



ALANYA (ANTALYA) ALT HAVZASI YERALTISULARININ HİDRO-KİMYASI VE KULLANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Arzu ER^{1*}, Şehnaz ŞENER²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Alanya,
Hidrojeoloji,
Hidro-kimya,
Yeraltısuyu,
Su Kalitesi.

Öz

Bu çalışmada, Alanya alt havzasında yüzeyleyen jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri ile yeraltısuyu dinamiğinin yanısıra yeraltısularının hidro-kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanında Paleozoyik-Kuvaterner zaman aralığında farklı yaş ve litolojiye sahip kaya birimleri yüzeylenmektedir. Bu birimler hidrojeolojik olarak sınıflandırıldığında çalışma alanında taneli ortam akiferi ve karstik akifer birimlerin bulunduğu gözlenmektedir. Havzada Nisan (2021) döneminde yapılan yeraltısuyu seviye ölçümlerine göre yeraltısuyu derinlikleri 0.00-146.71 m arasında değişmekte olup taneli ortam akiferindeki yeraltısuyu akım yönü Akdeniz'e doğrudur. Çalışma alanındaki yeraltısularının hidro-kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla havza içerisindeki sondaj kuyularından yeraltısuyu örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, yeraltısularının Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve CaSO₄+HCO₃ su tipinde olduğu görülmektedir. Kullanım özellikleri bakımından değerlendirildiğinde yeraltısuları içme suyu olarak kullanılabilir özelliktedir. Sulama suyu olarak kullanımda ise Wilcox (1955) diyagramına göre; S-2 ve S-7 nolu örnekler "iyi-kullanılabilir", diğer tüm örnekler "Çok iyi-iyi" su sınıfındadır. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre ise S-2, S-4 ve S-7 nolu su örnekleri C3S1 (Yüksek tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfında, diğer su örnekleri ise C2S1 (orta tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfındadır.

HYDRO-CHEMISTRY OF GROUNDWATER IN ALANYA (ANTALYA) SUB-BASIN AND INVESTIGATING USAGE CHARACTERISTICS

Keywords

Alanya,
Hydrogeology,
Hydro-chemistry,
Groundwater,
Water Quality.

Abstract

In this study, hydrogeological properties and groundwater dynamics of the geological units surfacing in the Alanya sub-basin as well as the hydro-chemical properties of groundwater were investigated. In the study area, rock units with different ages and lithologies in the Palaeozoic-Quaternary time interval are surfaced. It is observed that there are porous aquifer and karstic aquifer units in the study area. According to the measurements made in April (2021), groundwater depths vary between 0.00 and 146.71 m, groundwater flow direction is towards the Mediterranean Sea. In order to determine the hydro-chemical properties of the groundwater, groundwater samples were taken from boreholes and chemical analyses were performed. It is seen that the groundwaters are Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and CaSO₄+HCO₃ water types. When evaluated in terms of usage characteristics, groundwater can be used as drinking water. According to Wilcox (1955) diagram, samples S-2 and S-7 are in "good-usable" water class and all other samples are in "very good-good" water class. According to the US salinity laboratory diagram, water samples S-2, S-4 and S-7 are in C3S1 (high salty-low sodium) water class and the other water samples are in C2S1 (medium salty-low sodium) water class.

Alıntı / Cite

Er, A., Şener, Ş., (2023). Alanya (Antalya) Alt Havzasının Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Hidro-kimyasal İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1607-1623.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Er, 0000-0002-4749-7603
Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.11.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.12.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.12.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

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

HYDRO-CHEMISTRY OF GROUNDWATER IN ALANYA (ANTALYA) SUB-BASIN AND INVESTIGATING USAGE CHARACTERISTICS

Arzu ER¹, Şehnaz ŞENER²

¹ Süleyman Demirel University, Institute of Science and Technology, Department of Geological Engineering, Isparta, Turkey

² Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Isparta, Turkey

Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

- Groundwater is used as drinking and irrigation in the Alanya sub-basin.
 - Groundwater depths in the basin vary between 0.00-146.71 m.
 - The dominant water types are Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and CaSO₄+HCO₃.
 - Groundwater is suitable for use as drinking and irrigation water.
-

Purpose and Scope

In this study, it is aimed to evaluate the geological and hydrogeological characteristics of the Alanya Sub-basin in the Mediterranean Region and to reveal the current hydro-chemical properties and utilization conditions of the groundwater in the study area by using different diagrams.

Design/methodology/approach

The 1/100.000 scale geological map of the study area was prepared by examining the previous geological studies in the region in detail and making use of field observations. Geological units were evaluated according to their hydrogeological properties, hydrogeological map was prepared and aquifer units in the area were defined. Determination of the groundwater level and flow direction of the study area static level measurements were made in the boreholes drilled by SHW in April 2021 and groundwater level map was prepared. Water samples were taken from 9 different locations in the study area during April (2021) to determine the chemical properties of groundwater (DSİ, 2022). Polyethylene bottles with sealed lids were used for water sampling. Temperature (T), electrical conductivity (EC) and hydrogen ion concentration (pH) values of the samples were measured in situ using HAC multiparameter device. General chemical properties were evaluated and interpreted using Schoeller (1955), Piper (1944), Wilcox (1955) and US salinity (Richards, 1954) diagrams.

Findings

Rock units with different ages and lithologies in the Palaeozoic-Quaternary time interval are observed in the study area. When these units are classified hydrogeological, it is observed that there are granular media aquifer and karstic aquifer units in the study area. According to the groundwater level measurements made in the basin in April (2021), groundwater depths vary between 0.00-146.71 m and the groundwater flow direction in the granular media aquifer is towards the Mediterranean Sea. In order to determine the hydro-chemical properties of the groundwater in the study area, groundwater samples were taken from boreholes in the basin and chemical analyses were performed. When the results obtained are evaluated, it is seen that the groundwaters are Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and CaSO₄+HCO₃ water types. When evaluated in terms of usage characteristics, groundwater can be used as drinking water. According to Wilcox (1955) diagram, samples S-2 and S-7 are in "good-usable" water class and all other samples are in "very good-good" water class. According to the US salinity (Richards, 1954) diagram, water samples S-2, S-4 and S-7 are in the C3S1 (high saline-low sodium) water class, while the other water samples are in the C2S1 (medium saline-low sodium) water class.

Practical implications (if applicable)

The hydro-chemical properties, water quality and utilization characteristics of groundwater in the study area, which is one of the important sub-basins of the Antalya Basin, were revealed in this study. All these data obtained will be useful for the sustainable management of water resources and proper utilization planning in the study area.

Social Implications (if applicable)

The fact that the groundwater in the study area is potable especially in terms of quality and chemical properties is a very important gain for the people of the region.

Originality

According to the literature searches, there is no study on the hydrogeological characteristics, groundwater dynamics, hydro-chemical properties of groundwater, and usage characteristics of groundwater as drinking and irrigation water in Alanya sub-basin. This situation shows that this study is an important study that will be of great benefit in the planning of the protection and utilization of the water resources of the region.

1. Giriş (Introduction)

Su, biyolojik yaşamın temel taşı olarak kabul edilir ve canlı organizmaların yaşamını sürdürebilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Mikroorganizmalardan en karmaşık canlı varlıklara kadar, su, biyolojik süreçlerin gerçekleşmesi ve sürdürülmesi için gereklidir. Aynı zamanda, su, insan faaliyetlerini destekleyen temel bir kaynaktır. Ancak, dünya genelindeki su kaynakları değerlendirildiğinde, kullanılabilir su miktarının sınırlı olduğu görülmektedir. Dünya genelindeki toplam su miktarı yaklaşık 1,36 milyar km³'tür. Bu miktarın büyük bir çoğunluğu, % 97.5'i tuzlu su olarak bilinirken, sadece %2,5'i tatlı sudur (Shiklomanov vd., 2003). Bu durum, su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği, küresel ölçekte suyun etkili bir biçimde kullanılmasını ve korunmasını içeren stratejik önem taşımaktadır. Bu bağlamda, suyun dengeli bir şekilde yönetilmesi, suyun kalitesinin korunması ve su kaynaklarının verimli kullanılması, hem ekosistemlerin hem de insan topluluklarının sağlığı için kritik bir konudur. Bu nedenle, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, küresel düzeyde önemli bir öncelik haline gelmiştir. Yeraltı suları ise özellikle de kurak ve yarı kurak bölgelerde birincil tatlı su kaynağıdır (Dehbandi vd., 2019). Yeraltı suyunun evsel, endüstriyel ve tarımsal amaçlar için bir su kaynağı olarak önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bununla birlikte, hem doğal olaylar hem de insan faaliyetleri nedeniyle yeraltı suyu kalitesi ve miktarı su ihtiyaçlarını karşılayamaz duruma gelmektedir (Morris vd., 2003; Khan vd., 2020). Tuzlu yeraltı suyu sorunu ise özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde küresel ölçekte önemli bir sorundur (Lapworth vd. 2017; Wang vd., 2012).

