



DAĞBELİ KÖYÜ (ANTALYA) GÜNEYİ KİREÇTAŞI AKİFERİNİN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Ayşen DAVRAZ¹, Şehnaz ŞENER^{1*}, Erhan ŞENER²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi, Isparta

Anahtar Kelimeler

Hidrojeokimya,
Yeraltısuyu,
Karstik Akifer,
Antalya.

Öz

Dağbeli Köyü (Antalya) güneyindeki kireçtaşı akiferinin hidrojeokimyasal özelliklerinin incelendiği bu çalışmada bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri, yeraltısularının hidrojeokimyasal karakteri ve buna bağlı olarak kullanılabilirlik durumu ortaya koyulmuştur. Bölgede yüzeleyen Beydağları formasyonu ve Tekkeköy üyesi karstik akifer özelliği taşımaktadır. Karstik akifer ortamda açılmış sondaj kuyuları ile bölgede karstik akiferden boşalan Kırkgöz kaynaklarından alınan su örneklerinin analiz sonuçlarına göre suların EC değerleri 352-730,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, pH değeri 7.2-8.29 arasında; sertliği ise 25.5-43.2 Fr⁰ arasında değişmektedir. Yeraltısuları Piper ve Gibbs diyagramlarına göre Ca-HCO₃'lü sular fasiyesinde olup bölgede yeraltısuyu kimyasını denetleyen ana faktör kaya-su etkileşimidir. Hidrojeokimyasal proseslere göre sulara Ca, Mg ve HCO₃ varlığının karbonat olmayan kaynaklarla ilişkili olduğu ve silikat ayrışmasının baskın olduğu söylenebilir. Yeraltısularının kalite ve kullanılabilirlik özelliklerinin değerlendirilmesi sonucunda tüm su örneklerinin içme ve sulama suyu olarak kullanılabilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF THE LIMESTONE AQUIFER SOUTH OF DAĞBELİ VILLAGE (ANTALYA)

Keywords

Hydrogeochemistry,
Groundwater,
Karst aquifer,
Antalya.

Abstract

In this study, the hydrogeochemical properties of the limestone aquifer in the south of Dağbeli Village (Antalya) were investigated and the hydrogeochemical character of the groundwater and the availability of groundwater were revealed by examining the geological and hydrogeological characteristics of the region. Beydağları formation and Tekkeköy member surfacing in the region have the characteristics of karstic aquifer. According to the results of the analyses of the water samples taken from the boreholes drilled in the karstic aquifer environment and from Kırkgöz springs discharging from the karstic aquifer in the region, the EC values of the waters vary between 352-730.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH value between 7.2-8.29 and hardness between 25.5-43.2 Fr⁰. According to Piper and Gibbs diagrams, the groundwaters are in the Ca-HCO₃ water facies and the main factor controlling the groundwater chemistry in the region is rock-water interaction. According to hydrogeochemical processes, it can be said that the presence of Ca, Mg and HCO₃ in the waters is related to non-carbonate sources and silicate weathering is dominant. As a result of the evaluation of the quality and usability characteristics of the groundwaters, it was determined that all water samples can be used as drinking and irrigation water.

Alıntı / Cite

Davraz, A., Şener, Ş., Şener, E., (2024). Dağbeli Köyü (Antalya) Güneyi Kireçtaşı Akiferinin Hidrojeokimyasal Özellikleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(3), 544-556.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Davraz, 0000-0003-2442-103X
Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291
E. Şener, 0000-0001-6263-8366

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	23.07.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.08.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.08.2024
Yayın Tarihi / Published Date	26.09.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: sehnazsener@sdu.edu.tr, +90-246-211-1332

HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF THE LIMESTONE AQUIFER SOUTH OF DAĞBELI VILLAGE (ANTALYA)

Ayşen DAVRAZ¹, Şehnaz ŞENER^{1†}, Erhan ŞENER²

¹ Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geological Engineering, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel University, Remote Sensing Application and Research Center, Isparta, Türkiye

Highlights

- Beydağları formation and Tekkeköy member are karst aquifers in the study area.
- According to the Piper diagram, groundwater is in the Ca-HCO₃ water facies.
- Groundwater can be used as drinking and irrigation water.

Purpose and Scope

In this study, it was aimed to examine the geological and hydrogeological characteristics of the south of Dağbeli Village (Antalya) and to reveal the hydrogeochemical properties of the limestone aquifer and accordingly the groundwater quality and availability.

Design/methodology/approach

During the field studies carried out to determine the hydrogeochemical properties and water quality of the limestone aquifer in the south of Dağbeli Village (Antalya), which was determined as the study area, the geological characteristics of the region were first examined. In this context, the geological formations cropping out in the region, their lithological characteristics and their relationships with each other have been revealed. By evaluating the potential of lithological units to become aquifers, the hydrogeological situation of the region was determined and sample points were determined. Water samples were taken from sample points determined in field studies and temperature (T), electrical conductivity (EC) and hydrogen ion concentration (pH), dissolved oxygen (%), mg/l, Oxidation Reduction Potential (ORP; mV) and dissolved solids in water were determined. amount (TDS; mg/l) values were measured during sample collection using the YSI Professional Plus brand multi-parameter portable water quality measuring device. Chemical analyzes of water samples were carried out in the laboratory of SDÜ, Geothermal Energy, Groundwater and Mineral Resources Research and Application Center. In order to determine hydrogeochemical properties, major ion concentration values of the samples were placed on Piper (1944) and Gibbs diagrams and interpreted. In addition, (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) graph was prepared to interpret the decomposition and dissolution processes of minerals in water.

Findings

In Dağbeli village and its surroundings, which were selected as the study area, Beydağları formation belonging to Beydağları autochthonous, Tekkeköy member, Söbütepe formation and Çamlıdere olistrochrome, Antalya nappes, Yeniceboğazıdere formation belonging to Çataltepe nappe and Lycian nappes, Kızılcaadağ mélange and olistrochrome units belonging to Marmaris ophiolite nappe are exposed. The most important aquifer units around Dağbeli Village are limestones and alluvium. In addition, the most important water source in the south of the study area is Kırkgöz springs. According to the Piper diagram, groundwater is in the Ca-HCO₃ water facies. The high Ca content detected in the waters in the study area is related to the limestones of the Beydağları formation, which outcrop in large areas in the region and with which the waters interact. The main factor controlling groundwater chemistry in the region is rock-water interaction. According to the evaluations made within the scope of the study, groundwater is suitable for drinking and irrigation use.

Practical implications

In this study, the hydrogeochemical properties of the limestone aquifer located in the south of Dağbeli Village (Antalya) were examined. Kırkgöz springs, one of the main drinking water sources of Antalya province, are located in the south of the study area and are the most important water source examined within the scope of the study. Since Kırkgöz springs are also used as a drinking water source in Antalya province, the data obtained as a result of the study are useful and important especially for local administrators.

Social Implications

The groundwater in the study area can be used as irrigation and drinking water in terms of its quality and chemical properties. Nowadays, when water resources are so important, having good quality water is a very important gain for the people of the region.

