

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 025802 (390-404)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 025802 (390-404)

DOI: 10.35414/akufemubid.1036061

Araştırma Makalesi / Research Article

Aksu Çayı Havzası (Tefenni-Burdur) Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal İncelemesi

Ayşen DAVRAZ¹, Simge VAROL¹¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta.*Sorumlu yazar e-posta: aysendavraz@sdu.edu.tr
e-posta: simgevarol@sdu.edu.trORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2442-103X>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1905-9454>

Geliş Tarihi: 13.12.2021

Kabul Tarihi: 17.03.2022

Öz

İçme suyu temini günümüzde önemli bir problem haline almaya başlamıştır. Kentsel alanlarda genel olarak içme suyu temini baraj ve gölet gibi yüzey suyu depolamalarından sağlanmaktadır. Bu çalışmada, Burdur kent merkezinin uzun dönem içme suyu ihtiyacının karşılanması için yapılması planlanan barajı besleyecek olan, Aksu Çayı sularının hidrojeokimyasal ve kalite özellikleri araştırılmıştır. Aksu Çayı havzasında Marmaris peridotiti ve Kızılcaadağ melanj ve olistrosromu geniş alanlarda yüzeylenmektedir. İnceleme alanında suların MgHCO₃ hidrojeokimyasal fasiyesinde olduğu tespit edilmiştir. Yüzey ve yeraltısularının kimyasal yapısını denetleyen hidrojeokimyasal süreçlerin tanımlanmasında suların majör iyon içeriklerinden yararlanılmıştır. Havzada yüzey ve yeraltısularının kaya-su etkileşimine bağlı olarak kimyasının hem karbonat hem de silikat ayrışma süreçlerinden etkilendiği tespit edilmiştir. İnceleme alanı içerisinde boşalan kaynak sularının EC değeri 460-550 µS/cm arasında, dere sularının EC değeri 460-620 µS/cm arasında değişmektedir. Su örneklerinin pH değeri ise 8.50-8.73 arasındadır. Aksu Çayını besleyen yüzey ve kaynak sularının fiziksel parametre, major iyon ve iz element içeriklerinin Türkiye ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu standartlarını aşmadığı ve içme suyu olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde farklı diyagram ve eşitliklerden yararlanılmıştır. Genel olarak Aksu Çayı sularının Magnezyum Tehlikesi (MT) değeri dışında sulama suyu için kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Sulama suyu olarak kullanımda suların yüksek Mg⁺² içerikleri olumsuz etki oluşturacaktır.

Anahtar kelimeler

Yüzey suyu; İçme suyu;
Sulama; Kalite; Burdur

Hydrogeochemical Investigation of Water Resources in the Aksu Stream Basin (Tefenni-Burdur)

Abstract

Drinking water supply has become an important problem today. In urban areas, drinking water is generally supplied from surface water storages such as dams and ponds. In this study, the hydrogeochemical and quality characteristics of Aksu stream waters, which will feed the dam planned to meet the long-term drinking water needs of Burdur city center, were investigated. Marmaris peridotite and Kızılcaadağ melange and olistrochrome crop out in large areas in the Aksu stream basin. It has been determined that the waters in the study area are of MgHCO₃ hydrogeochemical facies. The major ion contents of waters were used to define hydrogeochemical processes that control the chemical composition of surface and ground waters. It has been determined that the chemistry of the surface and ground waters in the basin, depending on the rock-water interaction, is affected by both carbonate and silicate weathering processes. The EC value of the spring waters discharged from the study area varies between 460 and 550 µS/cm, and the EC value of the stream waters varies between 460 and 620 µS/cm. The pH value of the water samples is between 8.50 and 8.73. It has been determined that the physical parameters, major ions and trace element contents of the surface and spring waters feeding the Aksu stream do not exceed the drinking water standards of Turkey and the World Health Organization and are suitable for usage as drinking water. Different diagrams and equations were used to evaluate the usability of water as irrigation water. In general, it has been determined that Aksu stream waters are suitable for use for irrigation water, except for the Magnesium Hazard (MT) value. High Mg⁺² contents of the waters will have a negative effect when used as irrigation water.

Keywords

Surface water; Drinking
water; Irrigation;
Quality; Burdur

1. Giriş

Günümüzde büyüyen kentlerde içme suyu ihtiyacının karşılanması önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Pek çok yerleşim merkezinde su ihtiyacının karşılanmasında öncelikle kaynak sularından yararlanılmıştır. Artan nüfus ve kullanım alanlarının farklılaşması kaynak sularının genellikle miktar olarak ihtiyacı karşılayamamasına neden olmuştur. Bu ihtiyaçların karşılanmasında da mevcut yüzey sularının (göl, dere vb.) kullanımı yoluna gidilmiştir. Ancak, yüzey sularının kirliliğe açık olması ve günümüzde çoğu yüzey sularının kirlenmiş olması yeraltı sularının kullanımını artırmıştır. Yüzey ve yeraltı sularının miktar ve kalite açısından uygun olmadığı alanlarda uzun dönemli su ihtiyacının karşılanmasında ise su yapıları (baraj, gölet) kullanılmaktadır. Ülkemizde ve dünyada pek çok yerleşim alanında özellikle sulama suyu ihtiyacının karşılanmasında su yapılarından faydalanılmaktadır. Ancak, sulama amaçlı yapılan çok sayıda baraj ve gölet sularının daha sonra içme suyu amaçlı olarak kullanıldığı da görülmektedir.

Kentlerin gelişiminin sağlanabilmesi, yaşam koşullarının iyileştirilmesi, kentlerde gelişen şartlara bağlı olarak yaşam kalitesinin artırılabilmesi uzun dönemli su ihtiyacının karşılanması ile sağlanabilir. Bu nedenle hemen hemen bütün illerde uzun dönem su ihtiyaçlarının karşılanması için yatırım ve planlamalar yapılmaktadır. Bu planlamalarda yoğun olarak baraj, gölet gibi su yapılarına yatırım yapılmaktadır. Özellikle içme suyu amaçlı yapılan baraj ve göletler için bu su yapılarının planlandığı dere havzasının jeolojik, hidrojeolojik özellikleri ve kirlenici kaynak araştırmalarının yapılması önem taşımaktadır. Havzanın özellikleri doğrudan dereyi besleyen su kaynaklarının kimyasal özelliklerini de etkileyecektir.

Son yıllarda yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının azalmasına bağlı problemleri önemli boyutta yaşayan illerimizden birisi de Burdur ilidir. Günümüzde Burdur ilinde Burdur Gölü'nün giderek küçülmesi çözüm bekleyen bir problem iken ilde yeraltı sularının aşırı kullanımına bağlı miktar azalması da farklı bir problemdir. Burdur ilinin kısa

dönem içmesuyu ihtiyacının bir kısmının karşılanması amacıyla Senir civarında açılan sondaj kuyularından elde edilen yeraltı sularının kullanılmasına yönelik isale hattı ve depo yapımı devam etmektedir. Ancak, uzun dönem su ihtiyacının karşılanması için de alternatif kaynak planlamaları yapılmaktadır. Burdur İl Merkezinin uzun vadeli (2055 yılı) içme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılanması için alternatif olarak Belkaya-2 barajı planlanmaktadır. Bu çalışmada Belkaya-2 barajının üzerinde kurulacağı Aksu çayını besleyen yüzey ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen veriler ile içme ve sulama suyu kullanımı için uygunlukları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. İnceleme alanının tanıtılması

Aksu çayı havzası, Batı Akdeniz Havzası'na ait Köyceğiz-Dalaman Alt Havzası içerisinde bulunan, yarı kapalı havza özelliğindeki Gölhisar (Burdur) Ovası'nın kuzeydoğu sınırında bulunmaktadır. Belkaya-2 barajının Belkaya-1 barajının mansabında yine Aksu Çayı üzerinde yapılması planlanmaktadır. Belkaya-1 barajı 1993-2007 yılları arasında sulama amaçlı olarak yapılmış ve halen kullanılmaktadır. Bölgede sürekli akışa sahip olan Aksu Çayı Sorkun, Ecel ve Sancar dere kolları ile kaynak suyu çıkışlarından beslenmektedir. Aksu Çayı Gölhisar kuzeyinde bulunan Çamköy civarında Dalaman Çayı'na boşalmaktadır (Şekil 1). Aksu Çayı 113.5 km² drenaj alanına sahip olup ortalama akım 0.8 m³/s'dir (Okumuş 1989).

