

Korkuteli (Antalya) su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi

Determination of usability and hydrogeochemical properties of Korkuteli (Antalya) water resources

SİMGE VAROL^{1*}, MEDİHA ŞEKERCİ^{2*}

^{1*}Süleyman Demirel Üniversitesi, Su Enstitüsü, Doğu Kampüs, Çünür-İSPARTA

^{2*}Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Batı Kampüs, Çünür-İSPARTA

Geliş (received) : 13 Kasım (November) 2017

Kabul (accepted) : 12 Mart (March) 2018

ÖZ

Bu çalışmada Antalya ili Korkuteli ilçesi su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ile kalite ve kirlilik durumunun belirlenmesi 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 yerinde ölçümler ve kimyasal analizler yapılmıştır. Suların majör iyonlarının birbirleriyle ilişkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanındaki hakim su tipleri Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃'dir. Ayrıca suların majör iyon ve fizikokimyasal özellikleri, kullanım alanlarına göre değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde suların içme suyu, sulama suyu ve endüstride kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak sularda kirlilik durumu da belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için özellikle tarımsal faaliyetlerle kirlenmeyi gösteren azot ve türevleri olan nitrat, nitrit ve amonyum analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları ulusal ve uluslararası standartlarla değerlendirilmiş ve belirlenen sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Ancak nitrat değerleri sınır değeri aşmamakla birlikte nispi bir yükseklik göstermektedir. Bunun nedeni ise çalışma alanında özellikle seraçılığın yaygın olarak yapılması ve diğer tarımsal faaliyetler olarak görülmektedir. Ağır metal analiz sonuçlarına göre sularda As ve Cr iyonlarının standartlarda izin verilen sınır değerlerin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Bu iyon konsantrasyonlarındaki artışın tarımsal faaliyetler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Keywords: Hidrojeokimya, su kalitesi, Korkuteli, yeraltısuyu.

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the hydrogeochemical properties, quality and pollution status of the water sources of Antalya province Korkuteli district. The most important aquifer is the granular media aquifer consisting of alluvium, slope debris, old stream bowls and old alluvial and slope debris in the study area. In the study, in-situ measurements and chemical analyzes on samples made in November 2016 period. The relation to each other of the major ions of the water was also evaluated statistically. According to the results, the dominant water types in the study area are Ca-Mg-HCO₃ and Mg-Ca-HCO₃. In addition, the major ion and physicochemical properties of the waters are evaluated according to their usage areas. It has been determined that water is suitable for drinking water, irrigation water and industrial use. In addition, the status of water pollution has been determined. Nitrate, nitrite and ammonium analysis, which are nutrient and its derivatives, which show pollution especially by agricultural activities, have been carried out for this. For this, nitrate, nitrite and ammonium analysis, which are nitrogen and its derivatives, which show pollution especially by agricultural activities, have been carried out. The results of the analysis have been evaluated with national and international standards and it has been determined that they do not exceed the determined limit values. However, the nitrate values with the limit value not exceeding show a relatively high. The reason for this is seen as widespread especially in the field of greenhouses and other agricultural activities. As and Cr ions were found to be above the determined limit values in the heavy metal analysis results. The increase in these ion concentrations is also thought to be related to agricultural activities wastes.

Anahtar Kelimeler: Hydrogeochemistry, water quality, Korkuteli, groundwater.