Ülkemizin yeraltı suyu kaynakları, özellikle alüvyonlu ova akiferleri ve karbonatlı kayaç akiferleri olmak üzere iki temel tipe odaklanmaktadır. Alüvyonlu ova akiferleri, genellikle düşük verimli olup tuzlanma riski ile karşı karşıyadır, özellikle kıyı bölgelerinde bulunmaktadır. Ancak, tektonik etkilerin belirgin olduğu fay hatlarına sahip havzalardaki alüvyonlu ova akiferleri, yüksek verimlilik göstermektedir. Ülkemizin yaklaşık üçte birini oluşturan karstik alanlar, yeraltı suyu kaynakları açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu alanlarda yüksek karstlaşma, yeraltı sularının birikmesine ve akiferlerin oluşmasına olanak tanır. Özellikle içme suyu ihtiyacını karşılamada güvenilir bir kaynak olarak kabul edilen yeraltı sularının miktarı ve kullanım özellikleri, birçok araştırmacının odaklandığı bir çalışma konusunu oluşturmaktadır (Ekmekçi vd., 2003; Bozdağ 2017). Bu bağlamda, yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve korunması, hem alüvyonlu ova akiferlerindeki tuzlanma tehdidiyle mücadele edilmesini hem de karstik alanlardaki zengin su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını içermelidir. Bu, su kaynaklarının dengeli bir şekilde yönetilmesi ve gelecek nesillere aktarılabilir durumda kalması için önemli bir adımdır (Koçbay 1997; Davraz ve Ünver, 2014; Arslan ve Demir, 2011; Demer ve Hepdeniz, 2018; Şener vd., 2021a, Şener vd., 2021b; Şener vd., 2022). Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesinde bulunan Alanya alt havzasının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanındaki yeraltı sularının mevcut durumdaki hidro-kimyasal özelliklerinin ve kullanım koşullarının farklı diyagramlar kullanılarak ortaya koyulması amaçlanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Çalışma alanı olarak seçilen Alanya alt havzası Antalya havzasının doğusunda yer almaktadır. Yılmaz ve Kaymak (2018) tarafından yapılan çalışmada Dim Çayı havzasının jeomorfolojik özellikleri incelenmiştir. Alanya alt havzası içerisinde akışını sürdüren Dim Çayı, Yağmurhacı Tepe yamaçlarından kaynağını alarak güneybatı yönünde akış göstermekte ve Alanya'nın Tosmur ve Kestel beldeleri civarında denize dökülmektedir. Dim Çayı havzasındaki morfolojik unsurların evriminde, sadece tektonik faaliyetlerin değil aynı zamanda flüvyal etkilerin de belirgin bir rol oynadığı gözlemlenmektedir. Bu etkenlerin yanı sıra, sahada meydana gelen karstlaşma olayları da oldukça yoğundur. Çözünme olaylarına bağlı olarak oluşum gösteren karstik birimler bazı bölgelerde karst topoğrafyasının belirgin bir şekilde gelişmesine neden olmaktadır. Havzadaki temel morfolojik birimler arasında dağlık alanlar, tepelik bölgeler, aşınım yüzeyleri, vadiler ve boğazlar, yamaç döküntüleri, asılı vadiler ve karstik oluşumlar (lapyta, dolin, mağara vb.) bulunmaktadır. Alanya yerleşim merkezinin kuzey-kuzeydoğusunda bulunmakta olan Oba çayı alt havzasının hidrojeolojik özellikleri Şener ve Şener (2023) tarafından incelenmiştir. Çalışma kapsamında Oba çayından ve üç farklı sondaj kuyusundan alınan yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin kimyasal analizleri gerçekleştirilerek suların hidro-kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, su örneklerinin tamamı Ca-HCO₃ bileşenli sular sınıfında yer almakta olup içme ve sulama suyu olarak kullanılabilir niteliktedir. Yeraltı sularının EC değerleri, yüzey sularına kıyasla belirgin bir şekilde yüksek ölçülmüştür.

Yapılan literatür araştırmalarına göre Alanya alt havzası özelinde hidrojeolojik özellikleri, yeraltı suyu dinamiği, yeraltı sularının hidro-kimyasal özellikleri, içme ve sulama suyu olarak kullanım özelliklerine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu durum, yapılan çalışmanın bölge su kaynaklarının koruma ve kullanım planlamalarının yapılması aşamasında büyük fayda sağlayacak önemli bir çalışma olduğunu göstermektedir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (The Study Area)

Çalışma alanı, Antalya ilinin yaklaşık 154 km güneydoğusunda bulunan Alanya ilçesi ve çevresinde, yaklaşık 411 km²lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı Akdeniz Bölgesi'nin önemli ilçelerinden olup, 1/25 000 ölçekli Alanya O27-c3, Alanya O28-ca, c3, c4, d1, d2, d3 ve d4, Alanya P28-a1, P28-a2 no.lu paftaları içerisinde yer almaktadır. Alanya ilçesine bağlı 102 mahalle bulunmakta olup toplam nüfusu 2022 yılına göre 364 180 kişidir (TÜİK, 2022). Alanya'nın ülke turizminde oldukça büyük bir payı vardır. Bölgenin geçim kaynakları arasında seracılık ve narenciye üretimi bulunmaktadır. Çalışma alanında Akdeniz İklimi hakimdir. Kışın yağış çok fazla iken yazları sıcak ve yağışsız geçmektedir. Alara Çayı, Kargı Çayı, Oba Çayı, Dim Çayı ve Karpuz Çayı çalışma alanının en önemli akarsularıdır.

3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

Çalışma alanının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası, önceki jeolojik çalışmaların ayrıntılı bir incelenmesi ve saha gözlemleri temel alınarak oluşturulmuştur. Bu harita, bölgenin jeolojik yapısını detaylı bir şekilde göstererek, arazide bulunan farklı jeolojik birimleri tanımlamaktadır. Hidrojeolojik özelliklere dayanarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, çalışma alanında yer alan akifer birimleri belirlenmiş ve bu birimlerin özellikleri saptanmıştır. Hidrojeoloji haritası, suyun yeraltındaki hareketini ve depolanmasını etkileyen jeolojik özellikleri vurgulamaktadır. Çalışma alanında yeraltı suyu seviyesi ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla, Nisan 2021'de Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından açılmış olan sondaj kuyularında statik seviye ölçümleri yapılmış ve bu veriler kullanılarak yeraltı suyu seviye haritası oluşturulmuştur. Ayrıca, çalışma alanındaki 9 farklı lokasyondan Nisan 2021'de su örnekleri alınmıştır. Su örnekleri alınırken sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılarak örneklerin kalitesi korunmuştur. Alınan su örneklerinin sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri, HAC multiparameter ölçüm cihazı kullanılarak yerinde ölçülmüştür. Laboratuvar analiz sonuçlarından elde edilen veriler, yeraltı sularının iyon özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Genel kimyasal özellikler değerlendirilmiş ve Schoeller (1955), Piper (1944), Wilcox (1955) ve ABD tuzluluk (Richards, 1954) diyagramları kullanılarak elde edilen veriler yorumlanmıştır.



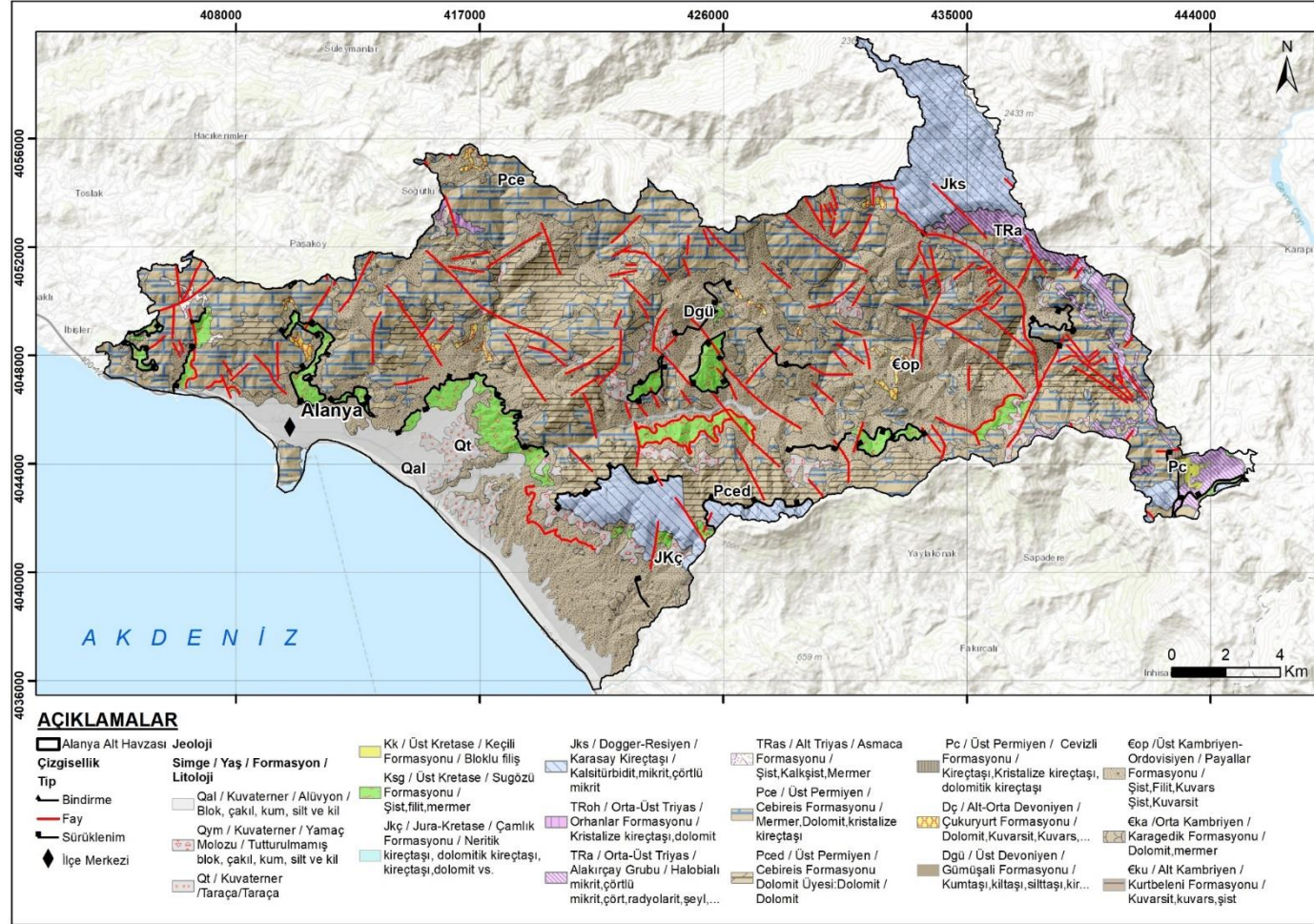
Şekil 1. Çalışma Alanının Yerbulduru Haritası (Location Map Of The Study Area)

