



Jeokimyasal süreçler ve yeraltısuyu kimyası: Akçşehir Ovası (Karaman) örneği Geochemical processes and groundwater chemistry: A case study Akçşehir Plain (Karaman)

Ayşen Davraz¹ , Fatma Aksever^{2,*} 

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta Türkiye

Öz

Bu çalışmada, Akçşehir (Karaman) bölgesi yeraltısularının hidrokimyasal yapısı ve bu yapıyı oluşturan faktörler kimyasal analiz verileri kullanılarak araştırılmıştır. Değerlendirmelerde yeraltısuyunun kimyasal bileşiminin kökeni ve kontrol mekanizmaları; iyon oranı analizi, korelasyon analizi ve diğer hidrojeokimyasal yöntemlerle belirlenmiştir. Akçşehir ovası Karaman ilinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Ova üzerinde yeraltısuyu temininde kullanılan çok sayıda sondaj kuyusu yer almaktadır. İnceleme alanının temelini Bolkar Dağı Birliği'ne ait allohton kayalar oluşturmaktadır. Bölgede serbest akifer özelliğindeki güncel çökeller ve sahip kireçtaşları yeraltısuyu bulunduran önemli akiferlerdir. Çalışmada su örneklerinin %74'ünün Mg-Ca-HCO₃/Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Bu yapıyı oluşturan en etkin hidrojeokimyasal süreç karbonat çözünümüdür. Bazı örneklerde tespit edilen Na⁺ ve SO₄²⁻ artışları silikat ayrışması ve iyon değişim süreçleri ile ilişkilidir. Genel olarak alanda su-kayaç etkileşiminin hidrojeokimyasal süreçleri doğrudan etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Jeokimyasal süreçler, Yeraltısuyu, Su kimyası, Akçşehir (Karaman)

1 Giriş

Su kaynakları, kentsel sosyal üretimin normal ve istikrarlı işleyişini kolaylaştırmada, şehirlerin çok işlevli rolü için nesnel bir garanti sağlamada ve ekonomik faaliyetlerin gerçekleştirilmesini teşvik etmede önemli bir rol oynamaktadır [1, 2]. Günümüzde pek çok ülkede su kaynaklarında miktar bakımından azalma ve kalite problemleri yaşanmaktadır. Yüzeysel sularında bu olumsuzlukların daha fazla olması yeraltısularına yönelimin artmasına neden olmuştur. Yeraltısuları ülkemizde ve dünyada en önemli kullanılabilir su kaynağı haline gelmiştir. Yeraltısuyunda çözünmüş iyonların sınıflandırılması ve iyonların kökenlerinin tanımlanması, bu hayati kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından yöneticiler için yararlı bilgiler sağlamaktadır.

Yeraltısuyu kimyası özellikleri yalnızca yeraltısuyu kirliliğinin kaynağını belirlemek için değil aynı zamanda bir bölgedeki temel hidrokimyayı kontrol eden faktörlerin

Abstract

In this study, the hydrochemical structure of groundwater in the Akçşehir (Karaman) region and the factors forming this structure were investigated using chemical analysis data. In the evaluations, the origin of the chemical composition of the groundwater and the control mechanisms were determined by ion ratio analysis, correlation analysis and other hydrogeochemical methods. The Akçşehir plain is located in the northeast of Karaman province. There are many drilling wells used in groundwater supply on the plain. The foundation of the study area consists of allochthonous rocks belonging to the Bolkar Mountain Unit. Current sediments with free aquifer characteristics and limestones in the region are important aquifers containing groundwater. In the study, it was determined that 74% of the water samples were in the Mg-Ca-HCO₃/Ca-Mg-HCO₃ water facies. The most effective hydrogeochemical process forming this structure is carbonate dissociation. The Na⁺ and SO₄²⁻ increases detected in some samples are related to silicate dissociation and ion exchange processes. In general, it was determined that the water-rock interaction in the area directly affects the hydrogeochemical processes.

Keywords: Geochemical processes, Groundwater, Water chemistry, Akçşehir (Karaman)

tanımlanması ve karakterizasyonu için de kritik öneme sahiptir [3]. Yeraltısuyunun kalitesi fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerden etkilenir ve ayrıca besleme suyunun bileşimine, doymamış bölgedeki su-kaya-toprak etkileşimine, akiferde gerçekleşen kalış süresine ve jeokimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlara bağlıdır [4]. Literatürde yeraltısuyunun kimyasal bileşiminin farklı faktörlerden etkilendiği belirtilmektedir [4]. Bölgesel ölçekte yeraltısuyu sistemi akifer ortamdaki meteorik suyun kimyasal özelliklerine göre değişir [5], [6] ve [7] 'ye göre, meteorik suyun kimyasal kalitesindeki değişimler jeolojik bileşenler, süzülen yağmur suyunun bileşimi, akiferin mineralojik yapısı, su-toprak-kaya etkileşiminin süresi, mineral türlerinin çözünmesi ve çökmesi ve antropojenik etki gibi faktörler tarafından belirlenir. Yeraltısuyunda çözünmüş türler arasındaki ilişkiler, çözünen maddelerin kökenini ve gözlemlenen su kimyasını üreten hidrojeokimyasal süreçleri ortaya çıkarabilir [8, 9]. Yeraltısuyunun kimyasal bileşenlerinin kökeninin

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: fatmaaksever@sdu.edu.tr (F. Aksever)

Geliş / Received: 01.08.2024 Kabul / Accepted: 30.09.2024 Yayınlanma / Published: 15.10.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1526114

araştırılması ile akifer ortamın belirlenmesi, etkileşimde olunan kayaç ve mineral türlerinin tespiti yapılabilir [10, 11]. Bu nedenle, yeraltısuyunun hidrokimyasının karakterizasyonunda jeokimyasal ayak izinin tespiti ve bir bölgedeki su kimyasını yöneten jeokimyasal süreçlerin tanımlanması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi çerçevesinde açık bir anlayış ve bilgi birikiminin sağlanması için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Karaman ili Akçaşehir ovası yeraltısuyunun kimyasını kontrol eden süreçleri belirlemek su-kayaç etkileşimlerini ortaya koyarak, bu süreçlerin yeraltısuyu kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmektir.

2 Materyal ve metot

İnceleme alanının jeolojik ve hidrojeolojik değerlendirmelerinin yapılması amacıyla Karaman N30 ve N31 paftalarında yer alan alanın 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası önceki çalışmalardan elde edilen verilerden revize edilerek hazırlanmıştır. Hidrojeokimyasal değerlendirmelerde çalışma alanında bulunan DSİ 4. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış 24 adet sondaj kuyusuna ait analiz sonuçları kullanılmıştır. Piper ve Chadha diyagramları ile suların hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir. Gibbs diyagramı kaya-su etkileşiminin varlığının belirlenmesinde yararlanılmıştır. Suların geçirdiği hidrojeokimyasal süreçlerin (karbonat ve silikat ayrışması, iyon değişimi ve buharlaşma) tespiti için majör iyon oranları ve dağılım grafikleri kullanılmıştır. Korelasyon analizleri ile majör iyonlar ve yerinde ölçüm parametreleri arasındaki ilişkiler belirlenmiş ve bu ilişkilerin olası nedenleri açıklanmıştır.

2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Konya Kapalı Havzası'nın alt havzası olan Karaman alt havzasında yer almaktadır. Oldukça geniş yayılıma sahip olan Karaman alt havzası Karaman, Ayrancı ve Akçaşehir olmak üzere 3 ayrı ovaya ayrılmaktadır. Çalışma alanı Karaman Alt Havzasının kuzeyinde bulunan Akçaşehir Ovası ve civarını kapsamaktadır. Çalışma alanı 37° 34' ve 37° 55' kuzey enlemleri ile 33° 28' ve 33° 64' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yaklaşık olarak 870 km²'lik bir alana sahip olan çalışma alanında rakım 1100-1200 m arasında değişmektedir. Orta Toroslar'ın kuzeybatı yamacında kalan Akçaşehir Ovası'nın en önemli yükselteleri Çakırdağ (1385m) ve Osmancık Dağları (1281m)'dir. Ovada mevsimlik akış gösteren dereler ovanın güneyinde Tavşanlıbucak ve Yolbel dereleri ile kuzeyinde İnoba ve Kel dereleridir. Çalışma alanında Akdeniz iklimi hâkimdir.

Ovada yeraltısularından çoğunlukla sulama suyu amaçlı yararlanılmaktadır. Ovada buğday başta olmak üzere tahıl, şeker pancarı, baklagiller ve meyve yetiştirilmektedir. Ovada elma yetiştiriciliği önemli bir payı almaktadır olup yaklaşık 50000 elma ağacından mevsim koşullarına bağlı olarak yıllık 25.000 ton civarında elma hasadı gerçekleştirilmektedir.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Çalışma alanının jeolojisi

Akçaşehir (Karaman) Ovası'nda temel kayaları Bolkar Dağı Birliği'ne ait allohton birimler oluşturmaktadır. Toros

Kuşağı'nın en kuzeyinde yer alan ve düşük dereceli metamorfizmaya uğramış Bolkar Dağı Birliği içinde silisli-kırıntılı ve karbonat kayaları ile temsil olunan şelf türü çökeller bulunmaktadır [12]. Birliğe ait kayalar bölgesel ölçekte yeşilist fasiyesi koşullarında metamorfizmaya uğramıştır [13].