2.2. Örneklemeye ve analiz yöntemi

Bu çalışmada yapılması planlanan Belkaya-2 barajı mansabında Aksu dereyi besleyen dere ve kaynak sularından Haziran-2021 tarihinde kimyasal ve iz element analizleri için örnek alınmıştır. Arazi çalışmasında suların elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T), toplam çözünmüş katı madde (TDS) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) çok parametrelili cihaz ile (Hanna- HI 991301) ölçülmüştür. Katyon analizi için alınan örneklerin pH'ı 2'nin altına düşürmek için %5'lik nitrit asit (HNO₃) ilave

edilmiştir. Anyon analizleri için alınan su örnekleri asitleştirilmemiştir. Su örneklerinin anyon içerikleri (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-}) ve azot türevi analizleri SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Su, Kayaç ve Mineral analiz laboratuvarında ve major katyon (Mg^{+2} , Na^+ , Ca^{+2} , K^+), iz element analizleri Bureau Veritas (Kanada) laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Suların hidrojeokimyasal süreçlerinin tanımlanması için majör anyon-katyon içeriklerinden yararlanılmıştır. Suların içme suyu kullanılabilirliği değerlendirilmesinde "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" (İTASHY 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO 2017) standartlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, sulama suyu kullanılabilirliği için Artıksal Sodyum Karbonat (RSC -Gupta and Gupta 1987), Geçirgenlik İndeksi (PI-Dooneen 1964), Magnezyum Tehlikesi (MT-Szabolcs and Darab 1964) ve Kelly oranı (KR-Kelley 1963) parametreleri ile ABD Tuzluluk Laboratuvarı (Richards 1954) ve Wilcox (1955) diyagramları kullanılmıştır.

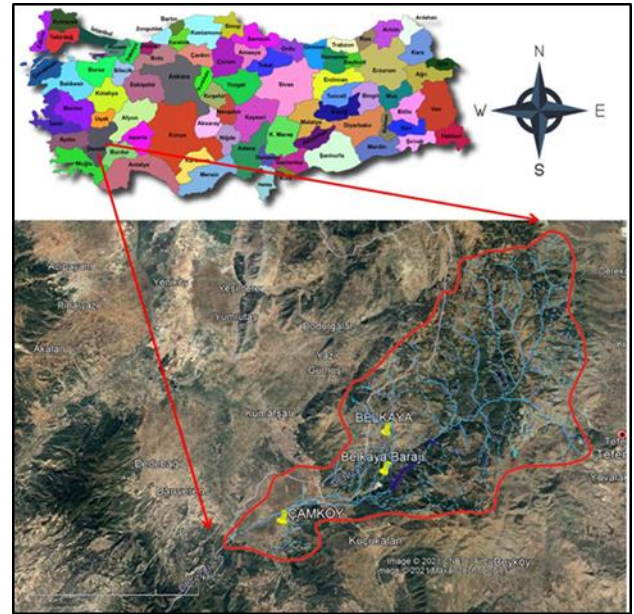
3. Bulgular

3.1. Jeoloji –hidrojeoloji

Aksu Çayı havzasında Marmaris ofiyolit napı (Marmaris peridotiti, Kızıladağ melanj ve olistostromu) ve Gülbahar napına (Orhaniye formasyonu) ait birimler ile neotokton örtü kayaları (Çameli formasyonu, alüvyon) yüzelemektedir. Bölgede Marmaris ofiyolit napında seyrek de olsa metamorfik dilimler (α) gözlenir (Şekil 2).

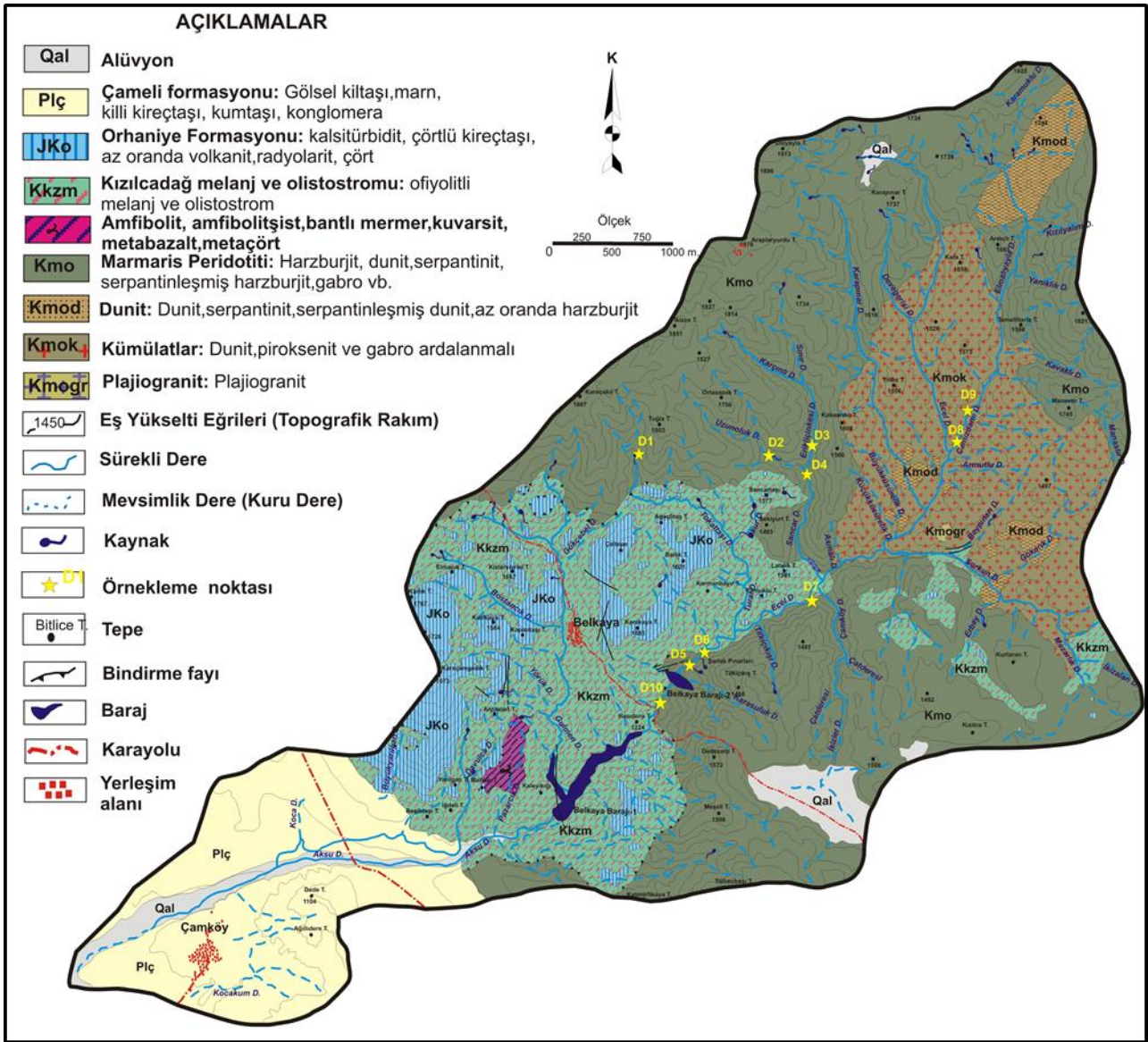
Marmaris peridotiti, Aksu Çayı havzasında oldukça geniş bir yayılıma sahiptir. Marmaris peridotitini oluşturan egemen kayatürü harzburjit ve serpantinleşmiş harzburjitlerdir (Şekil 2). Birim içerisinde harzburjitlerle birlikte ardalanmış dünit seviyeleri de görülmektedir. Serpantinler fay ve bindirme zonlarında belirgindir ve karbonat bantları gözlenmektedir (Bilgin vd. 1990, Çiftçi 2010). İnceleme alanında Marmaris peridotiti içerisinde bulunan kümülatlar, dünitler ve plajiogranitler ayrı ayrı haritalanmıştır. *Kümülatlar*; harzburjitler ve

dünitler içerisinde düzensiz mercekler şeklinde bulunan piroksenit, dunit, verlit, tabakalı gabro vb. kaya türü ardalanmasından oluşmaktadır (Şenel vd. 1989). İçlerinde kromit bantları bulundurmaktadır ve bu bantlar kalınlaşarak kromit yataklarını oluşturmaktadırlar (Bilgin vd. 1990). *Dunitler*; harzburjitlere oranla daha düz topografya göstermekte olup kromit taneli ve yersel kromit mercekleri içermektedir. Bunlarda serpantinleşme ve talklaşma yaygındır (MTA 2010). *Plajiogranitler*; mafik ve ultramafik kayaların türediği bazik magmanın son ürünü olarak kabul edilmektedir. Kuvars, plajioklas ve eser miktarda ortoklastan oluşmaktadırlar (MTA 2010).



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası

Kızıladağ melanj ve olistostromu (Kkzm) ofiyolitli melanj ve olistostromla temsil edilmektedir (Poisson 1977). Birim serpantin bir hamur içerisinde farklı yaşlara sahip karbonatlar, radyolarit, çört, bazalt, spilit, tuf, gabro, diyabaz vb. bloklardan oluşmaktadır. Kızıladağ ofiyolitli melanjının yaşı Sarp (1976) ve Poisson (1977) tarafından Üst Senoniyen olarak belirtilmiştir. Melanj içerisinde bulunan amfibolitler üye mertebesinde haritalanmıştır. *Amfibolit* (α) amfibol şist, bantlı mermer, kuvarsit, metabazalt, metaçört vb. kaya türlerinden oluşmaktadır ve volkano-tortul kökenlidir.



Şekil 2. Jeoloji ve örnek lokasyon haritası (MTA, 2010'dan alınmıştır)

Amfibolitler Marmaris ofiyolit napı tabanında veya Kızılcaadağ melanj ve olistostromu içinde küçük dilimler halinde seyrek olarak görülmektedir (MTA 2010).