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi (Geology Of The Study Area)

Çalışma alanının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası arazi ve literatür çalışmaları sonucunda hazırlanmış ve Şekil 2'de sunulmuştur. Çalışma alanında Prekambriyen'den günümüze kadar farklı zaman dilimlerinde oluşmuş birçok kaya birimi yüzeylenmektedir. Çalışma alanının temelini Kambriyen yaşlı birimler oluşturmaktadır. Çalışma alanında Alanya-Yeniköy, Payallar, Soğukpınar, Demirtaş yerleşim yerlerinde gözlemlenen Alt Kambriyen yaşlı Kurtbeleni Formasyonu (Éku) orta-kalın tabakalı, beyaz, kirli beyaz, kırmızı kahve, sarımsı kahve, siyah renkli, yer yer yeşilimsi renkli, yapraklanmalı kuvars şist ara seviyeli kuvarsitlerden oluşmaktadır ve yaklaşık 150-300 m. kalınlık sunmaktadır (Usta ve Öztürk, 2000). Usta ve Öztürk (2000) tarafından çalışılan Karagedik Formasyonu (Éka), çalışma alanında Alanya-Yeniköy, Payallar, Türkteş, Kargıcak, Seki, Kocaoğlanlı ve Sapadere'de gözlemlenmektedir. Orta Kambriyen yaşlı, yaklaşık 250 metre kalınlık sunan birim, genellikle gri, kirli sarı, kahve renkli, masif görünümlü, kalın tabakalı, erime boşluklu yer yer silis yumrulu dolomitlerden oluşmaktadır (Usta ve Öztürk, 2000). Kurtbeleni Formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunan Karagedik Formasyonu, üstte Payallar Formasyonu tarafından geçişli olarak örtülmektedir (Şenel vd.,2016).

Payallar Formasyonu (ÉOp) çalışma alanında özellikle Alanya-Kargıcak, Payallar, Gümüşkavak, Konaklı civarında geniş alanlarda yüzlek vermektedir. Birim, kuvarsit, yumrulu kireçtaşı, mermer dolomit ara katkılı düşük derecede metamorfizma geçirmiş şistlerden oluşmaktadır (Öztürk vd., 1995). Üst Kambriyen-Ordovisyen yaşlı birim, yeşil, gri, yeşilimsi gri, koyu yeşil, nefti yeşil, sarımsı gri, sarımsı kahve, siyahımsı gri, kurşuni gri, mavimsi vb. renklerde klorit şist ve kuvarşistlerden oluşmaktadır ve 1000 m. kalınlık göstermektedir (Şenel vd., 2016). Çalışma alanında özellikle Alanya-Uğurlu, Dereköy, Değirmendere, Türkbaş civarında, geniş alanlarda yüzlek veren Alt Devoniyen yaşlı Çukuryurt Formasyonu (Dç), orta-kalın, yersel ince tabakalı, gri, kirli beyaz, yeşilimsi gri, kirli sarı, kırmızımsı kahve vb. renklerde kuvarşist, kuvarsit ve kuvars-klorit şistlerden oluşmaktadır (Öztürk vd., 1995). Özgül (1983) tarafından adlandırılan Cebireis Formasyonu (Pce) çalışma alanında Alanya-Demirtaş ve Beldibi'nde yüzlek vermektedir (Şekil-2). Üst Permiyen yaşlı formasyon, genellikle dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşmaktadır (Özgül, 1983). Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi (Pced), çalışma alanında Oba Alacami, Uzunöz, Bucaköy, Çıplaklı ve Değirmendere yerleşim yerlerinde yüzeylenmektedir (Şekil-2). Birim, masif, kalın tabakalı, gri, koyu gri, kirli sarı, ince-orta, yersel kristalli, kırıklı, dağılgan dolomitlerle temsil edilmektedir ve yersel dolomitik-kristalize kireçtaşı seviyeleri görülebilmektedir. Birim, yaklaşık 250 metre kalınlık göstermekte olup Üst Permiyen yaşlıdır (Şenel vd.,2016). Çalışma alanında Alanya'nın doğusunda Çamlıalan ve Badem köyleri arasında dar bir alanda yüzeylenen Cevizli Formasyonu (Pc) Alt Permiyen yaşlıdır (Şekil-1). Kireçtaşı, onkoidli kireçtaşı, kuvarsit vb. kaya türlerinden oluşan formasyon yer yer bol brakiyapod, krinoid ve fusulinlidir (Monod, 1977). Demirtaşlı (1967) tarafından adlandırılan Üst Devoniyen yaşlı Gümüşali Formasyonu (Dgü), kumtaşı, kireçtaşı, kuvarsit ve dolomit ara seviyeli şeyllerden oluşmaktadır (Şenel vd., 2016). Alt Triyas yaşlı Asmaca Formasyonu (TRas), klorit-serizit şist, kloritoyid şist ve kalkşistlerden oluşmaktadır ve 200 metre kalınlık sunmaktadır (Özgül, 1983). Cebireis Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunan Asmaca Formasyonu, üstte Orhanlar Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şenel vd.,2016). Alakırçay Grubu, çalışma alanında, Alanya-Alacami civarında geniş alanlarda yüzeylenmektedir (Şekil-2). Orta-Üst Triyas yaşlı formasyon, bitkili kumtaşı, şeyl, yastık yapılı spilit, spilitleşmiş bazalt, radyolarit, çört ve Halobia'lı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şenel vd., 1981). Orhanlar Formasyonu (TRoh), Alanya'nın kuzeyinde yer alan Dereköy civarında yüzeylenmektedir (Şekil-2). Orta Triyas yaşlı Orhanlar Formasyonu, gri, koyu gri, sarımsı gri, açık gri, bej, mavimsi gri vb. renklerde, masif, orta-kalın tabakalı, sık çatlaklı, yer yer dağılgan, bazen erime boşluklu dolomitlerden oluşmaktadır (Usta ve Öztürk, 2000). Jura-Kretase yaşlı Karasay Kireçtaşı (Jks) Alanya'nın doğusunda Gözüküçüklü ve Alacami köyünün kuzeyinde geniş alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil-2). Birim, başlıca Jura-Kretase yaşlı çörtlü kireçtaşı ara seviyeli breşik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Karasay kireçtaşı, orta-kalın tabakalı, gri, koyu gri, kahverengimsi gri renkli, alg, mercan ve bryozoalı, ince şeyl ve kumlu kireçtaşı ara seviyeli breşik ve konglomeratik kireçtaşları ile başlamaktadır (Şenel vd.,2016). Sığ karbonat self ortamında çökelen Jura-Kretase yaşlı Çamlık Formasyonu (JKç), altta masif ve kalın tabakalı, gri, koyu gri, açık gri, bej, sarımsı kahve, yer yer siyahımsı gri renkli dolomitlerle başlamaktadır (Şenel, 1977b). Birim üstte orta-kalın tabakalı, bej, krem, açık gri, gri, kirli sarı vb. renkli rudistli kireçtaşları ile sonlanmaktadır (Şenel vd., 2016). Sugözü Formasyonu (Ksg) çalışma alanında, Dereköy, Çıplaklı, Tırılar, Gözüküçüklü ve Kuzyaka'da gözlenmektedir (Şekil-2). Özgül (1983) tarafından adlandırılan Üst Kretase yaşlı birimin egemen kaya türünü yeşil, kirli sarı, gri, yeşilimsi gri, açık kahve, mavimsi gri, kurşuni, kırmızı kahve vb. renklerde, ince-orta-kaba yapraklanmalı granatlı mikasistler oluşturur (Şenel vd.,2016). Üst Kretase yaşlı Keçili Formasyonu (Kk), yeşil, yeşilimsi gri, koyu gri, yeşilimsi kahve, gri, sarımsı kahve vb. renklerde, ince-orta-kalın tabakalı, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve konglomeralardan oluşmaktadır (Şenel vd., 1981).