Çalışma alanında Bolkar Dağı Birliğine ait birimler Orta Triyas-Jura yaşlı Ballıktepe formasyonu (TRJb), Kretase yaşlı Göçgediği formasyonu (Kg) ve Jura-Kretase yaşlı Meydan formasyonu (JKm)'dur [14]. Dolomit, dolomitik kireçtaşı, mermer ve rekristalize kireçtaşlarından oluşan Ballıktepe formasyonunu [15] oluşturan mermerler, genellikle rekristalize, yer yer şeker dokulu, orta-kalın katmanlı olup, yer yer masif görünüm sunar. Dolomitler mermerler ile geçişlidir. Karbonatlardan oluşan Meydan formasyonu [16], orta kalınlıkta ve belirgin tabakalı rekristalize kireçtaşları ile başlar, orta-kalın tabakalı dolomitlerle devam eder ve üstte rekristalize kireçtaşları ile son bulur. Birim yer yer çört bant ve yumru rekristalize kireçtaşları da içerir. Çörtlü kireçtaşı, rekristalize kireçtaşı ve katmanlı çörtlerden oluşan Göçgediği formasyonu [17], alta pelajik çamurtaşı, radyolaryalı çört ara bantlı, rekristalize kireçtaşları ile başlar, üste doğru çört bantlarına geçer. Bunların da üstünde çört yumru ve radyolaritli, çört ara bantlı ince-orta katmanlı, kaba taneli rekristalize kireçtaşları yer alır ve birim üstte çört ara katkılı pelajik kireçtaşları ile son bulur. Birim yaklaşık 200 m kalınlığa sahiptir [17].

Üst Miyosen-Güncel yaş aralığında çökelen neotokton örtü kayaları İnsuyu formasyonu (Tmpli) ve Kaletepe bazaltı (Tplk) ile temsil edilmektedir. Temel kayalar üzerine kırmızı, kahverenkli gösel klastikler ile ince tabakalı kireçtaşlarından oluşan Alt Miyosen-Üst Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu uyumsuz olarak gelir. İnsuyu formasyonu, alüvyal çökellerle başlar, üste doğru gösel kırıntılarla (çakıltaşı-kumtaşı), marn ve kireçtaşı ile sonlanır [15]. Çakıltaşı; kireçtaşı, pomza volkanik cüruf, çört ve magmatik kaya parçalarından oluşur. Kumtaşları; ince taneli derecelenmeli, polijenik elemanlı, kötü boylanmalı, yer yer çapraz katmanlı ve çoğunlukla volkanik çakılıdır. Marnlar; yer yer sepiyolitik Mg²⁺ca zengin düzeyler içermektedir. Kireçtaşları orta-kalın katmanlı, bol kalsit dolgulu, mikritik ve kırılıdır. Kaletepe bazaltı sert, sıkı ve yer yer gaz boşluklu bazaltlardan oluşmaktadır [13].

Pliyosen yaşlı Divanlar formasyonu (Qed) yarı tutturulmuş, karbonatlı çamur destekli kum, kireçtaşı çakıl ve bloklarından yapılmıştır. Tapurici formasyonu (Qt) ise hareketli ve durağan kum dünlerinden oluşmaktadır. Çakıl, çakıllı kum, ince kum, silt ve kilden oluşan Hotamış formasyonu (Qho) Börücekyayla (Qhoi), Küpbasan (Qhok), İsmil (Qhoi) ve Sazlıpınar (Qhos) üyelerine ayrılmıştır. Üst Pleyistosen yaşlı çakıllı kum setlerinden oluşan Börücekyayla üyesinde kum ve çakıllar iyi boylanma ve yuvarlaklanma sunarlar [15]. Göl kıyı çökellerinden oluşan Küpbasan üyesi çapraz katmanlı kum ve çakıl içerir. Pleyistosen yaşlı İsmil üyesi yatay katmanlı çakıl, kum, kil, silt ve jipsli kumlardan oluşur. Bu üye içerisinde jips ara katmanları da bulunmaktadır. CO₃ göl tabanı çökellerinden oluşan Alt Pleyistosen yaşlı Sazlıpınar üyesinde yatay katmanlı kil, silt ve jipsli kumlar hakimdir [15]. Alüvyon

(Qal) ve Alüvyon yelpazesi (Qay) ise en genç çökellerdir. Alüvyon yelpaze, volkanik çakıllı, kireçtaşı çakıllı, kumlu, killi ve siltli oluşuklardır. Alüvyon ise tutturulmamış çakıl, kum ve siltlerden oluşmaktadır [14]; (Tablo 1; Şekil 1).

3.2 Çalışma alanının hidrojeolojisi

İnceleme alanındaki birimler akifer olabilme özellikleri açısından taneli akifer, karstik akifer ve akitard birimler şeklinde ayrılmıştır. İnceleme alanının temelini oluşturan karbonat kayaçlar karstik akifer niteliğindedir. Eriyebilen karbonat bileşimli kayaçlardan gelen suların yer aldığı karstik ortamlarda genellikle kireçtaşları ve dolomitler hakimdir. İnceleme alanında kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Ballıktepe ve Meydan formasyonları ile rekrystalize kireçtaşlarından oluşan Göçgediği formasyonu geçirimli özellikleri ile karstik akifer ortamları temsil etmektedir.

Akçaşehir Ovası'ndaki yeraltısuyu bulunduran en önemli ortamlar ise Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı birimlerin oluşturduğu akiferlerdir. Bölgede geniş yayımlara sahip olan Divan, Hotamış, Tapuriçi formasyonları, Alüvyon yelpaze ve Alüvyon, içerdikleri güncel gevşek malzeme ile yeraltısuyu açısından oldukça verimli ve geçirimli birimlerdir. Bu birimler içerisindeki çakıl ve kum seviyeleri geçirimli özelliği ile yeraltısuyu açısından önemli serbest akiferi oluşturmaktadır. Çakıl, çakıllı kum, ince kum, kil ve silt seviyelerinden oluşan Hotamış formasyonu yarı geçirimli özelliğe sahip birimlerdir. Özellikle içerdiği çakıl-

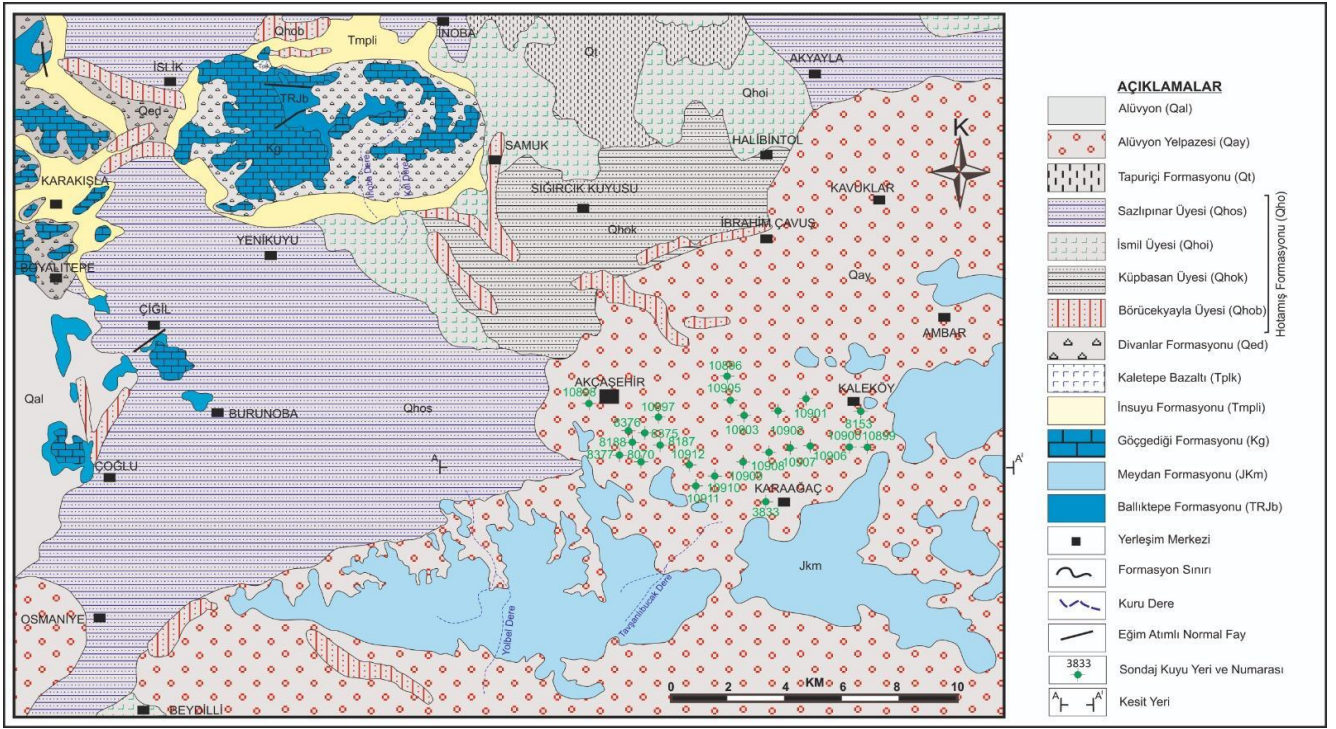
kum seviyelerine göre farklılık gösteren Hotamış formasyonu üyelerine ayrılmış ve her üye tutturulmamış malzeme özelliği ile yeraltısuyu bulundurma özelliği kazanmıştır. İnceleme alanında özellikle Hotamış formasyonuna ait Sazlıpınar üyesi üzerinde açılmış çok sayıda sondaj kuyusu yer almaktadır. Sondaj kuyularının derinlikleri 50-120 m, statik su seviyeleri ise 21-32 m arasında değişmektedir. [18].