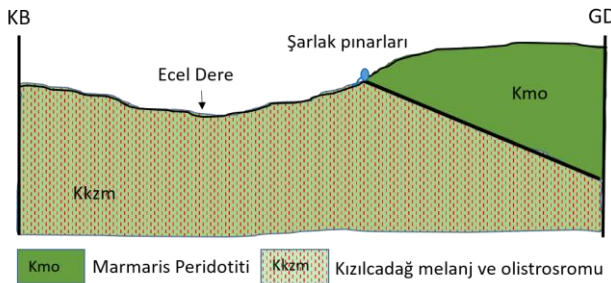
Jura-Kretase yaşlı *Orhaniye formasyonu*, radyolarit ve çört araseviyeli çörtlü mikritlerden oluşmaktadır. Birim içerisinde kumtaşı, kilitaşı, radyolarit, çört, şeyller ve kalsitürbidit seviyeleri bulunmaktadır. Formasyonun üst seviyelerinde *Globotruncanalı Mikrit Üyesi* gözlenir. Üye yer yer çörtlü, mikritik dokulu yersel globotruncanalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Pliyosen yaşlı Çameli formasyonu gölsel kireçtaşı, marn, kumtaşı, konglomera vb. kaya türlerinden oluşmaktadır. Formasyon ova kenarlarında Kuvaterner alüvyon ile birlikte

bulunmaktadır. Alüvyon inceleme alanında dere yatakları ve düzlüklerde yüzeylemektedir.

İnceleme alanında en önemli akifer birimler alüvyon ve Çameli formasyonudur. Alüvyon birim içerisindeki kum ve çakıl seviyeleri ile Çameli formasyonu içerisindeki konglomera seviyeleri yeraltı suyu bulundurmaktadır. Bu seviyelerden Gölhisar ovasında açılan sondaj kuyularından yeraltı suyu alınmaktadır (Davraz ve Yılmaz 2016). Marmaris peridotiti ve Kızılcaadağ melanjı genel olarak geçirimsiz özelliğe sahiptir. Ancak, bu birimler içerisinde bulunan dunit, peridotit ve kireçtaşı seviyelerinden kırık-çatlak sıklığına bağlı olarak kaynak boşalimleri mevcuttur. Bu kaynakların büyük bir çoğunluğu mevsimlik kaynak özelliğinde olup süreksizlik düzlemleri ile ilişkili olan kaynaklardan

sürekli akış gözlenebilmektedir. Orhaniye formasyonu içerisinde bulunan dolomitik kireçtaşı ve kalsitürbidit seviyeleri de yeraltısu bulundurabilmektedir. Orhaniye formasyonuna ait kireçtaşlarından Gölhisar ovasında yeraltısu alınabilmektedir (Davraz ve Yılmaz 2016).

İnceleme alanında bulunan en önemli kaynak suyu Şarлак pınarlarıdır. Bu kaynaklar Marmaris peridotiti ve Kızıladağ melanj ve olistrosromu arasında bulunan bindirme zonundan boşalmaktadır (Şekil 3). Aksu çayını besleyen Ecel dereye boşalan Şarлак pınarları yamaçta iki ayrı gözeden yüzeye çıkmaktadır. Şarлак pınarlarından içmesuyu amaçlı olarak yararlanılmaktadır. İnceleme alanında Marmaris peridotiti ve Kızıladağ melanj ve olistrosromundan boşalan çok sayıda mevsimlik kaynak çıkışları bulunmaktadır. Bu kaynaklardan yağış artışına bağlı olarak akış görülmektedir.



Şekil 3. Şarлак pınarı fotoğrafı ve ölçeksiz-şematik enine kesit

3.2. Hidrojeokimya

Fiziksel parametreler

Su örneklerinin kalite ve kullanım özelliklerinin değerlendirilmesinde arazi çalışmaları sırasında ölçülen fiziksel parametreler de kullanılmaktadır. Bu

parametreler arasında Özgül elektriksel iletkenlik (EC), Hidrojen iyonu aktivitesi (pH), sıcaklık ve toplam çözülmüş katı madde (TDS) değerleri örnek alım çalışmaları sırasında ölçülmesi gereken parametrelerdir. İnceleme alanı içerisinde boşalan kaynak sularının EC değeri 460-550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, dere sularının EC değeri 460-620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Kaynak sularının pH değeri 8.54-8.73 arasında, dere sularının pH değeri 8.50-8.68 arasında değişmektedir (Çizelge 1). Bölgede bulunan su kaynakları "bazik karakterli"dir. Kaynak sularının sıcaklık değeri 11.5- 14.8 $^{\circ}\text{C}$ arasında, TDS değerleri ise 230-550 mg/l olarak ölçülmüştür. Dere sularının sıcaklık değeri 16.6- 22.2 $^{\circ}\text{C}$ arasında, TDS değeri ise 240-310 mg/l arasında tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Major iyon kimyası

Su örneklerinin majör katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+}) ve anyon (HCO_3^{-} , SO_4^{-2} , CO_3^{-2} , Cl^{-}) içerikleri hidrojeokimyasal fasiyes, suyun dolaşım yolu üzerinde karşılaştığı jeolojik birimler ve akifer ortam hakkında bilgi sunar. İnceleme alanında suların Ca^{+2} içerikleri 1.45-26.72 mg/l, Mg^{+2} içerikleri 81.68-108.7 mg/l, Na^{+} içerikleri 1.86-4.82 mg/l ve K^{+} içerikleri 0.22-0.38 mg/l arasında değişmektedir. Su örneklerinin tamamında Mg^{+2} içeriklerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Sularda Mg^{+2} içeriği başta dolomit minerali olmak üzere magmatik (biyotit, olivin, hornblend vb.) ve metamorfik kaya mineralleri (talk, serpantin, tremolit, diopsit vb.) ile ilişkilidir (Şahinci 1991). Su örneklerinin HCO_3^{-} içerikleri 305.0-463.6 mg/l, CO_3^{-2} içerikleri 0-54 mg/l, SO_4^{-2} içerikleri 2.21-8.31 mg/l ve Cl^{-} içerikleri 2.55-9.77 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 1). Sularda HCO_3^{-} anyonunun baskın olduğu görülmektedir.

Back (1966) tarafından ortaya atılan hidrojeokimyasal fasiyes kavramı günümüzde de kabul görerek kullanılmaktadır. Back (1966)'e göre hidrojeokimyasal fasiyes kavramı kayalar içinde bulunan mineraller ile yeraltısu arasında gelişen kimyasal süreçlerin etkilerini yansıtır ve tanımlanabilir alt kategorilere ayrılabilmesini sağlar.

Çizelge 1. Sularının hidrojeokimyasal özellikleri

Örnek No		Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Alkalinite mg/l	Sertlik Fr°	EC µS/cm	pH	T °C	TDS	Su Sınıfı			
D1	Dere	3.73	0.36	19.63	79.02	2.55	2.82	383.7	37.39	500	8.59	21.6	250	MgHCO ₃			
D2	Dere	2.36	0.23	6.72	81.68	3.41	2.32	341.0	35.26	460	8.50	21.7	240	MgHCO ₃			
D3	Dere	2.68	0.34	7.82	106.12	3.90	2.81	468.8	45.59	590	8.69	21.1	300	MgHCO ₃			
D4	Dere	2.44	0.22	7.47	92.75	3.84	2.63	389.7	40.00	510	8.68	22.2	250	MgHCO ₃			
D5*	Kaynak	1.86	0.20	1.70	84.46	3.09	2.21	359.3	35.16	460	8.57	14.8	230	MgHCO ₃			
D6*	Kaynak	2.18	0.23	1.45	88.93	3.08	2.31	371.6	36.93	500	8.54	14.1	250	MgHCO ₃			
D7	Dere	4.72	0.33	16.39	93.71	6.82	5.13	444.4	42.62	560	8.64	16.6	280	MgHCO ₃			
D8**	Kaynak	4.72	0.21	26.72	84.00	7.88	8.31	451.4	41.21	550	8.73	11.5	550	MgHCO ₃			
D9	Dere	4.82	0.38	18.46	108.7	9.77	7.02	499.6	49.31	620	8.58	19.8	310	MgHCO ₃			
D10	Dere	2.34	0.39	3.60	96.18	3.44	3.36	387.02	40.45	570	8.65	18.8	280	MgHCO ₃			
Örnek No		F mg/l	Al µg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Si mg/l	Zn µg/l	NO ₃ mg/l
D1	Dere	<0.01	33	5.6	25	8.41	14	0.21	4.9	1.3	36	4.82	3.0	0.5	10.96	4.2	<0.05
D2	Dere	<0.01	76	4.8	10	1.92	18	0.89	10.3	0.8	203	9.06	12.4	<0.2	10.46	1.7	0.23
D3	Dere	0.01	19	5.1	10	2.83	20	0.44	14.8	0.8	54	2.83	5.5	<0.2	10.42	1.5	0.38
D4	Dere	<0.01	62	5.1	10	2.74	21	0.78	12.1	0.7	154	7.50	9.7	<0.2	10.63	1.7	0.26
D5*	Kaynak	<0.01	7	5.7	8	1.58	13	0.08	8.1	2.0	15	0.48	0.6	0.3	10.23	3.2	1.51
D6*	Kaynak	<0.01	4	7.1	8	1.40	15	0.13	7.9	0.7	18	0.44	0.8	<0.2	10.16	1.7	1.45
D7	Dere	0.01	27	7.4	13	1.99	23	0.40	8.0	12.4	36	3.11	3.7	<0.2	12.28	1.4	0.19
D8**	Kaynak	<0.01	16	7.0	13	1.66	25	0.09	6.7	2.3	13	4.34	1.7	3.5	15.82	7.2	0.14
D9	Dere	0.01	10	4.2	11	1.61	38	0.30	6.9	0.6	<10	1.21	4.2	<0.2	12.10	0.8	0.61
D10	Dere	0.01	11	6.1	12	1.50	31	0.15	8.0	1.8	17	1.70	2.8	<0.2	11.89	5.8	1.98
İTASHY, 2005		1.5	200	10	1000	-	-	-	50	2000	200	50	20	10	-	-	50
WHO, 2017		1.5	-	10	2400	700	-	-	50	2000	-	-	70	10	-	-	50