Originality

Since the groundwater flow rate in the karst and travertine aquifers in SW Turkey is quite fast (velocity 6.1 m/s in the travertine aquifer), pollutants spread to the Mediterranean through groundwater. For this reason, pollution in Isparta and Burdur residential areas creates a risk for Antalya and surrounding settlements (Davraz et al., 2009). Therefore, in the presented study, it is of great importance to determine the hydrogeochemical properties and water quality of the limestone aquifer in the south of Dağbeli Village (Antalya). In addition, the absence of a scientific study to determine the water chemistry and usability of groundwater in the study area makes this study scientifically original.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: sehnazsener@sdu.edu.tr, +90-246-211-1332

1. Giriş (Introduction)

Yeraltıları evsel, tarımsal ve endüstriyel amaçlarla kullanılan en önemli su kaynaklarından biridir. Özellikle karstik akiferlerden alınan yeraltıları ülkemizde olduğu gibi dünyanın birçok bölgesinde birincil tatlı su kaynağı olarak kullanılmaktadır (Drew 1999). Yeraltılarının kullanılabilirlik özellikleri içerdiği anyon, katyon, iz element ve mikrobiyolojik parametrelerle ilişkili olarak değişiklik göstermektedir (Tayfur vd., 2008; Şener vd., 2020). Yeraltısını kalitesindeki değişiklikler, suyun akiferlerden süzülmesi sırasında kaya-su etkileşimi ve oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarından kaynaklanan jeojenik faktörler ile doğrudan bağlantılıdır (Egbueri 2019). Bu süreçlere ek olarak, su kaynaklı patojenler, toksik ve toksik olmayan kirleticiler, yeraltısını hareketi ile akiferler aracılığıyla beslenme alanından deşarj alanına taşınan antropojenik kirleticiler yeraltısını kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir (Kumar vd., 2009; Mostafa vd., 2017). Ülkemizde özellikle yüzey suyu kaynaklarının hem miktar hem de kalite bakımından her geçen gün kullanım potansiyellerinin azalması nedeniyle yeraltısını kaynakları daha da önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Dağbeli Köyü (Antalya) güneyindeki kireçtaşı akiferi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Akdeniz Bölgesinde bulunan Antalya ilinin içme suyu kaynağı olarak da kullanılan Kırkgöz kaynaklarının ve kuzeyinde bulunan çalışma konusu kireçtaşı akiferini temsil eden yeraltılarının hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, çalışma alanının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanındaki yeraltılarının mevcut durumdaki kalite özellikleri ve kullanım koşulları farklı eşitlikler, diyagramlar ve ilgili yönetmeliklere ait limit değerler kullanılarak belirlenmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Yeraltılarının hidrojeokimyasal özelliklerinin ve buna bağlı olarak kullanılabilirliğini belirleyen kalitesinin belirlenmesine yönelik araştırmalar birçok araştırmacının çalışma konusunu oluşturmaktadır. Özellikle Antalya bölgesinde yeraltılarının kimyasının ve kalitesinin incelendiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bektaş ve Şener (2021) tarafından yapılan çalışmada, Antalya ili içme suyu kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bölgedeki suların Ca-CO₃ ve Ca-Mg-HCO₃'lü sular sınıfında olduğu saptanan çalışmada su kalitesi bakımında TS-266'ya göre suların genel olarak içilebilir özellikte olduğu belirlenmiştir. Ancak, sular Mg, HCO₃ ve TDS değerleri bakımından WHO (2022) limit değerlerini aştığı ve içme suyu kullanımına uygun olmadığı belirtilmektedir. Davraz vd. (2009) tarafından GB Türkiye'deki karstik akifer sistemlerinin hidrojeolojisi, su kalitesi ve kirlenme sorunları ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Araştırma alanındaki yeraltıları Ca-Mg-HCO₃ fasiyesindedir ve Isparta, Burdur ve Antalya yerleşim bölgelerinde tarımsal ve endüstriyel atıklar yeraltıları için önemli kirleticiler olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan su analizlerine göre NO₃, NO₂ ve NH₄ konsantrasyonları Dünya Sağlık Örgütü ve Türk Standartları Enstitüsü'nün içme suyu için belirlediği limit değerleri aşmaktadır. GB Türkiye'deki karstik ve traverten akiferlerinde yeraltısını akış hızı oldukça hızlı olduğundan (traverten akiferinde hız 6,1 m/s) kirleticiler yeraltıları vasıtasıyla Akdeniz'e yayılmaktadır. Bu nedenle Isparta ve Burdur yerleşim bölgelerindeki kirlilik Antalya ve çevre yerleşimler açısından risk yaratmaktadır (Davraz vd., 2009). Bu nedenle, sunulan çalışmada Dağbeli Köyü (Antalya) güneyindeki kireçtaşı akiferinin hidrojeokimyasal özelliklerinin ve su kalitesinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, çalışma alanındaki yeraltılarının su kimyasını ve kullanılabilirliğini belirlemeye yönelik bilimsel bir çalışma bulunmaması bu çalışmayı bilimsel açıdan özgün kılmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma alanı olarak belirlenen Dağbeli Köyü (Antalya) güneyindeki kireçtaşı akiferinin hidrojeokimyasal özelliklerini ve su kalitesini belirleyebilmek için yapılan arazi çalışmaları sırasında öncelikle bölgenin jeolojik özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda, bölgede yüzeleyen jeolojik formasyonlar ve bunların litolojik özellikleri ile birbirleri ile olan ilişkileri ortaya koyulmuştur. Litolojik birimlerin akifer olabilme potansiyelleri değerlendirilerek bölgenin hidrojeolojik durumu belirlenmiş ve örnek noktaları belirlenmiştir.

18.03.2023 tarihinde yapılan arazi çalışmalarında belirlenen örnek noktalarından su örnekleri alınmış ve sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), çözülmüş oksijen (%), Oksidasyon İndirgeme Potansiyeli (ORP; mV) ve sudaki çözülmüş katı madde miktarı (TDS; mg/l) değerleri YSI Professional Plus marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak numune alımları sırasında ölçülmüştür. Sızdırmaz polietilen şişelere alınan su örnekleri +4°C'de muhafaza edilerek kimyasal analizlerin yapılacağı laboratuvara ulaştırılmıştır. Su örneklerinin kimyasal analizleri SDÜ, Jeotermal Enerji, Yeraltısını ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında yaptırılmıştır. Hidrojeokimyasal özelliklerin belirlenebilmesi için örneklerin majör iyon konsantrasyon değerleri Piper (1944) ve Gibbs diyagramlarına yerleştirilmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca suların içerisindeki minerallerin ayrışma ve çözünme süreçlerini yorumlayabilmek için (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) grafiği hazırlanmıştır. Suların içme suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesinde ülkemizde dikkate alınması gereken İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY,

2005) ile belirlenmiş limit değerler dikkate alınmıştır. Ayrıca su örneklerinin analiz sonuçları dünya genelinde geçerli olan Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2022) standartları ile karşılaştırılmıştır. Sulama suyu olarak kullanılabilirliği değerlendirmek için ise Wilcox ve ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramları ile Sodyum Yüzdesi (%Na), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), Magnezyum Tehlikesi (MT), Geçirgenlik İndeksi (PI) ve Kelly Oranı (KR) değerleri kullanılmıştır.

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi (Geology of the Study Area)

İnceleme alanı olarak seçilen Dağbeli köyü ve yakın çevresinde Beydağları otoktonuna ait Beydağları formasyonu, Tekkeköy üyesi, Söbütepe formasyonu ve Çamlıdere olistrosromu, Antalya napları Çataltepe napına ait Yeniceboğazidere formasyonu ve Likya napları Marmaris ofiyolit napına ait Kızılcaadağ melanj ve olistrosromu birimleri yüzeylenmektedir (Şekil 1). Jura-Kretase yaşlı neritik kireçtaşlarından oluşan Beydağları formasyonu bej, gri, krem renklerde, orta-kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şenel, 1997). Sık erime boşluklu formasyonda karstlaşma yaygın olup çok sayıda dolin ve düden yapıları gözlenmektedir. Beydağları formasyonunun üst kesimlerini oluşturan ince-orta tabakalı globotruncanalı mikritler Tekkeköy üyesi olarak ayrıtlanmıştır.

Dağbeli Köyü batısında küçük alanlarda gözlenen Söbütepe formasyonu kumlu-killi kireçtaşı, kumtaşı, kiltası vb. kayatürlerinden oluşmaktadır (Yalçınkaya vd.,1986). Formasyon genel olarak farklı tabaka kalınlıklarında krem, yeşil, pembe, gri, bej vb. renklerde killi-kumlu kireçtaşı, kireçtaşı, marn, silttaşı, kiltası, kumtaşı vb. kayatürlerinden yapılanmıştır. Dağbeli Köyü güneyinde ince şeritler halinde yüzeyleyen Çamlıdere olistrosromu kiltası, marn, killi kireçtaşı, kumtaşı ve farklı boyutlu kırıntılardan oluşmaktadır. Kırkgöz kaynakları batısında küçük alanda yüzeyleyen Yeniceboğazidere formasyonu çört, şeyl, kalsitürbidit, radyolarit ve kireçtaşlarından oluşmaktadır (Poisson, 1977). Dağbeli Köyü batısında küçük alanda gözlenen Kızılcaadağ melanj ve olistrostromu ise Marmaris ofiyolit napının bir parçasını oluşturmaktadır. Kızılcaadağ ofiyolitik melanj, kırmızımsı, yeşilimsi, kahverengimsi ve mavimsi renklerde alacalı görünüme sahiptir. Melanj Triyas, Jura, Kretase yaşlı karbonatlar, neritik kireçtaşları, çörtlü kireçtaşı, radyolarit- çört ile bazalt, gabro, spilit, tuf, diyabaz vb. bloklar kapsar (Bilgin vd., 1990). Dağbeli Köyü kuzeyi, Kovanlık ve Bıyıklı köyleri civarında kum, çakıl, kil vb. birimlerden oluşan alüvyon ovalık geniş alanlarda yüzeylenmektedir.