Şekil 2. Çalışma Alanının Jeoloji Haritası (Geological Map Of The Study Area)

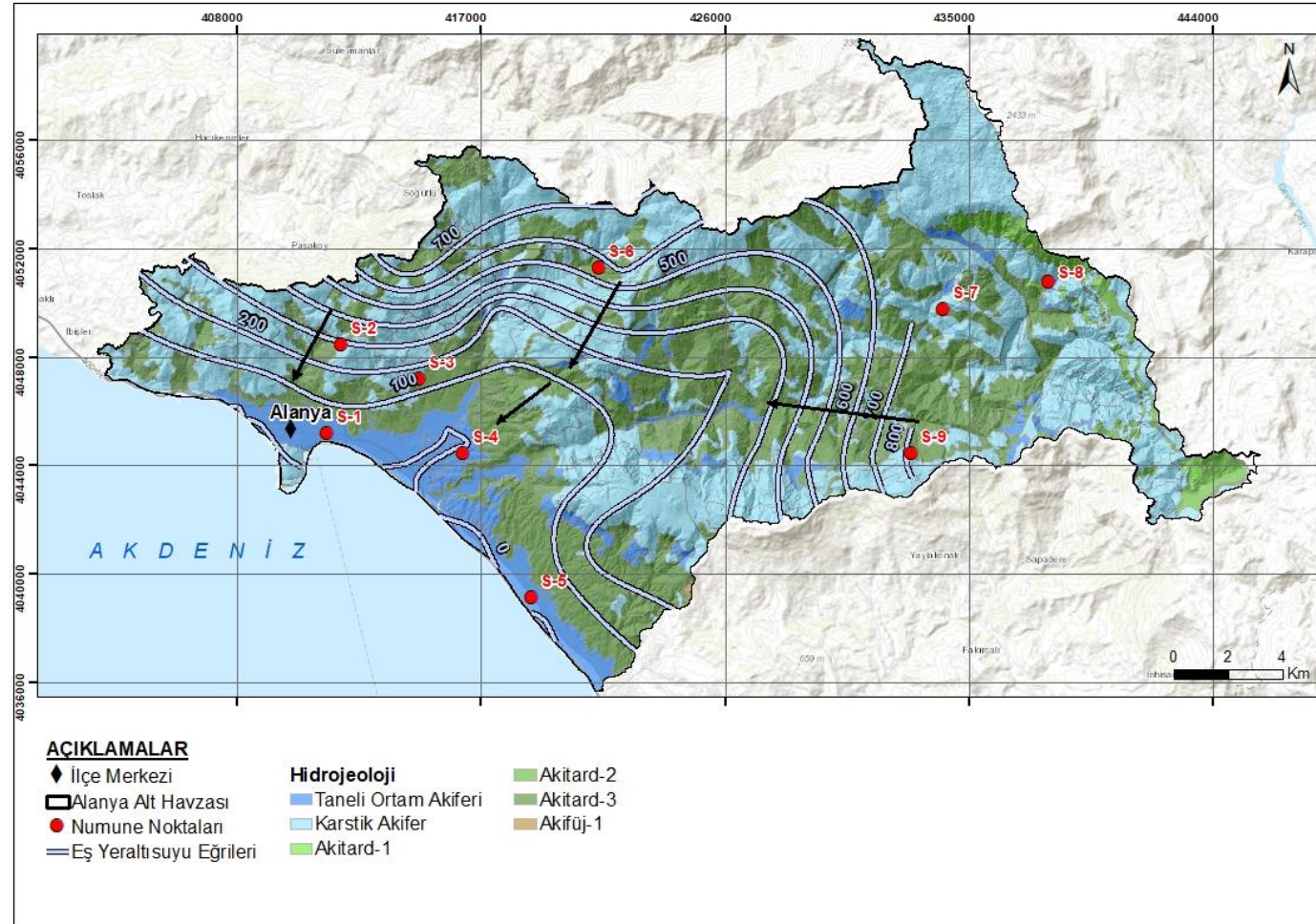
Kuvaterner yaşlı taraça (Qt) birimi, Alanya'nın doğusunda Kestel'in kuzeyinde, Çıplaklı'nın güneyinde dar bir alanda yüzeylenmektedir (Şekil-2). Pleyistosen yaşlı birim, tutturulmuş konglomera ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Taraça birimi, Blumenthal (1951) tarafından tanımlanan Belkis konglomerasının karşılığıdır (Şenel vd.,2016). Kuvaterner yaşlı yamaç molozu (Qym), genellikle yamaç eteklerinde bulunan, çevre kayaç parçalarını içeren, yer yer tutturulmuş, çoğunlukla da tutturulmamış güncel çökellerdir (Şekil 2). Alüvyon (Qal) birimi, nehir yataklarında ve taşkın düzlüklerinde kum, çakıl, blok, kil ve siltten oluşan güncel çökellerden oluşmaktadır. (Şekil-2).

4.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi Ve Yeraltısu Dinamiği (Hydrogeology And Groundwater Dynamics Of The Study Area)

Araştırma bölgesindeki litolojik birimler, geçirgenlik özelliklerine göre değerlendirilerek sınıflandırılmış ve bölgenin hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur (Şekil 3). Çalışma alanındaki jeolojik birimler, fiziksel ve hidrojeolojik özellikleriyle akifer potansiyeli açısından altı farklı grupta incelenmiştir: Taneli Ortam Akiferi, Karstik Akifer, Akitard-1, Akitard-2, Akitard-3 ve Akifüj-1. Bu gruplar, çalışma alanında yeraltısuyunun hareketi, depolanması ve çıkarılmasını etkileyen temel faktörler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Detaylar Tablo 1'de sunulmuştur. Karagedik Formasyonu, Cevizli Formasyonu, Cebireis Formasyonu, Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi, Orhanlar Formasyonu, Karasay Kireçtaşı, Çamlık Formasyonu "Karstik Akifer", Gümüşali Formasyonu ve Keçili Formasyonu "Akitard-1", Alakırçay Grubu "Akitard-2", Payallar Formasyonu, Çukuryurt Formasyonu, Asmaca Formasyonu ve Sugözü Formasyonu "Akitard-3", taraça (Qt) birimi, yamaç molozu (Qym) ve alüvyon (Qal) birimi "taneli ortam akiferi" olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Çalışma alanında yeraltısu derinlikleri 0.00-146.71 m. arasında, seviyesi ise -11.15 ile 1286.55 m. arasında değişmektedir. Yeraltısu akım yönü Akdeniz'e doğru olup yeraltısu hareketi hidrolojik eğim ile uyumludur (Şekil 4).

Tablo 1. Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Sınıflaması (Hydrogeological Classification Of Lithological Units)

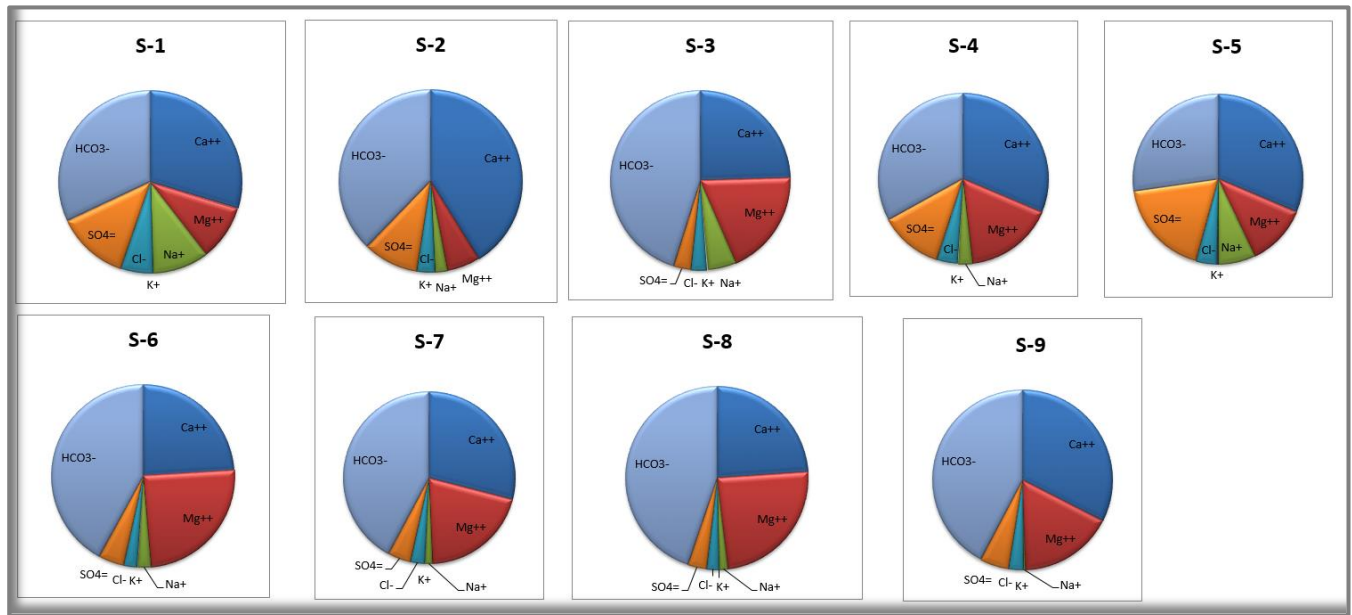
Yaşı	Formasyon Adı	Litoloji	Hidrojeolojik Sınıflama
Kuvaterner	Alüvyon, Yamaç Molozu, Taraça	Tutturulmamış çakıl, kum, kil, silt	Taneli Ortam Akiferi
Üst Kretase	Keçili Formasyonu	Bloklı Fliş	Akitard-1
Üst Kretase	Sugözü Formasyonu	Şist, Fillit, Mermer	Akitard-3
Jura-Kretase	Çamlık Formasyonu	Neritik Kireçtaşı, Dolomitik Kireçtaşı, Kireçtaşı, Dolomit.	Karstik Akifer
Dogger-Resiyen	Karasay Kireçtaşı	Kireçtaşı	Karstik Akifer
Orta-Üst Triyas	Orhanlar Formasyonu	Kristalize Kireçtaşı, Dolomit	Karstik Akifer
Orta-Üst Triyas	Alakırçay Grubu	Mikrit,Çört, Radyolarit, Şeyl	Akitard-2
Alt Triyas	Asmaca Formasyonu	Şist, Kalkşist, Mermer	Akitard-3
Üst Permiyen	Cebireis Formasyonu	Mermer, Dolomit, Kristalize Kireçtaşı	Karstik Akifer
	Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi	Dolomit	Karstik Akifer
Üst Permiyen	Cevizli Formasyonu	Kireçtaşı, Kristalize Kireçtaşı, Dolomitik Kireçtaşı	Karstik Akifer
Alt-Orta Devoniyen	Çukuryurt Formasyonu	Dolomit, kuvarsit	Akitard-3
Üst Devoniyen	Gümüşali Formasyonu	Kumtaşı, Kiltası, Siltaşı	Akitard-1
Üst Kambriyen-Ordovisyen	Payallar Formasyonu	Şist, Fillit, Kuvars, Şist, Kuvarsit	Akitard-3
Orta Kambriyen	Karagedik Formasyonu	Dolomit, mermer	Karstik Akifer
Alt Kambriyen	Kurtbeleni Formasyonu	Kuvarsit, kuvars, şist	Akifüj-1