*Şarlık pınarları, **Hızırkaya çeşmesi

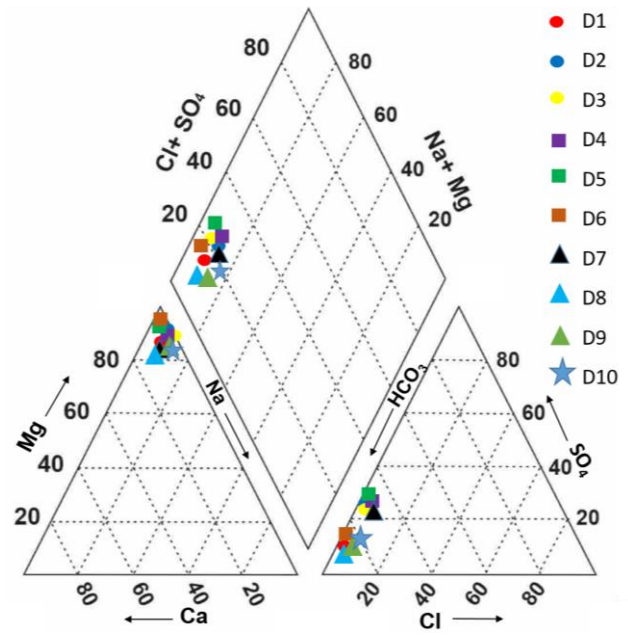
Hidrojeokimyasal fasiyes sınıflaması su içerisindeki kation ve anyon değerlerinden meq/l cinsinden %50'den fazla olanlara göre tanımlanır. Sudaki kation ve anyon içeriklerinin tümü %50'nin altında ise "karışık su" tipini yansıtır. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH 1979) tarafından geliştirilen sınıflamada ise suda bulunan anyon ve kation içeriklerinden %20'nin üzerinde olanlar su tipini belirlemektedir. İnceleme alanında su örneklerinin tamamının Mg^{2+} ve HCO_3^- içerikleri %50'den fazladır. Sadece üç örnekte CO_3^{2-} içeriği %20 civarındadır.

İnceleme alanında dere ve kaynak sularından alınan örneklerin anyon ve kation içerikleri Piper (1944) diyagramı üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4). Piper diyagramına göre, inceleme alanındaki kaynak ve dere sularının genel olarak benzer yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu diyagramda da suların $MgHCO_3$ 'lü sular sınıfında olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanındaki sularda tespit edilen yüksek Mg^{+2} içeriği bölgede geniş alanlarda yüzeyleyen ve suların etkileşim halinde olduğu Marmaris peridotiti ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Peridotit silikat mineralleri olan olivin ve pirokseni yoğun olarak bulunduran magmatik bir kayadır. Olivin grubu mineralleri genel olarak $(Mg, Fe)_2SiO_4$ yapısında olup magnezyum ortosilikattır. Piroksenlerin bileşiminde Ca^{+2} , Fe , Mg^{+2} ve Al silikatlar görülmektedir. Magnezyum açısından zengin olivin grubu mineralleri (Mg_2SiO_4 -Forsterit) yüksek oranda peridotit oluşturur ve peridotitlerin magnezyum içeriği yüksektir (Int Kyn. 1).

Hidrojeokimyasal süreçler

Yüzey ve yeraltı sularının majör iyon konsantrasyonları suların etkileşimde olduğu kayalar ile arasında gelişen hidrojeokimyasal süreçlere bağlıdır. Majör iyonlar, sularda toplam çözülmüş katıların büyük bir kısmını oluşturur. Sulardaki majör iyon derişimleri iyon değişim süreçleri, ayrışma, atmosferik ve antropojenik etkenlere bağlı girdiler gibi mekanizmalara bağlı olarak değişir (Lakshmanan *et al.* 2003, Singh and Hasnain 1999). Suların majör iyon içeriklerini denetleyen mekanizmalarının daha eksiksiz olarak

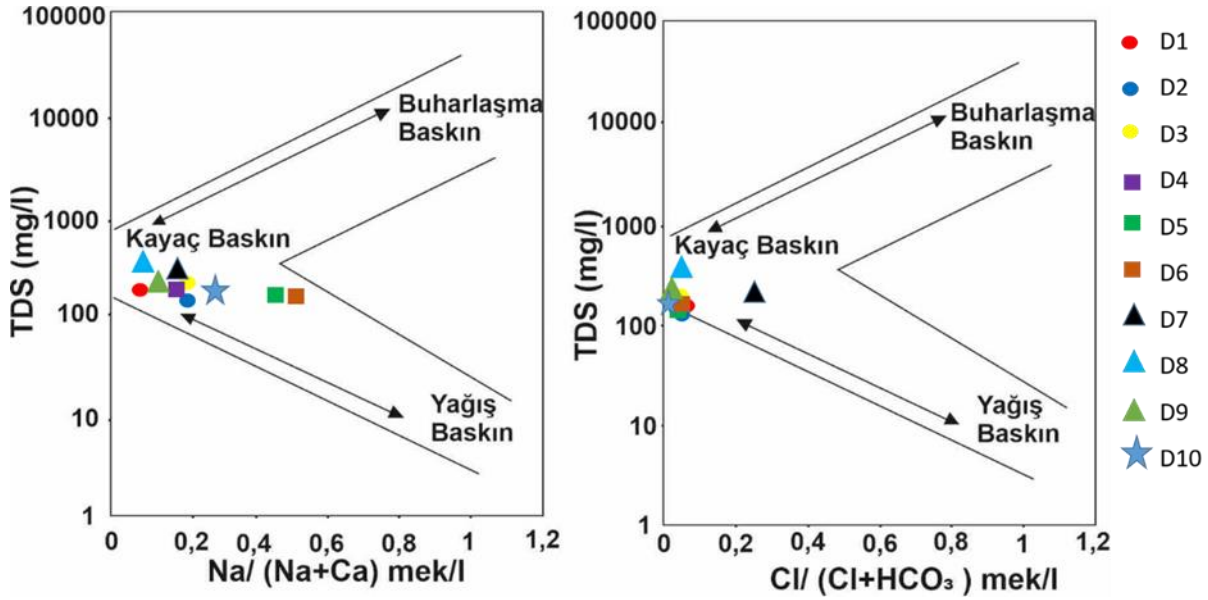
anlaşılmasında Gibbs diyagramı yaygın olarak kullanılmaktadır. Gibbs (1970) tarafından geliştirilen diyagramda genellikle TDS ve $Na/(Na+Ca)$ veya $Cl/(Cl+HCO_3)$ arasındaki ilişkilere dayalı olarak olası su kimyasal değişken kaynakları değerlendirilmektedir (Wang *et al.* 2020). Bu diyagramda yüzey ve yeraltı sularının kimyasını kontrol eden kayaç, buharlaşma ve atmosferik yağış gibi kaynaklar belirlenebilmektedir. İnceleme alanından alınan dere ve kaynak suyu örnekleri Gibbs diyagramı üzerinde "Kayaç Baskın" bölgede bulunmaktadır. Bu durum, bölgede yüzey ve yeraltısu kimyasını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 4. Piper diyagramı

Kaya-su etkileşimine bağlı olarak su kimyasını denetleyen hidrojeokimyasal süreçlerin tanımlanmasında farklı diyagram ve eşitlikler kullanılmaktadır. Bu süreçler iyon değişimi, ayrışma-çözünme (karbonat ayrışması-silikat ayrışması) ve evaporasyon olarak açıklanmaktadır (Kumar *et al.* 2009, Kumar Singh *et al.* 2012, Davraz ve Ünver 2014, Şener *et al.* 2020, Davraz and Batur 2021).

İyon değişimi; yüzey ve yeraltı sularında bulunan iyon içeriklerini denetleyen önemli süreçlerden biridir.



