



KORKUTELİ İLÇE MERKEZİ (ANTALYA) SU KAYNAKLARININ SU KALİTE İNDEKS (WQI) YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRMESİ

Simge VAROL^{1*}, Mediha ŞEKERCİ²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Su Enstitüsü, Doğu Kampüs, Çünür-Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Batı Kampüs, Çünür-Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hidrojeokimyasal prosesler, su kalite indeksi (WQI), Korkuteli, Yeraltısuyu.

Öz

Bu çalışmada Antalya ili Korkuteli ilçesi su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini belirleyen işlemlerin irdelenmesi ve su kalite indeks değerlendirmeleri amaçlanmıştır. Çalışma alanındaki en önemli akifer alüvyon, yamaç molozu, eski akarsu taraçaları ve eski alüvyon ve yamaç molozlarından oluşan taneli ortam akiferidir. Çalışmada Kasım 2016 döneminde su örneklerinin yerinde ölçümleri ve laboratuvarında kimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanındaki hakim su tipleri Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃'dür. Gibbs diyagramına göre, su örneklerinin tamamı "Kayaç Baskın" bölgesine düşmektedir. Bu durum, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğunu göstermektedir. Çalışma alanındaki su örneklerinin kimyasal yapısını kazanmasında etkili olan diğer ana mekanizmalar ise karbonat ayrışması, ters iyon değişimi ve silikat ayrışması olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca suların kalitesi su kalite indeks yöntemi (WQI) kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, su örneklerinde azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarında göre sadece As ve Cr iyon konsantrasyonlarının sınır değerleri (As: 0.01 mg/, Cr: 0.05 mg/l) aştığı belirlenmiştir. WQI sonuçlarına göre ise çalışma alanındaki suların tümü "Zayıf su" tipindedir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda çalışma alanındaki suların uzun dönemde içilmesi ile insan sağlığının olumsuz etkilenebileceği görülmektedir.

EVALUATION OF WATER RESOURCES OF KORKUTELİ DISTRICT CENTER (ANTALYA) BY WATER QUALITY INDEX (WQI) METHOD

Keywords

Hydrogeochemical processes, waterqualityindex (WQI), Korkuteli, Groundwater.

Abstract

In this study, it is aimed to make water quality index evaluations and processes that determine the hydrogeochemical properties of Korkuteli district water sources of Antalya province. The most important aquifer is the granular media aquifer consisting of alluvium, slope debris, old stream bowlsand old alluvial and slope debris in the stud yarea. In the study, in-situ measurements and chemical analyzes on samples made in November 2016 period. According to the results, the dominant water types in the study area are Ca-Mg-HCO₃ and Mg-Ca-HCO₃. According to the Gibbs Diagram, all of the water samples fall into the "Rock Overprint" region. This suggests that the main mechanism controlling water chemistry is chemical decomposition of rock-forming minerals. Other main mechanisms that influence the chemical structure of water samples in the study area are carbonatede composition, reverse ion exchange and silicatede composition. In the study, the quality status of waters was also determined by the water quality index method (WQI). According to the WQI results, all of the waters in the study area are of the "weak water" type. Accordingly, drinking these waters in the study area will affect human health in the longterm.

* İlgili yazar / Corresponding author: simgevarol@sdu.edu.tr

Alıntı / Cite

Varol S., Şekerci M., (2018). Evaluation of Water Resources Of Korkuteli District Center (Antalya) By Water Quality Index (WQI) Method, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(1), 74-86.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Simge VAROL, 0000-0002-1905-9454

Mediha ŞEKERCİ, 0000-0001-7644-1847

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.03.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	21.03.2018
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.03.2018
Yayın Tarihi / Published Date	28.03.2018

1. Giriş

Su yaşamın temel öğelerinden biridir. Canlı yaşamı için önemli bir besin maddesi olmasının yanı sıra, içerisinde bulundurduğu mineral ve bileşiklerle metabolizmadaki her türlü biyokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesinde de etkin bir rol oynamaktadır. Özellikle insan vücudunda su, pH dengesinin korunmasından başlayarak, hücrelerdeki moleküllere ve organellere dağılma ortamı oluşturmasına; besinlerin, artık maddelerin ilgili yerlere taşınmasına kadar pek çok görev almaktadır (Günhan, 2014). Bu nedenle günümüzde hızlı nüfus artışı, kirlenme ve yıllık yağış ortalamasının dünya ortalamasından düşük olması, yaşamsal önemi olan suyun ve mevcut su kaynaklarının daha dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir. Özellikle kurak, yarı kurak bölgelerde, içme, sulama ve endüstriyel su ihtiyacının karşılanmasında yeraltısuyu kullanımının hızla artması ile yeraltısularının önemi daha da anlam kazanmıştır.

Bu çalışmada da ülkemizin güney batısında yer alan Antalya ili Korkuteli ilçe merkezi çalışma alanı olarak seçilmiştir. İlçe merkezindeki su kaynaklarının yöre halkı tarafından başta içme suyu olmak üzere sulama ve kullanma amaçları için kullanılması nedeni ile hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve kalite değerlendirmesinin yapılması insan sağlığını etkilemesi açısından ayrıca önem taşımaktadır. Çalışmada hidrojeokimyasal özelliklerin oluşumunda öne çıkan prosesler irdelenmiş ve su kimyasına bağlı su kalite değerlendirmesi "su kalite indeksi (WQI)" yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi yerli ve yabancı birçok araştırmacı tarafından incelenmiş olup özel veya genel amaçlı çok sayıda ulusal ve uluslararası nitelikteki araştırmaya konu olmuştur. Çalışma alanının jeolojisini ortaya koymayı amaçlayan Altınlı (1944) tarafından yapılan araştırmada Antalya-Burdur-Isparta civarındaki bölgenin fasiyes benzerlikleri nedeniyle stratigrafik birimlerin birbirinden ayrılmasındaki güçlükler belirtilmiştir. Colin (1962) tarafından yapılan çalışmada, Elmalı-Akdağ serisi olarak isimlendirilen Mesozoyik yaşlı

karbonatlı kayaçların, Üst Kretase- Tersiyer yaşlı Beydağları otoktonu üzerine KB'den itildiği belirtilmiş, bölgenin doğu kesiminin yeşil renkli çört, kuvarsit, kireçtaşı ve şist serisi ile Permokarbonifer-Mesozoyik yaşlı karbonatlardan oluştuğu ileri sürülmüştür. Ersoy (1990) ise Menderes Masifi ile Beydağları arasında kalan bölgede yaptığı çalışmada Likya, Elmalı ve Teke naplarının hepsine birden veya Batı Toros teknesine taşınmış tüm tektonik birlikler için '*Batı Toros Napları*' adını kullanmıştır. Çalışmasında, Beydağları Otoktonu üzerinde yer alan allohton ünitelerin kökeni araştırmış ve bir jeolojik model ortaya konmaya çalışmıştır. Bölgede Günay vd. (1982) tarafından yapılan çalışmada, araştırmacılar Beydağları'nın stratigrafisi ve yapısını incelemiş, yörede üç ana birlik ayırt etmişlerdir. Ayrıca çalışma alanında Kalafatçıoğlu (1973) yaptığı çalışmasında daha önce *Komprehansif* seri olarak adlandırılan Permian-Mesozoyik kalker serisinin yapılan etütlerle değişik fasiyesler sunduğunu görmüş ve değişik yaşta formasyonlar kaya-stratigrafi birimlerini dahilinde inceleyerek, kapsadığı fosillerle bölgenin detaylı bir krono-stratigrafisini yapmıştır. Şenel vd. (1986) tarafından yapılan bir başka araştırmada ise Teke Yarımadası'nın kuzeybatı iç kesimlerinde Beydağları otoktonu ile Likya Napları arasında yer alan Gömbe Akdağ'ında Beydağları otoktonu, arazon ve Akdağ Napı olmak üzere üç ana yapısal birliğin varlığından söz edilmiştir. Çalışma alanının jeolojisine yönelik tüm bu araştırmalara karşın bölgede hidrojeoloji, hidrojeokimya ve su kalitesini belirlemeye yönelik bir araştırma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma bölge literatürüne katkı sağlaması adına da ayrıca önem taşımaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Korkuteli ilçesi Türkiye'nin güneybatısında Antalya ili sınırları içerisinde yer almaktadır. İlçenin doğusunda Antalya'nın Merkez ilçesi, batısında Muğla'nın Fethiye ilçesi ve Burdur'un Gölhisar ve Çavdır ilçeleri, güneyinde ise Antalya'nın Kumluca ve Elmalı İlçeleri, kuzeyde ise Burdur ili Bucak, Karamanlı ve Tefenni ilçeleri bulunmaktadır (<http://www.turkiyerehberi.gen.tr/sehirler/antalya-ilceleri>). 154 km²'lik çalışma alanı olan ilçe merkezinin

deniz seviyesinden yüksekliği 1020 metredir. Korkuteli İlçesinin 101.465 ha' ı tarım alanı, 5.800 ha' ı mera çayır, 100.337 ha' ı orman ve fundalık alanlar, 351 ha' ı su yüzeyleri, 145.835 ha' ı ise orman ve tarım dışı sahalar oluşturmaktadır (<http://www.prakdeniz.com/antalyakorkuteli-2/>). Özellikle son yıllarda damlama sulama yöntemi ve seracılığın gelişmeye başladığı Korkuteli ve köylerinde sera ürünleri üreticinin geçim kaynağı olmaya başlamıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Jeoloji; Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli N24-d3 paftasını oluşturmaktadır. İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler önceki araştırmalar dikkate alınarak arazi çalışmaları ile tespit edilmiştir.