Şekil 3. Çalışma Alanının Hidrojeoloji Haritası Ve Yeraltısu Dinamiği (Hydrogeological Map Of The Study Area And Groundwater Dynamics)

4.3. Yeraltısularının Hidro-Kimyasal Değerlendirilmesi (Hydro-Chemical Evaluation Of Groundwater)

Nisan 2021'de, araştırma sahasındaki yeraltısularının kalitesi, kullanım koşulları ve hidrokimyasal özelliklerini belirlemek üzere 9 farklı konumdan yeraltısuyu örnekleri alınmıştır. Çalışma alanındaki yeraltısularının iyon özelliklerini değerlendirmek amacıyla, sertlik, pH (hidrojen iyonu konsantrasyonu), EC (özgül elektriksel iletkenlik), SAR (sodyum adsorbsiyon oranı) ve %Na (sodyum iyon yüzdesi) gibi genel kimyasal özellikler detaylı bir biçimde incelenmiştir. Bu analizler, yeraltısularının kullanım potansiyeli, su kalitesi ve hidrojeokimyasal özellikleri hakkında ayrıntılı bir bilgi elde etmek için gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları ile laboratuvar analizleri için örnek alma sürecinde EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), Redoks Potansiyeli (mV), Çözünmüş Oksijen (%) ve tuzluluk (%) parametreleri yerinde ölçülmüştür (Tablo 2). Su kalitesi çalışmalarında yerinde yapılan ölçümler, suyun dışarıdan herhangi bir unsurdan etkilenmeden bulunduğu yerdeki özelliklerini belirlemek açısından oldukça önemlidir. Yerinde yapılan ölçümler suların fizikokimyasal özellikleri hakkında anında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Ayrıca yerinde ölçümler sonucunda belirlenen su sıcaklığı, pH, EC, Sıcaklık ve DO parametreleri, laboratuvar analiz sonuçlarından önce olası anomali gösteren parametre değerlerinin değerlendirilmesi ve olası baskıların tahmini konusunda çalışmalara ışık tutmaktadır. Suların anyon ve katyon analiz sonuçları ise Tablo 3'de verilmiştir. Ayrıca, yeraltısularının iyon bolluk dağılımlarını değerlendirebilmek için % iyon dağılım grafikleri hazırlanmış ve Şekil 4'de sunulmuştur. Suların Piper ve Scholler diyagramları kullanılarak yapılan hidro-kimyasal 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.



Şekil 4. Yeraltısuyu Örneklerinin % İyon Dağılım Grafikleri (Ion Distribution Graphs Of Groundwater Samples)

Çalışma alanındaki yeraltısularının toplam sertlik değerleri 0.806 F° ile 2.18 F° arasında değişmekte olup Fransız Sertlik Derecesi 'ne göre "çok yumuşak sular" sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinin pH değerleri $6.99 - 8.52$ arasında olup genel olarak "Bazik karakterli" sular sınıfında yer almaktadır. Sadece S-2 nolu örneğin pH değeri 6.99 olup "Nötr karakterli" sular sınıfındadır.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin yerinde ölçümler ile belirlenmiş özgül elektriksel iletkenlik değerleri $264 - 828 \mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Yeraltısularının analiz sonuçlarına göre, SAR değerleri genel olarak 0.019 ile $0,767$ arasında değişmekte olup, S-1 nolu örnek noktası en yüksek SAR değerine sahiptir. Su örneklerinin % Na değerleri ise $0.82 - 19.93$ arasında değişmektedir.

Tablo 2. Çalışma Alanından Alınan Yeraltısuyu Örneklerinin Yerde Ölçüm Sonuçları (In-Situ Measurement Results Of Groundwater Samples Taken From The Study Area)

Örnek No	Mevki	Koordinatlar		Elektriksel İletkenlik EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Çözünmüş Oksijen (%)	Redoks Potansiyeli (mV)	Tuzluluk (%)
		X	Y						
S-1	Alanya-Merkez	411299	4045188	642.00	7.44	24.70	7.87	212.40	0.31
S-2	Bektaş Mah.	411839	4048492	789.00	6.99	17.10	3.90	218.20	0.39
S-3	Çıplaklı Mah.	414711	4047199	545.00	7.24	20.10	8.84	223.30	0.26
S-4	Oba Mah.	416304	4044466	752.00	7.17	21.60	8.62	210.10	0.37
S-5	Mahmutlar Mah.	418836	4039154	662.00	7.14	21.80	4.95	234.20	0.32
S-6	Oba Alacami Mah.	421319	4051291	385.00	8.52	15.60	10.21	209.80	0.18
S-7	Taşbaşı Mah.	434057	4049792	828.00	8.04	20.00	8.80	222.40	0.40
S-8	Alacami Mah.	437908	4050804	388.00	8.47	18.50	9.17	218.80	0.19
S-9	Gümüşkavak	432860	4044468	264.00	8.14	14.10	9.65	237.70	0.13

Tablo 3. Çalışma Alanından Alınan Yeraltısuyu Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları (Chemical Analysis Results Of Groundwater Samples Taken From The Study Area)

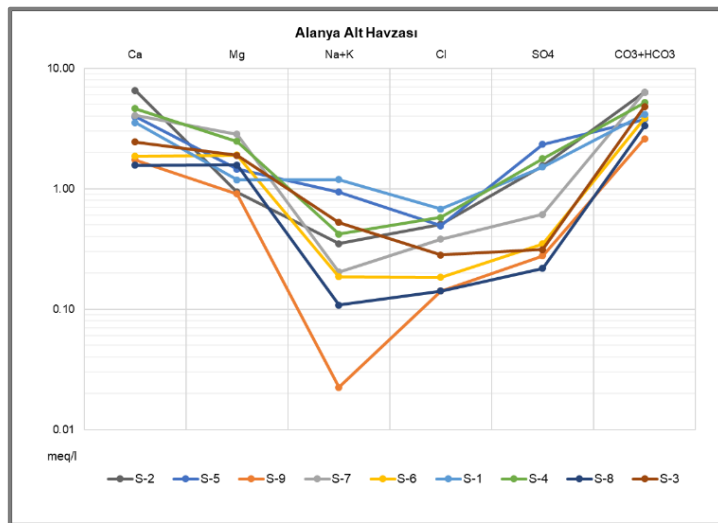
Örnek No	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁼ mg/l	Sertlik (Fr ^o)	% Na	SAR	Su Sınıfı
S-1	27.1	0.60	70.9	14.4	24.0	72.7	233	<10	1.36	19.94	0.77	C3-S2
S-2	7.95	0.15	131	11.4	18.0	74.3	366	<10	2.02	4.42	0.18	C2-S1
S-3	11.5	0.90	48.9	23	10.0	15.0	274	<10	1.39	10.30	0.34	C2-S1
S-4	9.07	0.95	93.0	30.1	20.5	85.2	297	<10	2.18	5.24	0.21	C3-S1
S-5	20.6	1.56	79.3	17.7	17.5	112	210	<10	1.59	14.11	0.54	C2-S1
S-6	4.14	0.22	37.2	23.1	6.50	16.7	198	18.0	1.25	4.57	0.13	C2-S1
S-7	4.69	<0.1	81.5	34.5	13.5	29.3	360	13.0	2.18	2.87	0.11	C3-S1
S-8	2.35	0.24	31.4	19.2	<5	10.5	179	12.0	1.04	3.13	0.08	C2-S1
S-9	0.51	<0.1	34.8	11.0	<5	13.3	138	<10	0.81	0.82	0.02	C2-S1

4.3.1. Suların Schoeller'e Göre Hidro-Kimyasal Sınıflaması (Hydro-Chemical Classification Of Waters According To Schoeller)

Schoeller (1955) yapmış olduğu sınıflandırmada suları klorür, sülfat ve karbonat miktarlarına göre sınıflandırmıştır. Schoeller diyagramı (Schoeller, 1955) yarı logaritmik bir diyagram olup sularda yer alan katyon (Na, K, Ca ve Mg) ve anyonların (CO_3 , HCO_3 , Cl ve SO_4) eşdeğer ağırlık cinsinden (mek/l) gösterimidir (Şekil 7). Yeraltısularının kimyasal bileşimi, su-kayaç etkileşim süreçleri başka bir ifade ile yüzeyden süzülmeden itibaren boşalım anına kadar akım yolu boyunca temas ettiği kayaların kimyasal bileşimi tarafından kontrol edilmektedir. Suların kimyasal özelliklerini belirlemek için Schoeller (1955) tarafından önerilen diyagramın, yatay (x) ekseninde majör iyonlar eşit aralıklarla yer alırken logaritmik dikey (y) ekseninde ise bu iyonların eşdeğer ağırlık cinsinden konsantrasyonları yer almaktadır. Schoeller diyagramı da suların türü, kökeni, su-kayaç etkileşim süreçleri vb. hidrojeokimyasal değerlendirmeler için kullanılmaktadır. Schoeller (1955)'in yapmış olduğu sınıflamaya göre; alınan su örneklerinin tamamı klorür derişimi bakımından "olağan klorürlü sular" sınıfına, sülfat derişimi bakımından "olağan sülfatlı sular" sınıfına ve karbonat-bikarbonat derişimi bakımından ise alınan tüm örnekler "olağan karbonatlı sular" sınıfında yer almaktadır (Tablo 4, Şekil 5).