Şekil 5. Gibbs diyagramı

Kaya ve su arasındaki iyon alışverişi iki ayrı Kloroalkalin indeks değeri ile $CAI-I = [Cl - (Na+K)] / Cl$; $CAI-II = [Cl - (Na+K)] / (SO_4 + HCO_3 + CO_3 + NO_3)$ ile tanımlanmaktadır (Schoeller 1967). Suda bulunan Na^+ veya K^+ ile kayalarda bulunan Mg^{+2} veya Ca^{+2} arasında doğrudan bir iyon değişimi söz konusu ise $CAI-I$ ve $CAI-II$ değerlerinin her ikisi de pozitif ve bunun sonucunda sudaki çözülmüş Mg^{+2} ve Ca^{+2} konsantrasyonları artar. İnceleme alanından alınan dere ve kaynak suyu örneklerinin $CAI-I$ ve $CAI-II$ değerlerinin %55'i pozitifdir (Çizelge 2). CAI pozitif değerleri, silikat minerallerinin ayrışmasını ve çözünmesini, negatif değerler ise karbonat minerallerinin çözünmesini temsil eder (Mthembu *et al.* 2020).

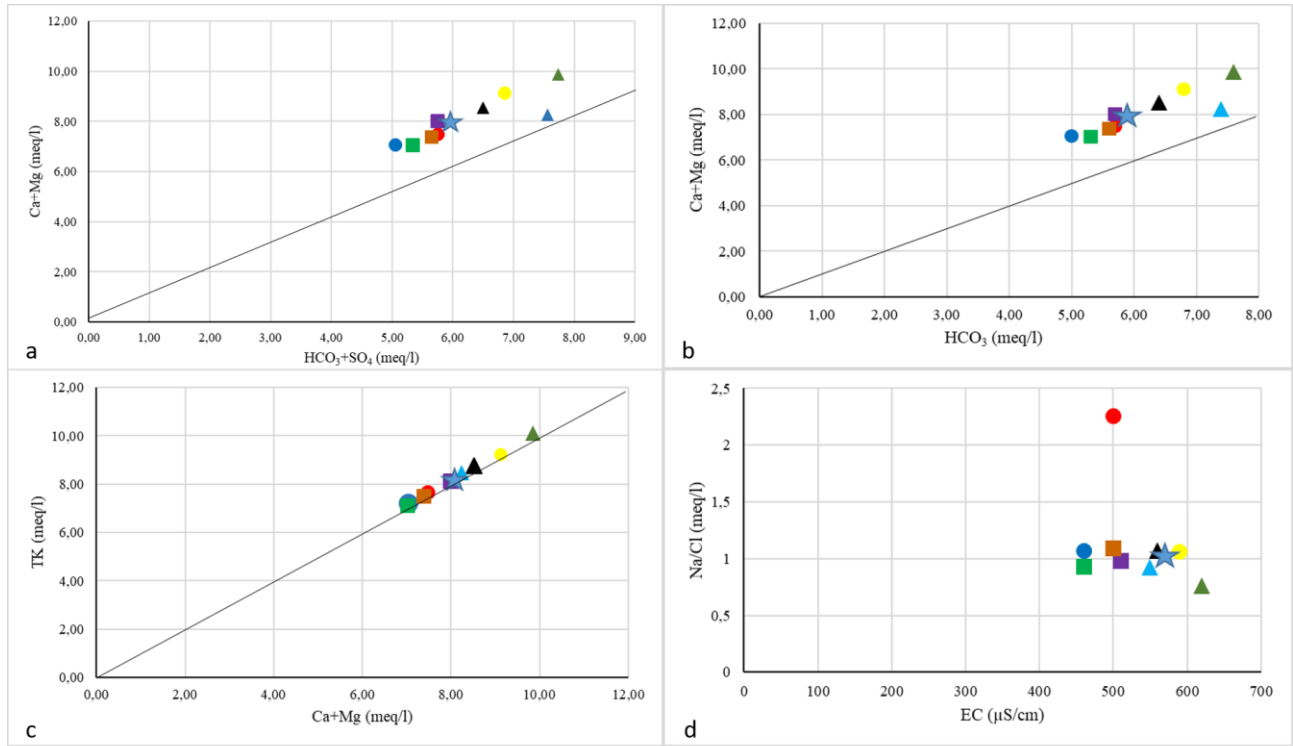
Ayrışma ve Çözünme: Kimyasal analizlerden elde edilen sonuçlar, akifer sistemindeki jeokimyasal süreçleri ve mekanizmaları tanımlamak için kullanılabilir. $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (HCO_3^- + SO_4^{-2})$ grafiği kullanılarak akifer ortamda gerçekleşen minerallerin ayrışma ve çözünme süreci yorumlanabilmektedir. Bu grafikte örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakınsa kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. SO_4^{-2} ve HCO_3^- içeriklerinin fazlalığından dolayı noktalar sağa kayarsa iyon alışverişinin

varlığını yansıtır (Cerling *et al.* 1989, Datta and Tyagi, 1996, Fisher and Mulican, 1997). Eğer, ters iyon değişim prosesi varsa Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının artışından dolayı noktalar sola kayacaktır (Singh *et al.* 2011). İnceleme alanında dere ve kaynak sularından alınan su örneklerinin analiz sonuçları $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (HCO_3^- + SO_4^{-2})$ grafiği üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6a). Su örneklerinin tamamının 1:1 denge çizgisinin yakın çevresinde ve üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum HCO_3^- artışı ile ilgili iyon değişim sürecini göstermektedir (Rajmohan and Elango 2004, Srinivasamoorthy *et al.* 2008).

Yeraltı suyundaki çözülmüş katıların ana fonksiyonel kaynağını tespit edebilmek için, çalışma alanındaki su örneklerinin kimyasal verileri $Ca^{+2} + Mg^{+2} / HCO_3^-$ diyagramında gösterilmiştir (Şekil 6b). Diyagramda bütün örnek noktalarının 1:1 eşit çizgisinin üzerine düştüğünü görülmektedir. Bu durum alkali toprak elementlerin artışının silikat ayrılması ile ilişkili olduğunu ve sularda çözülmüş tuzların oluşumu için birincil mekanizma olarak silikat ayrışmasının rolünü doğrulamaktadır (Okiongbo *et al.* 2014, Vinnarasi *et al.* 2021).

Çizelge 2. İyon oranları ve sulama suyu sınıflandırmasında kullanılan bazı parametreler

Örnek No	CAI-I	CAI-II	HCO ₃ ⁻ /SiO ₂	Na ⁺ /Cl ⁻	SAR	%Na	RCS	PI	MT	KR
D1	-1,384	-0,0117	1,113	2,256	0.08	2.12	-0.58	33,37	86,90	0,022
D2	-0,128	-0,0001	1,022	1,068	0.05	1.43	-0.85	32,68	95,25	0,015
D3	-0,139	0,0002	1,396	1,060	0.05	1.26	-0.52	29,50	95,72	0,013
D4	-0,032	0,0011	1,147	0,980	0.05	1.31	-0.90	30,76	95,34	0,013
D5*	0,0127	0,0017	1,109	0,929	0.04	1.14	-0.53	33,51	98,79	0,012
D6*	0,1596	0,0003	1,179	1,092	0.05	1.27	-0.79	32,90	99,02	0,013
D7	-0,111	-0,0005	1,115	1,068	0.10	2.35	-0.32	31,33	90,41	0,024
D8**	0,0518	0,0029	1,001	0,924	0.10	2.43	-0.84	34,64	83,82	0,025
D9	0,2037	0,0084	1,343	0,761	0.09	2.08	-1.06	29,46	90,66	0,021
D10	0,1340	0,0012	1,081	1,031	0.05	1.22	-1,29	30,88	97,78	0,012



Şekil 6. Farklı parametrelere ait grafikler a: (Ca²⁺+Mg²⁺)-(HCO₃⁻+SO₄²⁻), b: (Ca²⁺+Mg²⁺)-HCO₃⁻, c: (Ca²⁺+Mg²⁺)-Toplam katyon, d: Na⁺/Cl⁻-EC(µmhos/cm)

(Ca²⁺+Mg²⁺)-toplam katyon (TK) grafiğinde su örneklerinin tamamı 1:1 denge çizgisi üzerindedir (Şekil 6c). Bu durum sulardaki Ca ve Mg iyonlarının silikat minerallerinin ayrışması ile ortama katıldığını göstermektedir (Kumar *et al.* 2009). Ayrıca, bir su numunesindeki HCO₃⁻/SiO₂ oranı, akiferde meydana gelen ayrışma sürecinin türünü de ortaya çıkarabilir.

HCO₃⁻/SiO₂ <5 oranı silikat ayrışma sürecini gösterirken, HCO₃⁻/SiO₂ >10 oranı karbonat ayrışma sürecini gösterir (Tay 2012). İnceleme alanında,

yüzey ve yeraltı sularının HCO₃⁻/SiO₂ oranları <5 olup silikat ayrışmasını yansıtmaktadır (Çizelge 2).