* S. Varol

e-posta: e-posta: simgevarol@sdu.edu.tr

GİRİŞ

Su başta insan olmak üzere tüm canlıların yaşam sürecinin her döneminde hayatın idame ettirilebilmesi için gerekli bir maddedir. Suyun yaşam için kaçınılmaz ön koşullardan biri olması kullanım alanlarını doğrudan ilgilendiren kalite değerlendirmelerine yönelik çalışmaların önemi artırmaktadır. Üzerinde yaşadığımız yeryüzünün $\frac{3}{4}$ 'ünün sularla kaplı olması, dünyada su sıkıntısının olmadığı görünümü veriyorsa da, içilebilir nitelikteki sağlıklı su oranı ancak % 0.74 civarındadır (Akın ve Akın, 2017). Buna ek olarak ortaya çıkan iklim değişikliklerine ek olarak gelişen teknoloji ve artan nüfus günümüzde sağlıklı suya ulaşmada en büyük problemlerdir. Bu problemler yüzey sularının giderek azalmasına neden olurken insanoğlu artık pekçok alanda kullanım ihtiyacını yeraltısularından karşılamaktadır. Ancak yeraltısuları da sonsuz miktarda ve uygun kaliteye sahip değildir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemiz de su zengini bir ülke değildir. Bu nedenle gelecekteki kullanımlar için yeterli miktar ve kalitede suyun olup olmadığını belirlemek ve bu sırada karşılaşılabilecek havza problemlerini çözmek amacıyla hidrojeolojik havza etütlerinin ve hidrojeokimyasal araştırmaların yapılarak suların kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada ülkemizin güney batısında yer alan Antalya ili Korkuteli ilçe merkezi seçilmiştir. Çalışmada, başta içme suyu olmak üzere farklı pek çok alanda kullanılan su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri belirlenerek su kalitesi ve kullanım alanlarına yönelik araştırmalar yapılmıştır. Korkuteli ilçesi Antalya ilinin önemli seracılık ve tarım faaliyetlerinin yapıldığı bir bölge olup bölgede yapılan tarımsal faaliyetlerin su kaynaklarına etkisi daha önce detaylı bir şekilde araştırılmamıştır. Bu nedenle çalışma sonuçları bölgedeki mevcut su kaynaklarının kalite ve kullanılabilirliği ile sürdürülebilir yönetimi açısından da önem taşımaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanının Tanıtılması

Korkuteli ilçesi Türkiye'nin güneybatısında Antalya ili sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). 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 ilçeleri, kuzeyde ise Burdur ili Bucak, Karamanlı ve Tefenni ilçeleri bulunmaktadır (Turreh, 2017).

154 km²'lik çalışma alanı olan ilçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 1020 metredir. Korkuteli İlçesinin 101.465 hektarı tarım alanı, 5.800 hektarı mera çayır, 100.337 hektarı orman ve fundalık alanlar, 351 hektarı su yüzeyleri, 145.835 hektarı ise orman ve tarım dışı sahalar oluşturmaktadır (Prakdeniz, 2017). Özellikle son 2-3 yılda damlama sulama yöntemi ve seracılığın gelişmeye başladığı Korkuteli ve köylerinde sera ürünleri üreticinin geçim kaynağı olmaya başlamıştır. Seracılığın gelişmeye başlamasıyla ilçede tek tip üründen çok çeşitli ürün yetiştiriciliğine geçmeye başlayan yöre halkı tarlalarına kurdukları seralarla alternatif tarıma da olanak sağlamaya başlamışlardır.

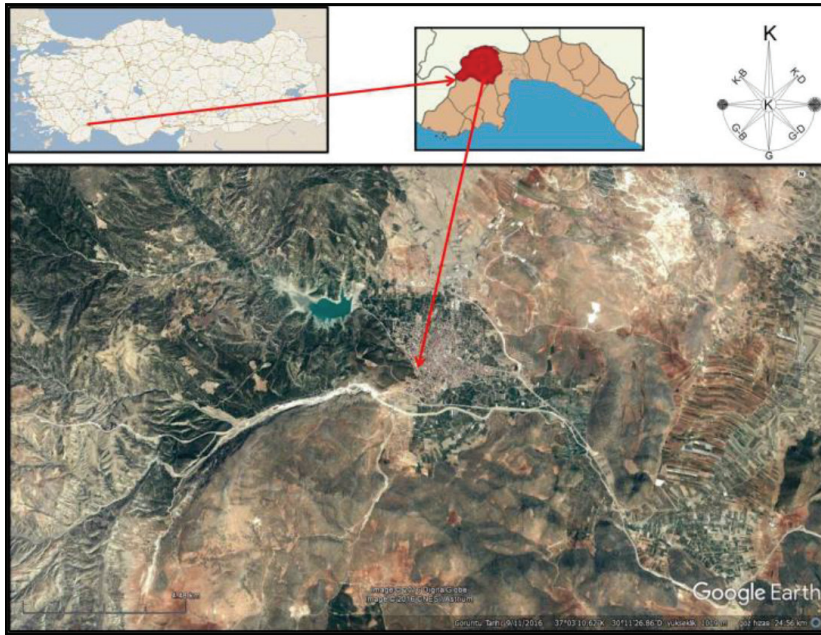
Yöntemler

Araştırma yöntemleri jeoloji, hidrojeoloji ve hidrokimyasal çalışmalar başlıkları altında toplanmıştır.