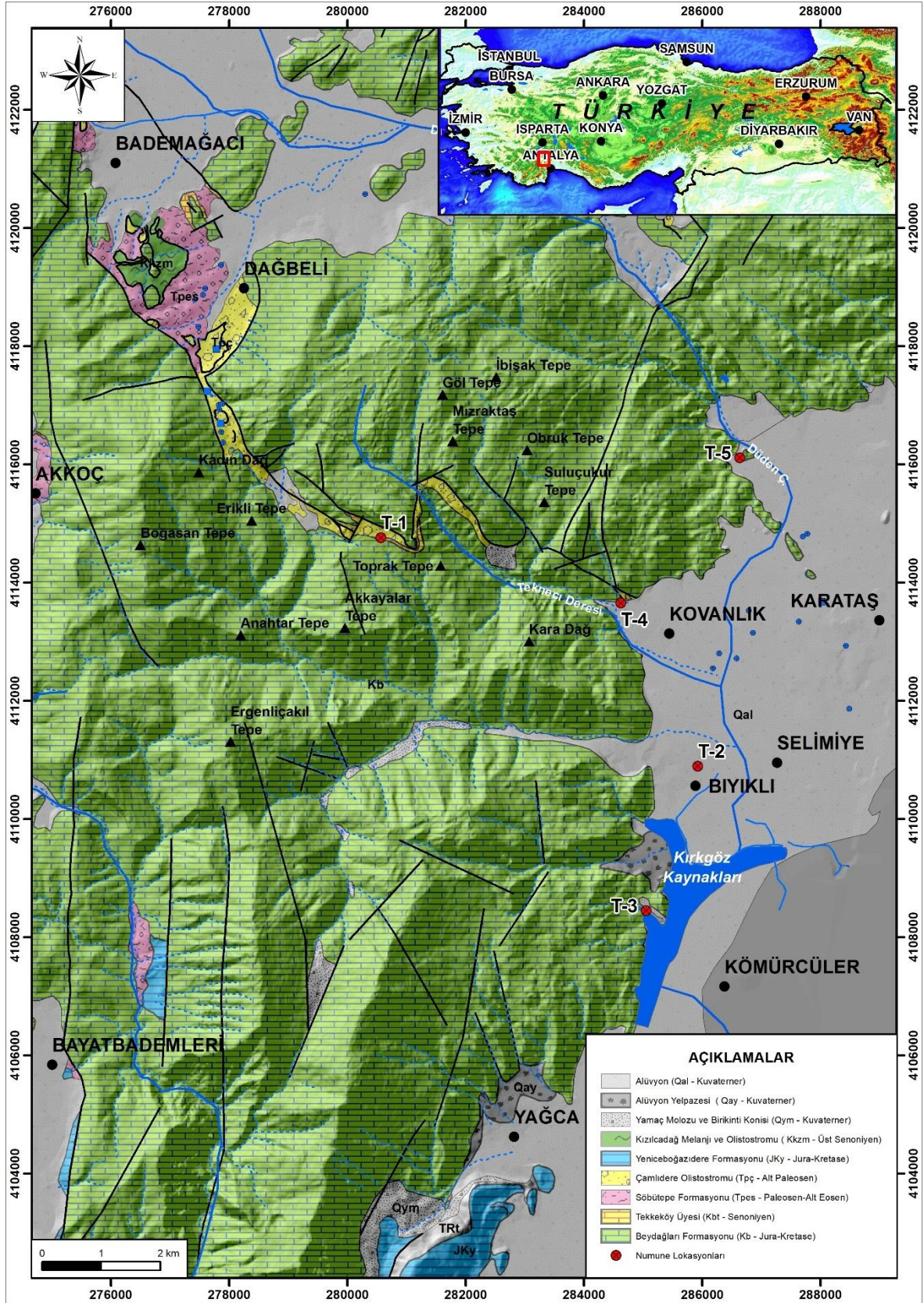
4.2. İnceleme Alanının Hidrojeolojisi (Hydrogeology of the Study Area)

Dağbeli Köyü çevresinde en önemli akifer birimler kireçtaşları ve alüvyondur. İnceleme alanı çevresinde bulunan alüvyon, alüvyon yelpazesi ve yamaç molozu birimleri gözenekli akifer özelliği taşımaktadır. Gözenekli akiferlerde kum ve çakıl seviyelerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Bu seviyelerin yayılımı ve kalınlığının artışı oranında önemli miktarda yeraltısuyu elde edilebilmektedir. Bölgede alüvyon tabanında kireçtaşı birimi bulunmaktadır. İnceleme alanında geniş alanlarda yüzeyleyen kireçtaşlarından kırık-çatlak kesişim oranları ve yoğunluğu, kalınlıkları ve yayılımlarının artışı oranında yüksek debide yeraltısuyu elde edilebilmektedir. İnceleme alanında Beydağları formasyonu ve Tekkeköy üyesi karstik akifer özelliği taşımaktadır. Bölgede kireçtaşlarında açılmış sondaj kuyularında yeraltısuyu seviyesi 42.3-62.8 m arasında değişmektedir.

Killi kireçtaşı, marn, kiltası, konglomera ve kumtaşı ile olistolitik kırıntılardan oluşan Çamlıdere olistrostromu ile kalsitürbidit, çört, radyolarit, şeyl ve kireçtaşlarından oluşan Yeniceboğazidere formasyonu ve Söbütepe formasyonu "yarı geçirimli birim" olarak sınıflandırılmıştır. Bu birimler içerisinde bulunan konglomera, kumtaşı, kireçtaşı ve kalsitürbidit seviyeleri az miktarda yeraltısuyu içerse de bu litolojilerin ardalanmalı ve kaotik yapıda bulunması birimlerin akifer özelliği taşımasını engellemektedir. Bölgede küçük alanlarda gözlenen Kızılcaadağ melanj ve olistrosromu "geçirimsiz birim"dir. Kızılcaadağ melanj ve olistrosromu serpantin ve serpantin hamur içerisinde bulunan ofiyolitik malzemeler içerisindeki kireçtaşlarında yeraltısuyu bulunabilirken genel yapı itibarıyla bu birimler yeraltısuyunu iletebilecek kapasitede değildir.

4.3. Su Noktaları (Water Points)

İnceleme alanında Çamlıdere olistrosromu ve Beydağları formasyonu dokanağında keson kuyular bulunmaktadır (Şekil 2). Yağışa bağlı olarak su alınabilen bu kuyular hayvanların ihtiyaçları için kullanılmaktadır. İnceleme alanında Beydağları formasyonuna ait kireçtaşlarında açılmış olan sondaj kuyularından su örnekleri alınmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru, jeoloji ve su noktaları haritası
(Location, geology and water points map of the study area)



Şekil 2. Keson kuyular (Caisson wells)

İnceleme alanı güneyinde en önemli su kaynağı ise Kırkgöz kaynaklarıdır. Kırkgöz kaynakları, Antalya ilinin kuzey ve kuzeybatısında geniş yayılıma sahip olan Beydağları otoktonuna ait karstik kireçtaşlarından ortalama $15 \text{ m}^3/\text{s}$ debi ile yaklaşık 1 km'lik zon boyunca boşalmaktadır. Beydağları karbonat platformunda yeraltısuyu hareketi kırık sistemlerine bağlı olarak gelişmektedir. Kırkgöz kaynakları KB-GD ve K-G doğrultulu kırık çizgilerinin kesişim noktalarından boşalmaktadır (İrleyıcı-Davraz, 1998; Davraz vd., 2009; Şekil 3). Bölgede yapılan jeolojik ve hidrojeolojik araştırmalar, kaynağın farklı karstik kanallardan beslendiğini göstermektedir (Ekmekçi, 2005). Atilla (1996) tarafından yapılan hidrojeokimya ve izotop değerlendirmeleri sonucunda Kırkgöz kaynakları ile Düdenbaşı kaynağının Mesozoyik kireçtaşlarının bir boşalımı olduğu belirtilmiştir. Mesozoyik kireçtaşları ise Eğirdir Gölü havzasına kadar uzanan geniş bir alanda yüzülemektedir (İrleyıcı-Davraz, 1998; Davraz vd., 2006; Davraz vd., 2009). Kırkgöz kaynakları Antalya ilinin temel içmesuyu kaynaklarından biridir.