Hidrojeoloji; Bu bölümde elde edilen jeolojik bilgiler ışığında çalışma alanında bulunan litolojik birimler su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre sınıflandırılmış ve akifer olabilecek birimler belirlenmiştir.

Hidrojeokimya; Ayrıca çalışma alanındaki suların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla çift kapaklı polietilen şişelere asitli (HNO₃) ve asitsiz olarak su örnekleri alınmıştır. Örnek alımı sırasında YSI marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı ile suların sıcaklık (T- °C), elektriksel iletkenlik (EC-µmhos /cm), redoks potansiyeli (Eh-mV) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri ölçülmüştür. Suların anyon (HCO₃, CO₃, Cl, SO₄), nitrat (NO₃) nitrit (NO₂) ve

amonyum (NH₄) analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası laboratuvarlarında, katyon (Na, K, Ca, Mg) ve ağır metal analizleri (As, Cr) Bureau Veritas (ACME-Kanada) laboratuvarında APHA, AWWA ve WPCF (1995) standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bağlı hidrojeokimyasal işlemler farklı grafiklerle yorumlanmış, kalite değerlendirmeleri ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılarak "su kalite indeksi (WQI)" yöntemi ile yapılmıştır.

4. Araştırma Bulguları

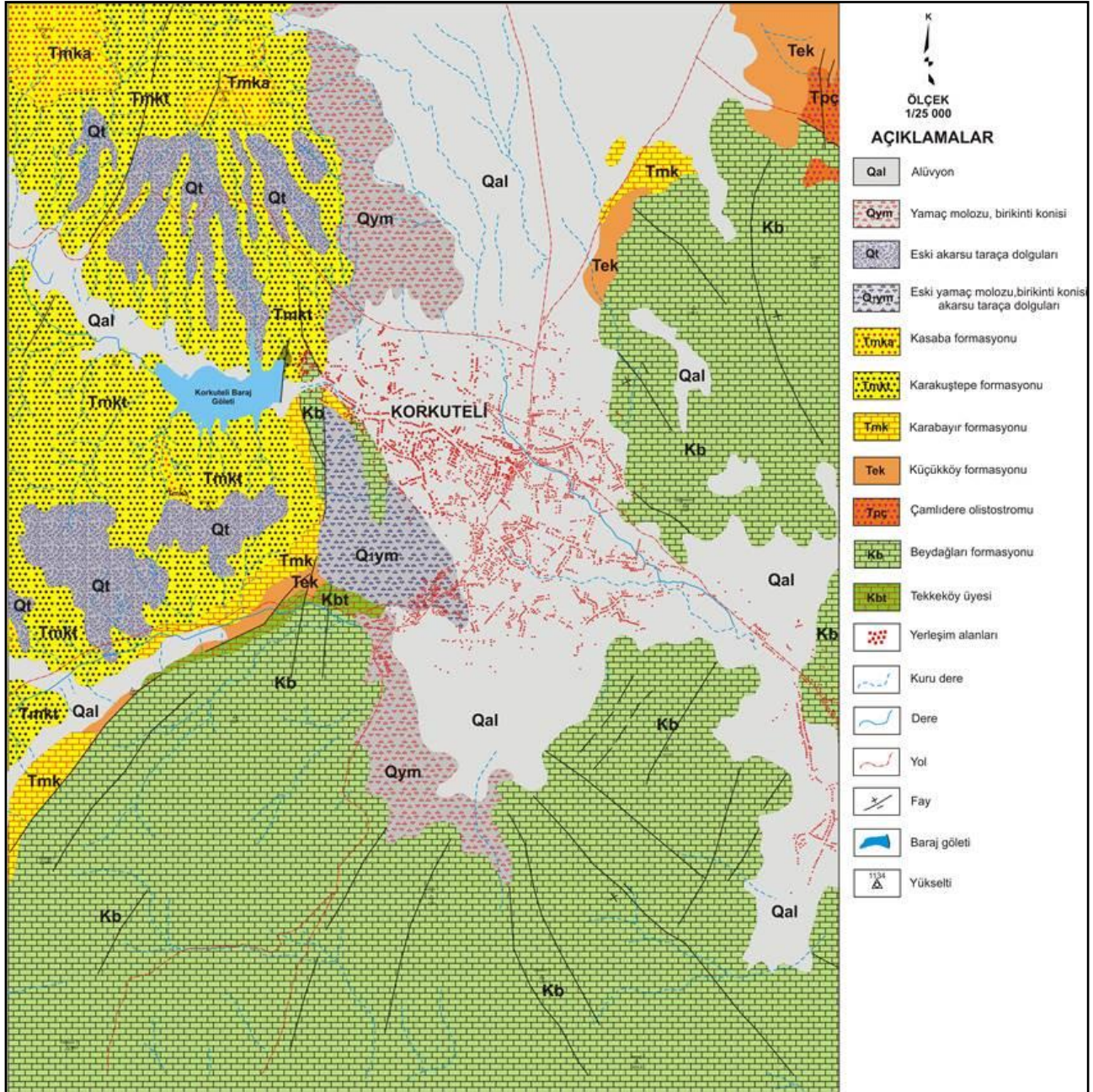
4.1. Genel Jeoloji ve Hidrojeoloji

Çalışma alanındaki litolojik birimler, genel özellikleri, diğer birimler ile olan alt-üst ilişkileri ve yapısal özellikleri dikkate alınarak incelenmiştir. Bölgede otokton konumlu kaya birimleri yer almaktadır. Bu birimler Beydağları otoktonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal), yamaç molozu (Qym), eski akarsu taraça dolguları (Qt) ile eski alüvyon ve yamaç molozlarıdır (Q1ym) (Şenel ve diğ. 1989; Şenel, 1997; Şekil 2). Beydağları otoktonuna ait birimler ise, alttan üste doğru Jura-Kretase yaşlı neritik kireçtaşlarından oluşan Beydağları formasyonu (Kb) ve yersel çört yumrulu ve kalkarenit ara düzeyli, yer yer bol globotruncanalı mikritlerden oluşan Tekkeköy üyesi (Kbt), Alt Paleosen (Daniyen) yaşlı mikrit, killi mikrit, kiltası, marn, kalkarenit, kumtaşı vb. kaya türlerinden oluşan Çamlıdere olistostromu (Tpc), Üst Lütasiyen-Priaboniyen yaşlı karbonat ara düzeyli marn, kiltası, kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşan Küçükköy formasyonu (Tek), Akitaniyen-Alt Burdigaliyen yaşlı algli kireçtaşlarından oluşan Karabayır formasyonu (Tmk), Burdigaliyen yaşlı kumtaşı, kiltası, siltaşı ardalanmasından oluşan Karakuştepe formasyonu (Tmkt) ve Üst Burdigaliyen-Alt Langiyen yaşlı konglomera ve kumtaşlarından oluşan Kasaba formasyonudur (Tmka) (Şenel ve diğ. 1989; Şenel, 1997).