Tablo 4. Schoeller (1955) Klorür, Sülfat, Karbonat-Bikarbonat Sınıflaması (Schoeller (1955) Classification Of Chloride, Sulfate, Carbonate-Bicarbonate)

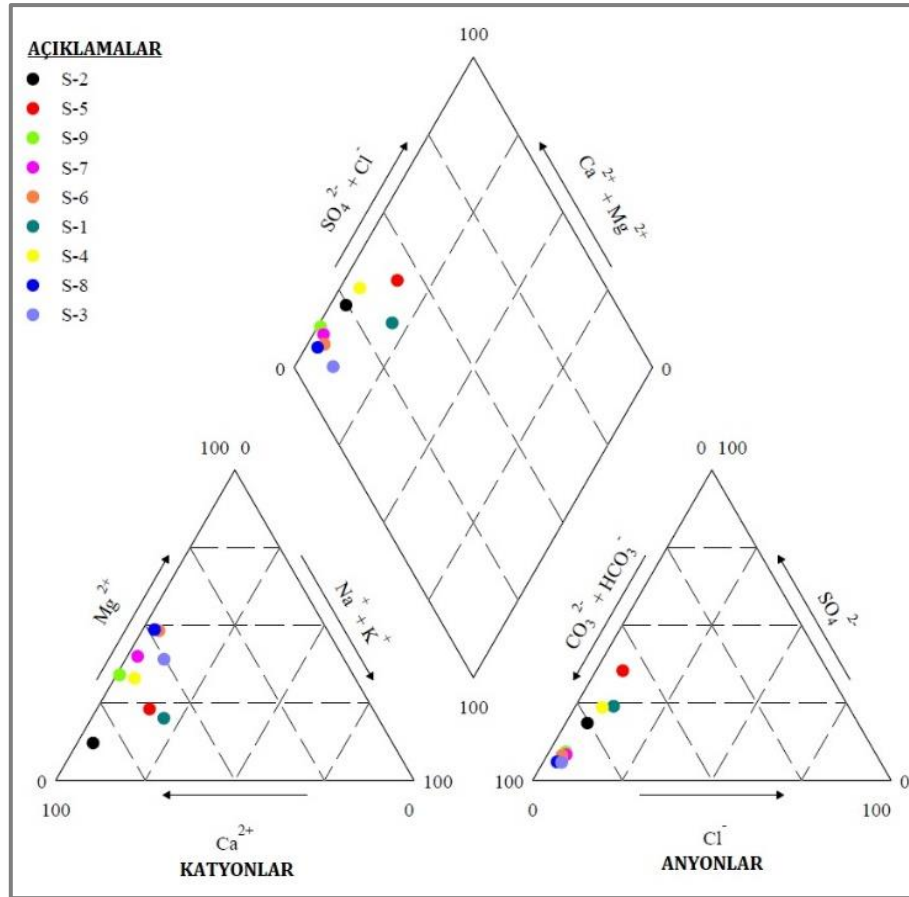
Klorür Sınıflaması	Su sınıfı	Klorür Miktarı (mek/l)
	Hiperklorürlü Sular	> 700
	Klorotalasik Sular	420-700
	Klorürce Zengin Sular	140-420
	Orta Klorürlü Sular	40-140
	Oligoklorürlü Sular	15-40
Olağan Klorürlü Sular	< 15	
Sülfat Sınıflaması	Su sınıfı	Sülfat Miktarı (mek/l)
	Hiposülfatlı Sular	> 58
	Sülfatlı Sular	24-58
	Oligosülfatlı Sular	6-24
Olağan Sülfatlı Sular	< 6	
Karbonat-Bikarbonat Sınıflaması	Su sınıfı	Karbonat+Bikarbonat Miktarı (mek/l)
	Hiperkarbonatlı Sular	> 7
	Olağan Karbonatlı Sular	2-7
	Hipokarbonatlı Sular	< 2



Şekil 5. Scholler Diyagramı (Nisan 2021), (Scholler Diagram (April 2021))

4.3.2. Suların Piper'e Göre Hidro-Kimyasal Sınıflaması (Hydro-Chemical Classification Of Waters According To Piper)

Piper diyagramı, 1944'te Arthur M. Piper tarafından sudaki çözülmüş halde bulunan bileşenlerin (anyon-kasyon) kökeninin anlaşılmasına yardımcı olmak amacıyla oluşturulmuş grafiksel değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemde, sularda bulunan kasyonların ve anyonların ayrı ayrı toplamının eş değer ağırlık cinsinden (meq/l) birbirlerine eşit olduğu varsayımı kabul edilmekte ve her bir iyonun yüzde değeri hesaplanarak grafiğe aktarılmaktadır. Çalışma alanındaki yeraltısularını temsil eden su örneklerine ait analiz sonuçları Piper diyagramı üzerinde gösterilerek su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir (Şekil 6). Piper diyagramına göre, su örneklerinden S1, S2 ve S3 nolu örneklerin Ca-HCO₃'lü, S6, S-7, S8 ve S4 nolu örneklerin ise Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde, S-5 nolu örneğin ise CaSO₄+HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Bu durum, su örneklerinin alüvyon birim altında yer alan karbonatlı kayalarla kayaç-su etkileşimi içinde olduğunu göstermektedir. Ayrıca, özellikle S5 nolu örnekte gözlenen SO₄ konsantrasyonundaki artış litolojik birimler ile etkileşim esnasındaki silikatların kimyasal olarak ayrışmasından ve/veya yeraltısuyunun antropojenik kirleticilerden etkilenmesi sonucu gözlenmektedir.



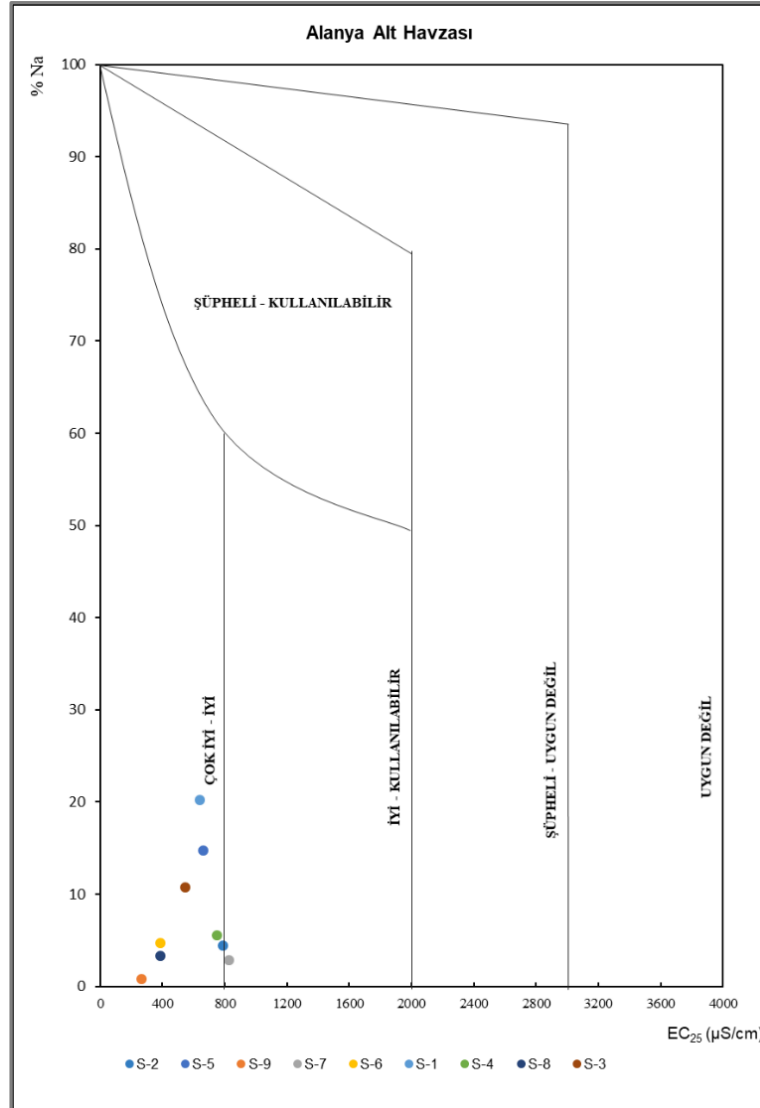
Şekil 6. Piper Diyagramı (Nisan 2021) (Piper Diagram (April 2021))

4.4. Yeraltısularının Kullanım Özelliklerinin Değerlendirilmesi (Evaluation Of The Usage Characteristics Of Groundwater)

Yeraltısuyu örneklerinin kullanım özelliklerinin değerlendirilmesi sırasında öncelikle içme suyu olarak kullanım durumu incelenmiştir. Bu kapsamda, su örneklerinin majör iyon konsantrasyonları ile Tablo 5'de verilmiş olan azot türevleri ve ağır metal analiz sonuçları TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2017) tarafından belirlenen içme suyu limit değerleri ile kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarına göre suların tamamı içme suyu olarak kullanıma uygundur. Yeraltısularının sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi için Wilcox, ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları hazırlanmıştır. Ayrıca, % Na, SAR ve EC değerlerine göre suların sulama suyu olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Şekil 7'de verilmiş olan Wilcox diyagramına göre S-2 ve S-7 no.lu örnekler "iyi-kullanılabilir", diğer tüm örnekler ise "Çok iyi-İyi" sulama suyu sınıfındadır.

