



ŞEFAATLİ (YOZGAT) DOĞUSU SU KAYNAKLARININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Şehnaz ŞENER^{1*}, Erhan ŞENER²

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

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

Anahtar Kelimeler

*Hidrojeoloji,
Hidrojeokimya,
Su Kaynakları,
Şefaati.*

Öz

Bu çalışmada, Yozgat ili, Şefaati ilçesi doğusu yüzey ve yeraltısularının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bölgede yüzeyleyen jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre Akifer-1, Akifer-2, Akitard ve Aküfj olmak üzere dört ayrı grupta incelenmiştir. Mayıs (2019) döneminde yapılan yeraltısuyu seviye ölçüm sonuçlarına göre bölgede yeraltısuyu derinlikleri 3,22 m ile 20 m arasında, yeraltısuyu seviye değerleri ise 945,25 m ile 1045,05 m arasındadır. Bölgede, yeraltısuyu akımının, güneydoğudan kuzeybatıya doğru olduğu belirlenmiştir. Aynı dönemde yeraltısuyu ve yüzeysularından alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal özellikleri, su kalitesi ve kullanım özellikleri belirlenmiştir. Buna göre su örnekleri Na-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃-SO₄'lı sular fasiyesinde yer almaktadır. Su örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre yeraltısularının Al ve As parametreleri bakımından, yüzey sularının ise Al, As, Mn ve Fe parametreleri bakımından içme suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir. Su kaynaklarında söz konusu parametrelerin artışı kaya-su etkileşimi ile gelişmektedir. Ayrıca, bölgedeki tarımsal faaliyetler ile ilişkili olarak yeraltısuyu örneklerinin NO₃ değerlerinin içme suyu limit değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THE WATER RESOURCES IN EAST OF THE ŞEFAATLİ (YOZGAT)

Keywords

*Hydrogeology,
Hydrogeochemistry,
Water Resources,
Şefaati.*

Abstract

In this study, the hydrogeological and hydrogeochemical properties of surface and groundwater in the east of Şefaati district of Yozgat province were investigated. The geological units outcropping in the region were examined in four different groups, namely Akifer-1, Akifer-2, Akitard and Aküfj according to their hydrogeological characteristics. According to the groundwater level measurement results made in the period of May (2019), groundwater depths in the region are between 3,22 m and 20 m, and groundwater level values are between 945,25 m and 1045,05 m. It was determined that the groundwater flow in the region is from southeast to northwest. In the same period, hydrogeochemical properties, water quality and usage characteristics of water samples were determined. Accordingly, the waters in the region are Na-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and Ca-Mg-HCO₃-SO₄ water type. According to the chemical analysis results, it was determined that the groundwater is not suitable for drinking water usage in terms of Al and As parameters and surface waters in terms of Al, As, Mn and Fe. The high values of the parameters in water resources the result of rock-water interaction in the region. In addition, it was determined that the NO₃ values of groundwater samples were above the drinking water limit values in relation to agricultural activities in the region.

Alıntı / Cite

Şener, Ş., Erhan, Ş., (2021). Şefaati (Yozgat) Doğusu Su Kaynaklarının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 126-138.

* İlgili yazar / Corresponding author: sehnazsener@sdu.edu.tr, +90-246-211-1324

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291	Başvuru Tarihi / Submission Date	30.05.2020
E. Şener, 0000-0001-6263-8366	Revizyon Tarihi / Revision Date	15.07.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	01.09.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

1. Giriş (Introduction)

Nüfus artışı ve gelişen endüstri ile birlikte insanların suya olan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Buna karşılık, bilinçsiz su kullanımları ve iklim değişikliğinin de etkisi ile gerek yüzeysuyu gerekse yeraltısularının miktarlarında ciddi azalmalar dikkati çekmektedir. Yüzeysularının tarımsal faaliyetler, endüstriyel atıklar, madencilik, evsel atıklar ve kanalizasyon deşarjları gibi antropojenik kirleticilerden kolaylıkla etkilenmesi sebebiyle özellikle içme suyu olarak kullanımda yeraltısuları daha çok tercih edilmektedir (Babiker vd., 2007; Şener vd., 2017). Bu nedenle, yeraltısuyu kimyası birçok araştırmacı tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Varol ve Davraz 2015; Subramani vd., 2010; Aghazadeh ve Mogaddam 2011; Su vd., 2013). Bir bölgenin yeraltısuyu kimyası genellikle homojen değildir ve iklim değişiklikleri, kaya-su etkileşimi, mineral türlerinin çözünmesi ve/veya çökmesi, iyon değişim reaksiyonları, kimyasal ayrışma, yeraltısuyu kaynaklarının aşırı kullanımı, tarım ve atık deşarjları gibi çeşitli faktörlerin etkisi altındadır (Hem 1985; Kumar vd. 2009; Subramani vd. 2005). Su kaynakları konusunda yapılan çalışmalar dünya genelinde jeojenik kirleticilerin yeraltısuyu kalitesinde bozulmalara sebep olduğunu göstermektedir. İçme suyunda sağlık açısından önemli olan yaygın jeojenik kimyasallar arasında arsenik, florür, krom, bor, baryum, selenyum ve uranyum bulunmaktadır (Amini vd., 2008; WHO, 2011). Bu kimyasalların arasında arsenik (As) ve florür (F) toksisiteleri nedeniyle son derece önemlidir ve özellikle içme suyu kullanımında dikkat edilmesi gereken parametrelerdir.

Bu çalışmada, Yozgat ili, Şefaattli ilçesi doğusunun hidrojeolojik özellikleri incelenerek yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirlik durumu araştırılmıştır. Bölgede yakın zamanda su kaynaklarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini ortaya koymaya yönelik bilimsel bir çalışma yapılmamıştır. Bu durum söz konusu çalışmayı bilimsel açıdan özgün, bölge halkı ve yerel yöneticiler bakımından önemli kılmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kervankıran ve Kılıç, (2014) tarafından yapılan çalışmada Yozgat'ta tarihi ve turizm değerleri bakımından dikkat çeken en önemli unsurlar yeraltı madenleri, kaplıcaları ve tarihi ören yerleri olarak belirtilmektedir. Kırsal yaşam biçiminin hüküm sürdüğü bölgede öne çıkan sektörler; tarım ve hayvancılıktır. Bununla birlikte son yıllarda sanayi ve hizmet sektörü özelinde birçok girişimler gerçekleştirilmiş ve bölgenin turizm sektörünün ön plana çıkarılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Özellikle jeotermal kaynakların turizme kazandırılması yönünde araştırmalar yürütülmektedir (Kolay vd., 2017).

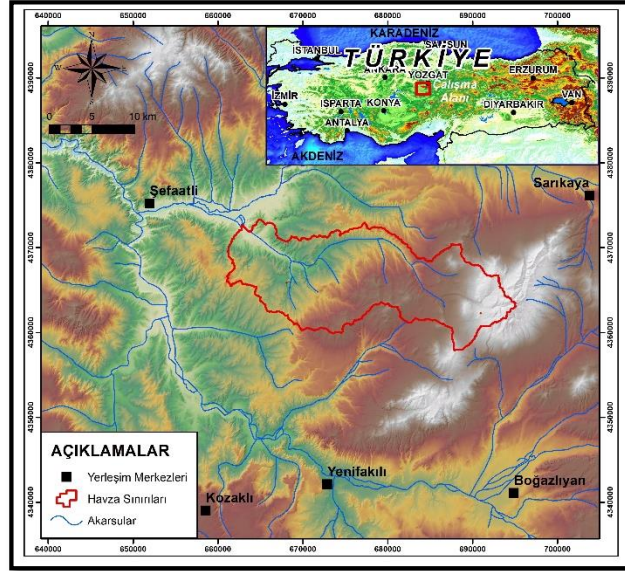
Çalışma alanını oluşturan Yozgat ili Şefaattli ilçesi ve çevresi Akın (2016) tarafından yapılan çalışmada jeotermal kaynaklar ve özellikleri bakımından incelenmiştir. Yapılan çalışmada bölgede bulunan Boğazlıyan jeotermal alanının yüksel potansiyele sahip olduğu ve bu alanın termal turizm ve seracılık için uygun olduğu belirtilmektedir. Bölgedeki sıcak su örneklerinin Na-Ca-Cl-HCO₃ su tipinde oldukları kimyasal analizi sonuçlarına göre belirlenmiştir. Şefaattli İlçesinde bulunan jeotermal alanın 2011 yılında ruhsatı alınmıştır. Çalışmada, bu bölgede hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan daha kapsamlı araştırmalar yapılarak bölgenin jeotermal potansiyelinin net olarak ortaya çıkarılması Yozgat'ın sosyoekonomik kalkınmasına katkı sağlayacağı belirtilmektedir. Yapılan çalışmalara göre, jeotermal kaynak potansiyelinin yüksek olduğu belirtilen çalışma alanının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya konulduğu bu çalışma bölge için büyük önem taşımaktadır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (The Study Area)