Akçaşehir Ovası kuzeyinde açılmış olan kuyularda tamamen alüvyon birim kesilmiştir. Bu bölgede kil seviyelerinin fazla olduğu lokasyonlarda açılan sondaj kuyularından yeraltısuyu alınmamıştır. Daha güneyde açılan kuyularda ise alüvyon, çakıltaşı ve kireçtaşı birimleri kesilmiştir. Kireçtaşı birimlerinin kesildiği kuyularda daha yüksek debi değerleri elde edilmiştir (Şekil 2).

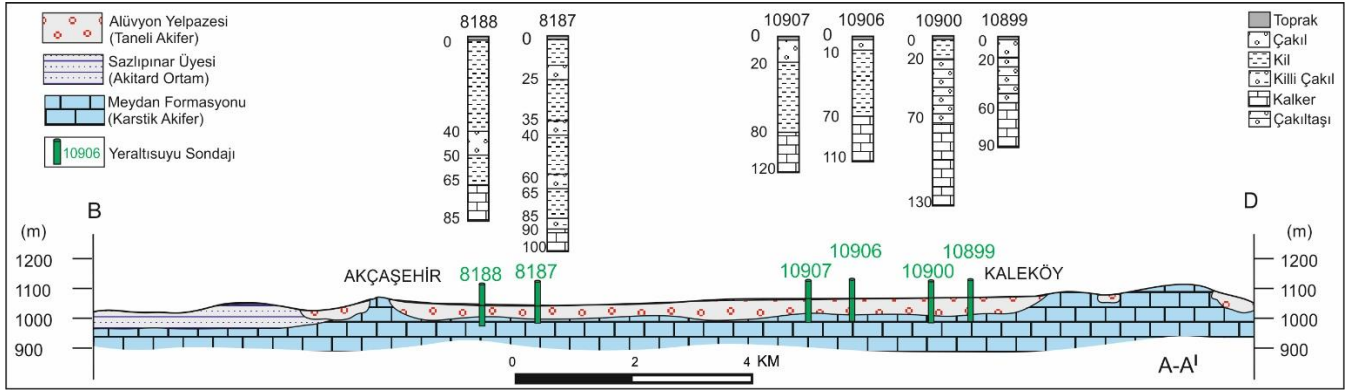
Çalışma alanındaki yarı geçirimli birimler akitard ortamı temsil etmektedir. İnceleme alanının kuzey ve kuzeybatısında yer alan ve çakıltaşı, kumtaşı, marn, kireçtaşı, tuf, tüfitden oluşan İnsuyu formasyonu ile sert, sıkı yer yer gaz boşluklu bazalt oluşan ve dar bir yayılıma sahip olan Kaletepe bazaltı yarı geçirimli özellikteki birimlerdir. İnsuyu formasyonuna ait kireçtaşı, çakıltaşı ve kumtaşı seviyeleri geçirimli özellikte iken marn seviyeleri geçirimsiz özellikte olduğundan bu birimler yarı geçirimli olarak nitelendirilmiştir. Kaletepe bazaltı da masif yapıları nedeniyle yarı geçirimli olarak nitelendirilmiştir.

Tablo 1. Çalışma alanında yayılım gösteren jeolojik birimlerin litolojik ve hidrojeolojik özellikleri

JEOKRONOLOJİ				LİTOSTRATİGRAFI			LİTOLOJİK ÖZELLİKLER	HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLER		
KAYA GRUBU	ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	GRUP	FORMASYON	SİMGE				
NEO-OTOKTON ÖRTÜ KAYALARI	SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen		Alüvyon		Qal	Tutturulmamış blok, çakıl, kum, silt	Geçirimli birim	
					Alüvyon Yelpazesi		Qay	Yarı tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl, blok	Geçirimli birim	
					Tapuriçi Formasyonu		Qt	Hareketli ve durağan kum dünürleri	Geçirimli birim	
			Pleyistosen		Hotamış Formasyonu	Sazlıpınar üyesi	Qho	Qhos	Yatay katmanlı karbonat matrisli kil-silt, jipsli kum	Yarı Geçirimli birim
						İsmil üyesi		Qhoi	Yatay katmanlı çakıl-kum, kil-silt, jipsli kum	Yarı Geçirimli birim
						Küpbasan üyesi		Qhok	Yatay katmanlı çakıl-kum	Geçirimli birim
		Börücekyayla		Qhob		Küçük ölçek çapraz katmanlı çakıl-kum		Geçirimli birim		
		Divanlar Formasyonu		Qed	Yarı tutturulmuş, karbonatlı çamur destekli kum, çakıl, blok	Geçirimli birim				
		Pliyosen	Altı	Kaletepe Bazaltı		Tplk	Sert, sıkı yer yer gaz boşluklu bazalt	Yarı geçirimli birim		
				Miyosen	Üst	İnsuyu Formasyonu		Tmpli	Çakıltaşı, kumtaşı, marn, kireçtaşı, tuf, tüfit, ignimbrit, lahar, sepiyolit	Yarı geçirimli birim
TEMEL KAYALAR	MESOZOYİK	Kretase	Beşşehir-Hoyran-Hadim Napları			Bolkar Dağı Birliği	Göçgediği Formasyonu		Kg	Çörtlü kireçtaşı, kristalize kireçtaşı, çörtlü mikrit
				Meydan Formasyonu			JKm	Rekrystalize kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı yer yer çörtlü	Geçirimli birim	
		Jura		Ballıktepe Formasyonu			TRJb	Dolomit, dolomitik kireçtaşı, mermer, rekrystalize kireçtaşı	Geçirimli birim	
		Triyas								



Şekil 1. İnceleme alanı jeoloji haritası ([14]'den revize edilmiştir)



Şekil 2. Hidrojeolojik enine kesit

3.3 Hidrojeokimyasal değerlendirmeler

3.3.1 Major iyon içerikleri

Çalışma alanında bulunan yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerini belirleyebilmek için bölgede DSİ 4. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan 24 adet sondaj kuyusuna ait kimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Yeraltısularının fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur. İnceleme alanında su örneklerinin pH değerleri 7.10-8.20 arasında değişmekte olup "bazik karakterli" suları temsil etmektedir. Suların Elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 110-920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Kirlilik, deniz suyu girişi, sıcaklık ve kaya-su etkileşimi gibi faktörler nedeniyle sudaki iyon içeriği arttıkça EC değeri de artar [19]. En düşük EC değerinin ölçüldüğü kuyuda killi çakıl, kil ve çakıl birimlerinden yeraltısuyu alınırken, en yüksek EC değerinin ölçüldüğü 10898 nolu kuyuda çakıltaşı ve kireçtaşı biriminden su alınmaktadır. Toplam çözünmüş

madde miktarı, suda çözünmüş katyonları, anyonları, ağır metalleri ve kısmen organik maddeyi temsil eder [5]. Çalışma alanında yeraltısularının TDS değeri 54 ile 612.40 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 2). İnceleme alanında suların sertliği 3.50 ile 51.20 Fr° arasında değişmektedir. Fransız sertlik derecesine göre suların iki adedi "çok yumuşak" diğerleri ise "az sert, sert ve çok sert" sular sınıfındadır. Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg sülfat ve Ca-Mg nitrat sertliği oluşturan ana bileşiklerdir.

Çalışma alanından alınan yeraltısuyu örneklerinde Na⁺ içerikleri 4.83-98.86 mg/l, K⁺ 0.78-10.17 mg/l, Ca⁺² iyonu 4.01-125.05 mg/l, Mg⁺² içerikleri ise 3.64-66.85 mg/l arasında değişmektedir. HCO₃⁻ 63.45-305.04 mg/l, SO₄⁻² 7.68-202.20 mg/l, Cl⁻ 3.55-59.56 mg/l ve CO₃⁻² içerikleri 0-14.4 mg/l arasında tespit edilmiştir.