Tablo 5. Yeraltısuyu Örneklerinin Azot Ve Fosfor Parametreleri Ve Ağır Metal Analiz Sonuçları (Nitrogen And Phosphorus Parameters And Heavy Metal Analysis Results Of Groundwater Samples)

Numune No	Azot ve Fosfor Parametreleri				Ağır Metaller									
	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ mg/L	Toplam Fosfor mg/L	Arsenik µg/L	Kadmiyum µg/L	Kurşun µg/L	Alüminyum µg/L	Bakır µg/L	Çinko µg/L	Nikel µg/L	Demir µg/L	Mangan µg/L	
S-1	12.66	0.092	0.04	0.02	<1	<0.2	<1	2.25	3.97	11.3	9.07	60.3	12.2	
S-2	<0.443	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	<2	<1	3.09	5.04	90.1	<1	
S-3	5.84	<0.007	<0.03	0.02	<1	<0.2	<1	<2	<1	<2	2.74	77.6	<1	
S-4	8.01	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	<2	2.73	3.02	2.33	16.3	<1	
S-5	24.08	0.010	<0.03	0.06	<1	<0.2	<1	<2	<1	20.2	7.13	95.3	2.22	
S-6	<0.443	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	<2	<1	<2	<2	31.50	1.37	
S-7	<0.443	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	<2	<1	15.7	2.41	38.8	<1	
S-8	<0.443	0.007	<0.03	0.02	<1	<0.2	<1	4.75	<1	4.20	<2	15.7	<1	
S-9	<0.443	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	4.61	<1	6.44	<2	<10	<1	

**Şekil 7.** Wilcox Diyagramı (Nisan 2021) (Wilcox Diagram (April 2021))

Suların Sodyum Yüzdesi (% Na) değerleri, bir bölgedeki suların sulama suyu olarak kullanılıp kullanılmayacağı hakkında fikir veren önemli parametre olup Wilcox (1955) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır (1).

$$\%Na = [Na / ((Na+K+Ca+Mg))] \times 100 \quad (1)$$

%Na hesaplama eşitliğinde yer alan iyon konsantrasyonlarının birimi mek/l'dir. Hem sulardan hem de topraktan kaynaklanabilecek %Na genel olarak bitkilerin sodyumu tolere edebilir sınırları dikkate alınarak dört sınıfa

ayrılmıştır (Tablo-6). Çalışma alanındaki yeraltısularının tamamının % Na değerleri < 20 olup “Düşük sodyumlu sular” sınıfında yer almaktadır.

Tablo 6. Suların Na (%) Değerlerine Göre Sınıflandırılması (Classification Of Waters According To Na (%) Values)

Na (%)	Sınıf
<20	Düşük sodyumlu sular
20-40	Orta sodyumlu sular
40-80	Yüksek sodyumlu sular
>80	Çok yüksek sodyumlu sular

Suların, sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacı ile Richards (1954) tarafından ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı önerilmiştir. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı, sulardaki sodyum tehlikesinin ve tuzluluk tehlikesinin birleşik etkisini en iyi şekilde açıklayan diyagramdır. ABD tuzluluk diyagramının yatay ekseninde suların 25 °C’de ki özgül elektriksel iletkenliği (EC) yer alırken dikey ekseninde Sodyum Absorpsiyon Oranı (SAR) bulunur. Düşük Tuzlu Su (C1; < 250 µS/cm); toprak tuzluluğunun gelişme olasılığı çok düşük olan çoğu toprakta çoğu ürünle sulama için kullanılabilir. Bir miktar yıkama gereklidir, ancak bu, son derece düşük geçirgenliğe sahip topraklar haricinde normal sulama uygulamaları altında gerçekleşmektedir. Suların sulama suyu olarak kullanım durumunun değerlendirilmesinde kullanılan EC ve SAR değerlerine göre sınıflandırılması Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Suların EC Ve SAR Değerlerine Göre Sınıflandırılması (Classification Of Waters According To EC And SAR Values)

EC (µS/cm)	Sınıf	SAR (%)	Sınıf
<250	C1; Düşük Tuzlu Su	<10	S1; Düşük sodyumlu sular
250-750	C2; Orta Tuzlu Su	10-18	S2; Orta sodyumlu sular
750-2250	C3; Yüksek Tuzlu Su	18-26	S3; Yüksek sodyumlu sular
>2250	C4; Yüksek Tuzlu Su	>26	S4; Çok yüksek sodyumlu sular

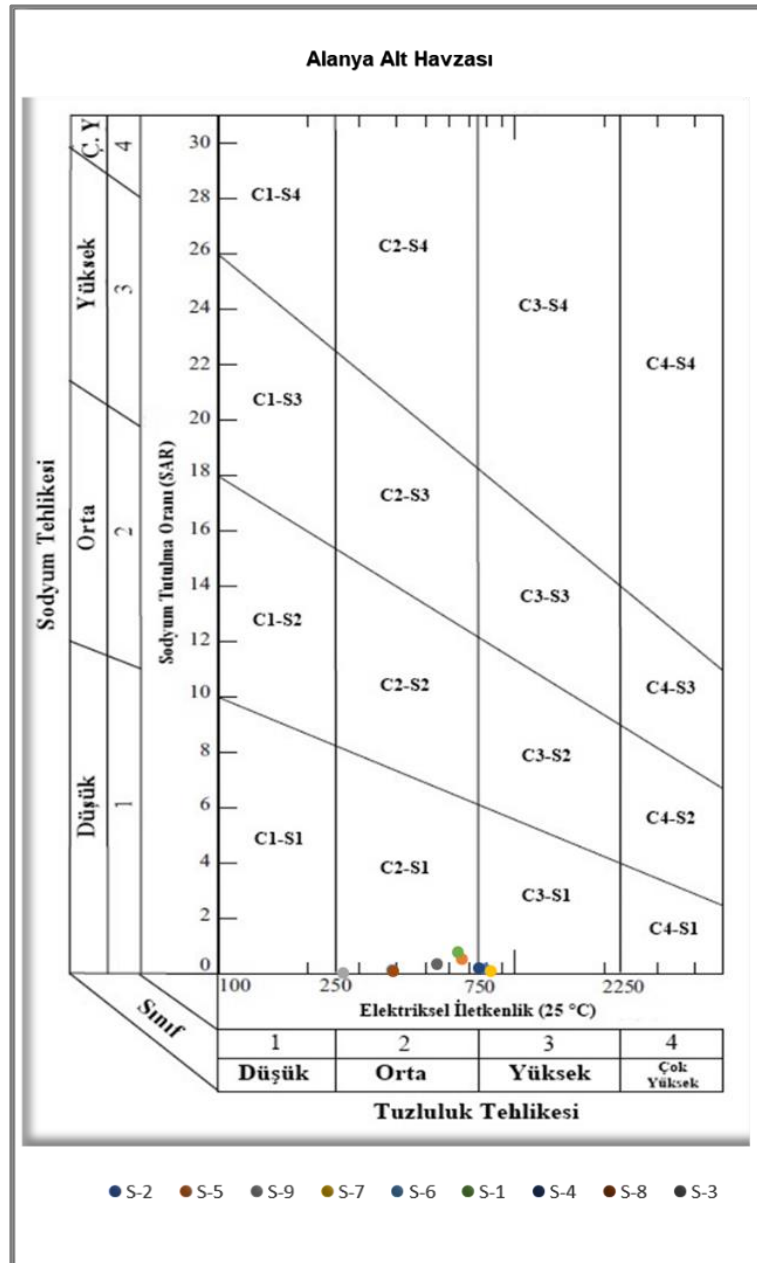
Çalışma alanında bulunan yeraltısularına ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı Şekil 8’de, suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre sınıflandırılması ise Tablo 8’de sunulmuştur. Buna göre, çalışma alanında alınan örneklerden S-2, S-4 ve S-7 C3S1 (Yüksek tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfında diğer su örnekleri ise C2S1 (orta tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfındadır.

Tablo 8. Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına Göre Sınıflandırılması (Classification Of Waters According To The US Salinity Laboratory Diagram)

Örnek No	Tuzluluk Tehlikesi	Sodyum Tehlikesi	Sınıfı
S-1	C2	S1	C2-S1
S-2	C3	S1	C3-S1
S-3	C2	S1	C2-S1
S-4	C3	S1	C3-S1
S-5	C2	S1	C2-S1
S-6	C2	S1	C2-S1
S-7	C3	S1	C3-S1
S-8	C2	S1	C2-S1
S-9	C2	S1	C2-S1

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Alanya alt havzası içerisinde Prekambriyen’den günümüze kadar farklı zaman dilimlerinde oluşmuş birçok kaya birimi yüzeylenmektedir. Çalışma alanının temelini Kambriyen yaşlı birimler oluşturmaktadır. Alt Kambriyen yaşlı Kurtbeleni Formasyonu (Éku), kuvarsit, kuvars ve şist birimlerinden oluşmaktadır. Dolomit ve mermerlerden oluşan Karagedik Formasyonu (Éka) Orta Kambriyen yaşlıdır. Üst Kambriyen-Ordovisyan yaşlı Payallar Formasyonu şist, fillit, kuvars şist ve kuvarsit birimlerinden oluşmaktadır. Üst Devoniyen yaşlı Gümüşali Formasyonu (Dgü), kumtaşı, kireçtaşı, kuvarsit ve dolomit ara seviyeli şeyllerden oluşmaktadır. Alt Devoniyen yaşlı Çukuryurt Formasyonu (Dç), kuvarssist, kuvarsit ve kuvars-klorit şistlerden oluşmaktadır. Cevizli Formasyonu (Pc) Alt Permiyen yaşlı olup, kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Üst Permiyen yaşlı Cebireis Formasyonu (Pce) genellikle dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşmaktadır.