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesinde, Yozgat İli, Şefaattli İlçesi'nin doğusunda bulunmaktadır (Şekil 1). Bölge aynı zamanda Kızılıkoca yeraltısuyu alt havzası içerisinde yer almakta olup Güzelli, Eğlence ve Kumkuyu köyleri inceleme alanı içerisindedir. Bölgede en önemli yüzeysuyu Özdere'dir. Ayrıca, Kumkuyu Göleti, Yanıpazar Göleti ve Kanlıdere Göleti olmak üzere 3 adet gölet bulunmaktadır. 2012 yılı CORİNE (Coordination of Information on the Environment) Arazi Örtüsü verilerine göre çalışma alanının %62,96'lık bölümü kuru tarım, % 10,49'u Önemli Doğal Bitki Alanlarının Tarım Tarafından İşgal Edilen Alanlar ve %8,66'sı Doğal Çayırardan oluşmaktadır. Kuru tarım ve hayvancılık bölgenin en önemli geçim kaynaklarıdır.

Genel olarak karasal iklimin hakim olduğu çalışma alanında yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Yozgat Devlet Meteoroloji İstasyonu verilerine göre bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 564,3 mm olarak ölçülmüştür. Uzun yıllar aylık yağış verilerine göre ise aylık ortalama yağış 47,6 mm'dir. Ortalama sıcaklık 1950-2018 tarihleri arasındaki 68 yıllık aylık ölçülmüş sıcaklık değerlerine göre 9,2 °C'dir.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (Location map of the study area)

3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

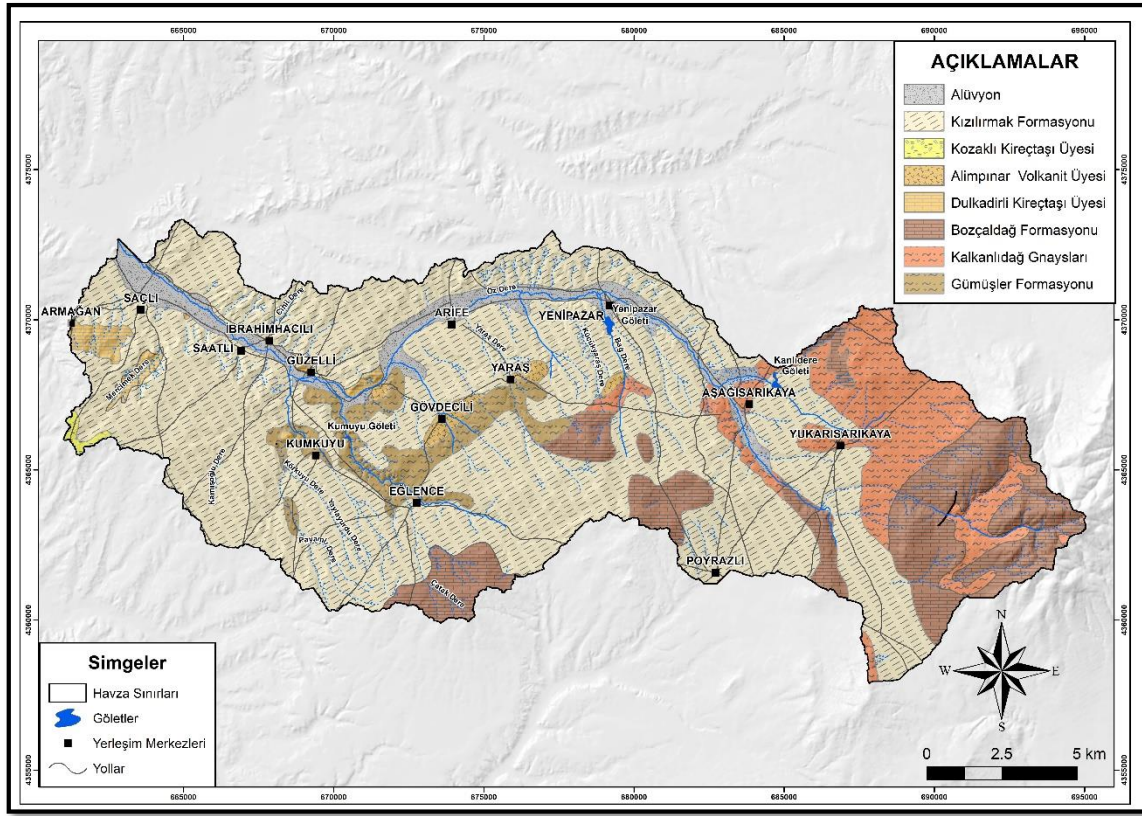
İnceleme alanın hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma kapsamında ayrıntılı arazi ve büro çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanının jeolojik özelliklerini ortaya koyabilmek için ayrıntılı literatür ve arazi çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen literatür bilgileri arazi gözlemleri ile desteklenerek bölgenin 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Her bir litolojik birimin hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanının hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Bölgenin yeraltısuyu dinamiğini ortaya koymak amacıyla çalışma alanı çevresinde belirlenen sondaj kuyularında yeraltısuyu seviyeleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler kullanılarak bölgenin yeraltısuyu seviye haritası hazırlanmış ve yeraltısuyu akım yönü belirlenmiştir. Ayrıca, hidrojeokimyasal incelemeler kapsamında çalışma alanı ve çevresinde Mayıs-2019 döneminde yüzey ve yeraltısuyu örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin saklanmasında sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Numunelerin sıcaklık (°C), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri WTW marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak yerinde ölçümler yapılmıştır.

Su örneklerinin katyon içeriklerinin belirlenebilmesi için örnekler katyon analizleri, Bureau Veritas Mineral (Kanada) laboratuvarında analiz edilmiş, analizlerde ise ICP-MS cihazı kullanılmıştır. Anyon içerikleri ise SDÜ Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında belirlenmiştir. Analiz yöntemleri olarak spektrofotometrik ve titrimetrik yöntemler kullanılmıştır. Su örneklerinin hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde anyon ve katyon analiz sonuçları Schoeller yarı logaritmik, Piper (1944) ve Gibbs diyagramları üzerine yerleştirilerek yorumlanmıştır. Suların içme suyu ve sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi için ulusal ve uluslararası standartlar ile belirlenen limit değerler ile karşılaştırmanın yanı sıra Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri ve ABD tuzluluk diyagramı kullanılmıştır.