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 jeolojik birimler su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre sınıflandırılmış ve akifer olabilecek birimler belirlenmiştir. Akifer olarak tespit edilen litolojiler ayrıntılı olarak açıklanmış ve bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır.

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-µmho/cm), çözülmüş oksijen (DO), redoks potansiyeli (Eh-mV) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri ölçülmüştür. Suların anyon (HCO₃, CO₃, Cl, SO₄), nitrat nitrit ve amonyum analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası laboratuvarlarında, katyon (Na, K, Ca, Mg) ve ağır metal analizleri ACME (Kanada) laboratuvarında APHA, AWWA ve WPCF (1995) standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası
Figure 1. Location map of the study area

BULGULAR VE TARTIŞMA

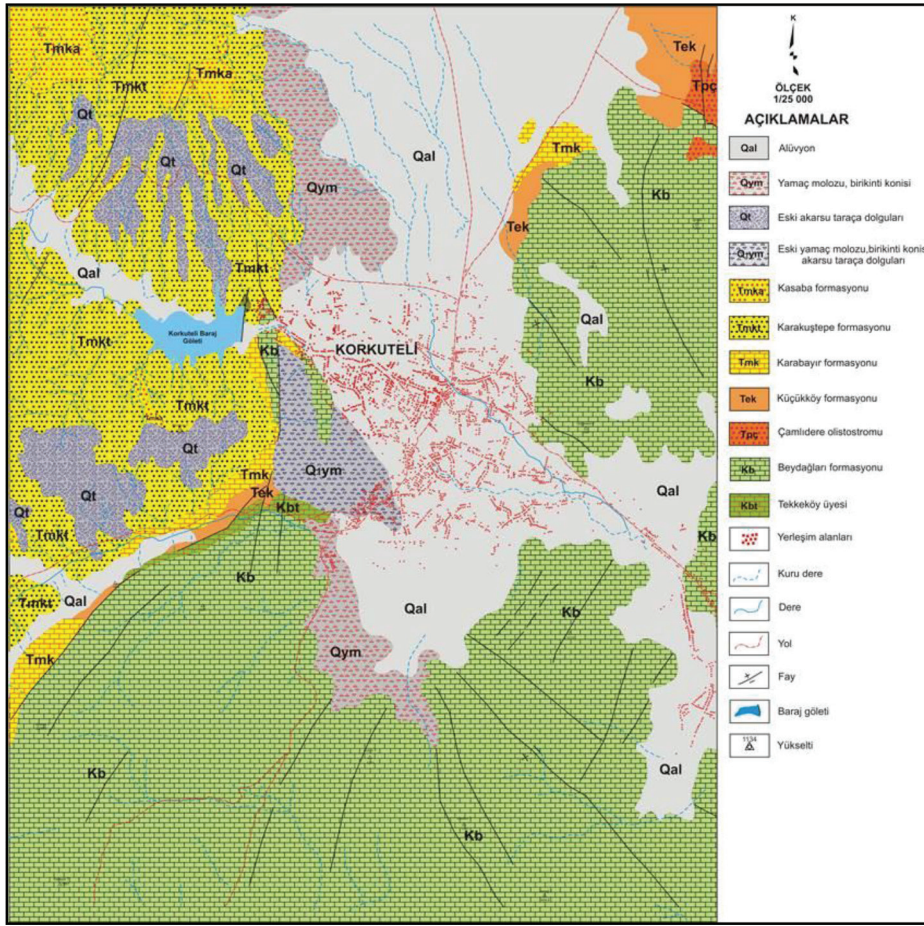
Jeoloji

Çalışma alanı olan Korkuteli ilçesindeki 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 Kuva-terner 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 globot-runcanalı mikritlerden oluşan Tekkeköy üyesi (Kbt), Alt Paleosen (Daniyen) yaşlı mikrit, killi mikrit, kiltası, marn, kalkarenit, kumtaşı vb. kaya türlerinden oluşan Çamlıdere olistostromu (Tpç), 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 aralanmasından oluşan Karakuştepe formasyonu (Tmkt) ve Üst Burdigaliyen-Alt Langiyen yaşlı konglomera