Çalışma alanındaki bu birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek sınıflandırılmıştır. Alüvyon, yamaç molozu, eski akarsu taraçaları ile eski alüvyon ve yamaç molozu birimleri, akarsuların getirileri ve yamaç döküntülerinden oluşan tutturulmamış tortullardır ve bölgedeki en önemli akifer olan '**Taneli Ortam Akiferini**' (Akf-1) temsil etmektedir. Kireçtaşları, çatlak ve erime boşluklarında önemli miktarlarda yeraltısu bulundurabilen ve suyun hareketine izin veren yapılardır. Buna bağlı olarak çalışma alanında neritik kireçtaşlarından oluşan Beydağları formasyonu ve algli kireçtaşlarından oluşan Karabayır formasyonu taşıdıkları karstik özellikler nedeni ile '**Erimeli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi**' (Akf-2) olarak tanımlanmıştır. Beydağları formasyonu çalışma alanının güney ve doğusunda oldukça geniş alanlarda yüzeylerken, Karabayır formasyonu oldukça küçük alanlarda gözlenmektedir. Çalışma alanında konglomera ve kumtaşlarından oluşan Kasaba

formasyonu litolojik özelliklerine bağlı olarak **'Akıtarđ Ortam'** (Akt) olarak sınıflandırılmıştır. Bu kayaların tutturulmuş yapıları ve alanda oldukça küçük bölgelerde yüzeylemeleri, bünyelerinde su bulundurabilme yeteneklerini kısıtlamaktadır. Çalışma alanındaki litolojik birimlerden Çamlıdere olistostromu, Karakuştepe formasyonu ve Küçükköy formasyonu litolojik özellikleri ve yayılım alanlarının küçük olması nedeni ile **'Akifüj Ortam'** (Akj) olarak sınıflandırılmıştır. Bölgede gözlemlenen Küçükköy formasyonu kıltaşı, marn, kireçtaşı, kumtaşı vb. kaya

türlerinden, Çamlıdere olistostromu ise mikrit, killi mikrit, kıltaşı, marn, kalkarenit, kumtaşı vb. kaya türlerinden oluşmaktadır. Bu birimler içerisindeki kalsitürbidit seviyeleri, kumtaşı ve kireçtaşları az miktarda su bulundurabilirler de şeyl ara düzeyli çörtlü mikritler, kıltaşı, silttaşı ve marn su bulundurma özelliğine sahip değildir. Dolayısı ile birimin akifer olma kapasitesini sınırlandırmaktadır. Bu birimler çalışma alanında Korkuteli ilçe merkezinin kuzeydoğusu ile kuzeybatısında oldukça küçük alanlarda gözlemlenmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Şenel, 1997'den değiştirilerek alınmıştır).

4.2. Hidrojeokimya

Çalışma alanında bulunan yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının tespiti için bölgeyi temsil edecek sondaj kuyuları, kaynak ve şebeke sularından Kasım 2016 döneminde toplam 15 adet su örneği alınmış, iyon ve kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da yerinde ölçümler (T, EC, pH, Eh) yapılmıştır (Tablo 1).

Bölgedeki suların pH değerleri değerlendirildiğinde 8.54-9.33 aralığında olması nedeni ile "**Bazik Sular**" sınıfında yer almaktadır. Sular EC değerleri bakımından da değerlendirilmiştir. Buna göre suların EC değerleri 288.8-739 µmhos/cm arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki suların sıcaklıkları ise 11.8-17.6 °C arasındadır. Suların kalitesini belirtmesi açısından analiz sonuçlarından yararlanılarak suların sertlik değerlendirmeleri de yapılmıştır. Buna göre çalışma alanındaki suların sertlikleri 20.35-49.25 °F derecesi aralığındadır. Bu değerler çalışma alanındaki K3, K6 ve K10 örneklerinin "**Tatlı Su**", K9 ve K14 no'lu örneklerin "**Sert Su**" ve diğer tüm suların ise "**Çok Sert Su**" sınıfında yer aldığını göstermektedir (Tablo 1).

Çalışmada suların hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarını belirlemede yararlanmak üzere fizikokimyasal ölçümlerin yanısıra kimyasal analizleri de yaptırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 1. Çalışma alanındaki suların insitu ölçüm değerleri (Kasım-2016)

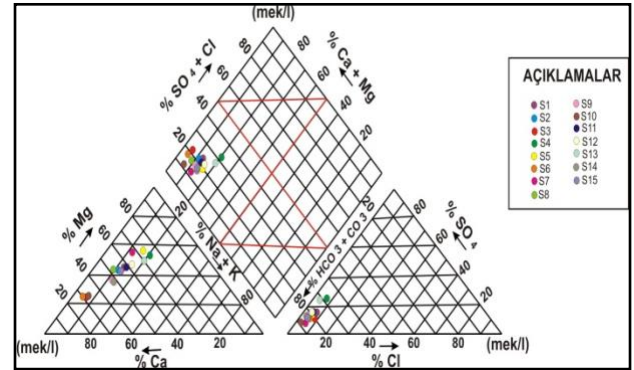
Türü	No	EC (µmhos/cm)	T (°C)	pH	Eh mV	TDS mg/l	Sertlik (F°)
Sondaj	K1	627	11.8	8.79	381.3	407.55	44.45
Sondaj	K2	703	14	8.54	370.7	456.95	47.80
Sondaj	K3	317.1	16.4	9.33	364.8	206.12	20.20
Sondaj	K4	794	14.3	9.01	371.3	516.10	49.25
Sondaj	K5	739	14.7	8.81	357.3	480.35	47.4
Kaynak	K6	288.8	12.1	9.36	374.9	187.72	20.35
Sondaj	K7	612	14.7	9.02	319.5	397.80	40.95
Kaynak	K8	491.3	13.2	9.01	325.7	319.35	33.90
Sondaj	K9	453.2	16.1	8.94	371.3	294.58	29.15
Sondaj	K10	334.3	17.6	9.19	392.0	217.30	20.70
Şebeke	K11	638	13.1	8.76	400.8	414.70	42.15
Kaynak	K12	695	15.5	8.73	400.3	451.75	45.65
Sondaj	K13	733	16.2	8.89	381.8	476.45	42.85
Şebeke	K14	474.6	17.1	8.93	387.9	308.49	29.00
Kaynak	K15	519	13.4	8.71	393.7	337.35	35.25
TSE 266				6.5-9.5			
WHO 2011				6.5-8.5			

Elde edilen analiz sonuçlarından yararlanılarak bölgedeki suların kimyasal yapısı ve su tipleri de belirlenmiştir. Su tiplerinin belirlenmesinde Schoeller (1955) ve Piper (1944) sınıflandırmalarından yararlanılmıştır. Schoeller (1955)'e göre tüm örnekler, klorür içeriğine göre, '**Olağan Klorürlü Sular**', sülfat

konsantrasyonları bakımından, '**Olağan Sülfatlı Sular**' sınıfına girmektedir. Karbonat-Bikarbonat sınıflamasına bakıldığında ise suların, farklı su sınıflarında yer aldığı görülmüştür. Buna göre K1, K2, K4, K5, K7, K11, K12 ve K13 '**Hiper karbonatlı Sular**' diğer tüm su örnekleri ise '**Olağan Karbonatlı Sular**' sınıfında yer almaktadır. Piper (1944)'e göre yapılan sınıflandırmada ise su örneklerinde Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃ tipi suların hakim olduğu görülmektedir (Şekil 3). Ayrıca, Piper diyagramına göre K4 ve K13 no'lu örnekler Mg-Ca-Na-HCO₃'lü sular fasiyesindedir.

Tablo 2. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait majör iyon (mg/l) analiz sonuçları

Türü	No.	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	SO ₄
Sondaj	K1	31.7 5	1.1 7	84.67	56.8 1	14.4 4	439.2 0	79.67
Sondaj	K2	24.9 8	2.2 6	100.1 7	55.5 8	16.8 0	506.3 0	64.82
Sondaj	K3	4.76	0.4 8	59.49	13.1 6	2.19	231.8 0	21.35
Sondaj	K4	70.4 6	1.0 8	67.17	79.0 6	18.5 3	500.2 0	132.7 3
Sondaj	K5	37.9 3	0.9 3	60.75	78.5 4	21.3 4	481.9 0	68.29
Kaynak	K6	4.63	0.4 8	60.13	13.0 4	2.47	225.7 0	21.72
Sondaj	K7	22.3 7	1.3 4	61.73	62.1 5	15.9 5	463.6 0	33.02
Kaynak	K8	16.1 8	1.6 8	73.09	38.2 4	8.38	359.9 0	45.57
Sondaj	K9	13.3 7	1.4 9	68.44	29.5 4	6.74	311.1 0	40.45
Sondaj	K10	5.03	0.5 0	60.11	14.0 2	2.88	237.9 0	21.07
Şebeke	K11	32.1 5	1.0 5	79.92	54.2 1	13.9 0	433.1 0	77.65
Kaynak	K12	34.0 9	1.1 3	85.33	59.3 5	14.4 9	451.4 0	80.37
Sondaj	K13	54.3 1	0.9 3	65.77	64.3 6	16.5 4	481.9 0	112.7 3
Şebeke	K14	13.1 9	1.4 2	67.16	29.8 2	6.37	305.0 0	39.16
Kaynak	K15	16.7 8	1.7 1	74.17	40.8 1	9.65	378.2 0	48.78