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. Jeolojik Özellikler (Geological Properties)

Çalışma alanında Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfik birimlerden oluşan Kırşehir masifine ait Gümüşler Formasyonu, Kalkanlıdağ formasyonu ve Bozçaldağ formasyonu; Eosen yaşlı Çevirme formasyonuna ait Dulkadirlik kireçtaşı ve Alımpınar Volkanit üyeleri; Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak formasyonu ve Kozaklı kireçtaşı üyesi ile Kuvaterner yaşlı alüvyon birim yüzeylenmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının genel jeoloji haritası (General geology map of the study area)

Paleozoyik yaşlı Gümüşler Formasyonu, Kırşehir masifinin, kalsilikatik gnays, gnays, kuvarsit, feldispatik şist, şist, mikaşist, amfibolşist ve az oranda mermerlerden oluşmaktadır (Göncüoğlu 1977; Kara, 1997) Gümüşler Formasyonu çalışma alanında Kumkuyu, Eğlence ve Yaras civarında gözlenmekte olup birim Bozçaldağ Formasyonunu oluşturan mermerlerle geçişlidir. Kırşehir Masifi'nin kalsilikatik gnays-gnays, kuvarsfeldispatik şistler, mikaşistler, amfibolşist-amfibolit, kuvarsşist ve çok az oranda da kalkışist katkılı mermerden (kalınlık < 10m) oluşan kesimleri Kara (1997) tarafından Kalkanlıdağ gnaysları olarak adlandırılmış olup birimin yaşı Paleozoyiktir. Birim, çalışma alanının doğusunda yüzeylenmektedir. Birim, birbirleriyle değişik oranlarda ardalanmalı pelitik, psammitik ve magmatik kökenli kayaçların metamorfizması ile oluşmuştur. Doku, yapı ve mineral bileşimine göre gri, kahverengimsi gri, yeşilimsi gri ve kahverengi renklerde gözlenmektedir. Kırşehir Masifi içerisinde ayırtlanabilen mermer ve rekristalize kireçtaşları Seymen (1982) tarafından Bozçaldağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, çalışma alanının doğu kesiminde, Poirazlı'nın kuzeybatısında ve Eğlence'nin güneyinde dar alanlarda yüzeylenmektedir. Birim, beyaz- açık gri renkli, çoğunlukla iri kalsit kristalli, orta-kalın katmanlı ve masif mermerlerden oluşmaktadır. Toroslarla denestirilerek birime Geç Paleozoyik-Mezozoyik yaşı verilmiştir (Kara, 1997).

Kara (1991) tarafından adlandırılan ve kireçtaşlarından oluşan Dulkadirli kireçtaşı üyesi çalışma alanında Armağan'ın doğusunda ve Güzelli civarında dar alanlarda yüzeylenmektedir. Birim Çevirme Formasyonunun üyesi olarak tanımlanmış olup formasyonun üst düzeylerinde, önce çamurtaşlarıyla orta-kalın katmanlı ara katkılar şeklinde, daha üst seviyelerde ise masif ve orta-kalın katmanlı daha geniş yayımlı yüzeylenmeler şeklinde gözlenmektedir. Kireçtaşları, beyaz, bej ve gri renklerde olup bol nummulitlidir. Karbonatlar çamur-vake-istiftane-bağlamtaşı veya biyomikrit-biyosparit özelliktedir. Dulkadirli kireçtaşları uzun boyutta kıyıya paralel uzanımlı kısa boyutta ise havza içine doğru kamalanmalı yapıda, sığ deniz ve resifal koşullarda gelişmiştir. Kalınlık 5-50 metre arasındadır. Dulkadirli kireçtaşının yaşı bünyesinde bulunan fosil içeriklerine göre Orta-Geç Eosen olarak saptanmıştır (Kara, 1997). Çalışma alanında Gövdecili ve Yaras köyleri civarında dar alanlarda gözlenen volkanit birimler Çevirme formasyonu'nun üyesi olarak ayırtlanmıştır. Yeşil, koyu yeşil, siyahımsı renkli, amogdoidal yapılı olivin bazalt ve aglomeralardan oluşan bu volkanikler Kara (1997) tarafından Alimpınar Volkanit Üyesi olarak adlandırılmıştır. Birimin yaşı Çevirme Formasyonu ve Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi ile olan ilişkisi gözönüne alındığında Orta-Geç Eosen'dir (Kara, 1997).

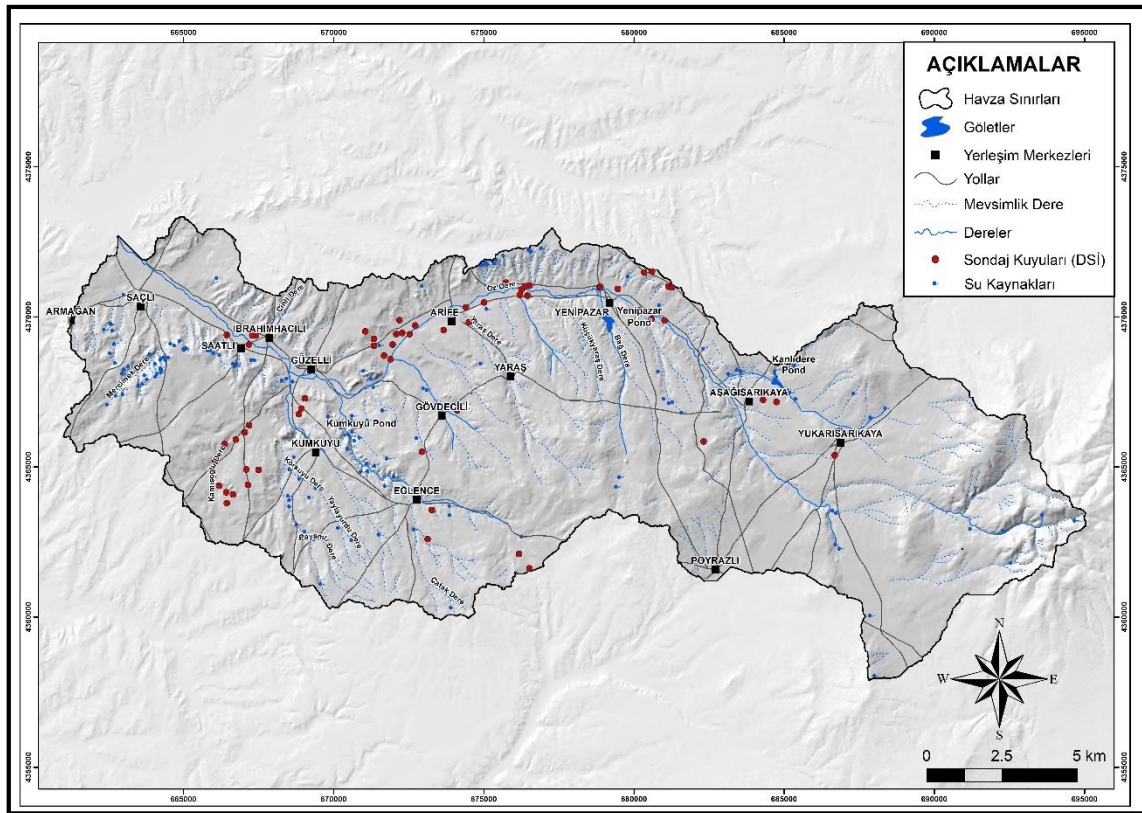
Çalışma alanının genelinde oldukça geniş yayılıma sahip olan ve genelde kızıl çamurtaşlarından oluşan Kızılırmak formasyonu, Bilgili vd., (1975) tarafından adlandırılmıştır. Kızılırmak formasyonu, kırmızı kahve, kahve ve gri renkli, katmansız, gevşek, çakıllı, kumlu, yer yer karbonat nodüllü, tuf, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltaşı bant ve

mercekleri içeren çamurtaşlarından meydana gelmiştir. Alt dokanağı daha yaşlı birimlerle uyumsuz olan Kızılırmak formasyonunun kalınlığı 150 metre kadardır. Sığ göl, akarsu ve yamaç molozu fasiyeslerinde gelişen birimin yaşı Üst Miyosen-Pliyosen olarak belirlenmiştir (Kara, 1997). Çalışma alanının batısında çok dar bir alanda mostra veren ve beyaz-bej renkli, masif, çok sert, yer yer mikritik yer yer kırıntılı, killi, boşluklu kireçtaşı düzeyleri Kara ve Dönmez (1990) tarafından Kozaklı kireçtaşı üyesi olarak adlandırılmıştır. Birimin kalınlığı yer yer 1-8 m arasında değişmektedir. Birimin yaşı Üst Miyosen olarak verilmektedir (Kara, 1997). Çalışma alanındaki en genç oluşumlar olan alüvyon Özdere yatağı boyunca haritalanmış olup birim başlıca çakıl, kum ve kil gibi tutturulmamış malzemeden oluşmaktadır ve kendisinden önce oluşmuş tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Birimin yaşı Kuvaternerdir.