4.4. Hidrojeokimyasal Değerlendirmeler (Hydrogeochemical Evaluations)

Çalışma kapsamında Dağbeli Köyü güneyinde bulunan karstik akifer ortamda açılmış keson kuyu ve sondaj kuyuları ile bölgede karstik akiferden boşalan en önemli kaynak olan Kırkgöz kaynaklarından 18.03.2023 tarihinde su örnekleri alınmıştır. Su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları ve fiziksel parametreler Tablo 1'de verilmiştir. $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ deki 1 cm^3 suyun iletkenliği (Erguvanlı ve Yüzer, 1987) olarak tanımlanan özgül elektriksel iletkenlik (EC) değeri suların kullanım özellikleri ve kalite değerlendirmelerinde kullanılan önemli parametrelerden biridir.



Şekil 3. Kırkgöz kaynaklarından bir görünüm (A view from Kırkgöz sources)

Tablo 1. Su örneklerinin fiziksel parametre ve kimyasal analiz sonuçları
(Physical parameter and chemical analysis results of water samples)

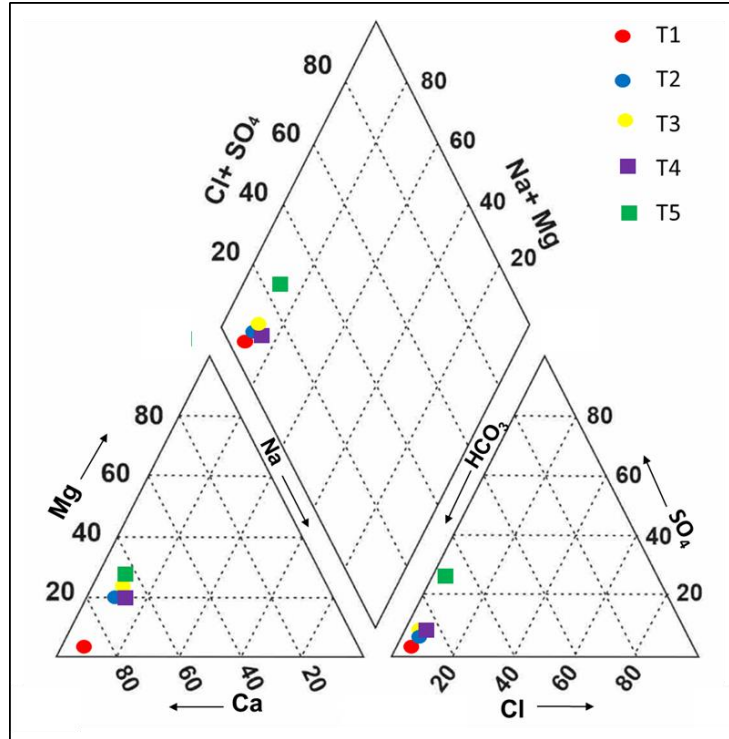
Parametreler	T1 Keson kuyu	T2 Sondaj kuyusu	T3 Kırkgöz kyn	T4 Sondaj kuyusu	T5 Sondaj kuyusu	İTASHY, 2005	WHO, 2022
pH	7.97	7.99	7.9	8.29	7.20	6.5-8.5	6.5-8.5
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	352.3	634	679	476.4	730.3	2500	
Çözünmüş oksijen (%)	31.6	32.5	33.89	40	69.1		
Çözünmüş oksijen (mg/l)	4.02	4.1	4.25	5.02	6.59		
ORP (mV)	30.9	54.5	64.2	55.1	228.1		
TDS (mg/l)	193.7	348.7	373.45	262.02	401.66		1000
Sertlik (Fr^0)	25.2	39.6	43.2	27.0	30.6		
Na^+ (mg/l)	3.26	11.46	14.40	7.63	15.7	200	200
K^+ (mg/l)	0.22	1.84	2.35	1.93	2.68		
Ca^{+2} (mg/l)	79.33	110.1	119.1	87.73	86		200
Mg^{+2} (mg/l)	1.42	19.28	23.92	14.29	22.3		150
CO_3^{-2} (mg/l)	-	-	-	-	<10		
HCO_3^- (mg/l)	256.3	463.8	518.7	353.9	353		
Cl^- (mg/l)	6.34	12.68	14.33	9.79	17.2	250	250
SO_4^{-2} (mg/l)	6.19	11.32	17.36	9.46	20.1	250	250
Al ($\mu\text{g}/\text{l}$)	43.25	35.10	48.3	45.8	57.8	200	200
Br ($\mu\text{g}/\text{l}$)	0.07	0.09	0.12	0.78	0.11		
Cr ($\mu\text{g}/\text{l}$)	<20	<20	<20	<20	<20	50	50
Cu (mg/l)	10	9.2	12.1	10.8	13	2	2
Fe ($\mu\text{g}/\text{l}$)	27.6	25.6	28.2	19.8	29.9	200	300
Ni ($\mu\text{g}/\text{l}$)	9.2	8.8	7.6	8.65	10.1	20	70
Si (mg/l)	1.72	2.76	2.65	1.93	-		
Zn ($\mu\text{g}/\text{l}$)	sda	sda	sda	sda	203		
F (mg/l)	0.04	0.09	0.10	0.10	<0.1	1.5	
NH_4 (mg/l)	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	0.033		
NO_3 (mg/l)	3.25	10.16	2.95	5.58	1.19	50	50
NO_2 (mg/l)	sda	sda	sda	sda	<0.002	0.5	3
PO_4 (mg/l)	sda	sda	sda	sda	-		
% Na	3.36	6.53	7.28	5.59	9.93		
SAR	0.10	0.26	0.31	0.20	0.39		
RSC	0.12	0.52	0.59	0.25	-0.04		
MT	2.87	22.40	24.87	21.16	31.69		
PI	51.96	42.96	41.49	46.56	48.06		
KR	0.03	0.07	0.08	0.06	0.07		
Su sınıfı	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃		
Ca/Mg	33.90	3.47	3.02	3.73	2.16		
Ca/Ca+SO ₄	0.97	0.96	0.94	0.96	0.86		
Ca+Mg/HCO ₃	0.97	0.93	0.93	0.96	1.23		
Ca/HCO ₃	0.94	0.72	0.70	0.75	0.84		
Na/Cl	0.79	1.39	1.55	1.20	1.16		
CAI-1 (mek/l)	0.18	-0.53	-0.70	-0.38	-0.33		
CAI-2 (mek/l)	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02		

Suların EC değeri suda bulunan çözülmüş iyon içeriği, sıcaklık ve toplam derişim parametrelerine bağı olarak değişiklik gösterir (Şahinci, 1991). İnceleme alanından alınan suların EC değerleri 352-730,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Tablo 1). Yüksek EC değerleri suların iyon içeriğinin artışı yansıtır. Yine su sınıflamalarında kullanılan önemli parametrelerden bir diğeri olan suyun asit veya bazik özelliğini tanımlamada kullandığımız pH değeri sudaki H⁺ ve OH⁻ iyon içeriklerinin değişimine bağı olarak artış ve azalış göstermektedir. İnceleme alanında karstik akiferden alınan suların pH değeri 7.2-8.29 arasında ölçülmüştür ve “bazik karakterli” suları yansıtmaktadır (Tablo 1). Suların Toplam Çözülmüş Katı Madde (TDS) değerleri 193,7-401,66 mg/l arasında değişmekte olup suda çözülmüş katıların (tuzlar, mineraller, iz elementler vb.) toplam miktarını ifade etmektedir. Özellikle içme suyu sınıflamalarında önemli bir parametre olan sertlik su içerisinde bulunan sertlik verici iyonların varlığı ile artmaktadır. Ca ve Mg iyonları doğal sularda diğeri majör katyonlara göre daha fazla oranda bulduklarından Ca-Mg-bikarbonat, Ca-Mg-sülfat ve Ca-Mg-nitrat sertliği oluşturan ana bileşiklerdir. İnceleme alanında suların sertliği 25.5-43.2 Fr⁰ arasında değişmekte olup “oldukça sert-sert sular” sınıflarını temsil etmektedir.