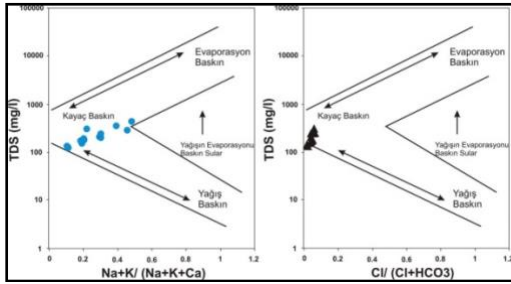


Şekil 3.Piper (1944) diyagramı

4.3. Hidrojeokimyasal prosesler

Yeraltısuyu ve akifer mineralleri arasındaki reaksiyonlar su kalitesinde önemli bir role sahiptir. Yeraltısuyunun kimyasını etkileyen başlıca faktörler jeolojik oluşumlar, su-kayaç etkileşimi ve iyonların görelî hareketliliğidir. Majör iyonlar yeraltısuyundaki toplam çözünmüş katıların önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu iyonların yeraltısuyundaki konsantrasyonları, akifer sisteminde gerçekleşen hidrojeokimyasal süreçlere bağlıdır. Genel olarak, kaya-su etkileşimi sırasında farklı kimyasal işlemler meydana gelmektedir; Bunlar çözülme/çökeltme, iyon

değiştirme, oksidasyon ve indirgenmedir. Su kayaç etkileşiminin hangi işlev ve/veya mekanizma sonucu gerçekleştiğini Gibbs (1970) Diyagramları ile belirlemek mümkündür. Bu diyagramlarda TDS ile $Na/(Na+Ca)$ iyon konsantrasyonları ve TDS ile $Cl/(Cl+HCO_3)$ konsantrasyonları karşılaştırılmaktadır. Gibbs diyagramları, “yağış baskın”, “kayaç baskın” ve “evaporasyon baskın” gibi bölgelere ayrılmakta ve çözünmüş kimyasal bileşenlerinin işlevsel kaynaklarını değerlendirmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki su kaynaklarında kaya su etkileşiminde etkili olan mekanizmaları belirlemek amacıyla su örneklerinin iyon konsantrasyonları Gibbs diyagramları üzerine yerleştirilmiştir (Şekil. 4).

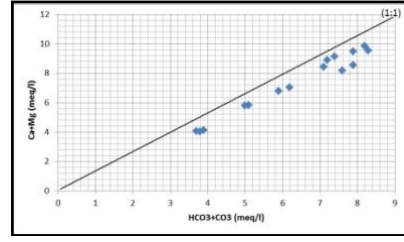


Şekil. 4. Gibbs (1970) Diyagramı

Gibbs Diyagramına göre, su örneklerinin tamamı “Kayaç Baskın” bölgesine düşmektedir (Şekil. 4). Bu da, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğunu göstermektedir.

Yeraltı sularının kayaçlar içerisinde dolaşımı esnasında kimyasal bileşimindeki değişimlerin bilinmesi son derece önemlidir (Sastri, 1994). Suların yeraltına süzülürken iyon bileşimlerinin çözünümünü kontrol etmek imkânsızdır, fakat dolaşım esnasında suların kimyasal değişimlerini bilmek mümkündür (Johnson, 1979). Yeraltı suyunun bulunduğu akifer sistemindeki hidrojeokimyasal süreçleri ve mekanizmaları tanımlamak için kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılmaktadır. Yeraltı sularındaki iyon konsantrasyonlarında ortaya çıkabilecek jeokimyasal değişiklikler X-Y koordinatlı grafikler yardımıyla veya farklı çözünürlükteki iyonların birbiri ile oranlarından kolayca anlaşılabilir (Davraz ve Ünver, 2014).

Karbonat Ayrışması; Çalışma alanındaki su örneklerinin kimyasal yapısını kazanmasında etkili olan mekanizmaları belirlemek için farklı grafiklerden yararlanılmıştır. Çalışma alanındaki su örnekleri $(Ca+Mg)/(HCO_3+CO_3)$ grafiği üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 5). Bu durum sudaki alkalilik fazlalığının, $(Na+K)$ alkaliileriyle dengelenmiş olduğunu göstermektedir.



Şekil 5 Su örneklerinin $(Ca+Mg)/(HCO_3+CO_3)$ iyon değişim grafiği üzerinde dağılımı

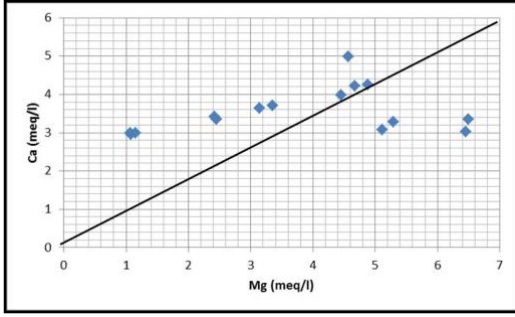
Potansiyel hidrokimyasal davranış Ca/Mg ve Na/Cl oranları arasındaki ilişkiden de çıkarılabilmektedir (Han vd., 2009; Davraz ve Ünver, 2014). Yeraltı suyunun Ca/Mg oranları akifer ortamda mevcut kalsit ve dolomit çözünürlüğü hakkında yorum yapılmasını sağlayabilmektedir. Genel olarak, Ca/Mg oranı 1'e eşit ise dolomit çözünürlüğünün varlığından bahsedilir. Daha büyük değerler ise kalsit katkısını yansıtır (Maya ve Loucks, 1995). Dolayısıyla, $Ca/Mg=1$ doğrusuna yakın değerler kalsit ve dolomit çözünürlüğünü işaret ederken, 2'den büyük değerler silikat mineralleri ayrışmasının etkisini gösterir (Katz vd., 1998; Han vd., 2009). Çalışma alanında yeraltı sularının Ca/Mg oranları genel olarak 1 ve çevresinde değerlere sahipken K3, K6 ve K10 no'lu örnekler 2'nin üzerinde değerler göstermiştir (Tablo 3; Şekil 6). Bu durum genel olarak çalışma alanında kalsit ve dolomit çözünürlüğünü işaret etmekte, K3, K6 ve K10 no'lu örnekler için silikat mineralleri ayrışmasının etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Ca/Mg oranları 1'den küçük olan değerler için Mg konsantrasyonunun artışından söz edilebilir ve bu durum dolomit çözünürlüğü, magnezyumlu minerallerin ayrışması ve dedolomitasyon süreçleri ile ilişkilidir.

Çalışma alanındaki su örnekleri $Na-Cl$ grafiğine yerleştirildiğinde ve Na/Cl iyon oranına bakıldığında tüm suların 1'in üzerinde olduğu görülmüştür. Na/Cl oranı 1 civarında veya üzerinde ise iyon alışveriş proseslerine işaret eder ve sodyumun silikat ayrışmasından kaynaklandığını göstermektedir (Meyback, 1987; Kumar vd., 2006; Tay, 2012; Davraz ve Ünver, 2014; Tablo 3, Şekil 7). Ayrıca, bu durum, iyon alışveriş sonucu Na iyonlarının yeraltı suundaki Ca iyonları ile yer değiştirdiğini göstermektedir.

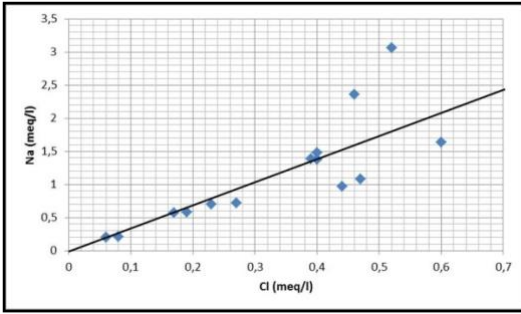
Tablo 3 Suların Na/Cl ve Ca/Mg oranı

Örnek No	Türü	Na/Cl	Ca/Mg
K1	Sondaj	3.45	0.90
K2	Sondaj	2.30	1.09
K3	Sondaj	3.33	2.74
K4	Sondaj	5.88	0.52
K5	Sondaj	2.73	0.47
K6	Kaynak	3.33	2.80
K7	Sondaj	2.20	0.60
K8	Kaynak	3.04	1.16
K9	Sondaj	3.05	1.41
K10	Sondaj	2.63	2.60
K11	Çeşme	3.56	0.89
K12	Kaynak	3.70	0.87

K13	Sondaj	5.13	0.62
K14	Çeşme	3.35	1.37
K15	Kaynak	2.67	1.10



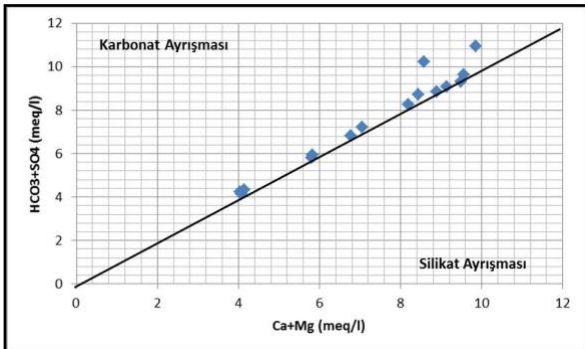
Şekil 6 Su örneklerinin Ca-Mg iyon değişim grafiği üzerinde dağılımı



Şekil 7 Su örneklerinin Na-Cl iyon değişim grafiği üzerinde dağılımı

Ters İyon Değişimi; Yeraltısuyunda çözülmüş bileşenlerin kaynağı, iyon miktarı, iyon oranları ve onların korelasyonlarına bakılarak değerlendirilebilmektedir. Ca, Mg, SO₄ ve HCO₃, kayacın mineralojisine bağlı olarak ayrışma sırasında suya eklenen majör elementlerdir. (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) grafiğinde örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakınsa kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. SO₄ ve HCO₃ içeriklerinin fazlalığından dolayı noktalar sağa kayarsa iyon alışverişinin varlığını yansıtır. Eğer, ters iyon değişim prosesi varsa Ca ve Mg iyonlarının artışından dolayı noktalar sola kayacaktır (Davraz ve Ünver, 2014).