4.2. Hidrojeolojik Özellikler (Hydrogeological Properties)

4.2.1. Su Noktaları (Water Points)

Çalışma alanında bulunan mevsimlik ve sürekli dereler, kaynaklar, göl/göletler ve sondaj kuyuları gibi tüm su noktalarını ayrıntılı olarak gösteren harita Şekil 3'de sunulmuştur. Bölgede en önemli ve sürekli akış gösteren yüzeysuyu doğu batı yönünde akan Özdere'dir. Özdere'yi İbrahimhacılı bölgesinden mevsimlik bir dere olan Cinli dere beslemektedir. Güney kesimden ise Mercimek dere, Kamışoğlu dere, Körkuyu dere, Payamlı dere, Yaylayurdu dere, Çatak dere, Yaraş dere, Küçükbaraş dere ve Bağdere gibi birçok mevsimlik dere Özdere'ye karışmaktadır. Çalışma alanında farklı litolojik birimlerden boşalan birçok kaynak haritalanmış ve Şekil 3'de verilmiştir. Bölgedeki kaynakların birçoğu düşük debili olup litolojik birimlerin kırık çatlaklarından boşalmaktadır. Aynı zamanda dokanak kaynağı özelliğinde olan kaynak boşalmaları da mevcuttur. Çalışma alanı içerisinde Kumkuyu Göleti, Yanıpazar Göleti ve Kanlıdere Göleti olmak üzere 3 adet gölet bulunmaktadır. Ruhsat sahasına en yakın gölet Kumkuyu göleti olup gölet Şefaattli ilçesine bağlı Kumkuyu Köyünün yaklaşık 1.5 km kuzeydoğusunda Kızılırmak Nehrinin ana kollarından olan Delice Irmağına mansaplanan Özderenin, Bağlar Deresi kolu üzerindedir.

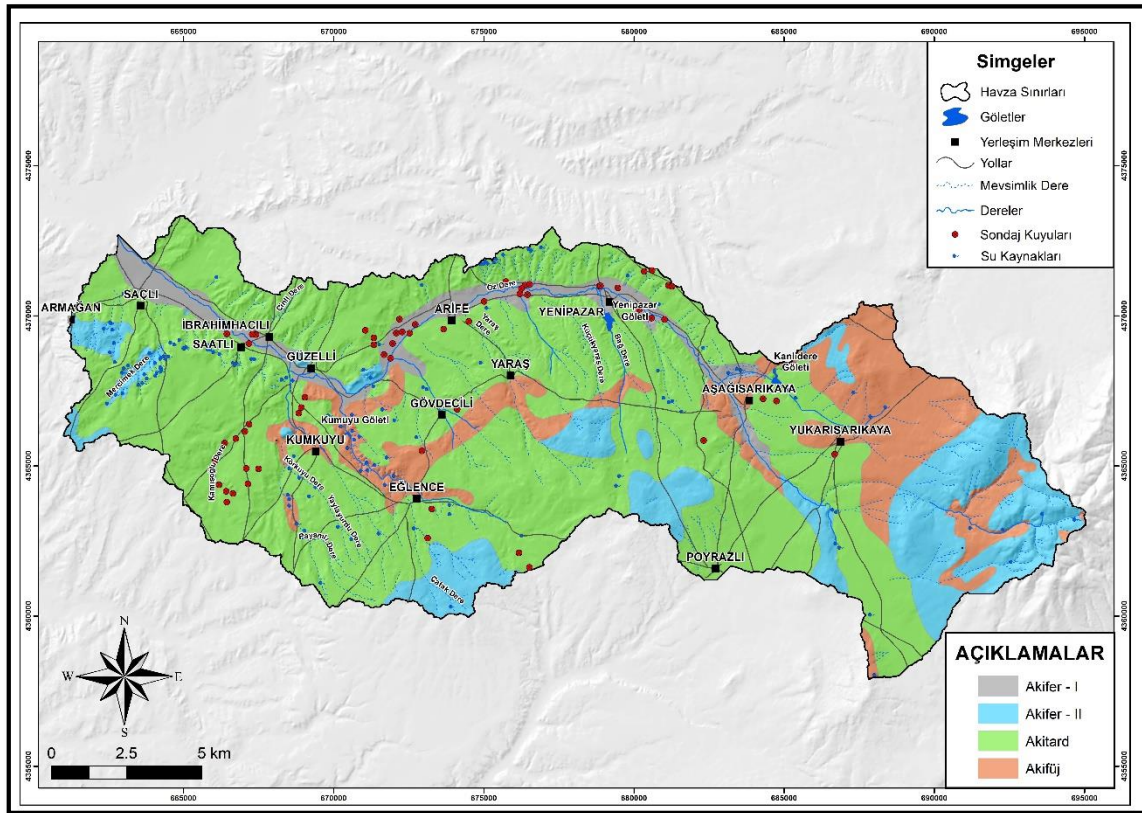


Şekil 3. Çalışma alanının su noktaları haritası (Water points map of the study area)

4.2.2. Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri (Hydrogeological properties of Lithological Units)

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından Akifer-1, Akifer-2, Akitard ve Aküfj olmak üzere dört ayrı grupta incelenmiştir. Bölgenin hidrojeoloji haritası yapılan hidrojeolojik sınıflamaya dayanarak hazırlanmış ve Şekil 4'de verilmiştir. Çalışma alanında, Özdere dere yatağı boyunca gözlenen ve genel olarak tutturulmamış birimlerden oluşan alüvyon gözenekli yapısı

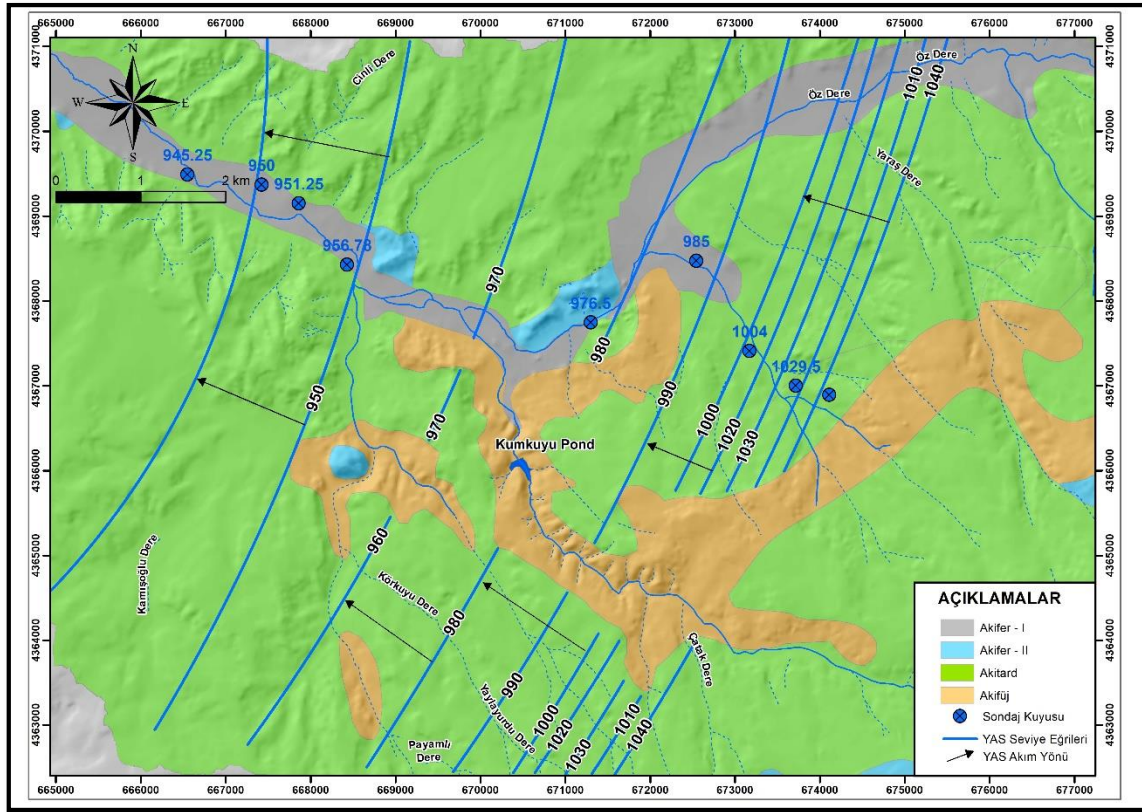
nedeniyle Akifer-1 olarak sınıflandırılmıştır. Ancak, çalışma alanında alüvyon birimin yayılımı sadece dere boyunca çok dar alanda gözlenmekte olup verimli akifer özelliği taşımamaktadır. Çalışma alanında yüzeyleyen Bozçaldağ kireçtaşı, Dulkadirli kireçtaşı üyesi ve Kozaklı kireçtaşı üyesi Erimeleli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi özelliğinde olup Akifer-2 olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında yüzeyleyen Alimpınar volkanit üyesi tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Bu litolojiler, geçirimli özelliğe sahip olmakla birlikte kısıtlı yayılımları nedeniyle akifer özelliği göstermezler. Ancak, bu birimlerden lokal olarak mevsimlik kaynak boşalımları gözlenmektedir. Çalışma alanında geniş bir alanda mostra veren Kızılırmak formasyonu çakıllı, kumlu, yer yer karbonat nodüllü, tuf, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltası bant ve mercekleri içeren çamurtaşı seviyeleri içermektedir. Bu birimin özellikle kumtaşı-konglomera seviyeleri yeraltısuyu bulundurabilirler. Çamurtaşı seviyeleri ise yeraltısuyu hareketini kısıtlamaktadır. Bu nedenle sözkonusu birimler yarı geçirimli birim olan Akitard birimler olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında bünyesindeki suyu iletemeyen ve az geçirimli/geçirimsiz özelliğe sahip Gümüşler formasyonu ve Kalkanlıdağ formasyonu Akifüj ortam olarak tanımlanmıştır. Sözkonusu birimler içerisinde hakim olarak bulunan metamorfik birimler olan gnays, kuvarsfeldispatik şistler, mikaşistler vb. bünyelerinde yeraltısuyu bulundurmazlar. Ancak, bu birimler içerisinde kısıtlı olarak bulunan mermer seviyeleri az geçirimli özellik sunabilirler.