4.4.1. Major iyon içerikleri ve suların sınıflandırılması (Major ion contents and classification of waters)

Suların majör anyon ve katyon içerikleri suyun dolaşım yolu üzerinde karşılaştığı jeolojik birimler ve akifer ortam hakkında bilgi verirken su sınıfı ve hidrojeokimyasal fasiyeslerinin tanımlanmasında kullanılan temel parametrelerdir. İnceleme alanından alınan yeraltısularında baskın katyon kalsiyumdur ve 79.33-119.1 mg/l arasında analiz edilmiştir. Diğer önemli katyon olan Mg ise 1.42-23.92 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1).

Suların Na ve K değerleri ise sırasıyla 3.26-14.40 mg/l ve 0.22-2.68 mg/l arasındadır. Su örneklerinin HCO_3 içerikleri 208-518.7 mg/l, SO_4 içerikleri 6.19-20.1 mg/l ve Cl içerikleri 6.34-17.2 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1). Sularda HCO_3 anyonu baskındır. Suların sınıflandırılmasında hidrojeokimyasal fasiyes terimi veya su sınıfı kavramı yaygın olarak kullanılmaktadır. Kayaçlar içindeki mineraller ile yeraltısuyu arasındaki kimyasal süreçlerin etkilerini yansıtan bir kavram olarak tanımlanan hidrojeokimyasal fasiyes Back (1966) tarafından ortaya atılmıştır. Back (1966)'e göre hidrojeokimyasal fasiyes su içerisindeki meq/l cinsinden anyon ve katyon değerlerinin %50'den fazla oranlarına göre tanımlanır. İnceleme alanında su örneklerinin tamamının Ca ve HCO_3 içerikleri %50'den fazladır. Piper diyagramı suların sınıfları veya hidrojeokimyasal fasiyeslerinin tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnceleme alanında yeraltısuları Piper diyagramına göre Ca- HCO_3 'lı sular fasiyesinde olduğu görülmektedir (Şekil 4). Ca soğuk yeraltısularında yüksek miktarda bulunan katyonlardan biri olup sudaki varlığı kaya-su etkileşimi ile ilişkilidir. Yeraltısularında Ca en fazla kalsit, dolomit, anhidrit, aragonit ve jips minerallerinde bulunmaktadır. Ek olarak, amfibol ve piroksen grupları, bazı feldispatlar, apatit ve florit gibi metamorfik ve mağmatik kaya mineralleri kaynaklı olarak da yeraltısularında Ca artışı gözlenmektedir (Şahinci, 1991). İnceleme alanındaki sularda tespit edilen yüksek Ca içeriği bölgede geniş alanlarda yüzeyleyen ve suların etkileşim halinde olduğu Beydağları formasyonuna ait kireçtaşları ile ilişkilidir. Yeraltısularında HCO_3 , atmosfer ve topraktaki CO_2 varlığı ile ilişkili olarak karbonatlı kayaçların erimesi ile bulunmaktadır. pH 8.2'den fazla olan sularda bikarbonat iyonları karbonat ve hidrojen iyonlarına ayrılır. Bu durum, pH 8.2'den daha düşük olan sularda HCO_3 'ın egemen olmasını sağlar.

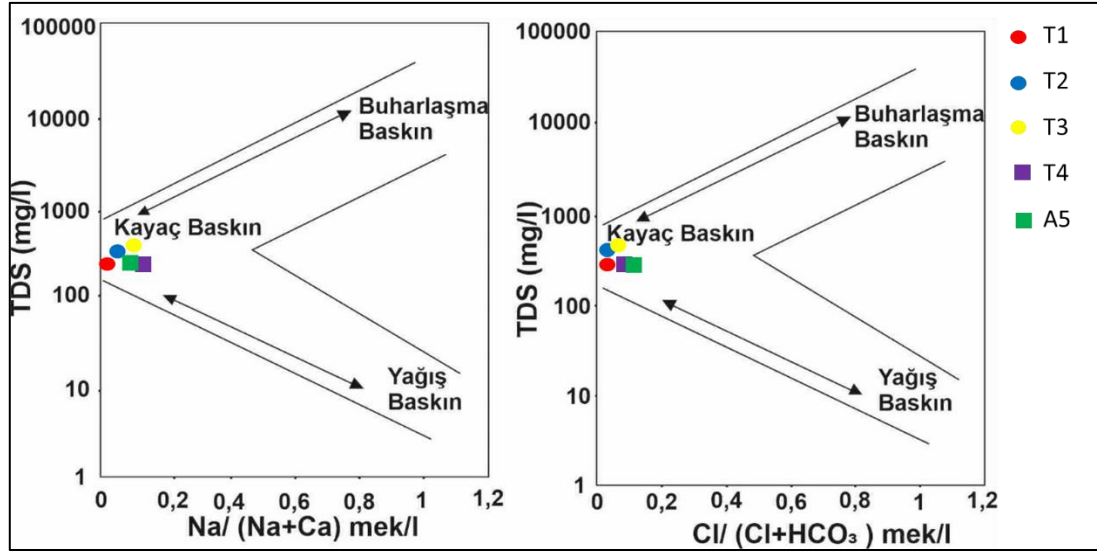


Şekil 4. Piper diyagramı (Piper diagram)

4.4.2. Hidrojeokimyasal prosesler (Hydrogeochemical processes)

Yeraltısularında toplam çözülmüş katıların önemli bir bölümünü oluşturan majör iyonlar akifer sisteminde gerçekleşen hidrojeokimyasal süreçlere bağlı olarak değişir. Yeraltısuyunun kimyasal yapısını kontrol eden olası hidrojeokimyasal süreçler ayrışma-çözünme (karbonat ayrışması-silikat ayrışması), iyon değişimi ve buharlaşma süreçleridir (Lakshmanan vd., 2003). Bu süreçler akifer ortam veya suların etkileşimde oldukları kayaçların bileşimleri, kayaç ve mineraller ile karşılaşma sırası, minerallerin çözünürlüğü, sıcaklık vb. birçok faktöre bağlı olarak değişir (Freeze ve Cherry, 1979). Suların majör iyon içeriklerini denetleyen süreçlerin tanımlanmasında Gibbs diyagramından yararlanılmaktadır. Gibbs (1970) tarafından önerilen iki diyagram, su bileşimi ile akiferin

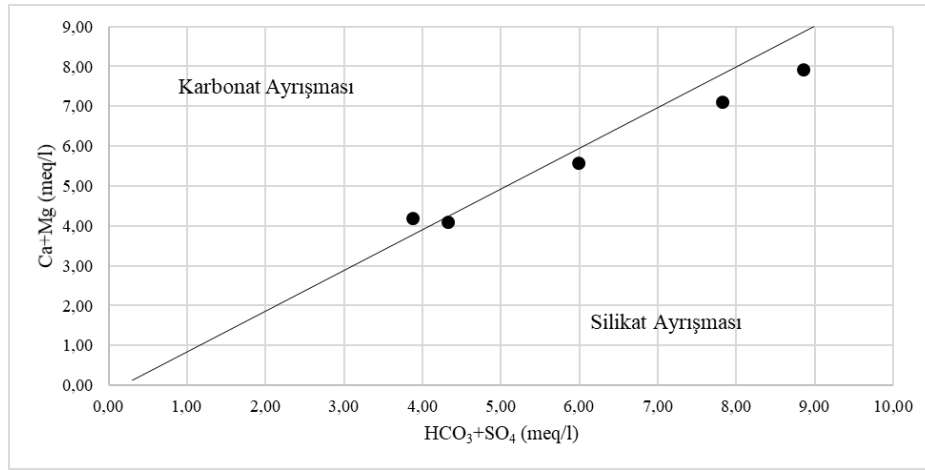
litolojik özellikleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu diyagramda suyun Na, K, Ca, Cl, HCO₃ ve TDS değerleri ile belirlenen farklı oranlardan faydalanılmaktadır. Gibbs diyagramındaki (Şekil 3) veri noktaları, "Kayaç Baskın" bölgede bulunmaktadır. Bu durum, bölgede yeraltısuyu kimyasını denetleyen ana faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Gibbs diyagramı (Gibbs diagram)