Çalışma alanına ait su örnekleri (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) grafiği üzerinde gösterilmiştir (Şekil 8). Örneklerin büyük bir çoğunluğu 1:1 denge çizgisinin üstünde yer almaktadır. Bu durum karbonat ayrışmasının baskın olduğunu göstermektedir.

Şekil 8 (Ca+Mg)-(HCO₃-SO₄) diyagramı

Kloralkalin İndeksi; Kloroalkalin indeksleri (CAI) I ve II, Schoeller (1965, 1977) tarafından ortaya çıkarılmıştır. Yeraltısularının yeraltında kalış süresi ile dolaşımı sırasında geçtiği litoloji arasındaki iyon değişimi kloroalkalin (CAI-I, CAI-II) göstergeleri ile anlaşılabilir.

$$CAI-I = \frac{[Cl-(Na+K)]}{Cl} \quad (1)$$

$$CAI-II = \frac{[Cl-(Na+K)]}{(SO_4+HCO_3+CO_3+NO_3)} \quad (2)$$

Yeraltısuyunda Na veya K ile Mg veya Ca iyonları arasında bir değişim söz konusu ise CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de pozitif bir değer olacaktır. Eğer yaygın olarak ters iyon değişimi varsa CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de negatif bir değer olacaktır (Schoeller, 1965). Yani; CAI negatif olursa, kayalardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları ile sulardaki sodyum ve potasyum iyonları arasında temel değişim olmaktadır. Eğer oran pozitif ise temel değişim yoktur ve reaksiyon, katyon-anyon değişim reaksiyonudur. Çalışma alanındaki su örneklerinin analiz sonuçları ile CAI-I ve CAI-II değerleri hesaplanmış ve Tablo 4' de sunulmuştur. Elde edilen CAI-I ve CAI-II değerleri incelendiğinde tüm örneklerde CAI-I ve CAI-II değerleri negatif olup örneklerde "ters iyon değişimi" yani kayalardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları ile sulardaki sodyum ve potasyum iyonları arasında bir değişim olduğu görülmektedir.

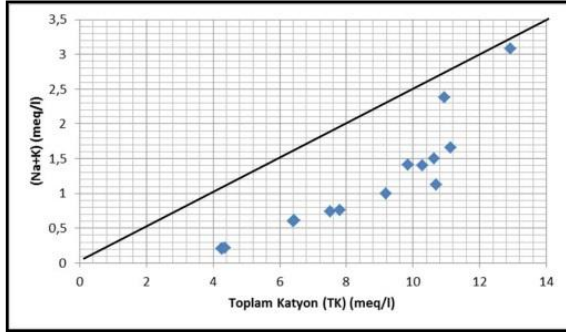
Tablo 4. Çalışma alanı sularının CAI-I ve CAI-II değerleri

Örnek No	Türü	CAI-I	CAI-II
K1	Sondaj	-2.50	-0.11
K2	Sondaj	-1.40	-0.07
K3	Sondaj	-2.50	-0.03
K4	Sondaj	-4.92	-0.23
K5	Sondaj	-1.77	-0.11
K6	Kaynak	-2.50	-0.04
K7	Sondaj	-1.27	-0.06
K8	Kaynak	-2.22	-0.07
K9	Sondaj	-2.21	-0.07
K10	Sondaj	-1.75	-0.03
K11	Şebeke	-2.62	-0.11
K12	Kaynak	-2.75	-0.12
K13	Sondaj	-4.17	-0.18
K14	Şebeke	-2.53	-0.07
K15	Kaynak	-1.81	-0.07

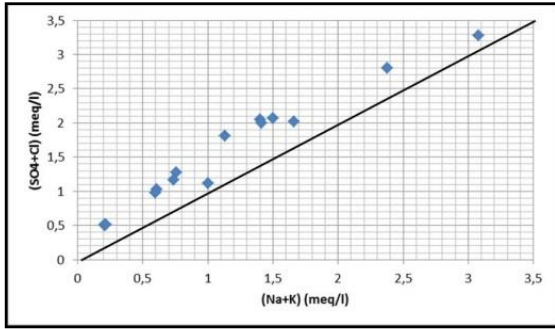
Silikat Ayrışması; Silikat ayrışması yeraltısularının ana iyon kimyasını kontrol eden ana jeokimyasal süreçlerden birisidir (Mackenzie ve Garrells, 1965). Silikat ayrışması (Na+K) iyonlarına karşı toplam katyonlar (TK) arasındaki ilişkiye göre anlaşılabilir.

Su örnekleri Toplam Katyon (TK)/(Na +K) iyon değişim grafiği üzerine yerleştirildiğinde tüm örneklerin denge seviyesinin (1:1) altında kaldığı

belirlenmiştir (Şekil 9). Bu sonuç silikat ayrışması ve/veya toprak tuzları aracılığıyla yeraltısularında kation artışı çıkarımına neden olurken buna karşın alkalilerle aynı derecede ($Cl+SO_4$)' in artması toprak tuzlarının çözünmesinden kaynaklı ortak bir durumu yansıtmaktadır (Şekil 10).

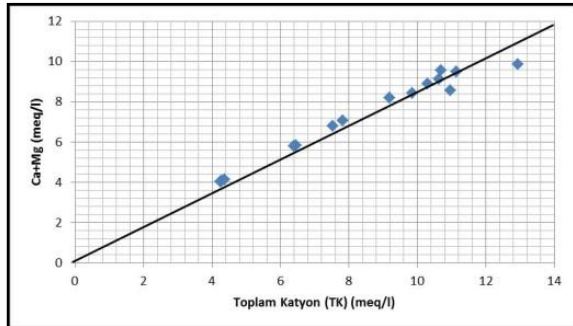


Şekil 9 Su örneklerinin Toplam Katyon (TK)/(Na⁺⁺K⁺) iyon değişim grafiği üzerinde dağılımı



Şekil 10 Su örneklerinin Toplam Katyon (Na+K)/(Cl+SO₄) iyon değişim grafiği üzerinde dağılımı

Su örnekleri bir başka grafik olan toplam katyon (TK)/(Ca+Mg) grafiği üzerine yerleştirildiğinde sadece iki örneğin denge seviyesinin (1:1) altına düştüğü diğer suların denge seviyesinin (1:1) üstünde kaldığı görülmüştür (Şekil 11). Bu durum alkalilerin, majör iyonlara bir katkısı olduğunu ve bu da yeraltısularına antropojenik giriş olduğunu göstermektedir.

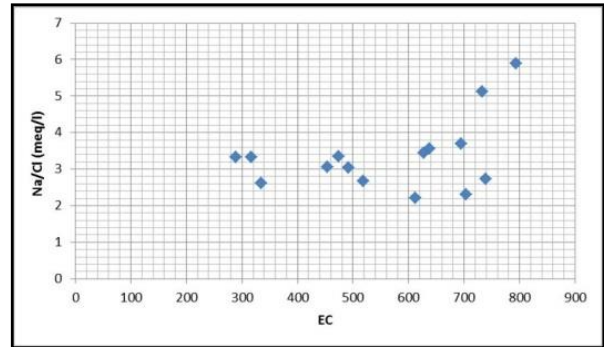


Şekil 11 Su örneklerinin Toplam Katyon (TK)/(Ca+Mg) iyon değişim grafiği üzerinde dağılımı

Evaporasyon; Genelde evaporasyonun sulardaki bütün iyonların konsantrasyonlarında bir artışa sebep olduğu düşünülmektedir. Evaporasyon sonucu

meydana gelen iyonik zenginleşme, akifer içerisinde yeraltısuyunun tutulmasıyla gerçekleşmektedir. Eğer bir bölgede evaporasyon egemense, hiçbir mineral çeşidinin çökelmeyeceği ve Na/Cl oranının değişmeyeceği varsayılmaktadır (Jankowski ve Acworth, 1997). Buna göre Na/Cl (molar)'a karşı EC ($\mu\text{mhos/cm}$) diyagramı yatay bir doğru oluşturur. Bu da evaporasyon ve evapotranspirasyonun etkili bir göstergesi olmaktadır (Taheri Tizro ve Voudouris 2008, Kumar ve diğ. 2009). Eğer Na iyonu halit mineralinin çözünümünden geliyorsa molar Na/Cl oranı yaklaşık 1'e eşit çıkmakta, 1'den yüksek çıkan değerler için ise Na'un kaynağı silikat ayrışması olduğu kabul edilmektedir (Mayback 1987, Garcia ve ark. 2001).