Şekil 4. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası (Hydrogeology map of the study area)

4.2.3. Yeraltısuyu Dinamiği (Groundwater Dynamics)

Çalışma alanında yeraltısuyu dinamiğini ortaya koymak amacıyla bölgede bulunan sondaj kuyularında Mayıs-2019 döneminde yapılan yeraltısuyu seviye ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Ölçüm yapılan sondaj kuyular alüvyon ve Kızılırmak formasyonu üzerinde açılmış olup bölgede yeraltısuyu derinlikleri 3,22 m ile 20 m arasında değişmektedir. Yeraltısuyu derinliklerine bağlı olarak hesaplanan yeraltısuyu seviye değerleri ise 945,25 m ile 1045,05 m arasındadır. Şekil 5'de verilen yeraltısuyu seviye haritasına göre, bölgede yeraltısuyu yüzeyi düzgün bir morfolojiye sahiptir. Seviye eğrilerinin birbirine paralel ve düzgün gidişli olduğu görülmektedir. Ayrıca, Kumkuyu göletinin doğusunda, Kızılırmak formasyonu üzerinde açılmış kuyuların bulunduğu alanlarda sık seviye eğrileri, göletin batısında, alüvyon ortamda açılmış kuyuların bulunduğu alanda ise seyrek seviye eğrileri gözlenmektedir. Sık seviye eğrileri akifer ortamın düşük permeabiliteye ve yüksek hidrolik eğime sahip olduğunu göstermektedir. Seyrek seviye eğrilerinin gözlemlendiği alanlarda ise permeabilite değerleri daha yüksek ve hidrolik eğim düşüktür. Çalışma alanındaki yeraltısuyu akım yönü, güneydoğudan kuzeybatıya doğrudur (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanının yeraltısuyu seviye haritası (Groundwater level map of the study area)

4.3. Hidrojeokimyasal Özellikler (Hydrogeochemical Properties)

Çalışma alanında yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerinin, kalitesinin, kullanım özelliklerinin değerlendirilmesi için belirlenen lokasyonlardan Mayıs-2019 döneminde yüzey (B1, B2, B3, B4) ve yeraltısularından (A1, A2, A3, A4, A5, A6) örneklemeler yapılmıştır. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 2 ve 3'de verilmiştir. Suların kimyasal özelliklerini belirlemede alınan su numunelerinin kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılmıştır. Kimyasal analizlerde; katyonlar (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+), anyonlar (Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , HCO_3^-), hidrojen iyon konsantrasyonu (pH) ve özgül elektriksel iletkenlik (EC) gibi kimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Çalışma alanında alınan su örneklerinin pH değerleri 7,6 ile 8,4 arasında değişmekte olup sular bazik karakterlidir. Su içerisindeki iyonların varlığı ve miktarı ile sıcaklık elektriksel iletkenlik değerlerini doğrudan etkileyen faktörlerdir (Şahinci, 1991). Çalışma alanındaki su numunelerinin özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 576-2370 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değişmektedir. A1 ve B2 nolu su örneklerinin iyon ve kirlilik yükünün yüksek olması sebebiyle çok yüksek EC değerine sahip olduğu görülmektedir.

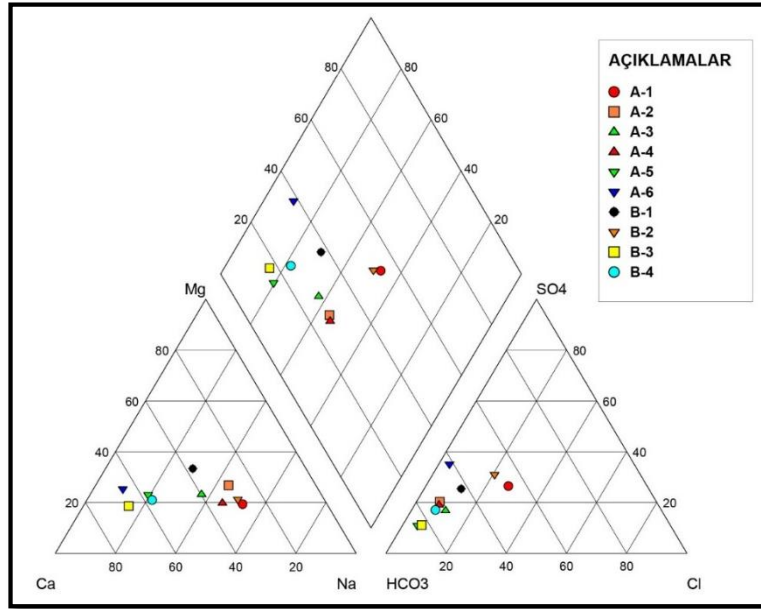
Çalışma alanından alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyeslerinin belirlenebilmesi için majör iyon içerikleri Piper diyagramı üzerinde yorumlanmıştır (Şekil 6). Buna göre su örnekleri Na-Ca- HCO_3 , Ca-Mg- HCO_3 ve Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 'lı sular fasiyesindedir. Çalışma alanındaki su kaynakları genel olarak kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı gibi sedimanter kayalar ve yer yer volkanik kayalar ile etkileşim halindedir ve baskın su tiplerinin söz konusu kayalar ile su etkileşimi sonucunda geliştiği görülmektedir. Şekil 7'de verilen Schoeller yarı logaritmik diyagramına göre ise tüm sular Na ve Ca iyonlarının baskın katyonlar; HCO_3^- ve SO_4^{--} iyonlarının ise baskın anyonlar olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (Chemical analysis results of water samples)

