0.881	0.911	0.877	1				
K ⁺	0.172	0.013	-0.096	-0.112	-0.167	1			
Cl ⁻	0.646	0.681	0.752	0.799	0.802	-0.106	1		
HCO ₃ ⁻	0.538	0.941	0.963	0.880	0.909	-0.219	0.737	1	
SO ₄ ⁻²	0.489	0.870	0.876	0.940	0.868	-0.012	0.753	0.883	1

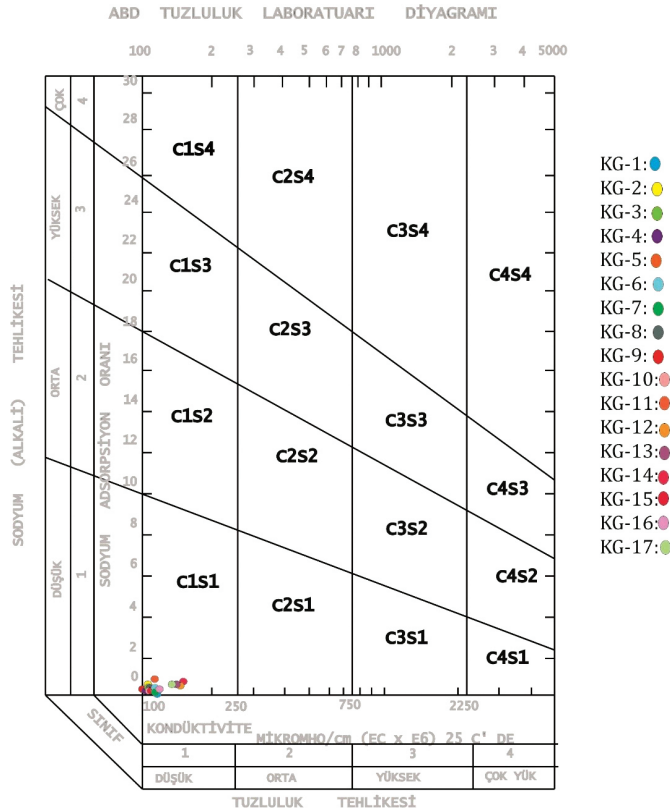
Şener, Kıbar

Suların kullanım özellikleri

Çalışma alanında yüzey ve kaynak sularından alınan su örneklerinin NO_3 ve ağır metal analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Yüzey ve kaynak sularına ait örneklerin analiz sonuçları; Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanmış İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te (2005) ve Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından hazırlanmış İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik'te (2012) belirtilen limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre yüzey ve kaynak sularına ait su örneklerinin tamamı ölçülen parametreler kapsamında içme suyu olarak kullanıma uygundur.

Çalışma alanındaki yüzey ve kaynak sularının sulamada kullanılabilirliğini belirlemek için Sodyum Adsorbsiyon Oranları (SAR) ve Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda kullanılmıştır.

Çalışma alanında bulunan sular 'C1S1' sınıfındadır (Şekil 6). Bu sınıflamaya göre sular; bitkiler için çoğu sulama suyu olarak kullanılabilen 'az tuzlu su' ve sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında her türlü tarım için uygun olan 'az sodyumlu su' özelliğindedir. Bu sonuç çalışma alanı ve yakın çevresindeki suların genel anlamda tüm sulama faaliyetlerinde kullanılabilir özellikte sular olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Analiz edilen su örneklerin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.

Figure 6. US Salinity Laboratory Diagram of the water samples analysed.

Çizelge 3. Yüze ve kaynak sularının ağır metal ve nitrat analiz sonuçları.
 Table 3. Heavy metals and nitrate analyses results of surface and spring waters.