ve kumtaşlarından oluşan Kasaba formasyonudur (Tmka) (Şenel ve diğ. 1989; Şenel, 1997).

Hidrojeoloji

Çalışma alanında yer alan 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 (Şekil 3). Kireçtaşları, çatlak ve erime boşluklarında önemli miktarlarda yeraltı suyu 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 yüzeyleyen, Karabayır formasyonu oldukça küçük alanlarda gözlenmektedir. Çalışma alanında konglomera ve kumtaşlarından oluşan Kasaba formasyonu litolojik özelliklerine bağlı olarak 'Akitard Ortam' (Akt) olarak sınıflandırılmıştır. Bu kayaçların tutturulmuş yapıları ve alanda oldukça küçük bölgelerde yüzeylemeleri, bünyelerinde su bulundurabilme yeteneklerini kısıtlamaktadır. Çalışma alanındaki litolojik birimlerden



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Şenel, 1997'den değiştirilerek alınmıştır).
Figure 2. Geological map of the study area (changed from Şenel, 1997).

Çamlidere olistostromu, Karakuştepe formasyonu ve Küçükköy formasyonu litolojik özellikleri ve yayılım alanlarının küçük olması nedeni ile 'Akifüj Ortam' (Akj) olarak sınıflandırılmıştır. Korkuteli ilçe merkezinin kuzeydoğusu ile kuzeybatısında oldukça küçük alanlarda gözlemlenmekte olan Küçükköy formasyonu kiltası, marn, kireçtaşı, kumtaşı vb. kaya türlerinden, Çamlidere olistostromu ise mikrit, killi mikrit, kiltası, 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, kiltası, siltaşı ve marn su bulundurma özelliğine sahip değildir. Dolayısı ile birimin akifer olma kapasitesini sınırlandırmaktadır.

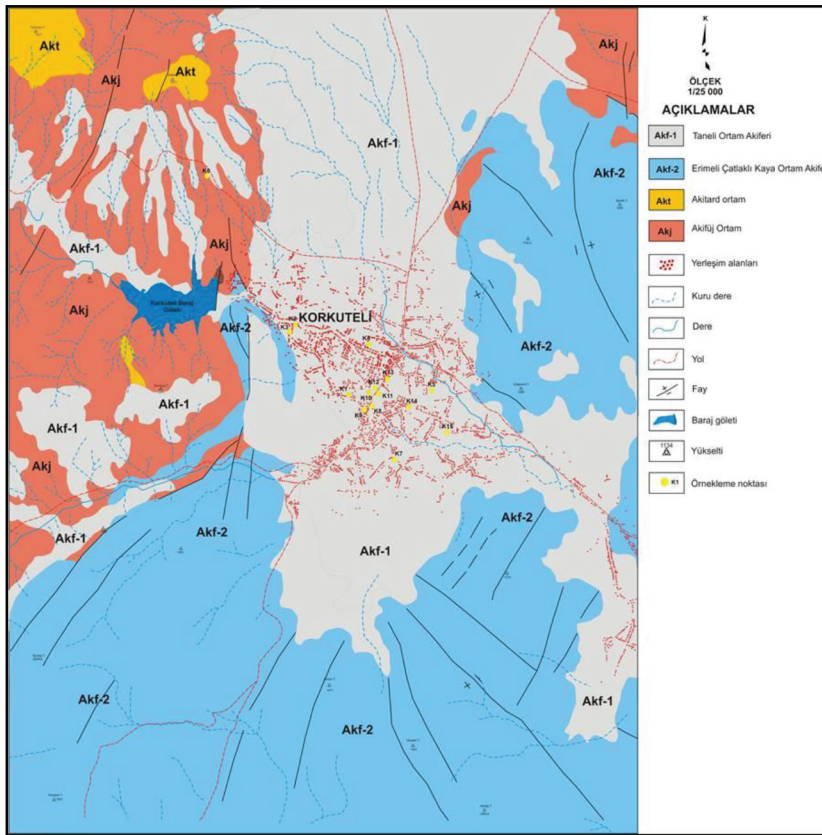
Hidrojeokimya

Çalışma alanında bulunan yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının

tespiti için bölgeyi temsil edecek sondaj kuyuları, kaynak ve şebeke sularından Kasım 2016 döneminde 15 adet su örneği alınmış ve iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da yerinde ölçümler (T, EC, pH, Eh, DO) yapılmıştır (Çizelge 1).

Bölgedeki suların pH değerleri 8.54 ile 9.33 arasında olup "Bazık Sular" sınıfında yer almaktadır. Suların EC değerleri 288.8-739 $\mu\text{mho/cm}$ arasında, sıcaklıkları ise 11.8-17.6 °C arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki suların sertlikleri 20.35-49.25 °Fr 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 (Çizelge 1).

Suların hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım özelliklerini belirlemede yararlanmak üzere fizikokimyasal ölçümlerin yanısıra kimyasal analizleri de yaptırılmıştır (Çizelge 2). Elde edilen analiz



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji ve su örneklerinin lokasyon haritası.

Figure 3. Map of the hydrogeology and water samples location of the study area.

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 (Çizelge 3). Karbonat-Bikarbonat sınıflamasına bakıldığında ise suların, farklı su sınıflarında yer aldığı görülmüştür. Buna göre K1, K2, K4, K5, K7, K11, K12 ve K13 'Hiperkarbonatlı 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 4). Ayrıca, Piper diyagramına göre K4 ve K13 no'lu örnekler Mg-Ca-Na-HCO₃'lü sular tipindedir.

Bilindiği gibi yeraltısularının kimyasal bileşimi, akifer ortamların mineralojik ve kimyasal özellikleri, akiferlerde suyun akış hızı, akış koşulları ve akiferdeki kalış süresi ilişkili olup sonuçta oluşan bu kimyasal özellikler yeraltısularının kullanım alanlarını belirlemektedir

(Freeze ve Cherry, 1979; Appelo ve Postma, 1993; Andreo ve Carrasco, 1999). Sular yeraltında kaya su etkileşimi ile çözünme ve çökeltme, iyon baz değişimi gibi reaksiyonlarla kimyasal özelliklerini değiştirebilmektedir. Buna ek olarak, bu özellikler dış kökenli kaynaklardan su bünyesine giren iyonlarla da değişiklik gösterebilmektedir.

Majör İyonlar Arasındaki İlişkinin İstatistiksel Değerlendirmesi

Mühendislik uygulamalarında, veri setlerini temsil eden değerlerin bilinmesi ve ortalama etrafında değişimin ortaya konması oldukça önemlidir. Bunun için merkezi eğilim (mod, medyan, aritmetik ortalama vb.) ve dağılım ölçülerinin (varyans, standart sapma, değişkenlik katsayısı vb.) bulunması gereklidir. Böylece veri setlerinin birbirleriyle kıyaslanması da mümkün olabilmektedir (Mc Bean ve Rovers, 1998). Doğada birçok değişken birbirlerini etkileyerek değer alırlar. Biri diğerinin ortaya çıkmasında yada çıkmamasında rol oynamaktadır. Bir değişken diğerinin nedeni