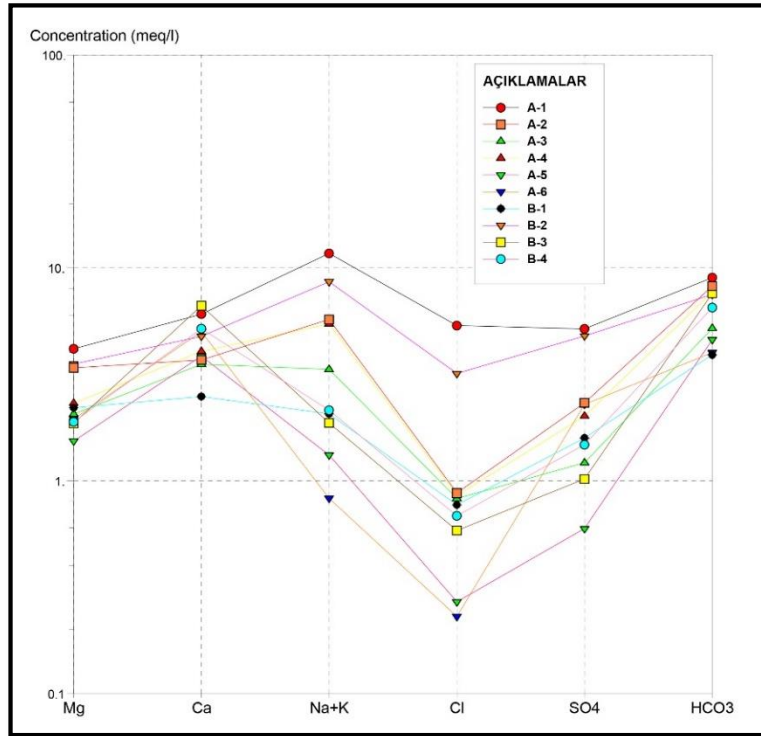
No	Su Tipi	x	y	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	EC µmho/cm	pH	Sıcaklık (°C)
A-1	Yeraltısuyu	667864,00	4369150,00	121,50	50,61	261,12	12,96	189,82	248,03	549,00	64,27	1752	8,40	15,20
A-2	Yeraltısuyu	666550,00	4369489,00	73,94	41,24	129,23	4,08	31,02	111,39	500,20	39,22	927	8,10	14,90
A-3	Yeraltısuyu	668141,00	4368578,00	70,55	24,97	75,33	2,24	29,23	58,27	317,20	64,25	736	7,80	16,10
A-4	Yeraltısuyu	671297,00	4367773,00	81,16	28,10	122,94	4,27	30,19	96,66	469,70	21,96	840	8,00	15,50
A-5	Yeraltısuyu	673507,00	4366748,00	77,20	18,65	29,67	1,11	9,55	28,59	280,60	53,39	802	7,90	16,20
A-6	Yeraltısuyu	673074,00	4365501,00	100,51	23,71	17,48	2,59	8,15	109,68	244,00	71,17	943	7,70	15,90
B-1	Yüzey suyu	665192,00	4370671,00	49,83	26,75	44,12	5,53	27,28	76,27	237,90	4,16	576	7,60	17,30
B-2	Yüzey suyu	669408,00	4368158,00	95,57	42,91	191,30	11,06	113,03	229,83	457,50	1,45	2370	8,10	16,90
B-3	Yüzey suyu	671916,00	4364598,00	132,97	22,61	34,72	13,89	20,67	48,89	463,60	33,88	868	8,20	17,10
B-4	Yüzey suyu	670341,00	4365965,00	103,77	22,97	45,10	7,11	24,24	70,85	396,50	6,44	795	8,10	17,50

Tablo 3. Su örneklerinin ağır metal analiz sonuçları (Heavy metal analysis results of water samples)

No	Su Tipi	x	y	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Cu (µg/l)	Zn (µg/l)	Pb (µg/l)	As (µg/l)	Fe (µg/l)	Cr (µg/l)	Ni (µg/l)
A-1	Yeraltısuyu	667864,00	4369150,00	33,00	3,50	3,00	8,80	<0.2	16,00	<10	10,40	<0.2
A-2	Yeraltısuyu	666550,00	4369489,00	118,00	2,28	2,00	1,30	<0.2	7,30	<10	6,70	<0.2
A-3	Yeraltısuyu	668141,00	4368578,00	<1	<0.05	0,80	0,50	<0.2	13,10	<10	8,40	<0.2
A-4	Yeraltısuyu	671297,00	4367773,00	9,00	2,42	7,40	7,40	0,60	26,20	<10	7,80	<0.2
A-5	Yeraltısuyu	673507,00	4366748,00	1,00	<0.05	1,10	0,70	<0.2	32,30	<10	3,00	<0.2
A-6	Yeraltısuyu	673074,00	4365501,00	<1	<0.05	11,20	96,80	0,40	9,00	<10	1,50	1,10
B-1	Yüzey suyu	665192,00	4370671,00	123,00	21,99	2,40	3,80	0,20	7,90	14,00	2,70	1,30
B-2	Yüzey suyu	669408,00	4368158,00	367,00	513,24	2,20	4,00	0,40	26,50	206,00	7,20	0,70
B-3	Yüzey suyu	671916,00	4364598,00	101,00	8,69	1,50	1,90	<0.2	47,30	<10	6,20	<0.2
B-4	Yüzey suyu	670341,00	4365965,00	35,00	45,89	1,90	1,20	<0.2	19,40	<10	4,70	<0.2
TS266 (2005) mg/l				0,2	0,05	2	-	0,01	0,01	0,2	0,05	0,02
WHO (2008) mg/l					0.4	2	-	0,01	0,01	-	0,05	0,07

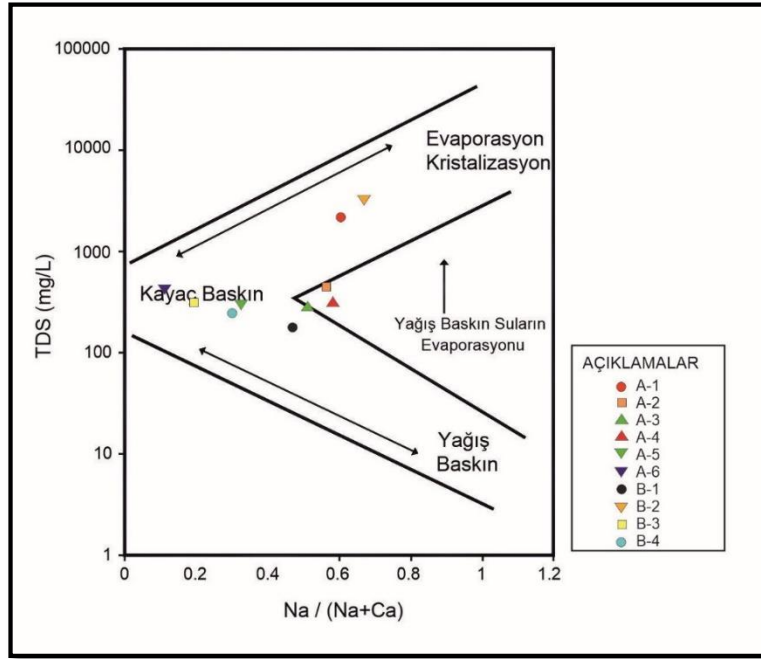


Şekil 6. Piper diyagramı (Piper diagram)



Şekil 7. Schoeller yarı logaritmik diyagramı (Schoeller semi-logarithmic diagram)

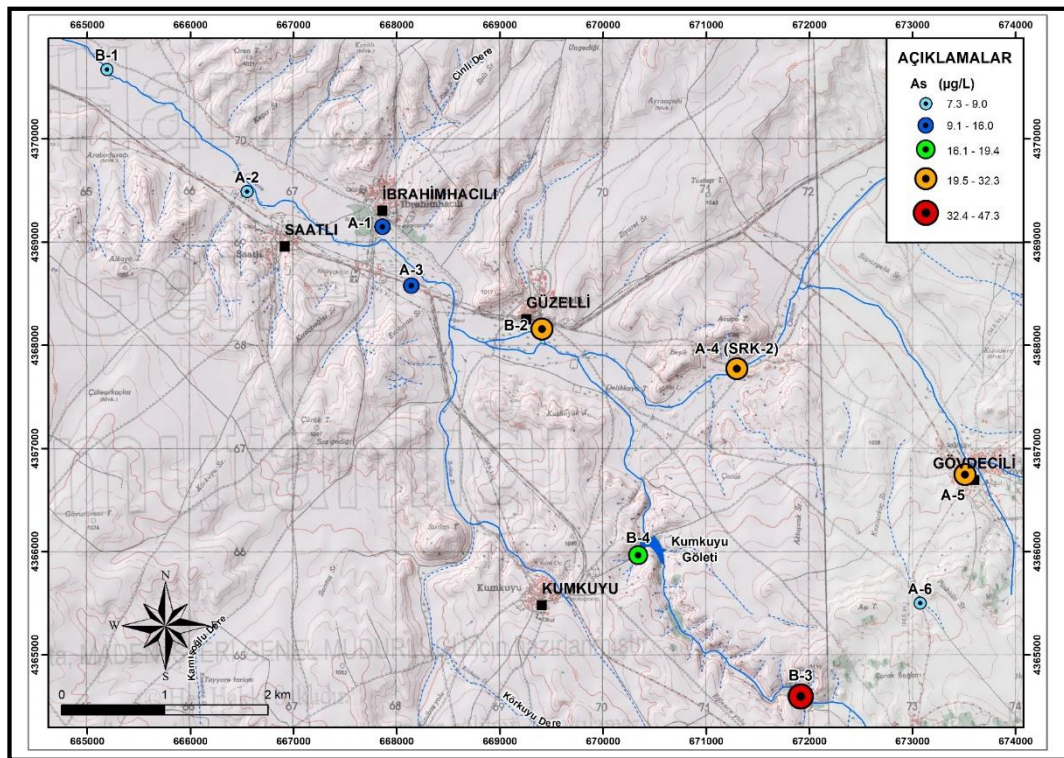
Bölgeden alınan su örneklerinin su tipinin hangi proses veya mekanizma sonucu değiştiğini belirlemek için alınan su numunelerinin iyonik oranları Gibbs Diyagramı üzerine yerleştirilmiştir. Gibbs Diyagramına yerleştirilen, su numunelerinin bir kısmı “Kayaç Baskın” alanına düşmektedir (Şekil 8). Bu örneklerde su kimyasını kontrol eden ana mekanizma, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğu görülmektedir. Bazı su örnekleri ise su tipinin şekillenmesinde “yağış sularının etkin olduğu suların evaporasyonu” ve “evaporasyon-kristalizasyon” bölgelerine düşmektedir.