Çalışma alanındaki örneklerin genelinde Na/Cl oranı 1'den büyüktür. Bu da sistemde silikat ayrışmasının etkin olduğunu göstermektedir (Çizelge 4). Na/Cl- EC ($\mu\text{mhos/cm}$) diyagramında ise incelenen örneklerin sıralanışı tamamen düz bir çizgi şeklinde olmayıp eğim göstermektedir (Şekil 12). Bu yüzden evaporasyon yeraltısuyunun kimyasını kontrol eden ana jeokimyasal işlem olmayabilir.



Şekil 12 İnceleme alanındaki yeraltısularının Na/Cl-EC ($\mu\text{mhos/cm}$) diyagramı

4.4. Su Kalite İndeks (WQI) Değerlendirmeleri

Su Kalitesi İndeksi (WQI), su kalitesi parametrelerinin her birinin, insan tüketimi için genel su kalitesi üzerindeki bileşik etkisini sağlayan derecelendirme tekniği olarak tanımlanmaktadır (Varol ve Davraz, 2015). Su Kalitesi İndeksi, bu nedenle özellikle yeraltısuyunun kalitesi ve içme suyu olarak kullanıma uygunluğunu belirlemek için önemli bir parametredir. WQI aynı zamanda, su kaynaklarının özellikle evsel amaçlar için kullanılabilirliğini karakterize etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Burada kullanılan indeks, tanımlanmış belirli hedefler doğrultusunda su bileşiminin ağırlıklı bir toplamını yansıtmaktadır. Bu hedefler genellikle içme suyunda büyük parametrelerin her biri için hem ulusal hem de Dünya Sağlık Örgütü'nün standartlarıyla ilişkilidir (Varol ve Davraz, 2015).

Çalışma alanındaki su kaynaklarında su kalite değerlendirmelerinin yapılabilmesi için 15 farklı noktadan alınan örneklerde azot ve türevleri olan aynı

zamanda tarımsal kirliliğin göstergesi olan NO₃, NO₂, NH₄ analizleri ile ağır metal analizleri yaptırılmıştır. Ağır metallardan WHO (2008) ve TSE 266 (2005) tarafından belirlenen sınır değerleri aşan elementler olan As ve Cr su kalite indeksi değerlendirmelerinde kullanılmıştır (Tablo 5.).

Tablo 5. Korkuteli ilçesi su kaynaklarının ağır metal ve azot türevleri analiz sonuçları

Örnek No	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Al (mg/l)	As (mg/l)	Cr (mg/l)
K1	0.00	27.90	0.00	0,00	0,08	0,05
K2	0.00	31.40	0.00	0,03	0,12	0,04
K3	0.00	5.57	0.00	0,00	0,11	0,01
K4	0.00	23.78	0.00	0,00	0,11	0,07
K5	0.00	37.34	0.00	0,00	0,13	0,06
K6	0.00	5.65	0.00	0,01	0,15	0,01
K7	0.00	23.04	0.00	0,01	0,15	0,04
K8	0.00	17.19	0.00	0,00	0,13	0,02
K9	0.00	13.60	0.00	0,02	0,17	0,02
K10	0.00	5.84	0.00	0,00	0,14	0,01
K11	0.00	25.62	0.00	0,00	0,15	0,05
K12	0.00	27.71	0.00	0,00	0,13	0,05
K13	0.00	21.78	0.00	0,00	0,15	0,06
K14	0.00	13.32	0.00	0,00	0,11	0,02
K15	0.00	19.37	0.00	0,00	0,14	0,03
TS 266 2005	0.05	50	0.05-0.50	0.2	0.01	0.05
WHO 2011	3	50	0.05-0.50	0.9	0.01	0.05

Bu çalışmada, WQI üç basamakta hesaplanmış ve sonuçlar WHO (2008) ve TSE 266 (2005) ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir (Varol ve Davraz, 2015). İlk aşamada, içme suyu olarak kullanımda su kalitesi için 14 parametre belirlenmiş (TDS, pH, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, NO₂, NH₄, Ca, Mg, Na, K, As ve Cr) ve bu parametrelerin her birinin, genel olarak göreceli önemine göre bir ağırlık değeri (wi) atanmıştır (Varol ve Davraz, 2015) (Tablo 6).

Burada ağırlıklandırma yapılırken kritik sağlık etkileri olan ve limit değerlerinin üstünde konsantrasyonlara sahip, özellikle evsel ve içme suyu amaçlı kullanılan sularda, kullanılabilirliğini sınırlayabilecek parametrelere daha yüksek ağırlık verilmiştir (Varol ve Davraz, 2015).

Tablo 6 Çalışma alanındaki kimyasal parametrelerin ağırlık değerleri

Parametreler	WHO (2008)	TSE 266 (2005)	Ağırlık Değeri (wi)	Göreceli Ağırlık Değeri (Wi)
pH	6.5-8.5	6.5-9.5	4	0.07
Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS)	500-1500	1500	5	0.09
HCO ₃ (mg/l)	-	-	1	0.02
Cl (mg/l)	250	250	5	0.09
SO ₄ (mg/l)	250	250	5	0.09
NO ₃ (mg/l)	50	50	5	0.09
NO ₂ (mg/l)	3.0	0.50	5	0.09
NH ₄ (mg/l)	0	0	5	0.09
Ca (mg/l)	300	200	3	0.05
Mg (mg/l)	30	150	3	0.05
Na (mg/l)	200	200	4	0.07
K (mg/l)	-	12	2	0.04
As (mg/l)	0.01	001	5	0.09

Cr (mg/l)	0.05	0.05	5	0.09
-----------	------	------	---	------

En büyük ağırlık değeri olan "5", su kalitesi değerlendirmesinde büyük önemi nedeniyle TDS, Cl, SO₄, NO₃, NO₂, NH₄, As ve Cr gibi parametrelere ayrılmıştır. Minimum ağırlık "1" ise sağlık üzerinde etkisinin çok daha az olması nedeni ile HCO₃ parametresine verilmiştir (Varol ve Davraz, 2015).

Özellikle, ana kalite parametrelerinden biri olan TDS, suda bulunan çeşitli mineralleri belirtmekte ve yeraltısularının herhangi bir amaç için uygunluğunu saptamak için TDS değerlerine dayalı olarak hidrokimyasal sınıflandırmanın yapılması gerekmektedir. Yeraltısularında yüksek TDS değerleri genellikle sağlıklı bireylerde zararlı değildir; ancak TDS'nin yüksek konsantrasyonu, böbrek ve kalp rahatsızlıkları çeken kişileri etkileyebilmektedir. Toplam çözünmüş katı madde miktarı yüksek olan sular, müşil veya kabızlık etkilerine neden olabilir (Varol ve Davraz, 2015).

Yeraltısularında Cl konsantrasyonları kaya su etkileşimi ile ilişkili olması yanısıra nispeten buharlaşmanın da etkisiyle sulama suyunda artış gösterebilmektedir. Bu da yeraltısularının kirlendiğini göstermektedir (Varol ve Davraz, 2015). İçme suyu standartlarına (TSE 266 ve WHO) Cl için sınır değerler belirlenmiş ve bunlara göre suda maksimum izin verilebilen limit 250 mg/l'dir. İçme suyunda yüksek konsantrasyonlarda Cl bulunması durumunda suyun tadında tuzluluk oluşurken insanlar üzerinde laksatif etkisi söz konusudur (Bhardwaj ve Singh 2010).

Sülfatın (SO₄), yüksek konsantrasyonlarında dehidrasyon gözlemlenebilmekte ancak, sülfat yine de en az zehirli anyonlardan bir tanesidir. TSE 266 ve WHO'ya göre maksimum izin verilebilen limit 250 mg/l'dir. Su içerisinde sülfat konsantrasyonu limit değerleri aşarsa yüksek derecede mide- bağırsak tahrişine ve laksatif etkiye neden olmaktadır (WHO 1993; Varol ve Davraz, 2015).