Tablo 2. Su örneklerinin yerinde ölçüm ve analiz sonuçları

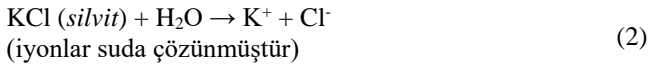
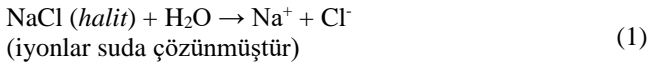
No	Kuyu/ Örnek No	pH	EC µS/cm	TDS mg/l	Sertlik Fr°	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Mg ⁺² mg/l	Ca ⁺² mg/l	CO ₃ ⁻² mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	Su Tipi
1	3833	8.2	600	235.70	6.00	98.86	10.17	12.16	4.01	6.00	176.31	59.56	39.86	NaHCO ₃ Cl
2	8070	7.4	700	612.40	51.20	9.66	2.35	48.62	125.05	0	300.16	11.35	115.27	CaMgHCO ₃ SO ₄
3	8153	8.2	500	254.80	22.00	17.93	4.69	32.82	34.07	14.40	207.43	15.60	47.07	MgCaHCO ₃
4	8187	7.7	370	198.90	19.00	5.98	4.30	21.88	40.28	0	224.51	4.96	19.21	MgCaHCO ₃
5	8188	7.8	740	410.30	37.00	9.88	6.65	60.78	48.10	0	300.16	12.76	133.52	MgCaHCO ₃ SO ₄
6	8375	7.5	500	280.50	25.50	9.43	2.35	30.39	52.10	0	239.15	7.09	69.34	CaMgHCO ₃ SO ₄
7	8376	7.1	110	54.00	3.50	13.79	0.78	3.64	8.01	0	63.45	3.55	8.65	NaCaMgHCO ₃
8	8377	8.1	700	397.30	33.00	10.35	1.96	42.54	62.12	6.00	165.94	14.18	181.54	MgCaSO ₄ HCO ₃
9	10896	7.5	620	344.80	31.00	12.18	2.74	44.97	50.10	0	270.88	12.76	96.06	MgCaHCO ₃ SO ₄
10	10897	7.3	690	502.40	36.50	9.43	1.56	60.78	46.09	0	275.76	12.76	96.06	MgCaHCO ₃ SO ₄
11	10898	7.2	920	540.30	45.00	23.45	2.74	66.85	70.14	0	305.04	31.20	202.20	MgCaHCO ₃ SO ₄
12	10899	7.8	300	258.20	16.50	5.98	1.17	14.59	42.08	0	120.80	10.64	62.92	CaMgHCO ₃ SO ₄
13	10900	8.0	380	309.90	20.00	4.83	1.17	24.31	40.08	4.80	196.44	8.51	29.78	MgCaHCO ₃
14	10901	8.2	360	159.30	15.50	6.90	1.56	23.09	24.05	10.80	164.72	7.80	7.68	MgCaHCO ₃
15	10902	8.0	350	259.70	16.50	4.83	1.17	21.88	30.06	4.80	178.14	9.22	9.61	MgCaHCO ₃
16	10903	7.9	500	299.30	26.50	8.28	1.17	35.25	48.10	0	208.65	13.47	90.77	MgCaHCO ₃ SO ₄
17	10905	7.9	340	217.20	20.00	4.83	1.17	19.45	48.10	0	190.35	7.09	44.19	CaMgHCO ₃ SO ₄
18	10906	7.9	400	213.70	15.50	23.45	1.17	17.02	34.07	0	122.02	12.76	85.97	CaMgNaHCO ₃ SO ₄
19	10907	7.4	480	257.50	25.00	5.98	1.17	36.47	40.08	0	258.67	9.93	36.98	MgCaHCO ₃
20	10908	7.7	380	209.00	20.00	7.13	1.56	24.31	40.08	0	228.17	9.93	15.85	MgCaHCO ₃
21	10909	7.6	460	392.00	26.00	10.35	1.56	34.03	48.10	0	204.99	12.76	80.21	MgCaHCO ₃ SO ₄
22	10910	7.7	500	262.60	23.50	8.28	1.56	37.68	32.06	0	187.90	11.34	81.65	MgCaHCO ₃ SO ₄
23	10911	7.6	600	495.20	33.00	6.90	1.17	49.84	50.10	0	276.98	12.76	97.50	MgCaHCO ₃ SO ₄
24	10912	7.3	650	348.20	33.50	9.43	1.17	64.42	28.06	0	305.04	11.35	87.41	MgHCO ₃ SO ₄

Tablo 3. Korelasyon analizi

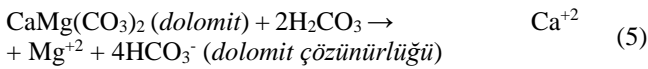
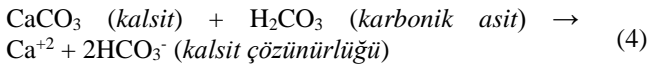
	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	pH	EC	TDS
Na ⁺	1										
K ⁺	0.78	1.00									
Mg ⁺²	-0.21	0.00	1.00								
Ca ⁺²	-0.34	-0.18	0.50	1.00							
CO ₃ ⁻²	0.44	0.45	-0.26	-0.34	1.00						
HCO ₃ ⁻	-0.13	0.15	0.86	0.54	-0.27	1.00					
Cl ⁻	0.93	0.74	0.04	-0.17	0.40	0.08	1.00				
SO ₄ ⁻²	0.00	0.06	0.74	0.58	-0.25	0.47	0.23	1.00			
pH	0.26	0.34	-0.42	-0.27	0.72	-0.38	0.22	-0.25	1.00		
EC	0.20	0.34	0.87	0.52	-0.05	0.77	0.45	0.84	-0.20	1.00	
TDS	-0.08	0.02	0.82	0.77	-0.24	0.74	0.17	0.76	-0.32	0.83	1.00

Suların majör iyon içerikleri, pH, EC ve TDS değerleri için korelasyon analizleri yapılmıştır. Korelasyon analizi, su örneklerinde çözünmüş elementlerin kökeni ve fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek için kullanılabilir [20]. Yüksek bir korelasyon katsayısı (1'e yakın veya 1) iki değişken arasında iyi bir ilişki olduğu anlamına gelirken, sıfır civarındaki değer aralarında ilişki olmadığı anlamına gelir. Daha açık bir ifadeyle, $r > 0.70$ olan parametrelerin güçlü korelasyon gösterdiği, 0.50 ile 0.70 arasındaki r değerlerinin ise orta düzeyde korelasyon gösterdiği söylenebilir [21]. Majör iyonlarda Ca^{+2} - Mg^{+2} , HCO_3^- - Ca^{+2} , SO_4^{2-} - Ca ve EC- Ca^{+2} arasında ise orta pozitif korelasyon söz konusudur (Tablo 3). Yeraltısu örneklerinde Na^+ - K^+ (0.78), Mg^{+2} - HCO_3^- (0.86), Na^+ - Cl^- (0.93), Cl^- - K^+ (0.74), Mg^{+2} - SO_4^{2-} (0.74) iyonları arasında güçlü pozitif korelasyon tespit edilmiştir. EC değerleri ile Mg^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{2-} ve TDS değeri ile Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , EC değeri arasında güçlü pozitif korelasyon belirlenmiştir.

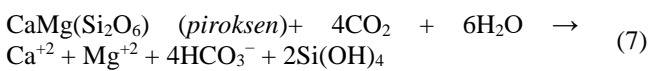
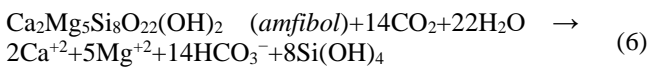
Na^+ - Cl^- , K^+ ve SO_4^{2-} arasında tespit edilen güçlü pozitif korelasyon halit (NaCl), silvit (KCl) ve jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) gibi evaporit minerallerinin çözünürlüğü ile ilişkilidir (Denklemler 1-3).



Akifer sistemde karbonat minerallerinin (kalsit ve dolomit) çözünmesi asidik su ile gerçekleşmektedir. Önemli karbonat aşınma reaksiyonları kalsit ve dolomitin çözünmesidir (Denklemler 4, 5).



Mg^{+2} ve HCO_3^- arasındaki pozitif korelasyon bu iki iyonun yeraltısuunda varlığının dolomit ve dolomitik kireçtaşının çözünmesi ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Ca^{+2} ve HCO_3^- arasındaki pozitif korelasyon kireçtaşlarının yapıtaşı olarak bilinen kalsit mineralinin çözünmesi ile ilişkilidir. Bu iki iyon arasındaki pozitif korelasyon amfibol ve piroksen gibi kayaç yapıcı mafik mineraller ile kaya su etkileşimi kaynaklı da olabilmektedir (Denklemler 6, 7).



TDS'nin Mg^{+2} (0.82), Ca^{+2} (0.77), HCO_3^- (0.74) ve SO_4^{2-} (0.76) ile korelasyon katsayısı değerleri, TDS ve EC değerlerindeki artışın bu iyonlar ile ilişkili olduğunu ve bu

iyonların çözünürlüğünün birbirine bağlı olduğunu göstermektedir.

3.3.2 Hidrokimyasal bileşenlerin tanımlanması

Akifer matrisi ile yeraltısu arasındaki reaksiyonlar, suyun hidrojeokimyasal özelliklerini kontrol eder. Yeraltısuundaki toplam çözünmüş katıların önemli bir kısmını majör iyonlar oluşturur. Bu iyonların yeraltısuundaki konsantrasyonları akifer sisteminde gerçekleşen hidrojeokimyasal süreçlere bağlıdır [22]. Bu nedenle, yeraltısuundaki farklı majör iyonların konsantrasyonlarının incelenmesi, jeokimyasal süreçleri tanımlamak için kullanılır.