Şekil 8. Gibbs diyaqramı (Gibbs diagram)

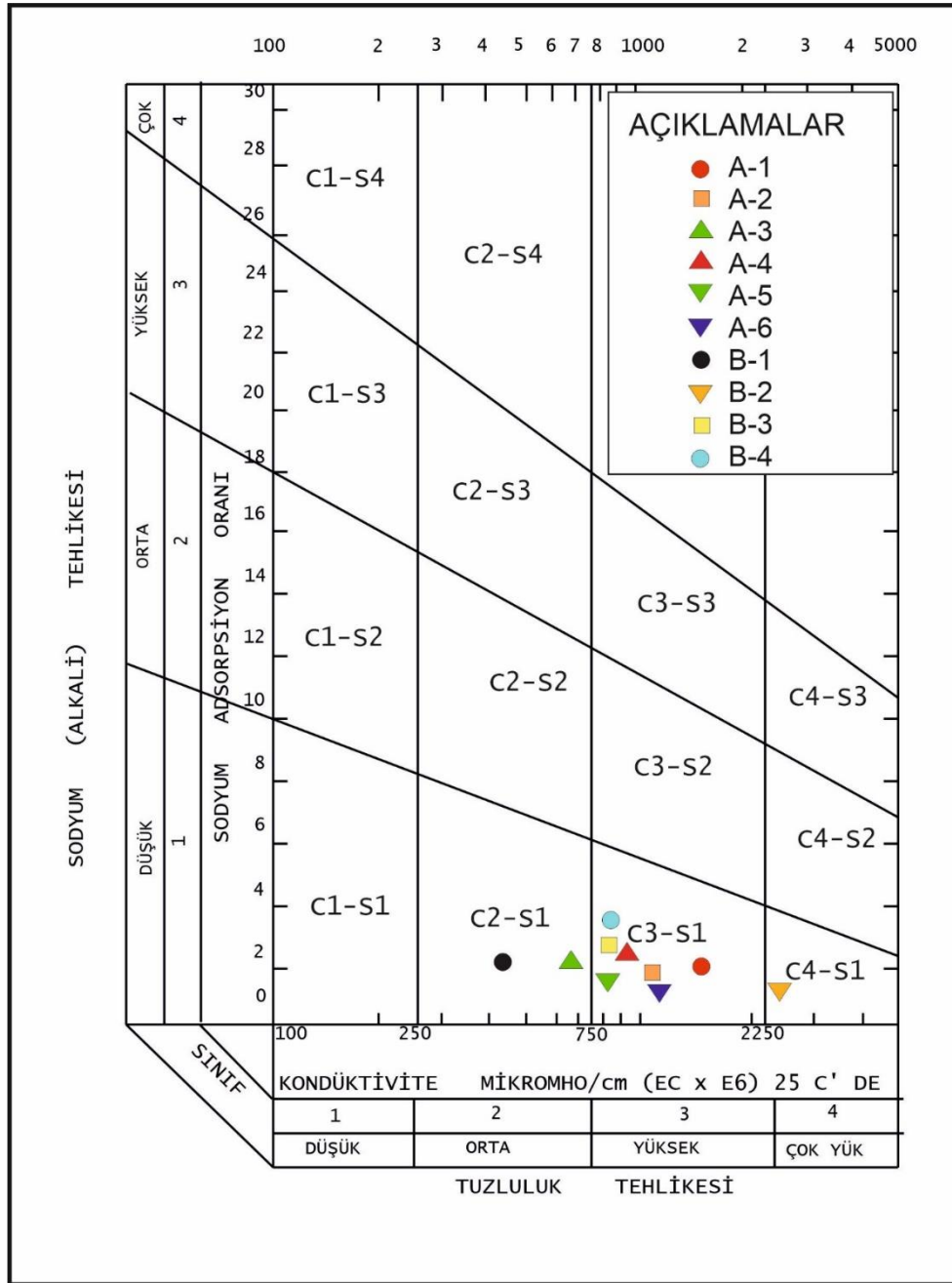
4.3.1. Suların Kullanım Ve Kalite Özellikleri (Usage and Quality Properties of Water)

Çalışma alanından alınan su örneklerinin kullanım özelliklerini değerlendirilmesinde öncelikle analiz sonuçları TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2008) tarafından belirtilen içme suyu limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, B2 nolu yüzeysuyu örneği Al, Fe, Mn, ve As bakımından; A1 nolu yeraltısuyu örneği Na, As ve NO_3 bakımından içme suyu limit değerlerin üzerindedir. Ayrıca, A3, A4, A5, B3, ve B4 nolu su örneklerinin As değerleri ve A3, A5, ve A6 nolu su örneklerinin NO_3 değerleri limit değerlerin üzerinde ölçülmüş olup içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. Su örneklerinin As konsantrasyonlarının dağılım haritası Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Su örneklerinin As dağılım haritası (As distribution map of water samples)

Suların sulamada kullanılabilirliğini belirleyebilmek için su örneklerinin Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ve EC değerleri kullanılarak ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 10). Çalışma bölgesinden alınan su numunelerinden B1 ve A3 nolu örnekler C2S1 sınıfında; B2 nolu su örneği C4S1 sınıfında olup, diğer numuneler ise C3S1 sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre sular genel olarak fazla tuzlu az sodyumlu sular özelliğindedir.

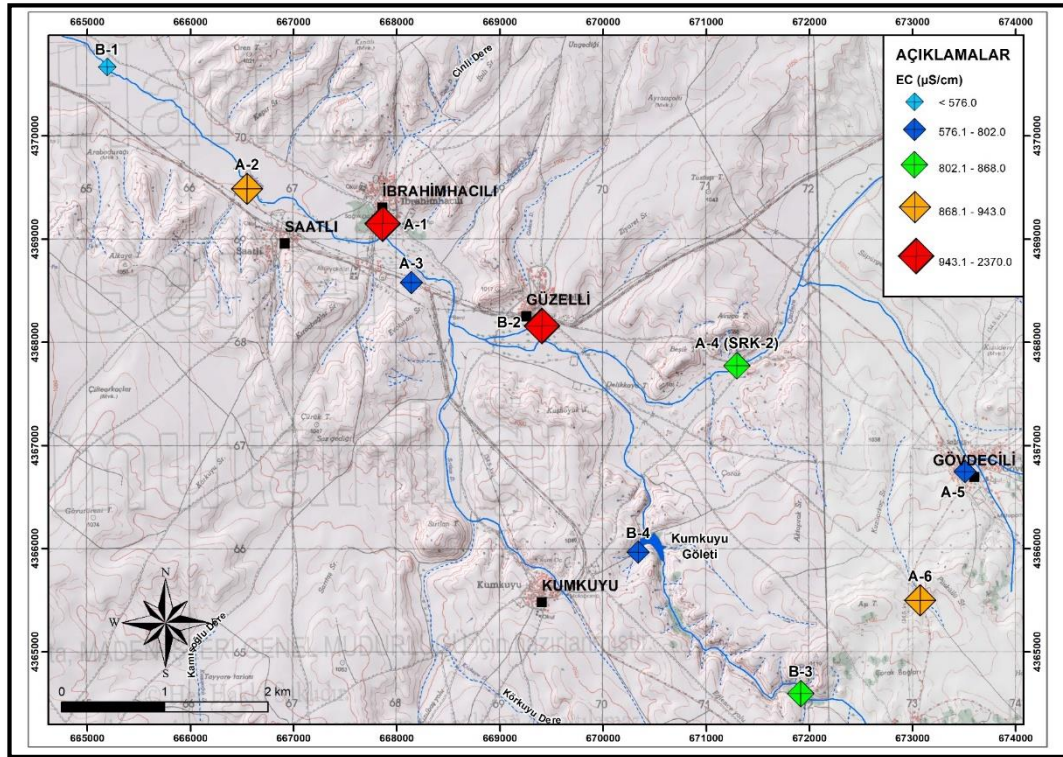


Şekil 10. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Salinity Laboratory Diagram)