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

Table 1. *In situ measurement values of waters in study area (November-2016).*

Türü	No	EC (µmho/cm)	T (°C)	pH	Eh mV	TDS mg/l	DO mg/l	Sertlik (F°)	SAR	% Na
Sondaj	K1	627	11.8	8.79	381.3	407.55	0.03	44.45	3.77	13.41
Sondaj	K2	703	14	8.54	370.7	456.95	0.03	47.80	2.83	10.10
Sondaj	K3	317.1	16.4	9.33	364.8	206.12	0.03	20.20	0.78	4.70
Sondaj	K4	794	14.3	9.01	371.3	516.10	0.03	49.25	8.24	23.66
Sondaj	K5	739	14.7	8.81	357.3	480.35	0.04	47.4	4.54	14.72
Kaynak	K6	288.8	12.1	9.36	374.9	187.72	0.03	20.35	0.76	4.67
Sondaj	K7	612	14.7	9.02	319.5	397.80	0.03	40.95	2.84	10.55
Kaynak	K8	491.3	13.2	9.01	325.7	319.35	0.04	33.90	2.17	9.30
Sondaj	K9	453.2	16.1	8.94	371.3	294.58	0.03	29.15	1.91	9.00
Sondaj	K10	334.3	17.6	9.19	392.0	217.30	0.04	20.70	0.83	4.81
Çeşme	K11	638	13.1	8.76	400.8	414.70	0.04	42.15	3.92	14.12
Kaynak	K12	695	15.5	8.73	400.3	451.75	0.03	45.65	4.00	13.92
Sondaj	K13	733	16.2	8.89	381.8	476.45	0.03	42.85	6.73	21.55
Çeşme	K14	474.6	17.1	8.93	387.9	308.49	0.03	29.00	1.89	8.90
Kaynak	K15	519	13.4	8.71	393.7	337.35	0.07	35.25	2.21	9.21
TSE 266				6.5-9.5						
WHO 2011				6.5-8.5						

olabilmektedir. Değişkenler arasındaki neden sonuç ilişkisi regresyon yöntemleri ile incelenmektedir (Runyon vd., 2000).

Çalışma alanı olan Korkuteli ilçesindeki su kaynaklarından alınan örneklerde ortaya çıkan su tiplerindeki farklılıklar nedeni ile majör iyonları arasındaki ilişkiler istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmiştir (Çizelge 4). Çalışmada istatistiksel analizler SPSS 15.0 istatistik yazılım programı kullanılarak yapılmış ve yapılan değerlendirmelerde inceleme alanı genelindeki sularda Ca ve HCO₃ iyonları egemen majör iyonlar olup, K ve CO₃ iyonları ise bölgedeki sularda en düşük konsantrasyona sahip majör iyonlar olarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

Majör iyonlar arasındaki ikili ilişkilerin analizinde 'Spearman Korelasyon Analizi' kullanılmıştır. Korelasyon analizi, iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini ve

yönünü belirlemek amacıyla kullanılan istatistik yöntemlerinden birisidir. Değişik şekillerde hesaplanan ve değişik amaçlar için kullanılan, Pearson korelasyon katsayısı, Spearman korelasyon katsayısı, Canonical korelasyon katsayısı, kısmi korelasyon katsayısı gibi farklı isimler alan korelasyon katsayıları bulunmaktadır. Bu çalışmada ilişkilerin değerlendirilmesinde veri setlerimizi oluşturan örnek sayımızın 30'dan küçük olması nedeni ile Spearman korelasyon analiz yöntemi seçilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan Spearman korelasyon katsayısı 'r' ile gösterilmekte ve diğer analiz yöntemlerinde olduğu gibi 'r' değeri -1 ile +1 arasında değişen değerler almaktadır (-1 ≤ r ≤ +1). Katsayı, ilişkinin olmadığı durumda 0, tam ve kuvvetli bir ilişki varsa 1 yani bileşenlerden birinin değeri artıyorsa diğer bileşende de artış görülmekte, ters yönlü ve tam bir ilişki varsa yani biri artarken diğeri azalıyor -1 değerini almak-