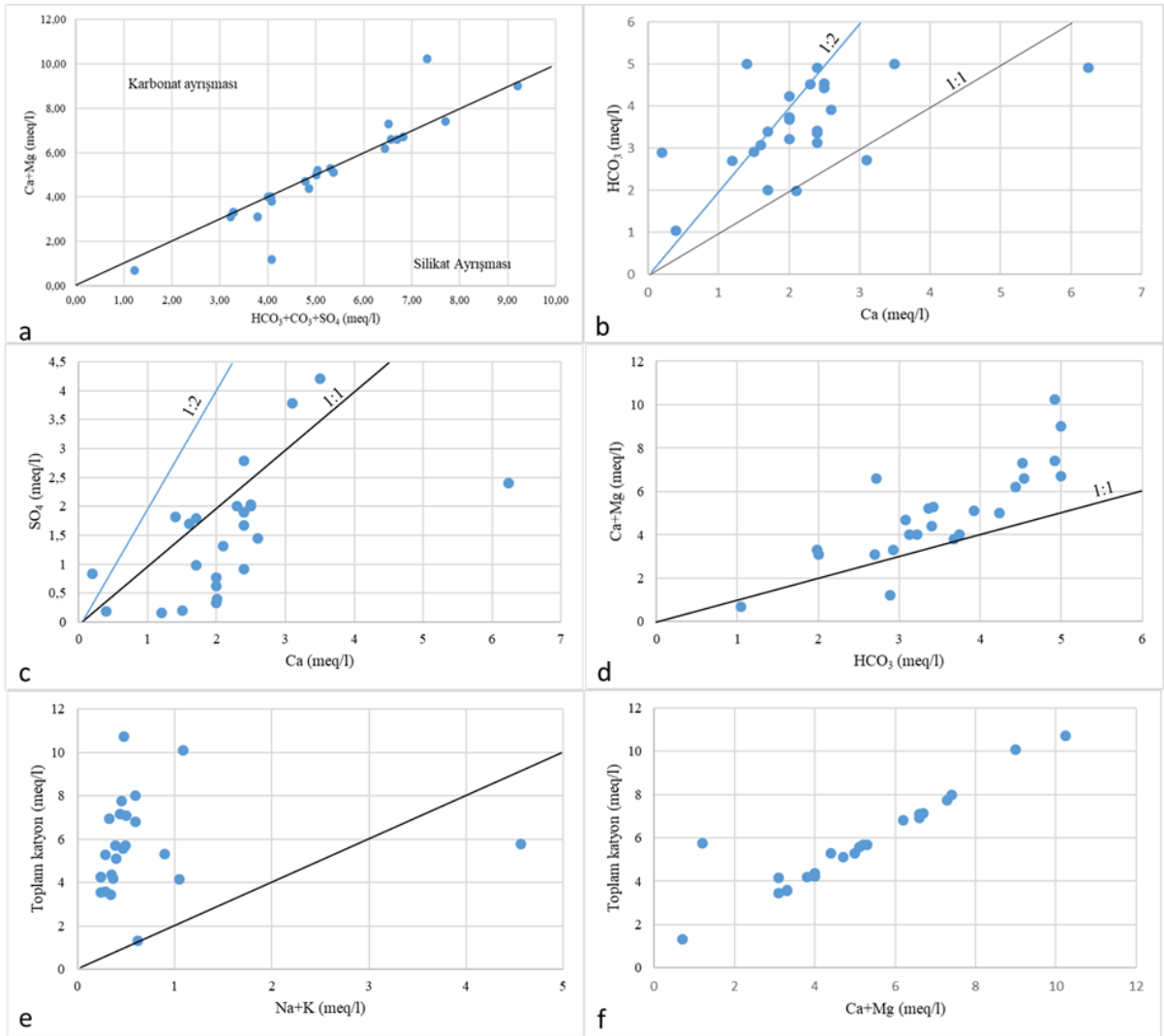
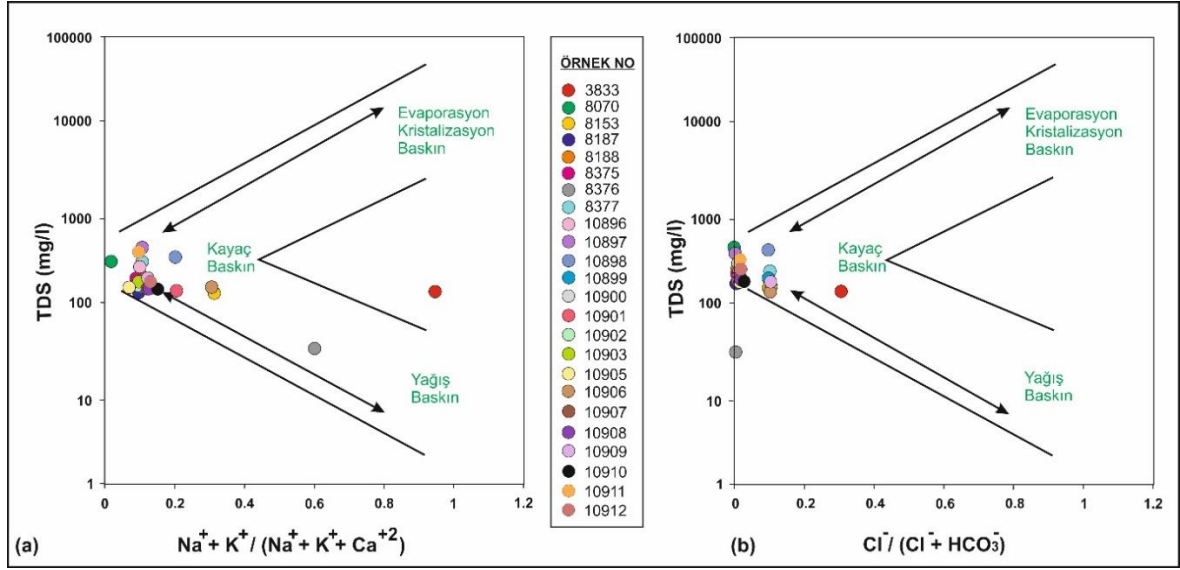
Ayrışma, iyon değişim süreçleri ve atmosferik ile antropojenik kaynaklardan gelen girdiler yeraltısuundaki kimyasal bileşenlerin içeriğini kontrol eden temel mekanizmalardır. Akifer ortamlarındaki iyonların bolluğu ve çözünürlüğüne bağlı olarak, yeraltısuundaki iyon içerikleri değişiklik gösterir. Gibbs [23] diyagramı, sudaki iyonik oranları kullanarak suyun bileşimini ve kökenini açıklamaktadır. Gibbs diyagramı, TDS'nin bir fonksiyonu olarak $Cl^-/Cl^-+HCO_3^-$ (Gibbs Oranı I = anyonlar için) ve $Na^++K^+/Na^++K^++Ca^{+2}$ (Gibbs Oranı II = kationlar için) oranını temsil eder [23], (Şekil 3). Bu diyagram, suda çözünmüş halde bulunan kimyasal bileşiklerin olası kaynaklarını tanımlar. Çalışma alanından alınan yeraltısu örnekleri Gibbs diyagramında "kayaç baskın" bölgesinde yer almakta olup, bu da yeraltısu kimyasını kontrol eden ana faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir (Şekil 3).

Yeraltısuunun kimyasal yapısını kontrol eden olası hidrojeokimyasal süreçler dolaşım sırasında suyun kimyasal yapısının değişmesine neden olur. Bu süreçler ayrışma ve çözünme (karbonat çözünmesi-silikat ayrışması), iyon değişimi ve buharlaşma olarak tanımlanmaktadır.

Yeraltısuunda çözünmüş iyonların kökeni; iyonların içeriği, oranları ve bolluğu ile değerlendirilebilir. Yeraltısuunun iyon içeriklerindeki değişimler bu iyonlar arasındaki farklı oranlar ve grafikler kullanılarak yorumlanabilir ve akifer ortamındaki hidrojeokimyasal süreçler tanımlanabilir [24, 25, 26].

Minerallerin ayrışması ve çözünmesi çok sayıda çalışmada ($Ca^{+2}+Mg^{+2}$) - ($HCO_3^- + SO_4^{2-}$) grafiği ile de yorumlanmaktadır. Diyagramda yeraltısu örnekleri genel olarak 1:1 çizgisi boyunca sıralanmıştır (Şekil 4a). Bu durum yeraltısuunda bulunan majör iyonların karbonat çözünmesi ve silikat ayrışması ile evaporit minerallerinin çözünürlüğünden kaynaklandığını göstermektedir [21, 27].

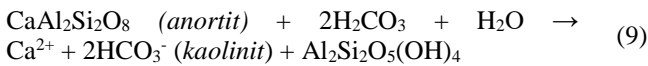
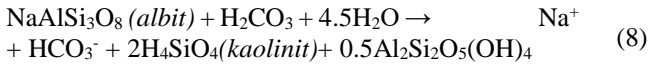
Ca^{+2}/Mg^{+2} oranı, yeraltısuunda kalsit ve dolomit çözünmesini gösterir. $Ca^{+2}/Mg^{+2} = 1$ dolomit çözünmesini, $Ca^{+2}/Mg^{+2} < 1$ kalsit çözünmesini ve $Ca^{+2}/Mg^{+2} > 2$, silikatların çözünmesini gösterir [28, 29]. Yeraltısu örneklerinin çoğunda Ca^{+2}/Mg^{+2} oranı 1'in altında bulunmuştur, bu da kalsit çözünmesini göstermektedir. Ca^{+2}/Mg^{+2} oranı 1 ile 2 arasında olan örneklerde kalsit ve dolomit çözünmesi baskındır (Tablo 4). Yeraltısu örneklerinin $Ca^{+2}/(Ca^{+2}+SO_4^{2-})$ oranı dikkate alındığında, örneklerin %75'inin değeri 0.50'den yüksektir (Tablo 4).