Bilindiği gibi nitrat (NO₃) kirliliği, yeraltısuyu kirliliğinin en önemli sebeplerinden biridir. Nitrojen bileşikleri, yeraltısularında nitrat (NO₃) ve nitrit (NO₂) iyonları şeklinde bulunur (Varol ve Davraz, 2015). Nitrit (NO₂), nitrata (NO₃) kıyasla hayvan ve insan sağlığına daha fazla tehlikelidir. Nitrat suda aşırı derecede çözünür ve toprağın içinden kolayca geçebilir. Gübreler ve evsel atıklar, azot içeren bileşiklerin başlıca kaynaklarıdır. WHO (2008) nitrat için izin verilebilir maksimum konsantrasyon miktarını 50 mg/l olarak öngörmüştür (Varol ve Davraz, 2015). Yüksek nitrat konsantrasyonuna sahip suların tüketimi bebeklerde mavi bebek hastalığına veya methemoglobinemia hastalığına, gastrikkansinomlara, anormal ağrıya, merkezi sinir sistemi doğum kusurlarına ve şeker hastalığına neden olur (Vasanthavigar ve diğ. 2010).

Arsenik (As), yeraltısularında arsenik zenginleşmesi genelde iki yönlü gerçekleşmektedir. Bunlar doğal ve yapay etkenler olarak ikiye ayrılabilir. Doğal nedenlerin başında kaya su etkileşimine bağlı sülfür minerallerinin bozulması ve jeotermal alanlar gelmektedir (Varol ve Davraz, 2015). Bunu yanısıra tarımsal ve endüstriyel faaliyetler ikincil ancak en önemli etkenleri oluşturmaktadır. Arsenik içeren tarımsal ilaçların kullanılması hem toprağa oradan da süzülme yoluyla yeraltına geçmesi açısından oldukça tehlikelidir. Madencilik, demir-dışı metallerin eritilmesi ve fosil yakıtların yanması gibi büyük endüstriyel işlemler arseniğin hava, su ve toprağa yayılarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca, inorganik bileşikler içeren tarımsal ilaçların kullanılması ve kereste muhafazasında arsenik kullanılması sulara As kirliliğini artırmaktadır (WHO, 2006; Varol ve Davraz, 2015). TSE 266 ve WHO'ya göre maksimum izin verilebilen limit 0.01 mg/l'dir. Arsenikli suların düzenli ve uzun süreli kullanımında cilt hastalıkları özellikle de pigmentasyon değişiklikleri (melanosis) ve keratosis görülmektedir. Nadir de olsa cilt kanseri oluşumu bildirilmiştir (Varol ve Davraz, 2015). Yapılan araştırmalar, kansere kadar ulaşabilen solunum yolu, karaciğer ve idrar yollarına ilişkin sağlık sorunları ile şeker hastalığı, kalp-damar ve sinir sistemi hastalıklarına da yol açtığını göstermiştir (Tchounwou ve diğ., 2003, 2004)

Yeraltısularında krom (Cr) konsantrasyonları da doğal ve antropojenik kaynaklı olarak artış gösterebilmektedir (Varol ve Davraz, 2015). Kromca zengin kayalarla suyun etkileşimine bağlı artışlar olabilirken tarımsal ve endüstriyel faaliyetlere bağlı olarak da artış gösterebilmektedir (Varol ve Davraz, 2015). TSE 266 ve WHO'ya göre maksimum izin verilebilen limit 0.05 mg/l'dir. Su içerisindeki konsantrasyonu sınır değeri aşması durumunda Yüksek dozlarda gastrointestinal sistemi hastalıkları ve kanserleri, kanama diatezi ve ciltte alerjik reaksiyonlara sebebiyet verebilmektedir (Varol ve diğ., 2008)

Bu çalışmada HCO_3^- 'in su kalitesi ve sağlık değerlendirmesinde daha az öneme sahip olması nedeni ile minimum ağırlık olarak "1" verilmiştir. pH, kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum gibi diğer parametrelere ise, su kalitesinin belirlenmesindeki önemine bağlı olarak 1 ile 5 arasında ağırlık verilmiştir (Varol ve Davraz, 2015).

İkinci aşamada, göreceli ağırlık değeri (W_i), Çizelge 6'de verilmiş olan her parametrenin hesaplanmış bağıl ağırlık (w_i) değerleri ile aşağıdaki denklemden hesaplanmaktadır: (3):

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (3)$$

Burada, W_i , bağıl ağırlıktır, w_i , her parametrenin ağırlığıdır, n , parametrelerin sayısıdır.

Üçüncü adımda, her parametre için bir kalite derecelendirme ölçeği (q_i) hesaplanmaktadır (Varol ve Davraz, 2015). Bu hesaplamada her bir parametre için yine her bir su örneğindeki konsantrasyonu, WHO (2008) ve TSE 266 (2005) 'te belirtilen sınır değerleri ve sonuç 100 ile çarpılmaktadır (Varol ve Davraz, 2015) (4).

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100 \quad (4)$$

Bu formülde q_i kalite derecesi, C_i , her su numunesinde her kimyasal parametrenin litre başına miligram konsantrasyonudur. S_i ise WHO (2008) ve TSE 266 (2005) 'e göre her kimyasal parametre için litre başına miligram cinsinden içme suyu standardıdır (Varol ve Davraz, 2015).

WQI'yı hesaplamak için önce her kimyasal parametre için S_{li} belirlenir ve daha sonra bu değer, aşağıdaki denklemlere göre WQI'yı belirlemek için kullanılır (Varol ve Davraz, 2015) (5), (6).

$$S_{li} = W_i \times q_i \quad (5)$$

$$WQI = \sum S_{li} \quad (6)$$

Burada S_{li} , i'nin alt indeksi. q_i parametresi i'nin konsantrasyonuna dayanan derecesi, n parametrenin sayısıdır (Varol ve Davraz, 2015). Bu çalışmada da su kalitesi türleri, WQI'ya göre belirlenmiştir. Buna bağlı olarak eşitlik (5)'den elde edilen tüm S_{li} değerleri toplandığında WQI değerleri elde edilir. WQI değer aralıkları ve su tipleri, Tablo 7'deki gibi sınıflandırılmaktadır (Sahuand Sikdar, 2008).

Çalışma alanındaki sular için hesaplanan WQI değerleri 109.38 ile 184.46 aralığındadır (Tablo 8).

Tablo 7. WQI değerlerine göre su tipleri (SahuandSikdar 2008)

WQI aralığı	Su Tipleri
<50	Mükemmel Su
50-100.1	İyi su
100-200.1	Zayıf su
200-300.1	Çok zayıf su
>300	İçme suyu için uygun değil

Tablo 8 Çalışma alanındaki suların WQI'ye göre su tipleri

Örnek No	Türü	WQI değeri	Su Tipi
K1	Sondaj	109.38	Zayıf su
K2	Sondaj	161.33	Zayıf su
K3	Sondaj	114.35	Zayıf su
K4	Sondaj	137.03	Zayıf su
K5	Sondaj	156.66	Zayıf su
K6	Kaynak	158.98	Zayıf su
K7	Sondaj	184.46	Zayıf su
K8	Kaynak	139.49	Zayıf su
K9	Sondaj	178.88	Zayıf su
K10	Sondaj	145.53	Zayıf su
K11	Şebeke	169.66	Zayıf su
K12	Kaynak	148.63	Zayıf su

K13	Sondaj	168.63	Zayıf su
K14	Şebeke	122.32	Zayıf su
K15	Kaynak	150.76	Zayıf su

Tablo 8'e göre çalışma alanındaki suların tümü "**Zayıf su**" tipindedir. Bu durum göstermektedir ki suların yeraltına süzülmesi sırasında gerçekleşen iyon zenginleşmesinin yanısıra evsel ve endüstriyel atıklar ile tarımsal faaliyetler suların kalitesini bozmakta ve kullanılabilirliğini etkilemektedir. Buna bağlı olarak çalışma alanındaki bu suların içilmesi uzun dönemde insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecektir.

5. Sonuçlar

Çalışma alanı olarak seçilen alan Türkiye'nin güneybatısında Antalya ili sınırları içerisindeki 154 km²'lik alana sahip Korkuteli ilçesidir. Çalışmada Korkuteli ilçe merkezinin su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini belirleyen prosesler ile su kalitesini belirleyici su kalite indeks (WQI) değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çalışmada inceleme alanı sınırları içerisinde yer alan jeolojik birimlerin litolojik özellikleri belirlenmiştir. Bu birimler otokton kaya birimleri olup Beydağları formasyonu ve Tekkeköy Üyesi, Çamlıdere olistostromu, Küçükköy formasyonu, Karabayır formasyonu, Karakuştepe formasyonu ile Kasaba formasyonu, alüvyon, yamaç molozu, eski akarsu taraça dolguları ve eski alüvyon ve yamaç molozlarıdır. Ayrıca bu litolojik birimler hidrojeolojik özellikleri bakımından sınıflandırılmıştır.