Evaporasyon, süreci sadece yüzey sularında değil, aynı zamanda yeraltısuyu sisteminde de yaygın bir olgudur. Na⁺/Cl⁻ oranı, sularda buharlaşma sürecini tanımlamak için kullanılabilir. Buharlaşma ile sudaki toplam çözülmüş katı madde miktarı artar. Ancak suyun Na⁺/Cl⁻ oranı değişmez ve bu nedenle bu oran buharlaşma etkisinin iyi bir göstergesi olarak tanımlanmaktadır (Kumar *et al.* 2006, Subramani *et al.* 2010, Mahaqi *et al.* 2020). Na⁺/Cl⁻-EC (µS/cm)

diyagramında su örneklerinin tamamen düz bir çizgi üzerinde sıralanmadığı görülmektedir. Bu durum evaporasyonun yüzey ve yeraltısuyu kimyasını kontrol eden ana jeokimyasal süreç olmadığını göstermektedir (Şekil 6d, Kumar *et al.* 2006, 2009). İnceleme alanında yüzey ve yeraltı sularının Na^+/Cl^- oranlarının %60'ı 1'den büyüktür (Çizelge 2). Suda sodyumun kaynağı halit minerali çözünmesi ise, Na^+/Cl^- molar oranı yaklaşık olarak 1'e eşit olmalıdır, bu oranın 1'den büyük değerleri tipik olarak silikat ayrışma reaksiyonundan salınan Na^+ olarak yorumlanır (Mayback 1987, Kumar *et al.* 2006, Garcia *et al.* 2001, Tay 2012).

Kalite Değerlendirmeleri

İçme suyu kullanımı: Aksu Çayı havzası içerisinde bulunan Şarlak pınarları halen içme suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Aksu Çayı suları ise yapılması planlanan Belkaya-2 barajını besleyecek olup yine içme suyu amaçlı kullanımı planlanmaktadır. Bu nedenle kalite değerlendirmelerinde öncelikle alınan su örneklerinin içme suyu amaçlı kullanımına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. İçmesuyu amaçlı değerlendirmelerde su örneklerinin fiziksel parametreleri, majör iyon, iz element, nitrat ve flor içerikleri "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" (İTASHY 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO 2017) standartları ile karşılaştırılmıştır.

İnceleme alanından alınan dere ve kaynak suyu örneklerinin bütün analiz sonuçlarının içme suyu standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Ağır metaller veya iz elementler yüzey ve yeraltısularında jeojenik ve antropojenik etkenlere bağlı olarak bulunabilmektedir. Sularda bulunan yüksek ağır metal içerikleri içme suyu olarak kullanımda önemli sağlık problemlerine neden olabilmektedir. Su örneklerine ait iz element içerikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu analiz sonuçlarının da içme suyu standart değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

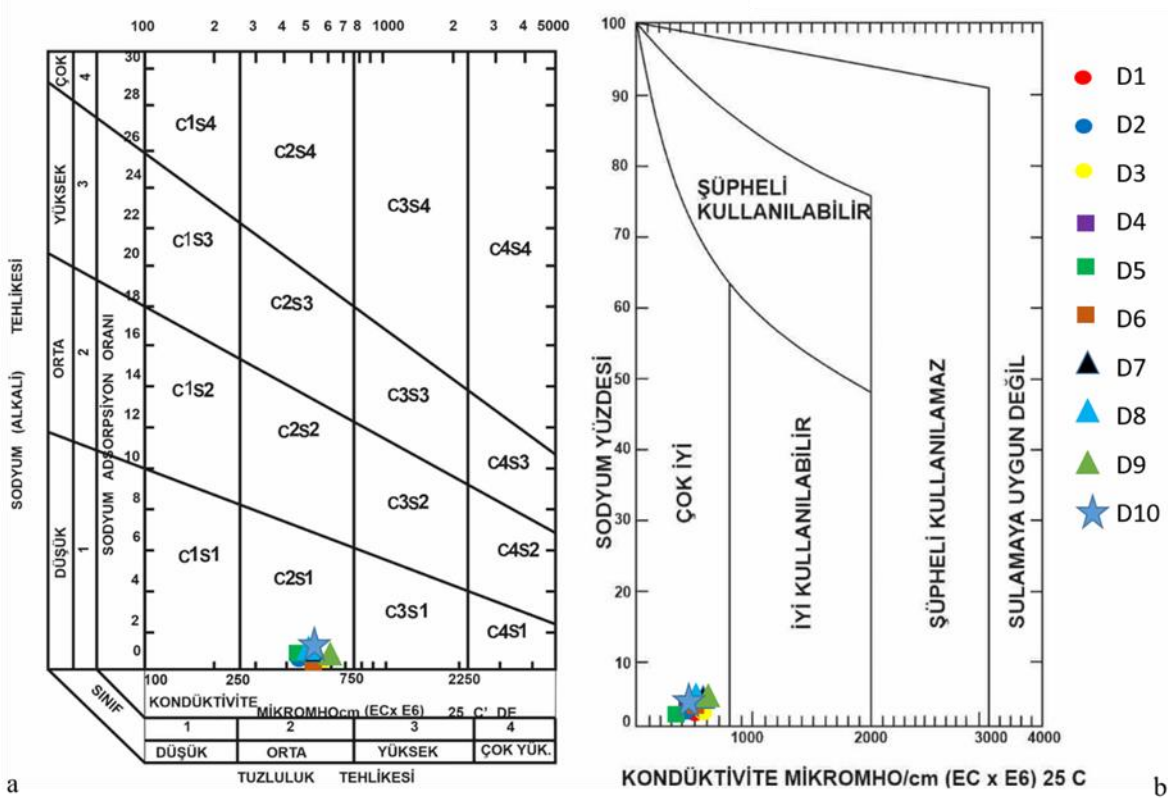
Sulama suyu kullanımı: Sulama suyu kullanıma uygunluğunun değerlendirilmesinde yaygın olarak iki grafik (ABD tuzluluk ve Wilcox) ile farklı eşitliklerden yararlanılmaktadır. ABD tuzluluk ve Wilcox diyagramlarında su örneklerinin EC değerleri ile %Na ve Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) değerleri grafik

üzerinde karşılaştırılarak sulama suyu uygunlukları irdelenmektedir. ABD tuzluluk diyagramına göre inceleme alanındaki sular genel olarak orta ve fazla tuzluluğa sahip az sodyumlu suları temsil eden ' C_2S_1 ' sınıfında yer almakta olup sulama suyu için kullanıma uygundur (Şekil 7a). Wilcox (1955) diyagramında ise sular "*çok iyi-iyi kullanılabilir sular*" sınıfındadır (Şekil 7b).

Ayrıca, bu diyagramlarda kullanılan SAR, EC ve %Na değerleri için ayrı ayrı sulama suyu sınıflamaları yapılabilmektedir (Richards 1954, Ragunath 1987, Wilcox, 1955). İnceleme alanında sularının SAR değeri 0.04-0.10 arasında olup "*çok iyi özellikte sulama suyu*" sınıfındadır. %Na değerleri ise 1.14-2.35 arasında olup "*mükemmel*" sulama suyu sınıfındadır. Suların EC değeri 460-620 $\mu S/cm$ arasında olup "*iyi*" su sınıfındadır (Çizelge 2, 3).

Sulama suyu olarak kullanımda toprak yüzeyinden süzülme sorununun tahmini için Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) değeri kullanılmaktadır. İnceleme alanında bütün su örneklerinin RSC değeri negatif olup, ortamda sodyum zararının olmayacağını göstermektedir. D10 örneği dışında suların RSC değeri 1.25'den küçük değere sahip olduğundan "*çok iyi kaliteye sahip I. sınıf sular*" sınıfındadır (Richards 1954, Ragunath 1987).

Geçirgenlik indisi (PI) suların Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} ve HCO_3^- içerikleri kullanılarak hesaplanan ve sulama suyu değerlendirmesi için kullanılan farklı bir parametredir (Doneen 1964, Ragunath 1987). İnceleme alanında su örneklerinin PI değeri %29-33 arasında olup "*II. Sınıf sulama suyu*" sınıfındadır. 50 mek/l'den büyük Magnezyum Tehlikesi (MT) değerine sahip suların sulama suyu olarak kullanıma elverişli olmadığı belirtilmiştir (Szabolcs and Darab 1964). İnceleme alanında su örneklerinin MT değeri %83-99 arasında olup magnezyum içeriği açısından sulama suyuna uygun değildir. Suların Na, Ca ve Mg içeriklerine göre verilen Kelly oranı (KR)'nın 1'in altında değerleri sulama suyuna uygun olarak verilmiştir (Kelley 1963). İnceleme alanında suların KR değerleri 0.12-0.25 arasında olup sulama suyu için uygundur (Çizelge 2).



Şekil 7. a:ABD Tuzluluk diyagramı b:Wilcox diyagramı

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Burdur ile içme suyu ihtiyacının karşılanması için yapımı planlanan Belkaya-2 barajının yapılacak Aksu Çayını besleyen yüzey ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal ve kalite özellikleri incelenmiştir. Aksu Çayı havzasında geniş alanlarda Marmaris peridotiti ve Kızılcaadağ melanj ve olistrosromu yüzelemektedir. İnceleme alanından 7 adet yüzey suyu ve 3 adet yüzey sularına boşalan kaynak sularından örnek alınmıştır. Su örneklerinin EC değeri 460-620 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH değeri 8.50-8.73, TDS değeri 230-550 mg/l arasında değişmektedir. Sularda baskın katyon Mg^{+2} olup 81.68-108.7 mg/l arasında, baskın anyon HCO_3^- olup 305.0-463.6 mg/l arasında değişmektedir.