Bu durum yeraltısuyunda Ca⁺² derişiminde jipslerin etkisinin düşük olduğunu göstermektedir. Ca⁺² ve HCO₃⁻'in sadece kalsit çözünmesinden kaynaklandığı bölgede Ca⁺²'un HCO₃⁻'a oranı 1:2 iken, dolomit çözünmesinden kaynaklandığı bölgede 1:4'tür [30]. Ca⁺² - HCO₃⁻ dağılım diyagramına göre (Şekil 4b), tüm yeraltısuyu örnekleri (sadece 2 örnek hariç) 1:1 çizgisinin üzerindedir ve bu da kalsit çözünmesinin baskın olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, yeraltısuyundaki kalsiyum ve sülfat jips veya anhidritin çözünmesinden kaynaklanıyorsa, Ca⁺²/SO₄⁻² oranı 1 civarındadır [31]. Ca⁺²-SO₄⁻² dağılım diyagramında (Şekil 4c), birkaç örnek 1:1 eşitliği boyunca düşer ve çoğu sülfattan fazla kalsiyum gösterir. 1:1 eşitliğini takip eden yeraltısuyu örnekleri jips veya anhidrit çözünmesinden etkilenmiş olduğunu gösterir. Benzer şekilde, kalsiyumdan fazla sülfat bulunması, kalsiyumun muhtemelen kalsit çökmesi yoluyla sistemden uzaklaştırıldığını ifade etmektedir [30].

Yeraltısuyunun Ca⁺²+Mg⁺²/HCO₃⁻ oranı su-kayaç etkileşimi hakkında bilgi sağlayabilir. Bu oranın 1'den büyük değerleri karbonat çözünmesinin baskın olduğunu gösterirken, 1'den küçük değerleri silikat ayrışmasına işaret eder [32, 33]. İki örnek hariç çalışma alanından alınan su örneklerinin Ca⁺²+Mg⁺²/HCO₃⁻ oranı 1'den büyük olup Ca⁺²+Mg⁺²/HCO₃⁻ grafiğinde noktalar 1:1 çizgisinin üstündedir (Şekil 4d). Bu durum Ca⁺², Mg⁺² ve HCO₃⁻ kaynaklarının karbonat kökenli olduğunu ve karbonat çözünmesinin baskınlığını göstermektedir.

Silikat ayrışması, özellikle kristalen kaya akiferlerinde yeraltısuyunun ana iyon kimyasını kontrol eden jeokimyasal süreçlerden biridir [34]. Silikat ayrışması Na+K ve toplam katyon arasındaki oran tahmin edilerek anlaşılabilir. İnceleme alanında Na+K ve toplam katyon arasındaki ilişkide (Şekil 4e) örneklerin çoğunun 1:2 çizgisinin yakınında ve üstünde olduğu görülmektedir. Bu durum, çalışma alanındaki sodyum ve potasyum iyonlarının artışında silikat ayrışmasının etkin olduğunu göstermektedir. Silikat aşınmasının su kimyası üzerindeki etkisi öncelikle katyonların ve silikanın eklenmesidir. Tipik silikat aşınma reaksiyonları ve ilişkili yan ürünler aşağıda açıklanmıştır (Denklemler 8, 9).



Ayrıca, Ca⁺²+Mg⁺² ile toplam katyon grafiği (Şekil 4f) örneklerin 1:1 çizgisi üzerinde ve çok yakın dağılım göstermektedir. Bu durum karbonat çözünümünün ana proses olduğunu göstermektedir. İkincil olarak evaporitlerin çözünümü ve iyon değişimi söz konusudur. Ayrıca, silikat ayrışmasının da katkısı bulunmaktadır.

Akifer sistemindeki en yaygın iyon değiştiriciler kil mineralleridir. İyon değişim süreci kloro-alkali indeks (CAI-I=[Cl-(K+Na)]/Cl, CAI-II=[Cl-(K+Na)]/(CO₃+HCO₃+SO₄) değerleri ile açıklanmaktadır [35, 36, 37]. Kloro-alkali indeksleri, kayadaki Mg⁺² ve Ca⁺² iyonları ile sudaki K⁺ ve Na⁺ iyonlarının değişimi olduğunda pozitifdir. Bu durum ters

iyon değişimini gösterir. Kloro-alkali indeksleri negatifse, akiferdeki Na⁺ ve K⁺, sudaki Ca⁺² ve Mg⁺² ile yer değiştirerek iyon değişimi olayını gösterir [38]. Negatif değerler kloroalkalin dengesizliğini gösterir ve bu reaksiyon katyon-anyon değişim reaksiyonu olarak bilinir. Çalışma alanındaki su örneklerinin hesaplanan CAI-I ve CAI-II indeksleri genellikle negatif (Tablo 4) olup bölgede "iyon değişiminin" baskın olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, yeraltısuyundaki Ca⁺² ve Mg⁺² akifer matrisindeki Na⁺ ve K⁺ ile değişim gerçekleşmektedir [30, 39].

Na/Cl oranı, yeraltısuyundaki buharlaşma sürecini tanımlamak için kullanılabilir. Buharlaşma, yeraltısuyu sisteminde gözlemlenebilen bir olgudur. İnceleme alanında yeraltısularının Na⁺/Cl⁻ oranları genellikle 1'den büyüktür (Tablo 4). Na/Cl oranının 1 civarında veya üzerinde olması, sodyumun iyon değişimi süreçleriyle ilgili silikat ayrışmasından (Na-plajiolklas veya ortoklaz) kaynaklandığını gösterir [40, 41, 42]. İyon değişimi sonucunda kil minerallerindeki Na⁺ iyonları bölgedeki yeraltısularında Ca⁺² iyonları ile yer değiştirmektedir.

Tablo 4. Korelasyon analizi

Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ /SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ /HCO ₃ ⁻	Na ⁺ /Cl ⁻	Ca/Ca+SO ₄ ²⁻	CAI-I	CAI-II
0.20	0.24	0.07	2.56	0.19	-1.71	-0.71
1.56	2.60	1.27	1.31	0.72	-0.50	-0.02
0.63	1.73	0.50	1.77	0.63	-1.05	-0.09
1.12	5.03	0.55	1.86	0.83	-1.64	-0.06
0.48	0.86	0.49	1.19	0.46	-0.67	-0.03
1.04	1.79	0.66	2.05	0.64	-1.35	-0.05
1.33	2.22	0.38	6.00	0.69	-5.20	-0.43
0.89	0.82	1.14	1.13	0.45	-0.25	-0.01
0.68	1.25	0.56	1.47	0.56	-0.67	-0.04
0.46	1.15	0.51	1.14	0.53	-0.25	-0.01
0.64	0.83	0.70	1.16	0.45	-0.24	-0.02
1.75	1.60	1.06	0.87	0.62	0.03	0.00
1.00	3.23	0.62	0.88	0.76	0.00	0.00
0.63	7.50	0.44	1.36	0.88	-0.55	-0.04
0.83	7.50	0.51	0.81	0.88	0.08	0.01
0.83	1.27	0.70	0.95	0.56	-0.03	0.00
1.50	2.61	0.77	1.05	0.72	-0.20	-0.01
1.21	0.95	0.85	2.83	0.49	-1.92	-0.18
0.67	2.60	0.47	0.93	0.72	-0.04	0.00
1.00	6.06	0.53	1.11	0.86	-0.25	-0.02
0.86	1.44	0.71	1.25	0.59	-0.36	-0.03
0.52	0.94	0.52	1.13	0.48	-0.25	-0.02
0.61	1.23	0.55	0.83	0.55	0.08	0.00
0.26	0.77	0.28	1.28	0.43	-0.38	-0.02

3.3.3 Suların sınıflandırılması

Piper [43] ve Chadha [44] diyagramları suların sınıflamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu diyagramlarda suların hidrojeokimyasal fasiyesleri tespit edilebilmektedir. İlk olarak [45] tarafından hidrolojik sistemlerde suyun kimyasal karakteri hidrojeokimyasal fasiyes kavramı ile belirlenmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes, kayaların içindeki mineraller ile yeraltısuyu arasında meydana gelen hidrojeokimyasal süreçlerin etkilerini yansıtmaktadır [46].