Suların majör iyon içerikleri kullanılarak akifer sistemde gerçekleşen jeokimyasal süreçlerin tanımlanması mümkündür. Tanımlamalarda farklı iyon oranları ve grafikler kullanılmaktadır. Bu grafiklerden en çok kullanılanı (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) grafiği olup minerallerin ayrışma ve çözünme süreçlerini tanımlamada yararlanılır. Grafikte 1:1 denge çizgisinin altındaki değerler silikat ayrışmasını, üstündeki değerler ise karbonat ayrışmasını gösterir (Rajmohan ve Elango, 2004; Kuldip vd., 2011; Şener vd., 2020; Davraz ve Batur 2021; Tay, 2021). İnceleme alanında yeraltıları genel olarak 1:1 çizgisinin altında olup silikat ayrışmasının baskın olduğunu göstermektedir (Şekil 6). Ayrıca, McLean ve Jankowski'ye (2000) göre, (HCO₃+SO₄)-(Ca+Mg) grafiğinde, 1:1 ilişkisi çözelti bileşimini kontrol eden baskın süreçler olarak jips, anhidrit, kalsit ve dolomit çözünmesini gösterirken, 1:1 çizgisinin altına düşen noktalar yeraltısuyu iyon değişimini göstermektedir, bu durumda Ca+Mg, HCO₃+SO₄'a göre tükenmiştir (Tay, 2021). Grafikte örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakınsa kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğu düşünülür (Datta ve Tyagi, 1996; Fisher ve Mulican, 1997). İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örnekleri bu grafikte 1:1 doğrusuna yakın olduğu görülmektedir (Şekil 6). Bu durum sularda kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün söz konusu olduğunu yansıtmaktadır.

Yeraltısuyunun Ca/Mg oranı kalsit ve dolomit çözünmesinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Ca/Mg oranı 1'e eşit ise dolomit çözünmesi baskın olarak tanımlanırken oranının 1-2 arasında değişmesi kalsit çözünmesini yansıtır (Mayo ve Loucks, 1995). Bu oranın 2'den büyük değerleri yeraltısuyunda Ca ve Mg iyonlarındaki artışın silikat minerallerinin çözünmesi ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Katz vd., 1998; Şener vd., 2020). İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin Ca/Mg oranı 2'den büyük olup yeraltısuyunda tespit edilen Ca ve Mg iyonlarının kalsit minerallerinin çözünmesi kaynaklı olduğu söylenebilir (Tablo 1). Kireçtaşları farklı tane büyüklüğündeki kalsit kristallerinden yapılmış ve genel olarak beyaz renkli monomineralik bir kayadır. İnceleme alanında yeraltısuyu kireçtaşı akiferinden alınmakta olup kalsit varlığı kireçtaşları ile ilişkilidir. Yeraltısuyu örneklerinin Ca/(Ca+SO₄) oranı 0.5'den yüksek olup bu durum yeraltısuyunda Ca iyonu varlığında jips karbonatların etkisinin düşük olduğunu göstermektedir (Subramani vd., 2010). İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin Ca/HCO₃ oranı 0.5'den büyük olması Ca ve HCO₃'ün kalsit ayrışmasından kaynaklandığını göstermektedir (Tablo 1). Ca+Mg/HCO₃ oranının 1'den büyük değerleri karbonat ayrışmasının baskın olduğunu gösterirken 1'den düşük değerleri silikat ayrışmasını işaret etmektedir (Pazant vd., 2012; Kumar Singh vd., 2012). Bölgede su örneklerinin Ca+Mg/HCO₃ oranı bir örnek hariç 1'den düşüktür. Sularda Ca, Mg ve HCO₃ varlığının karbonat olmayan kaynaklarla ilişkili olduğu ve silikat ayrışmasının baskın olduğunu söylenebilir.



Şekil 6. (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) grafiği ((Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) graph)

Akifer malzemesinin yeraltı suyu kimyasal bileşiminin evrimindeki rolü, katyonlar (CAI-1) ve anyonlar (CAI-2) için kloro alkali indeksleri belirlenerek incelenmiştir. Schoeller (1967) tarafından geliştirilen CAI-1 $[Cl-(Na+K)]/Cl$ ve CAI-2 $[Cl-(Na+K)]/(SO_4+HCO_3+CO_3+NO_3)$ oranları ile yeraltısuyu ve akifer ortam arasındaki iyon değişim süreci ilişkilendirilmektedir. CAI-1 ve CAI-2 değerlerinin negatif olması, yeraltısuyundaki Ca ve Mg ile kayadaki Na ve K iyonları arasında değişimi gösterir ve bu da iyon değişimi olarak tanımlanır (Aghazadeh ve Mogaddam, 2011; Schoeller, 1967). Pozitif indeks değerleri, yeraltı suyundaki Na ve K ile akiferdeki Ca ve Mg arasında bir değişim olduğunda ters iyon değişimini gösterir. İnceleme alanından alınan su örneklerinin kloro alkali indeks değerleri negatif olup çalışma alanında iyon değişiminin baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca, negatif CAI-1,2 değerleri kloroalkalin dengesizliğini yansıtır. Bu ortamda akifer kayalar sudaki çözünmüş iyonların birincil kaynaklarıdır. Yeraltısuların Na/Cl oranı 1 civarında ve üstünde ise suda Na içeriğinin iyon alışverişi ile ilişkili olarak silikat ayrışması kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Mayback, 1987, Kumar vd., 2006; Tay, 2012). İnceleme alanında su örneklerinin Na/Cl oranı bir örnek hariç 1'den büyüktür (Tablo 1).

4.4.3. Kullanılabilirlik özellikleri ve kalite değerlendirmeleri (Usability features and quality reviews)

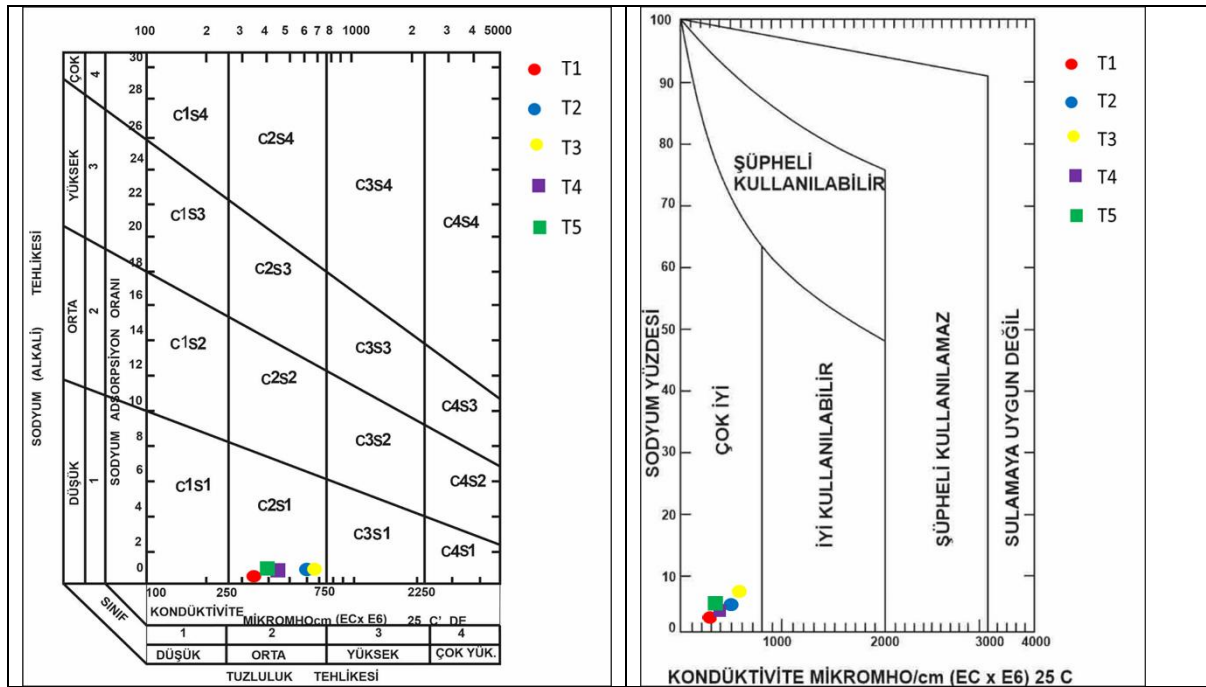
İnceleme alanı ve çevresinde sondaj kuyularından alınan sular sulama suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Suların sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde Wilcox ve ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramları ile Sodyum Yüzdesi (%Na), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), Magnezyum Tehlikesi (MT), Geçirgenlik İndeksi (PI) ve Kelly Oranı (KR) değerleri kullanılmıştır. Bu parametrelerin belirlenmesinde kullanılan formüller ve değerlendirme ölçütleri Tablo 2'de verilmiştir.