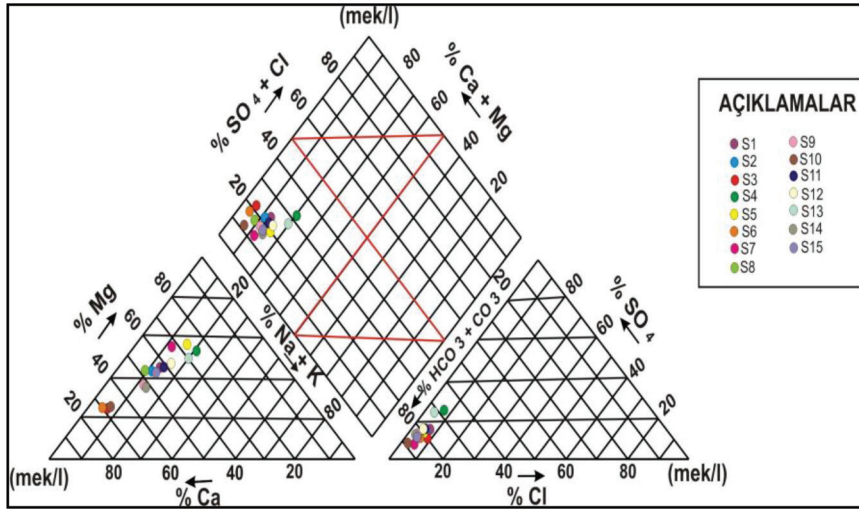
Çizelge 2. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait majör iyon (mg/l) analiz sonuçları.
Table 2. Major ion (mg/l) analysis results of the water resources in the study area.

Türü	No.	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	%Hata
Sondaj	K1	31.75	1.17	84.67	56.81	14,44	439,20	0,00	79,67	0,02
Sondaj	K2	24.98	2.26	100.17	55.58	16,80	506,30	0,00	64,82	0,01
Sondaj	K3	4.76	0.48	59.49	13.16	2,19	231,80	0,00	21,35	-0,00
Sondaj	K4	70.46	1.08	67.17	79.06	18,53	500,20	0,00	132,73	0,02
Sondaj	K5	37.93	0.93	60.75	78.54	21,34	481,90	0,00	68,29	0,02
Kaynak	K6	4.63	0.48	60.13	13.04	2,47	225,70	0,00	21,72	0,00
Sondaj	K7	22.37	1.34	61.73	62.15	15,95	463,60	0,00	33,02	0,01
Kaynak	K8	16.18	1.68	73.09	38.24	8,38	359,90	0,00	45,57	0,01
Sondaj	K9	13.37	1.49	68.44	29.54	6,74	311,10	0,00	40,45	0,01
Sondaj	K10	5.03	0.50	60.11	14.02	2,88	237,90	0,00	21,07	-0,00
Çeşme	K11	32.15	1.05	79.92	54.21	13,90	433,10	0,00	77,65	0,02
Kaynak	K12	34.09	1.13	85.33	59.35	14,49	451,40	0,00	80,37	0,02
Sondaj	K13	54.31	0.93	65.77	64.36	16,54	481,90	0,00	112,73	0,00
Çeşme	K14	13.19	1.42	67.16	29.82	6,37	305,00	0,00	39,16	0,01
Kaynak	K15	16.78	1.71	74.17	40.81	9,65	378,20	0,00	48,78	0,01

Çizelge 3. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması.

Table 3. Water classificatio according to Schoeller (1955).

Klorür Sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat-Bikarbonat Sınıflaması	
Su sınıfı	Klorür miktarı (mek/l)	Su sınıfı	Sülfat miktarı (mek/l)	Su sınıfı	Karbonat-Bikarbonat miktarı (mek/l)
Hiperklorürlü Sular	>700	Hiposülfatlı Sular	>58	Hiperkarbonatlı Sular	>7
Klorotalasik Sular	420-700	Sülfatlı Sular	24-58	Olağan Karbonatlı Sular	2-7
Klorürce zengin sular	140-120	Oligosülfatlı Sular	6-24	Hipokarbonatlı Sular	<2
Orta Klorürlü Sular	40-140	Olağan Sülfatlı Sular	<6		
Oligoklorürlü Sular	15-40				
Olağan Klorürlü Sular	<15				



Şekil 4. Piper diyagramı.

Figure 4. Piper diagram.

Çizelge 4. Çalışma alanındaki su örneklerine ait major iyon içeriklerinin tanımlayıcı istatistiği.