Piper diyagramında çalışma alanındaki suların genel olarak üç ayrı fasiyese ayrılacağı belirlenmiştir (Şekil 5). Yeraltısuyu örneklerinin büyük bir çoğunluğu Mg-Ca-HCO₃-SO₄ fasiyesindedir. Diğer baskın su sınıfı ise Mg-Ca-HCO₃/Ca-Mg-HCO₃'dir. Ayrıca, birer örnekte Na-HCO₃, Na-Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-Na-HCO₃-SO₄ su sınıfı gözlenmiştir. Piper diyagramından uyarlanan Chadha

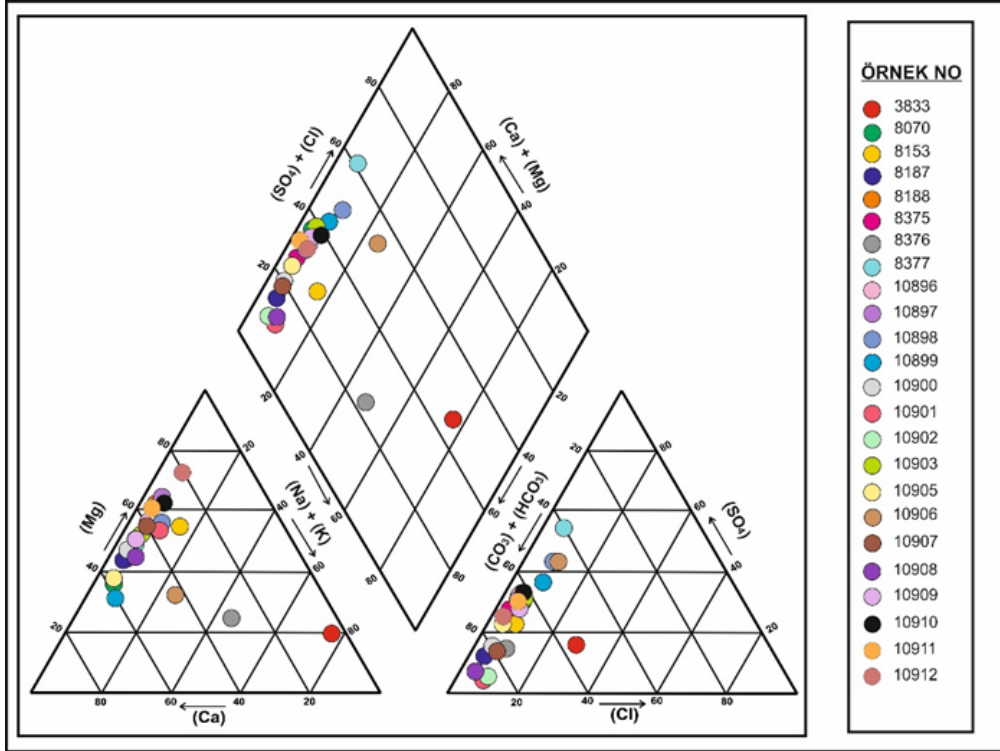
diyagramında su örneklerinin %74'ünün Ca-Mg-HCO₃ sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 6, Tablo 5).

İnceleme alanında sondaj kuyuları alüvyon yelpazesinde açılmıştır. Alüvyon yelpazesinde açılan kuyularda tabanda Meydan formasyonuna girilmiştir [18]. Meydan formasyonu kireçtaşı ve dolomit litolojilerinden oluşmaktadır. Sularda yüksek Ca²⁺, Mg²⁺ ve HCO₃⁻ içeriği kireçtaşı ve dolomit varlığı ile ilişkili kaya-su etkileşimi kaynaklıdır.

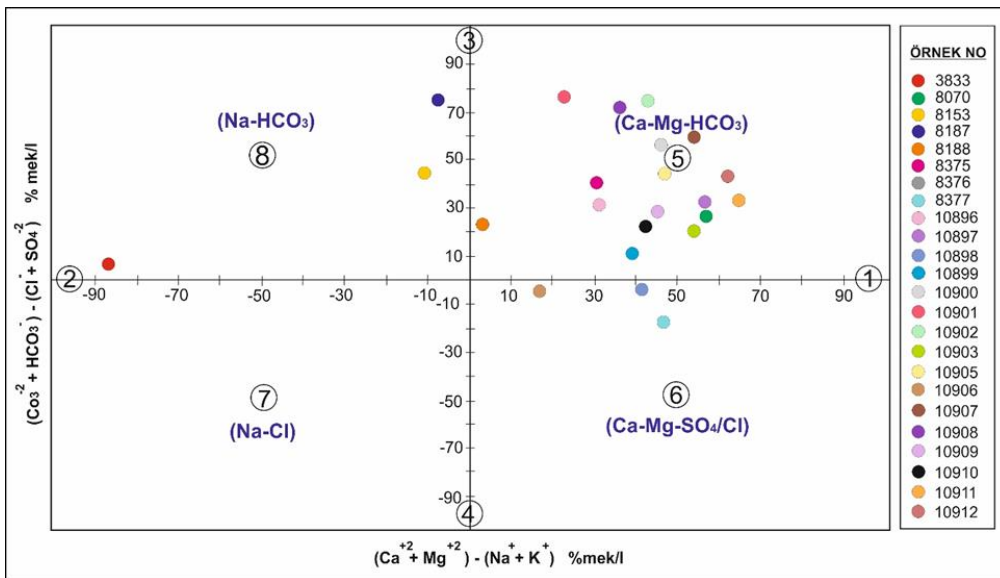
Su örneklerinin yaklaşık %13'si Na-HCO₃ su sınıfındadır. Bu fasiyes toprak alkali metallere yerini alkali

metallerin almasıyla oluşur. İnceleme alanında yeraltılarında genel olarak sodyum varlığı Na-montmorillonit kilinin sudaki kalsiyum ve magnezyum ile reaksiyona girerek sodyum açığa çıkardığı reaksiyonlar gibi doğal iyon değişiminden kaynaklanmaktadır.

Chadha diyagramında su örneklerinin kalan yaklaşık %13'si Ca-Mg-SO₄ fasiyesindedir. Sularda SO₄²⁻ artışı bölgede geniş alanlarda yüzeyleyen Hotamış formasyonuna Sazlıpınar ve İsmil üyeleri içerisinde bulunan jips mineralleri kaynaklıdır.



Şekil 5. Piper diyagramı



Şekil 6. Chadha diyagramı

Tablo 5. İnceleme alanında yeraltısuyunun hidrojeokimyasal değerlendirilmesi

Su Tipi	Litoloji	Mineral	Hidrojeokimyasal Süreç	Dağılım
Ca-Mg-HCO ₃ / Mg-Ca-HCO ₃	Alüvyal sediment-kireçtaşı, dolomit	Kalsit (CaCO ₃) Dolomit (CaMg(CO ₃) ₂)	Karbonat çözünümü	Örneklerin %74'ü
Na-HCO ₃	Alüvyal sediment, kil, silt, kum, evaporit mineralleri	Albit (NaAlSi ₃ O ₈) Halit (NaCl)	Silikat ayrışması İyon değişimi	Örneklerin %13'ü
Ca-Mg-SO ₄	Alüvyal sediment, kil, silt, kum, evaporit mineralleri	Jips (CaSO ₄ 2H ₂ O) Amfibol (Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂) Piroksen (CaMg(Si ₂ O ₆))	Evaporit mineral çözünümü Silikat ayrışması	Örneklerin %13'ü

4 Sonuçlar

Akçaşehir Ovası Karaman ilinin kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Ovada tutturulmamış kil, silt, kum, çakıl malzemeden oluşan alüvyon yelpaze üzerinde açılmış çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. 50-120 m arasındaki derinliklerde açılan bu kuyuların tabanında kireçtaşı birimine girilmiştir. Bu kireçtaşları alüvyon yelpaze biriminin güneyi ve doğusunda geniş alanlarda yüzeyleyen Meydan formasyonuna aittir. Bu formasyon rekristalize kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı ile yer yer çörtlü seviyelerden oluşmaktadır.

Bu çalışmada Akçaşehir ovasında açılmış sondaj kuyularından alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları kullanılarak yeraltısuyunun kimyasal bileşiminin kaynağı ve kontrol mekanizmaları; iyon oranları, korelasyon analizi ve diğer hidrojeokimyasal yöntemlerle değerlendirilmiştir. İnceleme alanında yeraltısularında tespit edilen baskın su tipi Mg-Ca-HCO₃/Ca-Mg-HCO₃ olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında alüvyon birim, alüvyal sedimentler, kireçtaşı ve dolomit birimleri ile ilişkili olan yeraltısularında bu sınıfı gözlenmiştir. Değerlendirmelerde bu su tipinin gelişmesinde kireçtaşı ve dolomitik kayaçların varlığı ile ilişkili olarak kalsit ve dolomit minerallerinin çözünmesinin etkin olduğu görülmektedir. İnceleme alanında bazı örneklerde SO₄²⁻ ve Na⁺ iyonlarındaki artışa bağlı olarak Na-HCO₃ ve Ca-Mg-SO₄ fasiyeslerinin varlığı tespit edilmiştir. Yeraltısularında tespit edilen SO₄²⁻ ve Na⁺ artışı suların etkileşim halinde olduğu Kuvaterner birimler içerisinde bulunan jipsli kum ve jips seviyeleri ile ilişkilidir.

Majör iyonlardan Na⁺ ile K⁺, Mg²⁺ ile HCO₃⁻, Na⁺ ile Cl⁻ ve K⁺, Mg²⁺ ile SO₄²⁻ arasında güçlü pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca, EC değerleri ile Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻ ve TDS değeri ile Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, EC değeri arasında güçlü pozitif korelasyon belirlenmiştir. Bu korelasyonlar akifer ortamda bulunan mineral ve kayaç türlerine bağlı olarak su fasiyesinin gelişimine neden olan su-kayaç etkileşimi süreçlerinin varlığını desteklemektedir.