İnceleme alanından alınan yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin majör iyon içerikleri Piper diyagramı ile değerlendirilmiş ve suların MgHCO_3 'lı sular sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Gibbs diyagramı kullanılarak inceleme alanında yüzey ve yeraltı suyu kimyasını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, kaya-

su etkileşimine bağlı olarak su kimyasını denetleyen hidrojeokimyasal süreçlerin tanımlanmasında farklı diyagram ve eşitlikler kullanılmıştır. Suların majör iyon içerikleri ile yapılan değerlendirmelerde su kimyasının hem karbonat hem de silikat ayrışma süreçlerinden etkilendiği tespit edilmiştir.

Aksu Çayı havzasında su kaynaklarının etkileşim halinde olduğu formasyonlar Marmaris peridotiti ve Kızılcaadağ melanj ve olistrosromudur. Dünyada ofiyolitik kayalar, serpantinler ve peridotit birimleri ile ilişkili yüzey sularında MgHCO_3 'lı nehir sularına rastlanılmaktadır (Baumeister *et al.* 2015, Margiotta *et al.* 2012, Barnes and O'Neil 1969). MgHCO_3 'lı nehir sularının oluşumu, aşağıdaki reaksiyondaki gibi, meteorik su ve sığ yeraltı suyunun sızmasıyla ferromagnezyen peridotit minerallerinin hidrolizinden kaynaklanabilmektedir (Paukert *et al.* 2012, Giampouras *et al.* 2019).

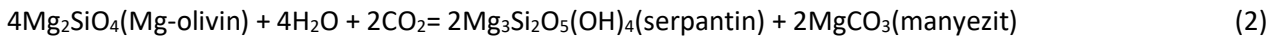
Tatlı su ve yağmur suyunun süzülmesi sırasında atmosferik CO_2 koşulları altında serpantin ve peridotit türü kayalarla etkileşimde olan suyun Mg^{+2} konsantrasyonu artmaktadır (Eşitlik 1).



İnceleme alanında yüzey ve yeraltısularının MgHCO_3 bileşimi büyük olasılıkla, serpantinleşmiş peridotitlerin atmosferik CO_2 ve O_2 ile dengelenmiş meteorik sular tarafından sığ kimyasal ayrışmasıyla ilişkilidir. Bu durum silikat ayrışmasının varlığını desteklemektedir.

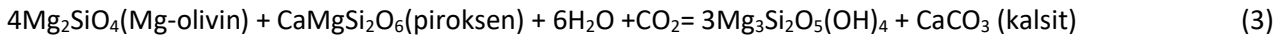
Arazi çalışmaları sırasında ve daha önceki araştırmalarda Marmaris peridotiti içerisinde serpantinleşmenin yaygın olduğu ve karbonat bantlarının varlığı tespit edilmiştir. Serpantinleşme, magnezyum açısından zengin silikat minerallerinin

(örneğin, olivin, piroksenler ve/veya dünitler, peridotitler ve/veya diğer ultrabazik kayalardaki amfiboller) serpantin minerallerine dönüştürüldüğü veya yer değiştirildiği hidrotermal alterasyon sürecidir. CO_2 içeren sıvıların peridotit silikat mineralleri ile yüzeye yakın reaksiyonu katı karbonat minerallerini de oluşturabilir. Bu süreç sırasında gelişen en basit karbonat bileşiği MgCO_3 (manyezit)'tir (Eşitlik 2, Int Kyn. 2).



Peridotitler içerisinde görülen en yaygın ikinci mineral piroksen mineralidir. Piroksen ve olivin minerallerinin CO_2 içeren sıvılarla etkileşimi

sonucunda ise CaCO_3 (kalsit) oluşumu gerçekleşebilir (Eşitlik 3, Int Kyn. 2).



İnceleme alanında yüzeyleyen Kızılcaadağ melanj ve olistrostromu içerisinde kireçtaşı bloklarına da rastlanmaktadır. Su örneklerinin majör iyon içerikleri kullanılarak yorumlanan karbonat ayrışmasının karbonatlı peridotit seviyeleri ve kireçtaşı bloklarının varlığı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Sulardaki HCO_3^- varlığı ise kalsit ve dolomit gibi karbonatların çözünmesi ile ilişkilidir. Bu mineraller sedimanter alanlarda yoğun olarak bulunduğu için HCO_3^- hemen hemen bütün yüzey ve yeraltısularında egemen anyondur. Chebotarev (1955)'e göre de sığ bölgelerde bulunan aktif ve hızlı akışa sahip yeraltısularında HCO_3^- baskın anyondur.

İnceleme alanından alınan su örneklerinin fiziksel parametreler (EC, pH, T, TDS), majör iyon (Mg^{+2} , Na^+ , Ca^{+2} , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-}), iz element (Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Si, Zn) ile nitrat ve flor içerikleri Türkiye ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu standartları ile karşılaştırılmıştır. Suların bütün

analiz ve ölçüm sonuçlarının içme suyu standart değerlerine uygun olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, suların içme suyu kullanımları dışında sulama suyu olarak kullanılabileceği de düşünülerek sulama suyuna uygunlukları ABD tuzluluk ve Wilcox diyagramları ile SAR, %Na, RSC, PI, MT, KR oranları kullanılarak değerlendirilmiştir. Suların tamamının MT değeri dışında sulama suyu için kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanında su örneklerinin MT değeri %83-99 arasında olup magnezyum içeriği açısından sulama suyuna uygun değildir. Magnezyum, klorofilin bir bileşeni ve enzimlerin aktivasyon ajanı olmak üzere birçok önemli işlevi olan bir besin olduğundan bitki büyümesi için çok önemlidir (Maguire and Cowan 2002). Ancak, toprakta ve sulama suyunda yüksek miktarda varlığı olumsuz etkilere sebep olmaktadır. MT, sulama suyundaki magnezyumun toprak yapısında neden olduğu hasarın derecesini gösterir (Xu *et al.* 2019). Farklı araştırmacılar tarafından

yapılan çalışmalarda katyonların toprak yapısı üzerindeki etkisinin tespiti için iyoniklik indeksi değeri tanımlanmıştır (Sposito 2016, Rengasamy and Marchuk 2011). Bu çalışmalarda iyoniklik indeksi değeri ne kadar yüksek olursa, güçlü katyon adsorpsiyon eğiliminin o kadar düşük olacağı belirtilmiştir. İyoniklik indeksi değeri Na için 0.891, Mg için 0.735 ve Ca için 0.670 olarak belirlenmiştir (Rengasamy *et al.* 1984, Keren 1984, Sumner 1993, Levy 2012). Bu nedenle magnezyum, toprak killerini topaklaştırmada ve toprak geçirgenliğini veya toprak yapısının stabilitesini iyileştirmede kalsiyumdan daha az etkili olduğu savunulmuştur (Smith *et al.* 2015). Bu durum, sulu tarımda yüksek magnezyumlu suların sürekli kullanımının mahsul veriminde kademeli bir düşüşe neden olacağını göstermektedir (Qadir *et al.* 2018).

5. Kaynaklar

- Back, W., 1966. Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain, *Professional paper*, **498-A**, 1-42.
- Barnes, I. and O'Neil, J.R., 1969. The relationship between fluids in some fresh alpinetype ultramafics and possible modern serpentinization, western United States. *Geological Society of America Bulletin*, **80**, 1947-1960.
- Baumeister, J.L., Hausrath, E.M., Olsen, A.A., Tschauer, O., Adcock, C.T. and Metcalf, R.V., 2015. Biogeochemical weathering of serpentinites: an examination of incipient dissolution affecting serpentine soil formation. *Applied Geochemistry*, **54**, 74-84.
- Bilgin, Z.R., Karaman, T., Öztürk, Z., Şen, M.A. ve Şenel, M., 1990. Yeşilova-Acıgöl civarının jeolojisi raporu. MTA Rap: 9071, Ankara.
- Cerling, T.E., Pederson, B.L. and Damm, K.L.V., 1989. Sodium calcium ion exchange in weathering of shale; implication for global weathering. *Budget*, **17**, 552-554.
- Chebotarev, I.J., 1955. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering-I. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **8**, 22-48.
- Çiftçi, T., 2010. Datça (Muğla) ve Yakın Dolayının Jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 103.
- Datta, P.S. and Tyagi, S.K., 1996. Major ion chemistry of groundwater in delhi area: chemical weathering processes and groundwater flow regime. *Journal of the Geological Society of India*, **47**, 179-188.
- Davraz, A. and Batur, B., 2021. Hydrogeochemistry characteristics of groundwater and health risk assessment in Yalvaç-Gelendost basin (Turkey). *Applied Water Science*, **11**, 67, 1-21.
- Davraz, A. ve Ünver, Ö., 2014. İnegöl Havzası (Bursa) hidrojeolojisi ve yeraltısularının kalite değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **18**, 2, 7-21.
- Davraz, A. ve Yılmaz, E.İ., 2016. Gölhisar (Burdur) ovasının hidrojeoloji incelemesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **22**, 6, 535-544.
- Doneen, L.D., 1964. Water quality for agriculture. department of irrigation, University of California, Davis, 48.
- Fisher, R.S. and Mullican, F.W., 1997. Hydrochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans- Pecos, Texas, USA. *Hydrogeology Journal*, **10**, 4, 455-474.
- Garcia, M.G, Hidalgo, M. and Blesa, M.A., 2001. Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucumán province, Argentina. *Hydrogeology Journal*, **9**, 597-610.
- Giampouras, M., Garrido, C.J., Zwicker, J., Vadillo; I., Smrzka, D., Bach, W., Peckmann, J., Jimenez, P., Benavente, J. and García-Ruiz, J.M., 2019. Geochemistry and mineralogy of serpentinization-driven hyperalkaline springs in the Ronda peridotites. *Lithos*, **350,351**, 105215, 1-22.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanism controlling world water chemistry. *Science*, **170**, 795-840.
- Gupta, S.K. and Gupta, I.C., 1987. Management of saline soils and waters. Oxford and IBH Publishing and Co, New Delhi, 339.
- IAH (International Association of Hydrogeologists), 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500000, United Kingdom.
- İTASHY, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü -Ankara.
- Kelley, W.P., 1963. Use of saline irrigation water. *Soil Science*, **95,4**, 355-391.