Mevkii	Numune No	Numune Tipi	Al µg/l	Mn µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Pb µg/l	Hg µg/l	Cd µg/l	Se µg/l	As µg/l	Fe µg/l	Cr µg/l	Ni µg/l	NO ₃ mg/l
Çoruh Nehri	KG-1	Yüze suyu	154	13.12	1.3	0.06	0.2	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	121	0.8	<0.2	1.0
Aralık-1	KG-2	Kaynak suyu	80	3.22	2.7	<0.02	0.4	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	34	<0.5	<0.2	10.69
Aralık-2	KG-3	Kaynak suyu	51	5.51	0.4	<0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	35	<0.5	<0.2	0.88
Maysur	KG-4	Kaynak suyu	42	1.55	0.6	<0.02	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	<10	<0.5	<0.2	0.22
Savgule Dere	KG-5	Yüze suyu	98	18.74	0.8	<0.02	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	114	<0.5	<0.2	0.23
Karagöl-1	KG-6	Yüze suyu	111	9.15	0.6	<0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	107	<0.5	<0.2	0.24
Karagöl-2	KG-7	Yüze suyu	91	23.30	0.8	<0.02	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	122	<0.5	<0.2	0.25
Çamdalı-1	KG-8	Kaynak suyu	39	1.35	0.8	0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	19	<0.5	<0.2	1.12
Çamdalı-2	KG-9	Kaynak suyu	79	2.87	0.7	0.04	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	25	<0.5	<0.2	0.15
Bozçalı	KG-10	Kaynak suyu	180	10.32	0.9	0.04	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	103	<0.5	<0.2	0.39
Vertekil-1	KG-11	Kaynak suyu	133	4.51	1.1	<0.02	0.2	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	50	<0.5	<0.2	1.59
Vertekil-2	KG-12	Kaynak suyu	67	8.09	2.1	<0.02	0.2	<0.1	<0.05	<0.5	0.6	36	<0.5	<0.2	2.17
Salerde	KG-13	Kaynak suyu	25	0.39	1.3	<0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	0.9	<10	<0.5	<0.2	0.77
Balcı	KG-14	Kaynak suyu	96	6.12	1.0	0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	0.6	41	<0.5	<0.2	2.31
Erenler	KG-15	Kaynak suyu	82	4.05	1.2	<0.02	0.1	<0.1	<0.05	<0.5	<0.5	31	<0.5	<0.2	1.23
Kaynarca-1	KG-16	Kaynak suyu	8	0.15	0.1	<0.02	<0.1	<0.1	<0.05	<0.5	0.8	<10	0.7	<0.2	5.49
Kaynarca-2	KG-17	Kaynak suyu	7	0.51	6.1	<0.02	0.3	<0.1	<0.05	<0.5	0.7	<10	<0.5	<0.2	8.37
ITAS (2005) mg/l			0.2	0.05	2.0	-	0.01	0.001	0.005	0.01	0.01	0.2	0.05	0.02	50
İSYSKY (2012); Al değerleri: mg/l			0.3	0.05	0.02	0.5	0.05	0.0005	0.001	0.01	0.01	0.1	0.05	0.02	25

Çalışma alanındaki yüzey sularının kalite sınıflandırılmasında Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde (2008) belirlenen Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne ait limit değerler kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre çalışma alanındaki yüzey ve kaynak sularının tamamının genel olarak I. su kalite sınıfında olduğu görülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanında yer alan Bakırköy formasyonu şeyl, marn ve killi kireçtaşı içeriği nedeniyle "Akifüj" olarak sınıflandırılmıştır. Kabaköy formasyonuna ait andezit, bazaltik lav, kireçtaşı, kumtaşı; Çayırbağı formasyonuna ait riyolitik, riyodasitik lav; Çağlayan formasyonuna ait bazaltik lav, piroklast, çamurtaşı, kumtaşı çökelleri; Kızılkaya formasyonuna ait dasit, riyodasit lav içerikleri ve kırık-çatlaklı yapıları nedeniyle "Yersel Verimli Çatlaklı Kaya Akiferi" olarak sınıflandırılmıştır. Alüvyon ve Yamaç Molozları ise bölgedeki yayılımları ve litolojik özellikleri dikkate alınarak "Az Verimli Gözenekli Akifer" olarak sınıflandırılmıştır. Su örneklerinin tamamının genel olarak Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Çoruh Nehri'nden alınan KG-1 nolu su örneği ise Na-HCO₃'lü sular fasiyesinde yer almaktadır. Gibbs Diyagramı'nda ise, su örneklerinin tamamı "Kayaç Baskın" bölgesine düşmektedir.