Yeraltısularında analiz edilen majör iyon içeriklerine bağlı olarak farklı iyon oranlarına (Ca²⁺/Mg²⁺, Ca²⁺/(Ca²⁺+SO₄²⁻), Ca²⁺/SO₄²⁻, Ca²⁺+Mg²⁺/HCO₃⁻, Ca²⁺/HCO₃⁻, Na/Cl) göre değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde de su tipleri ve korelasyon analizi ile tespit edilen benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Farklı yöntemlerle belirlenen hidrojeokimyasal değerlendirmeler çalışma alanında yeraltısuyu kimyasının su-kayaç etkileşimi süreçleri ile denetlendiğini göstermiştir. İnceleme alanındaki yeraltısuyu kimyası başta karbonatların çözünümü/ayrışması

olmak üzere evaporitlerin çözünümü, iyon değişimi ve silikatların ayrışması ile kontrol edilmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 12

Kaynaklar

- [1] J. Liu, K. Lou, Z. Gao, M. Tan, Hydrochemical insights on the signatures and genesis of water resources in a high-altitude city on the Qinghai-Xizang Plateau, South-west China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 18(7), 88, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11783-024-1848-8>
- [2] R.M. Kurakalva, G. Kuna, S.P. Vaiphei, S.S: Guddeti. Evaluation of hydrogeochemical profile, potential health risk and groundwater quality in rapidly growing urban region of Hyderabad, South India. *Environmental Earth Sciences*, 80(10), 383, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09661-z>
- [3] L. Surinaidu, Role of hydrogeochemical process in increasing groundwater salinity in the central Godavari delta. *Hydrology Research*, 47 (2), 373–389, 2016. <https://doi.org/10.2166/nh.2015.050>
- [4] C.A.J. Appelo, D. Postma, *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2nd edn. A.A. Balkema, Rotterdam, 1999.
- [5] J.D. Hem, *The study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*, 3rd edn. USGS Water Supply Paper 2254, US Geological Survey, 1989.
- [6] A.W. Hounslow. *Water quality data analysis and interpretation*. Lewis Publishers, 1995.
- [7] L. Andre, M. Franceschi, P. Pouchan, O. Atteia, Using geochemical data and modeling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer, Aquitaine Basin, south-west of France. *Journal of Hydrology*, 305, 40–62, 2005. <https://doi.org/10.16/j.jhydrol.2004.08.027>
- [8] M. Jalali, Assessment of the chemical components of Famenin groundwater, western Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 29, 357–374, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10653-006-9080-y>
- [9] A.K. Singh, G.C. Mondal, S. Kumar, T.B. Singh, B.K. Tewary, A. Sinha, Major ion chemistry, weathering processes and water quality assessment in upper catchment of Damodar river basin. *India Environmental Geology*, 54, 745–758, 2008. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0860-1>

- [10] B.M. Shakya, T. Nakamura, S.D. Shrestha, K. Nishida, Identifying the deep groundwater recharge processes in an intermountain basin using the hydrogeochemical and water isotope characteristics. *Hydrology Research*, 50(5), 1216–1229, 2019. <https://doi.org/10.2166/nh.2019.164>
- [11] C.K. Tay, Hydrogeochemical framework of groundwater within the Asutifi-North District of the Brong-Ahafo Region, Ghana. *Applied Water Science*, 11(4), 72, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01398-1>
- [12] N. Özgül, Toros'ların bazı temel özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19(1), 65-78, 1976.
- [13] T. Bilgiç, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Karaman-N31, No:129, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, 2009. Ankara.
- [14] Ü. Ulu, A.K. Bulduk, E. Ekmekçi, M. Karakaş, H. Öcal, A. Arbas, L. Saçlı, Taşkiran, M.A. Adır, M. Sözeri, Ş. Karabıyıköğlü, M. İnlice-Akkise ve Cihanbeyli-Karapınar alanının jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no: 9720*, s. 219, 1994.
- [15] Ü. Ulu, V. Balcı, 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Karaman-N30 Paftası. No: 128, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, 2009.
- [16] M.A. Gül. Ö. Çuhadar, Y. Öztaş, H. Aklan, T. Efeçinar, Bolkar Dağı- Beledemik yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları,. TPAO arama Grubu Dökümantasyon Merkezi, 159s, 1984.
- [17] M. Şenel, H. Selçuk, Z.R. Bilgin, M.A. Şen, T. Karaman, M.A. Dinçer, E. Durukan, A. Arbas, S. Örcen, C. Bilgi, Çameli (Denizli), Yeşilova (Burdur), Elmalı (Antalya) ve dolayının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no: 9429, s. 344, 1989.
- [18] DSİ, Karaman-Ayrancı ve Akçşehir Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayını, 1975.
- [19] A. Şahinci, Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 546, 1991.
- [20] F.H. Azaza, M. Ketata, R. Bouhlila, M. Gueddari, L. Riberio, Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss–Koutine aquifer, southeastern Tunisia. *Environmental Monitoring Assessment*, 174, 283–298, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1457-9>.
- [21] M. Kumar, A.L. Ramanathan, M.S. Rao, B. Kumar, Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental Geology*, 50(7), 1025-1039, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0275-4>
- [22] E. Lakshmanan, R. Kannan, M. Senthil-Kumar, Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of groundwater in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental Geosciences*, 1(4), 157-166, 2003. <https://doi.org/10.1306/eg100403011>
- [23] R.J. Gibbs, Mechanism controlling world water chemistry. *Science*, 170, 795-840, 1970.
- [24] N. Aghazadeh, A.A. Mogaddam, Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran. *Environmental Monitoring Assessment*, 176, 183–195, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1575-4>
- [25] A. Davraz, A. Özdemir, Groundwater quality assessment and its suitability in Çeltikçi plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Science*, 72, 1167–1190, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-3036-1>
- [26] A. Davraz, B. Batur, Hydrogeochemistry characteristics of groundwater and health risk assessment in Yalvaç–Gelendost basin (Turkey). *Applied Water Science*, 11(4), 67, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01401-9>
- [27] S. Kuldip, H.S. Hundal, S. Dhanwinder, 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, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-0989-9>.
- [28] A.L. Mayo, M.D. Loucks, Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the Central Wasatch Range, Utah. *Journal of Hydrology*, 172, 31–59, 1995. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02748-E](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02748-E)
- [29] R. Rajesh, K. Brindha, R. Murugan, L. Elango, Influence of hydro-geochemical processes on temporal changes in groundwater quality in a part of Nalgonda district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Earth Science*, 65, 1203-1213, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1368-2>
- [30] T. Subramani, N. Rajmohan, L. Elango, Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India. *Environmental Monitoring Assessment*, 162, 123-137, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0781-4>.
- [31] B.K. Das, P. Kaur, Major ion chemistry of Renuka lake and weathering processes, Sirmour district, Himachal Pradesh, India. *Environmental Geology*, 40, 908-917, 2001. <https://doi.org/10.1007/s002540100268>
- [32] A. Kumar Singh, G.C. Mondal, T.B. Singh, S. Singh, B.K. Tewary, A. Sinha, Hydrogeochemical processes and quality assessment of groundwater in Dumka and Jamtara districts, Jharkhand, India. *Environmental Earth Science*, 67, 2175-2191, 2012. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1658-3>.
- [33] K. Pazand, A. Hezarkhani, Y. Ghanbari, N. Aghavali, Geochemical and quality assessment of groundwater of Marand Basin, East Azarbaijan Province, northwestern Iran. *Environmental Earth Science*, 67, 1131–1143, 2012. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1557-7>.
- [34] N. Rajmohan, L. Elango, Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar river basins, Southern India. *Environmental Geology*, 46,

- 47-61, 2004. <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1012-5>
- [35] S.K. Tyagi, P.S. Datta, N.K. Pruthi, Hydrochemical appraisal of groundwater and its suitability in the intensive agricultural area of Muzaffarnagar district, Uttar Pradesh, India. *Environmental Geology*, 56, 5, 901-912, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1190-7>.
- [36] H. Schoeller, Qualitative evaluation of groundwater resources. In *Methods and techniques of groundwater investigation and development*. Water Research, Series-33 (pp. 44-52) Paris: UNESCO, 1967.
- [37] H. Schoeller, *Geochemistry of groundwater in Groundwater studies-An International guide for research and practice* Paris UNESCO, Chap 15:1-18, 1977.
- [38] F.K. Zaidi, Y. Nazzal, M.K. Jafri, M. Naeem, I. Ahmed, Reverse ion exchange as a major process controlling the groundwater chemistry in an arid environment: a case study from northwestern Saudi Arabia. *Environmental Monitoring Assessment*, 187, 607, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4828-4>
- [39] F.K. Zaidi, A. Salman, S. Hag-Elsafi, H.J. Alfaifi, Assessment of hydrological processes operating in a multi-layered sedimentary aquifer system in Saudi Arabia using integrated chemical and statistical approach. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-18, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7597-7>
- [40] M. Mayback, Global Chemical Weathering of Surficial Rocks Estimated from River-Dissolved Loads., *American Journal of Science*, 287, 401-428, 1987.
- [41] M.G. Garcia, M. Hidalgo, M.A. Blesa, Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucumán province, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 9, 597-610, 2001. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0166-4>.
- [42] C.K. Tay, Hydrochemistry of groundwater in the Savelugu-Nanton District, Northern Ghana. *Environmental Earth Science*, 67, 2077-2087, 2012. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1647-6>
- [43] A.M. Piper, A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 25, 914-923, 1944. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
- [44] D.K. Chadha, A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeology Journal*, 7, 431-439, 1999. <https://doi.org/10.1007/s100400050216>
- [45] W. Back, Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A, 1-42, 1966.
- [46] P.J. Sajil Kumar, Interpretation of groundwater chemistry using piper and chadha's diagrams: a comparative study from perambalur taluk. *Elixir Geoscience*, 54, 12208-12211, 2013.