Sulama sularının kalitesinin belirlenmesinde, suların içerisindeki çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonları dikkate alınarak sular özgül elektriksel iletkenliği (EC) açısından sınıflandırılmıştır. Suların toplam tuz içeriğine göre sınıflaması aşağıdaki Tablo 3'de verilmiştir. Su numunelerinin EC değerleri 576-2370 µmho/cm arasında değişmektedir. Buna göre su numunelerinden B1 ve A3 nolu örnekler "orta tuzlu sular" sınıfında; B2 nolu su örneği "çok yüksek tuzlu sular" sınıfında olup, diğer numuneler ise "yüksek tuzlu sular" sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlendirmeye göre sular genel olarak tuza dayanıklı bitki yetiştirmede kullanılabilir özelliktedir. Su örneklerinin EC konsantrasyonlarının dağılım haritası Şekil 11'de verilmiştir.

Tablo 3. Suların toplam tuz içeriğine göre sınıflaması (Classification of waters according to total salt content) (Ayers ve Westcot 1989)

Sınıf	EC	Açıklama
Düşük Tuzlu Sular	< 250	Sulamada kullanılmaya en uygun sular
Orta Tuzlu Sular	250-750	Yıkama ile sulamada kullanılabilir
Yüksek Tuzlu Sular	750-2250	Tuza dayanıklı bitki yetiştirmede kullanılabilir
Çok yüksek Tuzlu Sular	>2250	Sulamada kullanılamaz

**Şekil 11.** Su örneklerinin EC dağılım haritası (EC distribution map of water samples)

30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı resmi gazetede yayınlanan ve 10.8.2016 tarih ve 29797 sayılı resmi gazetede değişikliği yapılan "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" ne göre çalışma alanındaki yüzey suları EC bakımından II. ve III. su kalite sınıfında; NH_4 bakımından I. Su kalite sınıfında, NO_3 bakımından ise genel olarak I. ve II. su kalite sınıfında iken B4 nolu su örneği IV. Su kalite sınıfında yer almaktadır. Flor parametresi bakımından B3 ve B4 nolu su örnekleri I. Su kalite sınıfında, B2 nolu su örneği II. su kalite sınıfında, B1 nolu su örneği ise IV. Su kalite sınıfındadır. Mn parametresi bakımından B2 nolu su örneği III. su kalite sınıfında iken diğer tüm örnekler I. Su kalite sınıfındadır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından Alüvyon birim Akifer-1, Bozçaldağ kireçtaşı, Dulkadirli kireçtaşı üyesi ve Kozaklı kireçtaşı üyesi Erimeli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi özelliğinde olup Akifer-2, Alımpınar volkanit üyesi ve Kızılırmak formasyonu akitard, Gümüşler formasyonu ve Kalkanlıdağ formasyonu ise akifüj ortam olarak ayırtlanmıştır. Bölgede yeraltı suyu derinlikleri 3,22 m ile 20 m arasında değişmektedir. Yeraltı suyu derinliklerine bağlı olarak hesaplanan yeraltı suyu seviye değerleri 945,25 m ile 1045,05 m arasında olup yeraltı suyu akımı güneydoğudan kuzeybatıya doğrudur. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı suyu örnekleri Na-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tip sular fasiyesinde yer almaktadırlar. Su örneklerinin bir kısmında su kimyasını kontrol eden ana mekanizma, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğu görülmektedir. Bazı su örnekleri ise su tipinin şekillenmesinde "yağış sularının etkin olduğu suların evaporasyonu" ve "evaporasyon-kristalizasyon" bölgelerine düşmektedir. TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2008) tarafından belirtilen içme suyu limit değerlerine göre, B2 nolu yüzey suyu örneği Al, Fe, Mn, ve As bakımından; A1 nolu yeraltı suyu örneği Na, As ve NO_3 bakımından içme

suju limit değerlerin üzerindedir. Ayrıca A3, A4, A5, B3, ve B4 nolu su örneklerinin As değerleri ve A3, A5, ve A6 nolu su örneklerinin NO₃ değerleri limit değerlerin üzerinde ölçülmüş olup içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. Ayrıca sular genel olarak tuza dayanıklı bitki yetiştirmede kullanılabilir özelliktedir.

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 Assessment, 176-183.
- Akın, A. 2016. Yozgat İlinin Jeotermal Kaynakları ve Özellikleri. Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 37: 100-112.
- Amini, M., Mueller, K., Abbaspour, K.C., Rosenberg, T., Afyuni, M., Moller, K.N., Sarr, M., Johnson, C.A. 2008. Statistical modelling of global geogenic fluoride contamination in groundwater, Environmental Science Technology, Vol. 42: 3667-3668.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1989. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage, 29 Rev. 1, ISBN 92-5-102263-1.
- Babiker S.I., Mohamed A.A. & Mohamed T.H. 2007. Assessing groundwater quality using GIS. Water Resources Management, 21: 699-715.
- Birgili, A.Z., Yoldaş, R., Ünalın, G. 1975. Çankırı-Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No:562, Ankara (yayınlanmamış)
- Göncüoğlu, M.C. 1977. Geologic des Westhichen Niğde massivs, Bonn University, Doktora Tezi, 181.
- Hem, J.D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 3rd edn. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 2254: 263
- Kara, H., Dönmez, M. 1990. 1/100,000 Ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kırşehir-G17 paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Kara, H. 1991. 1/100,000 Ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kırşehir-G18 paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Kara, H. 1997. 1/100,000 Ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Yozgat-G19 paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Kervankıran, İ., Kılıç, M. 2014. Yozgat İli'nde Jeotermal Kaynakların Kullanımı ve Turizm Açısından Önemi. Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi, Muğla.
- Kolay, E., Koçak, İ., Temiz, U. 2017. Jeotermal sahalarda karşılaşılan sorunlara Yozgat'tan örnekler. II. Uluslararası Bozok Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 04-06 MAYIS 2017, 51.
- Kumar, M., Kumari, K., Singh, U.K., Ramanathan, A.L. 2009. Hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Muktsar, Punjab: conventional graphical and multivariate statistical approach. Environ Geol 57:873-884.
- Piper, A.M. 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, American Geophysical Union Transactions 25: 914-923.
- Seymen, İ. 1982. Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Doçentlik Tezi, 164s, İstanbul (yayınlanmamış)
- Su, C., Wang, Y., Pan, Y. 2013. Hydrogeochemical and isotopic evidences of the groundwater regime in Datong Basin, Northern China. Environmental Earth Sciences, 70(2): 877-885.
- Subramani, T., Elango, L., Damodarasamy, S.R. 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. Environ Geol 47:1099-1110
- 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(1-4): 123-137.
- Şahinci, A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, 548 s, İzmir.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A. 2017. Assessment of groundwater quality and health risk in drinking water basin using GIS. Journal of Water and Health, 15(1): 112-132.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, 2012. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı resmi gazete, (Değişik: RG-10/8/2016-29797), Ankara
- TS-266, 2005. Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, 25 s, Ankara.
- WHO 2008. World Health Organisation Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition Incorporating The First and Second Addenda, WHO Publication, Geneva, 668 p. 2008.
- WHO 2011. Guidelines for Drinking Water Quality, 4th ed., World Health Organisation, Geneva.
- Varol, S., Davraz, A. 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). Environmental Earth Sciences, 73: 1725-1744.