İncelenen sulara Ca, Mg, Na ve K iyonları toplam katyona göre sırasıyla ortalama % 65.6, %18.2, % 11.7 ve % 4.5 bir değere sahiptir. Anyonlardan ilk sırayı %90.2 ile HCO₃⁻, % 6.1 ile SO₄⁻² ve % 3.7 ile Cl⁻ iyonları almaktadır. Su tiplerinin gelişmesindeki ana etken kayaç-su etkileşimi olup bölgede yüzeyleyen formasyonların litolojik ve mineralojik bileşimlerine bağlı olarak su örneklerinde Ca-

Mg-Na ve HCO₃ iyonları baskındır. Ortaç ve mafik magmatik kayalarda yoğun olarak Na-Ca feldspat ve koyu renkli silikat mineralleri (biyotit, amfibol, piroksen) hakimdir. Genel olarak Na ve Ca iyonlarının artışı Na-Ca feldspatlar ile, Mg iyonları ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat minerallerinin ayrışması sonucunda gerçekleşmektedir. Su örneklerindeki baskın HCO₃ iyonu ise bölgede yer yer çökelmiş olan kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldspat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineralleri ile ilişkili kaya-su etkileşimi sonucunda artış göstermektedir. Major iyonlar arasında yapılan korelasyon analizlerine göre Ca iyonu Na ve HCO₃ ile çok yüksek pozitif korelasyon, Mg, Cl ve SO₄ ile yüksek pozitif korelasyon sunmaktadır. Mg iyonu SO₄ ile çok yüksek pozitif korelasyona, Na iyonu ise HCO₃ ile çok yüksek pozitif korelasyona sahiptir. K iyonu ise diğer tüm iyonlar ile negatif korelasyon göstermektedir.

Yapılan değerlendirmeye göre yüzey ve kaynak sularından alınan su örneklerinin tamamı, analiz edilen parametreler kapsamında içme suyu olarak kullanıma uygundur. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki suların genel anlamda tüm sulama faaliyetlerinde kullanılabilecek özellikte sular olduğunu göstermektedir. Çalışma alanı içerisindeki su kaynaklarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre değerlendirilmesi sonucunda, yüzey ve kaynak sularının tamamı tüm parametreler bakımından I. su kalite sınıfında yer almaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapılan yüksek lisans tez çalışmasının bir ürünüdür. Yazarlar, çalışmayı finansal olarak destekleyen Süleyman Demirel

Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na (Proje No: 4489-YL1-15) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Güven, İ. H., Tosun, C. Y., 1986. Artvin-Borçka Karagöl Sahası Maden Jeolojisi Raporu. MTA Yayınları, Rapor No: 8021, Ankara.
- Kopar, I., Sever, R., 2008. Karagöl (Borçka-Artvin). Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 1, 21-38.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, 548 s, İzmir.
- T.C. Resmi Gazete, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, 25730.
- T.C. Resmi Gazete, 2008. Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği, 25687.
- T.C. Resmi Gazete, 2012. İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik, 28338.
- Yılmaz, B. S., Gülibrahimoğlu, İ., Konak, O., Yazıcı, E. N., Köse, Z., Yaprak, S., Çuvalcı, F., Saraloğlu, A., Tosun, C.Y., 1998. Artvin İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Olanakları. MTA Yayınları, s: 1-223. Ankara.