Sodyumun sulama sularında ve topraktaki fazlalığı toprak geçirgenliği azaltması ve toprak yüzeyinde tabaka oluşturabilmesi nedeniyle olumsuz etki yaratmaktadır. Bu nedenle %Na ve SAR parametreleri sulama suları için önemli olup sulama suyuna yönelik grafiklerde de kullanılmaktadır. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin %Na değeri 3.36-7.28 arasında değişmektedir (Tablo 1). Sodyum yüzdesi açısından sular "Mükemmel" sulama suları sınıfındadır. Suların SAR oranı 0.10-0.31 arasında olup "Çok iyi özellikte sulama suları" sınıfındadır. RSC değeri toprakta süzülme oranı ile ilgili sorunun tahmininde kullanılan bir parametredir. RSC değerinin negatif olması durumunda toprakta sodyum zararı oluşma olasılığı bulunmadığı şeklinde yorumlanmaktadır (Eaton, 1950; Richards, 1954). Su örneklerinin RSC değeri -0.34 ile 0.59 arasında değişmekte olup "çok iyi-I. sınıf" suları temsil etmektedir (Tablo 1, 2). Pozitif RSC yeraltısularında sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel CO₃ ve HCO₃ iyonu varlığını göstermektedir. Suların PI değerleri ise %41.49-51.96 arasında olup sulama suyu açısından "II. sınıf" suları temsil etmektedir. Sulama suyu kullanımında magnezyuma bağlı olumsuzlukların tespiti için kullanılan MT değeri inceleme alanındaki sulara %2.87-31.69 değişmekte olup "Uygun" su sınıfında yer almaktadır. KR değeri ise 0.03-0.08 arasında olup sulama suyu açısından "Uygun" su sınıfındadır (Tablo 1, 2).

Tablo 2. Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler (Parameters used in irrigation water classification)

Parametre	Sembol	Birim	Formül	Oranlar	Su sınıfı	Kaynaklar
Sodyum Yüzdəsi	%Na	mek/l	$\%Na = 100 * \left(\frac{rNa}{rNa + rCa + rMg + rK} \right)$	0-20 20-40 40-60 60-80 >80	Mükemmel İyi İzin verilebilir Şüpheli Uygun değil	Wilcox, 1955
Sodyum Adsorbsiyon Oranı	SAR	mek/l	$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa+rMg}{2}}}$	<10 10- 18 18- 26 > 26	Çok iyi özellikte sulama suları İyi özellikte sulama suları Orta özellikte sulama suları Kötü özellikte sulama suları	Todd, 1980 Richards, 1954
Artıksal sodyum karbonat	RSC	mek/l	$RSC = (rCO3 + rHCO3) - (rCa + rMg)$	< 1.25 1.25- 2.5 > 2.5	Çok iyi-I. Sınıf su İyi-II. Sınıf su Kullanılabilir-III. Sınıf su	Eaton, 1950 Richards, 1954 Raghuna th,1987
Magnezyum Tehlikesi	MT	mek/l	$MT = 100 * \left(\frac{rMg}{rMg + rCa} \right)$	<50 >50	Uygun Uygun değil	Raghuna th,1987
Geçirgenlik indeksi	PI	mek/l	$PI = 100 * \frac{rNa + r\sqrt{HCO3}}{r(Na + rCa + rMg)}$	>%25 %25- 75 <%75	I. sınıf II. sınıf III. sınıf	Doneen, 1964 Raghuna th,1987
Kelly oranı	KR	mek/l	$KR = \frac{rNa}{rCa + rMg}$	<1 1-2	Uygun Uygun değil	Kelly, 1963

Sulama suyu kullanılabilirliği değerlendirmelerinde ABD tuzluluk ve Wilcox diyagramı en çok yararlanılan diyagramlardır. İnceleme alanında su örneklerinin SAR, EC ve %Na değerlerine göre bu grafik üzerine yerleştirilmiştir. ABD tuzluluk diyagramına göre inceleme alanındaki sular orta ve fazla tuzluluğa sahip az sodyumlu suları temsil eden 'C2S1' sınıfında yer almaktadır (Şekil 7). Wilcox diyagramında göre ise sular "çok iyi-iyi kullanılabilir sular" sınıfında yer almaktadır.

**Şekil 7.** ABD tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları (ABD salinity laboratory and Wilcox diagrams)

Suların içme suyu olarak kullanılabilirliğinin yorumlanmasında ise su örneklerinin anyon-kasyon, iz element, fiziksel parametreler ve bakteriyolojik analiz sonuçlarının ülkelerde belirlenen standart değerlere uygun olması gerekmektedir. Ülkemizde İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY, 2005) kullanılmaktadır. Dünya genelinde ise Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2022) standartları ile değerlendirmeler yapılmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen fiziksel parametre, majör iyon ve azot türevi analiz sonuçları İTASHY (2005) ve WHO (2022) standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak, suların içme suyu olarak kullanılması durumunda ek analizlerin yapılması zorunludur.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada Dağbeli Köyü (Antalya) güneyinde bulunan kireçtaşı akiferinin hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Özellikle Antalya ilinin başlıca içme suyu kaynaklarından olan Kırkgöz kaynakları inceleme alanı güneyinde bulunmakta olup çalışma kapsamında incelenen en önemli su kaynağıdır. Dağbeli Köyü çevresinde en önemli akifer birimler kireçtaşları ve alüvyondur. Beydağları formasyonu ve Tekkeköy üyesi bölgedeki karstik akifer özelliği taşımakta olan birimlerdir ve kireçtaşlarında açılmış sondaj kuyularından yüksek debide yeraltısuyu alınmaktadır. Çalışma kapsamında Dağbeli Köyü güneyinde bulunan kireçtaşı biriminde açılmış keson kuyu, sondaj kuyuları ve karstik akiferden boşalan Kırkgöz kaynaklarından yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerini ve su kalitesini belirleyebilmek amacıyla Mart-2023 tarihinde su örnekleri alınmıştır. Örneklerin yerinde ölçüm ve kimyasal analiz sonuçları farklı grafik, diyagram ve standartlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre suların pH değeri 7.2-8.29 arasında ölçülmüştür ve "bazik karakterli" sular sınıfında olduğu belirlenmiştir. Suların sertliği 25.5-43.2 Fr° arasında değişmekte olup "oldukça sert-sert sular" sınıflarını temsil etmektedir. EC değerleri 352-730,3 µS/cm arasında; Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS) değerleri 193,7-401,66 mg/l arasında değişmekte olup suda çözünmüş katıların (tuzlar, mineraller, iz elementler vb.) toplam miktarını ifade etmektedir.