Şekil 8. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı (Nisan 2021, (US Salinity Laboratory diagram (April 2021))

Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi (Pced), masif, kalın tabakalı dolomitlerle temsil edilmektedir. Asmaca Formasyonu (TRas), klorit-serizit şist, kloritoyid şist ve kalkşistlerden oluşmaktadır. Alakırçay Grubu Orta-Üst Triyas yaşlı olup, bitkili kumtaşı, şeyl, yastık yapılı spilit, spilitleşmiş bazalt, radyolarit, çört ve Halobia'lı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Orta Triyas yaşlı Orhanlar Formasyonu, kristalize kireçtaşı ve dolomitlerden oluşmaktadır. Jura-Kretase yaşlı Karasay Kireçtaşı (Jks), çörtlü kireçtaşı ara seviyeli breşik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Sığ karbonat şelf ortamında çökelen Çamlık Formasyonu (JKç), altta masif ve kalın tabakalı, gri, koyu gri, açık gri, bej, sarımsı kahve, yer yer siyahımsı gri renkli dolomitlerle başlamaktadır. Birim üstte orta-kalın tabakalı, bej, krem, açık gri, gri, kirli sarı vb. renkli rudistli kireçtaşları ile sonlanmaktadır. Üst Kretase yaşlı Sugözü Formasyonu'nun (Ksg) şist, fillit ve mermerlerden oluşmaktadır. Üst Kretase yaşlı Keçili Formasyonu (Kk), yeşil, yeşilimsi gri, koyu gri, yeşilimsi kahve, gri, sarımsı kahve vb. renklerde, ince-orta-kalın tabakalı, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve konglomeralardan oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı birimler ise; taraça (Qt) birimi, yamaç molozu (Qym) ve alüvyon (Qal) birimidir.

Çalışma alanında yer alan jeolojik birimler fiziksel, hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından Taneli Ortam Akiferi, Karstik Akifer, Akitard-1, Akitard-2, Akitard-3 ve Akifüj-1 olmak üzere altı ayrı grupta incelenmiştir. Karagedik, Cevizli, Cebireis, Orhanlar, Çamlık formasyonları ile Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi ve Karasay Kireçtaşı "Karstik Akifer"; Gümüşali ve Keçili formasyonları "Akitard-1", Alakırçay Grubu "Akitard-2", Payallar, Çukuryurt, Asmaca ve Sugözü formasyonları "Akitard-3", Taraça, yamaç molozu ve alüvyon birimleri ise "taneli ortam akiferi" olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında yeraltısuyu derinlikleri 0.00-146.71

m arasında seviyesi ise -11.15 ile 1286.55 m arasında değişmektedir.

Çalışma alanı içerisinde bulunan yeraltısularının iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, pH, EC, %Na ve SAR gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilerek ilgili uluslararası kabul görmüş diyagramlar ile yorumlanmıştır. Schoeller (1955)'in yapmış olduğu sınıflamaya göre; alınan su örneklerinin tamamı klorür derişimi bakımından "olağan klorürlü sular" sınıfına, sülfat derişimi bakımından "olağan sülfatlı sular" sınıfına ve karbonat-bikarbonat derişimi bakımından ise "olağan karbonatlı sular" sınıfında yer almaktadır. Piper diyagramına göre, S1, S2 ve S3 nolu örneklerin Ca-HCO₃; S6, S-7, S8 ve S4 nolu örneklerin ise Ca-Mg-HCO₃'lı sular fasiyesinde, S-5 nolu örneğin ise Ca-SO₄+HCO₃ fasiyesinde olduğu görülmektedir. Yeraltısularının içme suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemek için suların majör iyon, azot ve fosfor türevleri ve ağır metal analiz sonuçları TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2017) tarafından belirlenen içme suyu limit değerleri ile kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarına göre suların tamamı içme suyu olarak kullanıma uygundur. Sulama suyu olarak kullanım özellikleri bakımından, Wilcox (1955) diyagramına göre; S-2 ve S-7 no.lu örnekler "iyi-kullanılabilir", diğer tüm örnekler ise "Çok iyi-İyi" su sınıfındadır. ABD tuzluluk diyagramına göre; çalışma alanında alınan örneklerden S-2, S-4 ve S-7 C3S1 (Yüksek tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfında diğer su örnekleri ise C2S1 (orta tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfındadır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan doktora tez çalışmasının bir ürünüdür. Yazarlar, veri temini konusunda her türlü desteği sağlayan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Antalya Bölge Müdürlüğü'ne ve çalışmayı finansal olarak destekleyen SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na (Proje No: FDK-2022-8652) teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Arslan, H., Demir, Y., 2011. Bafra Ovasında Deniz Suyu Girişiminin Yeraltısuyu Kalitesi Üzerine Etkisi, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 136-144.
- Blumenthal, M., 1951. Recherches geologiques dans le Taurus Occidental dans l'arriere-pays d'Alanya. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Seri D, No: 5, Ankara*, 133 p.
- Bozdağ, A. 2017. Çumra (Konya) Ovasındaki Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Sulama Suyu Kalitesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 559-571.
- Davraz, A., Ünver, Ö., 2014. İnegöl Havzası (Bursa) hidrojeolojisi ve yeraltısularının kalite değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 7-21.
- Dehbandi, R.; Abbasnejad, A.; Karimi, Z.; Herath, I.; Bundschuh, J., 2019. Hydrogeochemical controls on arsenic mobility in an arid inland basin, southeast of Iran: The role of alkaline conditions and salt water intrusion. *Environ. Pollut.*, 249, 910-922.
- Demir, S., Hepdeniz, K., 2018. Isparta İl Merkezi Yeraltısuyu Kalitesinin Jeostatistiksel Yöntemler Kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Haritalanması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 757-771.
- Demirtaşlı, E., 1967. Pınarbaşı-Sanz-Mağara civarının jeoloji raporu. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 1935 (yayımlanmamış)*.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2022. Antalya Havzası Yeraltısuyu Planlama (Hidrojeolojik Etüt) Raporu Yapılması İş, Ankara.
- Ekmekçi, M, Yazıcıgil, H., 2003. Perspectives on Turkish Groundwater Resources, *Groundwater Readers' Forum Vo:41 No:3-Groundwater*.
- Khan, M.Y.A.; ElKashouty, M.; Bob, M., 2020. Impact of rapid urbanization and tourism on the groundwater quality in Al Madinah city, Saudi Arabia: A monitoring and modeling approach. *Arab. J. Geosci.* 2020, 13, 922.
- Koçbay, A., 1997. Mecitözü-Konaklı (Çorum) çevresinin hidrojeolojisi ve yeraltısuyu kalitesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* S, 51.
- Lapworth, D.J.; Krishan, G.; MacDonald, A.M.; Rao, M.S., 2017. Groundwater quality in the alluvial aquifer system of northwest India: New evidence of the extent of anthropogenic and geogenic contamination. *Sci. Total Environ.* 599-600, 1433-1444.
- Monod, O., 1977. Resherches geologiques dans le Taurus occidentaies au sud de Beyşehir (Turquie). *These Univ. Paris-Sud, Orsay*, 442p.
- Morris, B.L.; Lawrence, A.R.L.; Chilton, P.J.C.; Adams, B.; Calow, R.C.; Klinck, B.A., 2003. *Groundwater and Its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problemand Options for Management: Early Warning and Assessment Report Series; United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya.*
- Özgül, N., 1983. Alanya bölgesinin jeolojisi. *Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.*
- Öztürk, E.M., Akdeniz, N., Bedi, Y., Sönmez, İ., Usta, D., Kuru, K., Erbay, G., 1995. Alanya napının stratigrafisine farklı bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 10, 2-10.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, *American Geophysical Union Transactions* 25, 914-923.

- Richards, L., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Washington DC.: US Department of Agriculture.
- Schoeller, H., 1955. Gechemie Des Eaux Souterranes. Review Institut Franc. Petrole, Paris, 10, 3-4
- Şenel, M. 1997b. 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Isparta-K12 Paftası, No: 12. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şenel, M. ve Ekmekçi E., 2016, 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Konya N27 Paftası, No:230, maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, A., Ünverdi, M., Gözler, M.Z., 1981. Teke Toroslarının güneydoğusunun jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 95/96, 13-43.
- Şener, Ş., Şener, E., 2021. Şefaatli (Yozgat) Doğusu Su Kaynaklarının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 126-138.
- Şener, Ş., Şener, E., 2023. Oba Çayı Alt Havzasının (Antalya, Türkiye) Hidrojeolojisi ve Su Kaynaklarının Hidro-kimyasal İncelenmesi. In International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (Vol. 1, pp. 382-388).
- Şener, Ş., Şener, E., Er, A., 2021a. Gaziantep İli Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1253-1266.
- Şener, Ş., Varol, S., Şener, E., 2022. Akşehir (Konya) Ovası Yeraltısuyu Kalitesi ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research, 8(1), 80-91.
- Shiklomanov, I. A, Rodda, J, C., 2003. World Water Resources at the B Century, Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Tuik, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Nüfus Sayımı Sonuçları, (www.tuik.gov.tr). 2022.
- Usta, D., Öztürk, E.M. 2000. Gülendağı-Gündoğmuş dolayının (Alanya-0 27-a3, a4, b4 ve O 28-a4 paftalarının) jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10487, Ankara (yayımlanmamış).
- Wang, Y.; Jiao, J.J. Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in the confined Quaternary aquifer of the Pearl River Delta, China. J. Hydrol. 2012, 438–439, 112–124.
- Wilcox, L. (1955). Classification and Use of Irrigation Water. Washington DC.: US Department of Agriculture
- Yılmaz, F. K., Kaymak, H., 2018. Dim Çayı Havzası'nın Jeomorfolojik Özellikleri. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 22(1), 1-31.