Çalışmada yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının belirlenebilmesi için sondaj kuyuları, kaynak ve şebeke sularından Kasım 2016 döneminde 15 adet su örnekleri alınmış ve bu suların fizikokimyasal, kimyasal ve kirlilik analizleri yaptırılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre su tipleri belirlenmiştir. Su tiplerinin belirlenmesinde Schoeller (1955), Piper (1944) sınıflandırmalarından yararlanılmıştır. Schoeller (1955)'e göre tüm örnekler, klorür ve sülfat sınıflamalarına göre, '**Olağan Klorürlü ve Sülfatlı Sular**' ve karbonat-bikarbonat sınıflamasına göre ise K1, K2, K4, K5, K7, K11, K12 ve K13 no'lu örneklerin '**Hiperkarbonatlı Sular**' diğer tüm su örnekleri ise '**Olağan Karbonatlı Sular**' sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Piper (1944)'e göre yapılan sınıflandırmada ise su örneklerinde Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃ su tiplerinin hakim olduğu görülmüştür.

Çalışma alanındaki sular üzerindeki hidrojeokimyasal mekanizmaları belirlemek amacıyla su örneklerinin iyon konsantrasyonları Gibbs diyagramları üzerine yerleştirilmiştir. Gibbs diyagramına göre, su örneklerinin tamamı "Kayaç Baskın" bölgesine düşmektedir. Bu da, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanındaki su örneklerinin kimyasal yapısını kazanmasında etkili olan ana mekanizmaları belirlemek için ise farklı grafiklerden yararlanılmıştır. Bu grafiklere göre çalışma alanındaki suların karbonat ayrışmasının baskın olduğunu tespit edilmiştir. Kloralkalin indekslerine (CAI-I ve CAI-II) göre ise tüm örneklerde CAI-I ve CAI-II değerleri negatif olup örneklerde "ters iyon değişimi" yani kayalardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları ile sularındaki sodyum ve potasyum iyonları arasında bir değişim olduğu görülmektedir. Evaporasyonun ise bu ortamda yeraltısuyunun kimyasını kontrol eden ana jeokimyasal işlem olmadığı belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca suların kalite durumu belirlenmeye çalışılmış ve buna yönelik olarak azot ve türevi analizleri ile ağır metal analizleri yaptırılmıştır. Azot ve türevleri olan nitrat, nitrit ve amonyum analiz sonuçları bakımından Türk içme suyu (TS 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu (WHO, 2011) standartlarının belirlediği sınır değerleri aşmadığı tespit edilmiştir. Yapılan ağır metal analizlerinin sonuçlarında da özellikle As ve Cr iyon konsantrasyonlarının sularında yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum yine çalışma alanındaki yoğun tarımsal faaliyetler ile suların kirlendiğini göstermektedir. Su kalitesinin belirlenmesinde "su kalite indeks (WQI)" yönteminden yararlanılmıştır. WQI sonuçlarına göre çalışma alanındaki suların tümü "**Zayıf su**" tipindedir. Buna bağlı olarak çalışma alanındaki bu suların içilmesi uzun dönemde insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecektir.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4720-YL1-16 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Altınlı, E., 1944, Etudestratigraphique de la regiond'Antalya. Rev. Pac. Sci. Univ. İstanbul, s'er. B, V, 9, no. 3

Colin, H. J. 1962. Fethiye-Antalya-Kaş-Finike (Güneybatı Anadolu) bölgesinde yapılan jeolojik etüdlr. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 59(59).

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

- Ersoy, Ş, 1990, Batı Toros (Likya) naplarının yapısal özelliklerinin ve evriminin analizi. Jeoloji Mühendisliği, sayı: 37, sayfa: 5-16.
- Garcia, M.G., Hidalgo, M., Blesa, M.A. 2001. Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucumán province, Argentina. Hydrogeology Journal 9: 597-610.
- Gibbs, R.J. 1970. Mechanisms controlling World water chemistry. Science 17: 1088-1090.
- Günay, Y., Bölükbaşı, A.S. ve Yoldemir, O., 1982. Beydağlarının stratigrafisi ve yapısı: Türkiye Altıncı Petrol Kong. Tebl., Nisan-1982, Ankara, 91-101.
- Günhan, Ö., 2014. Yeraltı Sularının Kalitesinin Değerlendirilmesi Açısından Uygun Bir Metodoloji Araştırması, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Uzmanlık Tezi, 113 sayfa, Ankara.
- Han, D., Liang, X., Jin, M., Currell, M.J., Han, Y., Song, X., 2009. Hydrogeochemical Indicators of Groundwater Flow Systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. Environmental Management 44:243-255.
- Jankowski, J., Acworth, R.I. 1997. Impact of debris-flow deposits on hydrogeochemical process and the development of dry land salinity in the Yass River catchment, New South Wales, Australia. Hydrogeol J. 5(4):71-88.
- Johnson, C.C. 1979. Land application of waste-an accident waiting to happen. Groundwater, 17(1):69-72.
- Kalafatçıoğlu, A. 1973. Antalya Körfezi batı kısmının jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 81(81).
- Katz, B.G., Coplen, T.B., Bullen, T.D., Davis, J.H., 1998. Use of Chemical and Isotopic Tracers to Characterize the Interaction between Groundwater and Surface Water in Mantled Karst. Groundwater 35:1014-1028
- Ketin, İ., 1947. Uludağ Masifinin Tektoniği hakkında, T.J.K bülteni, 1, 1, Ankara.
- Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S., Kumar, B., 2006. Identification and Evaluation of Hydrogeochemical Process in the Groundwater Environment of Delhi, India. Environmental Geology 50: 1025-1039
- Mackenzie, F.J., Garrells, R.H. 1965. Silicates: reactivity with water. Sci J 1505: 57- 58
- Maya, A.L., Loucks, M.D., 1995. Solute and Isotopic Geochemistry and Groundwater Flow in the Central Wasatch Range, Utah. Journal of Hydrology, 172:31-59
- Meyback, M., 1987. Global Chemical Weathering of Surficial Rocks Estimated from River-Dissolved Loads., American Journal of Science, 287, 401-428.
- Piper. A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union. vol. 25. p. 914-923.
- Sahu P, Sikdar, P.K., 2008. Hydrochemical framework of the Aquifer in and around East Kolkata Wetlands, West Bengal, India. Environ Geol 55:823-835
- Sastri, J.C.V., 1994. Groundwater chemical quality in river basins, hydrogeochemical facies and hydrogeochemical modeling. Lecture notes-refresher course conducted by school of Earth Sciences. Bharathidasan University, Thiruchirapalli, Tamil Nadu, India.
- Schoeller, H., 1965. Hydrodynamique dans le karts (écoulement en dépression). Actes Colloques Doubronik, I, AIHS et UNESCO, pp3-20.
- Schoeller. H.. 1955. Géochimie des eaux souterraines. Rev. Inst. Franc. Petrole. Paris. 10. No. 3-4
- Şenel, M., Arbas, A., Bilgi, C., Bilgin, Z. R., Dinçer, M. A., Durukan, E., Erkan, M., Karaman, T., Kaymakçı, H., Örçen, S., Selçuk, H. ve Şen, M. A., 1986, Gömbe Akdağ bölgesinin stratigrafi ve yapısal özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1986, bildiri özelleri, 51
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, A.M., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbas, A., Örçen, S. ve Bilgi, C. 1989. Çameli (Denizli)- Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. MTA Rap: 9429 (yayımlanmamış), Ankara
- Şenel. M.. 1997. Türkiye Jeoloji Haritaları. Isparta-K10 paftası. MTA Genel Müdürlüğü yayınları
- Taheri Tizro, A., Voudouris, K.S., 2008. Groundwater quality in the semi-arid region of the Chahardouly basin, West Iran, Hydrological Processes 22,3066-3078.
- Tay, C.K., 2012. Hydrochemistry of Groundwater in the Savelugu-Nanton District, Northern Ghana. Environ Earth Science 67: 2077-2087.
- TSE266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü -Ankara.
- Varol, S., Davraz, A., Varol, E., 2008, Yeraltı suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi, TAF Prev Med Bull 2008; 7(4):351-356.

Varol, S., Davraz, A., 2015, Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey), Environmental Earth Science, 73:1725-1744

WHO, 2008. Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, Geneva, Switzerland

<http://www.prakdeniz.com/antalyakorkuteli-2/>
(Erişim tarihi: 12.11.2017)

<http://www.turkiyrehberi.gen.tr/sehirler/antalya-ilceleri> (Erişim tarihi: 12.11.2017)