İncelenen yeraltısularında baskın katyon kalsiyumdur ve 79.33-119.1 mg/l arasında ölçülmüştür. Su örneklerinin baskın anyon ise HCO₃ olup içerikleri 208-518.7 mg/l arasındadır. Yeraltısuları Piper diyagramına göre Ca-HCO₃'lı sular fasiyesinde yer almaktadır ve Gibbs diyagramı bölgede yeraltısuyu kimyasını denetleyen ana faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir. Hidrojeokimyasal süreçleri yorumlayabilmek için hazırlanmış olan (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) grafiğine göre yeraltısularının kimyasal gelişiminde silikat ayrışmasının baskın olduğu ve kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün söz konusu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sulardaki Ca ve Mg iyonlarının kalsit minerallerinin çözünmesi kaynaklı olduğu söylenebilir. Na iyonunun varlığı ise daha çok iyon alışverişi ile ilişkili olarak silikat ayrışması kaynaklıdır. Suların sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde Wilcox ve ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramları ile Sodyum Yüzdesi (%Na), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), Magnezyum Tehlikesi (MT), Geçirgenlik İndeksi (PI) ve Kelly Oranı (KR) değerleri kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre yeraltısuları sulama suyu olarak kullanılabilir özelliktedir. İçmesuyu kullanılabilirliğinin belirlenmesi için yeraltısularının fiziksel, majör iyon ve azot türevi analiz sonuçları İTASHY ve WHO limit değerleri ile karşılaştırılmış ve sözkonusu içmesuyu standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aghazadeh, N., Mogaddam, A. A., 2011. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 176(1), 183-195.
- Atilla, Ö., 1996. Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Teknikleri Kullanılarak Hidrojeokimyasal Verilerin Değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara.
- Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A, 1-42.
- Bilgin, Z.R., Karaman, T., Öztürk, Z., Şen, M.A., Şenel, M., 1990. Yeşilova-Acıgöl Civarının Jeolojisi Raporu. MTA Raporu, 9071, Ankara.
- 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.
- Davraz, A., Karaguzel, R., Soyaslan, I., Sener, E., Seyman, F., Sener, S., 2009. Hydrogeology of karst aquifer systems in SW Turkey and an assessment of water quality and contamination problems. *Environmental Geology*, 58, 973-988.
- Davraz, A., Batur, B., 2021. Hydrogeochemistry characteristics of groundwater and health risk assessment in Yalvaç-Gelendost basin (Turkey). *Applied Water Science*, 11(4), 67.
- Doneen, L.D., 1964. Water Quality for Agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.
- Drew, D., 1999. Introduction. In: Drew D, Hötzl H (eds) Karst hydrogeology and human activities: impacts, consequences, and implications. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp 3-12
- Eaton, F.M., 1950. Significance of Carbonate in Irrigation Water. *Soil Science*, 69(2), 123-133.
- Egbueri, J. C., 2019. Evaluation and characterization of the groundwater quality and hydrogeochemistry of Ogbaru farming district in southeastern Nigeria. *SN Applied Sciences*, 1(8), 851.
- Ekmekçi, M., 2005. Pesticide and nutrient contamination in the Ketsel polje-Kırkgöz karst springs, Southern Turkey, *Environmental Geology*, 49: 19-29
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltısuları Jeolojisi, İTÜ yayınları no:23, 339s, İstanbul
- Fisher, R.S., Mullican, F.W., 1997. Hydrochemical Evolution of Sodium-Sulfate and Sodium-Chloride Groundwater Beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans-Pecos, Texas, USA. *Hydrogeology Journal*, 10(4), 455-474.

- Freeze, R. A., Cherry, J. A., 1979. Groundwater (p. 604). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms to Trace Metal Transport in Rivers. *Science*, 180:71-173.
- İrılaiıcı-Davraz, A., 1998. Eğirdir - Burdur Gölleri Arasının Hidrojeoloji İncelemesi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta
- İ.T.A.S.H.Y., 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü - Ankara.
- Katz, B.G., Coplen, T.B., Bullen, T.D., Davis, J.H., 1998. Use of Chemical and Isotopic Tracers to Characterize the Interaction between Groundwater and Surface Water in Mantled Karst. *Groundwater*, 35, 1014-1028
- Kelley, W.P., 1963. Use of Saline Irrigation, *Water Soil Science*, 95(4), 355-391
- Kuldip, S., Hundal, H.S., Dhanwinder, S., 2011. Geochemistry and Assessment of Hydrogeochemical Processes in Groundwater in the Southern Part of Bathinda District of Punjab, Northwest India. *Environmental Earth Science*, 64, 1823-1833.
- 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.
- Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S., Kumar, B., 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental Geology*, 50, 1025-1039.
- Kumar, S. K., Rammohan, V., Sahayam, J. D., Jeevanandam, M., 2009. Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 159, 341-351.
- 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.
- Maya, A.L., Loucks, M.D., 1995. Solute and Isotopic Geochemistry and Groundwater Flow in the Central Wasatch Range, Utah. *Journal of Hydrology*, 172, 31- 59.
- Mayback, M., 1987. Global Chemical Weathering of Surficial Rocks Estimated from River-Dissolved Loads., *American Journal of Science*, 287, 401-428.
- McLean, W., Jankowski, J., 2000. Groundwater quality and sustainability in an alluvial aquifer, Australia. In: Sililo et al (eds) Proceedings of XXX IAH congress on groundwater: past achievements and future challenges. Cape Town South Africa 26th November-1st December 2000. AA Balkema, Rotterdam, Brookfield
- Mostafa, M. G., Uddin, S. H., Haque, A. B. M. H., 2017. Assessment of hydro-geochemistry and groundwater quality of Rajshahi City in Bangladesh. *Applied Water Science*, 7, 4663-4671.
- Pazand, K., Hezarkhani, A., Ghanbari, Y., Aghavali, N., 2012. Geochemical and quality assessment of groundwater of Marand Basin, East Azarbaijan Province, northwestern Iran. *Environmental Earth Science*, 67, 1131-1143.
- Piper, A. M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Trans. Amer. Geophys. Union*, vol. 25, p. 914-923.
- Ragunath, H.M., 1987. Groundwater. New Delhi: Wiley.
- Rajmohan, N., Elango, L., Ramachandran, S., Natarajan, M., 2000. Major Ion Correlation in Groundwater of Kancheepuram Region, South India. *Indian Journal of Environmental Protection*, 20(3), 188-193.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline Alkaline Soils, US Department of Agriculture, HandBook 60 (160)
- Schoeller, H., 1697. Qualitative evaluation of groundwater resources, In *Methods and techniques of groundwater investigation and development*, Water Research. India: UNESCO; p. 44-52.
- Subramani, T., Rajmohan, N., Elango, L., 2010. Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 162, 123-137.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 548s, İzmir.
- Şenel, M., 1997. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Isparta K-11(N25), No:11
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., Varol, S., 2020. Hydrogeological and hydrochemical investigation in the Burdur Saline Lake Basin, southwest Turkey. *Geochemistry*, 80(4), 125592.
- Şener, Ş., Bektaş, S., 2021. Antalya İli İçme Suyu Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Sağlık Risk Değerlendirmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(Ek (Suppl.) 1), 376-391.
- Tay, C.K., 2012. Hydrochemistry of Groundwater in the Savelugu-Nanton District, Northern Ghana. *Environmental Earth Science*, 67: 2077-2087.
- Tay, C. K., 2021. Hydrogeochemical framework of groundwater within the Asutifi-North District of the Brong-Ahafo Region, Ghana. *Applied Water Science*, 11(4), 72.
- Tayfur, G., Kirer, T., Baba, A., 2008. Groundwater quality and hydrogeochemical properties of Torbalı Region, İzmir, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146, 157-169.
- Todd, D. K., Mays, L. W., 1980. Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons. Inc., New York, 535.
- W.H.O., 2022. World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality, Fourth edition incorporating the first and second addenda. ISBN 978-92-4-004506-4
- Wilcox, L., 1955. Classification and use of irrigation waters (No. 969). US Department of Agriculture.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö. P., Dalkılıç, H., Taner, K., Özgönül, E., 1986. Batı Torosların jeoloji raporu. Ankara: MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdüleri Daire Başkanlığı, No: 7898, 131 s.