- Keren, R., 1984. Potassium, magnesium and boron in soils under saline and sodic conditions. In: Shainberg, I., Shalhevet, J. (Eds.), *Soil Salinity Under Irrigation Processes and Management*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 77–90.
- Kumar Singh, A., Mondal, G.C., Singh, T.B., Singh, S., Tewary, B.K. and Sinha, A., 2012. Hydrogeochemical processes and quality assessment of groundwater in Dumka and Jamtara districts, Jharkhand, India. *Environmental Earth Science*, **67**, 2175–2191.
- Kumar, M., Kumari, K., Kumar Singh, U. and Ramanathan, A.L., 2009. Hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Muktsar, Punjab: conventional graphical and multivariate statistical approach. *Environmental Geology*, **57**, 873–884.
- Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S. and Kumar, B., 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental Geology*, **50**, 1025–1039.
- Lakshmanan, E., Kannan, R. and Senthil Kumar, M., 2003. Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of ground water in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental Geosciences*, **10**, 4, 157–166.
- Levy, G.J., 2012. Sodicity. Chapter 18. In: Huang, P.M., Li, Y., Sumner, M.E. (Eds.), *Handbook of Soil Sciences, Resource Management and Environmental Impact*, 2nd Ed CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 28.
- Maguire, M.E. and Cowan, J.A., 2002. Magnesium chemistry and biochemistry. *Biometals*, **15**, 203-210.
- Margiotta, S., Mongelli, G., Summa, V., Paternoster, M. and Fiore, S., 2012. Trace element distribution and Cr (VI) speciation in Ca-HCO₃ and Mg-HCO₃ spring waters from the northern sector of the Pollino massif, southern Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, **115**, 1e12.
- Mayback, M., 1987. Global Chemical Weathering of Surficial Rocks Estimated from River-Dissolved Loads., *American Journal of Science*, **287**, 401–428.
- MTA, 2010. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:17, Denizli-N23 paftası (İkinci Baskı)
- Mthembu, P.P., Elumalai, V., Brindha, K. and Li, P., 2020. Hydrogeochemical processes and trace metal contamination in groundwater: impact on human health in the Maputaland coastal aquifer, South Africa. *Exposure and Health*, **12**, 403–426.
- Okiongbo, K.S. and Akpofure, E., 2014. Identification of hydrogeochemical processes in groundwater using major ion chemistry: A case study of Yenagoa and Environs, Southern Nigeria. *Global Journal of Geological Sciences*, **12**, 39-52.
- Paukert, A.N., Matter, J.M., Kelemen, P.B., Shock, E.L. and Havig, J.R., 2012. Reaction path modeling of enhanced in situ CO₂ mineralization for carbon sequestration in the peridotite of the Samail Ophiolite, Sultanate of Oman. *Chemical Geology*, **330**, 86-100.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Transactions of the American Geophysical Union*, **25**, 914-923.
- Poisson, A., 1977. Recherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquie). These Univ. Paris-Sud, Orsay, 795.
- Qadir, M., Schubert, S., Oster, J.D., Sposito, G., Minhas, P.S., Cheraghi, S.A.M., Murtaza, G., Mirzabaev, A. and Saqib, M., 2018. High magnesium waters and soils: Emerging environmental and food security constraints. *Science of the Total Environment*, **642**, 1108–1117.
- Ragunath, H.M., 1987. Groundwater. New Delhi: Wiley, 563.
- Rengasamy, P. and Marchuk, A., 2011. Cation ratio of soil structural stability (CROSS). *Soil Research*, **49**, 280-285.
- Rengasamy, P., Greene, R.S.B., Ford, G.W. and Mehanni, A.H., 1984. Identification of dispersive behavior and the management of Red-Brown earths. *Australian Journal of Soil Research*, **22**, 413-431.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricultural hand book 60. U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C., 160.
- Sarp, H., 1976. Etude géologique et pétrographique du cortège ophiolitique de la région située au nord-ouest de Yeşilova (Burdur- Turquie). These department de minéralogie, Université de Genève, Genève, 160.
- Schoeller, H., 1967. Qualitative evaluation of groundwater resources. In *Methods and techniques of groundwater investigation and development*. Water Research, Series-33, Paris: UNESCO, 44-52.
- Singh, A.K. and Hasnain, S.I., 1999. Environmental geochemistry of Damodar river basin- east coast of India. *Environmental Geology*, **37**, 124-136.

- Singh, A.K., Mahato, M.K., Neogi, B., Tewary, B.K. and Sinha, A., 2012. Environmental geochemistry and quality assessment of mine water of Jharia coalfield, India. *Environmental Geology*, **65**, 49-65.
- Singh, K., Hundal, H.S., Singh, D., 2011. Geochemistry and assessment of hydrogeochemical processes in groundwater in the southern part of Bathinda District of Punjab, Northwest India. *Environmental Earth Sciences*, **64**, 1823-1833.
- Smith, C., Oster, J.D. and Sposito, G., 2015. Potassium and magnesium in irrigation water quality assessment. *Agricultural Water Management*, **157**, 59-64.
- Sposito, G., 2016. The chemistry of soils. Third edition. Oxford University Press, New York, USA, 272.
- Srinivasamoorthy, K., Chidambaram, S., Prasanna, M.V., Vasanthavihar, M., Peter, J. and Anandhan, P., 2008. Identification of major sources controlling groundwater chemistry from a hard rock terrain – A case study from Mettur Taluk, Salem district, Tamil Nadu, India. *Journal of Earth System Sciences*, **117**, 49-58.
- Subramani, T., Rajmohan, N. and Elango, L., 2010. Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India. *Environmental Monitoring Assessment*, **162**, 123-137.
- Sumner, M.E., 1993. Sodic soils: new perspectives. *Australian Journal of Soil Research*, **31**, 683-750.
- Szabolcs, I., Darab, C., 1964. The Influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. In I. Szabolcs (Ed.), Proc 8th International Congress Soil Science Sodics Soils, Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II, 802–812.
- Şahinci, A., 1991. Doğal suların jeokimyası, Reform matbaası, İzmir, 546.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, A.M., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbas, A., Örcen, S. ve Bilgi, C., 1989. Çameli (Denizli)- Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Rap: 9429 (yayımlanmamış), Ankara.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A. and Varol, S., 2020. Hydrogeological and hydrochemical investigation in the Burdur Saline Lake Basin, southwest Turkey. *Geochemistry*, **80**, 125592,1-14.
- Tay, C.K., 2012. Hydrochemistry of groundwater in the Savelugu–Nanton District, Northern Ghana. *Environmental Earth Science*, **67**, 2077-2087.
- Vinnarasi, F., Srinivasamoorthy, K., Saravanan, K., Gopinath, S., Prakash, R., Ponnumani, G. and Babu, C., 2021. Chemical weathering and atmospheric carbon dioxide (CO₂) consumption in Shanmuganadhi, South India: Evidences from groundwater geochemistry. *Environmental Geochemistry and Health*, **43**, 771-790.
- Wang, Q., Dong, S., Wang, H., Yang, J., Huang, H., Dong, X. and Yu, B., 2020. Hydrogeochemical processes and groundwater quality assessment for different aquifers in the Caojiatan coal mine of Ordos Basin, northwestern China. *Environmental Earth Sciences*, **79**, 199, 1-16.
- WHO, 2017. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 631.
- Wilcox, L.V. 1955. Classification and use of irrigation waters, USDA Circular No. 969, 19.
- Xu, P., Feng, W., Qian, H. and Zhang, Q., 2019. Hydrogeochemical characterization and irrigation quality assessment of shallow groundwater in the central-western Guanzhong Basin, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **27**, 16(9), 1492, 1-14.

İnternet kaynakları

- 1- <https://stringfixer.com/tr/Peridotite> (07.12.2021)
2- <http://www.alexstrekeisen.it/english/meta/carbonatedperidotite> (07.12.2021)