Table 4. Descriptive statistics of major ionic contents of water samples in the study area.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
T	15	11,80	17,60	14,68	1,77
pH	15	8,54	9,36	8,93	,22
EC	15	288,80	794,00	561,28	164,15
Eh	15	319,50	400,80	372,88	24,05
TDS	15	187,72	516,10	364,83	106,69
Na	15	4,63	70,46	25,46	18,74
K	15	,48	2,26	1,17	,49
Ca	15	59,49	100,17	71,20	11,83
Mg	15	13,04	79,06	45,91	22,37
HCO3	15	225,70	506,30	387,14	101,96
CO3	15	,00	,00	,00	,00
Cl	15	2,19	21,34	11,37	6,25
SO4	15	21,07	132,73	59,15	33,40
Valid N (listwise)	15				

tadır (Gültekin, 2011; Çizelge 5). Spearman korelasyon katsayısını gösteren 'r' değerinin yanı sıra veriler arasındaki ilişkinin doğruluğunu ifade eden 'p' değerinin (Sig. 2-tailed) 0.05'den küçük değerler olması

verilerin birbiri ile ilişkisini doğrulamakta ve ilişki 'anlamlı' olarak yorumlanmaktadır.

Çalışma alanındaki suların Spearman korelasyon analiz sonuçlarına göre örneklerdeki Na iyonu ile Mg,

Çizelge 5. Spearman korelasyon analizinde değer aralıkları ve kavramsal ifadeleri (Gültekin, 2011).
Table 5. Value ranges and conceptual expressions in Spearman correlation analysis (Gültekin, 2011).

Değer Aralığı	Kavramsal İfadesi
$r=1.0$	Tam pozitif korelasyon
$0,7 < r < 0,9$	Kuvvetli pozitif korelasyon
$0,5 < r < 0,7$	Zayıf pozitif korelasyon
$0,3 < r < 0,5$	Çok zayıf pozitif korelasyon
$0,1 < r < 0,3$	Önemli olmayan pozitif korelasyon
$r=0,0$	Tam korelasyon
$-0,3 < r < -0,1$	Önemli olmayan negatif korelasyon
$-0,5 < r < -0,3$	Çok zayıf negatif korelasyon
$-0,7 < r < -0,5$	Zayıf negatif korelasyon
$-0,9 < r < -0,7$	Oldukça negatif korelasyon
$-1,0 < r < -0,9$	Kuvvetli negatif korelasyon
$r= -1,0$	Tam negatif korelasyon

HCO₃, Cl ve SO₄ arasında kuvvetli pozitif korelasyon, K iyonu Ca iyonu ile kuvvetli pozitif korelasyon, Ca iyonu SO₄ iyonu ile zayıf pozitif korelasyon, Mg iyonu HCO₃, Cl ve SO₄ arasında kuvvetli pozitif korelasyon, HCO₃ iyonu ile Cl ve SO₄ arasında kuvvetli pozitif korelasyon olduğu görülmüştür. Bu durum sulara kaya su etkileşimi ile ilişkili çözünme/çökme ve iyon baz değişimi reaksiyonlarının gerçekleştiğini göstermektedir (Çizelge 6).

Suların Kullanım Alanlarının Belirlenmesi

Suların içilebilirlik özellikleri

Çalışma alanına ait suların içme suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları kullanılmıştır. Çalışma alanına ait örneklerin genel fiziksel özellikleri ve majör iyon konsantrasyonları TSE 266 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) tarafından belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılmış ve sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Ayrıca, çalışma alanındaki sular Schoeller içilebilirlik diyagramına göre değerlendirildiğinde K4 no'lu örnek haricinde tüm sular "İyi - Çok İyi Kaliteli Sular"

sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanındaki K4 no'lu örnek ise SO₄ konsantrasyonu bakımından (132,73 mg/l) "Orta Kaliteli Sular" sınıfında yer almıştır (Şekil 5).

Suların sulama suyu olarak kullanım özellikleri

Korkuteli ilçesi su kaynaklarının sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde; Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları ile artıksal sodyum karbonat (RSC), geçirgenlik indeksi (PI) ve magnezyum tehlikesi (MT) değerleri kullanılmıştır.

ABD Tuzluluk Lab. diyagramı sınıflamalarına göre çalışma alanındaki sular genelde C₁S₁ (Az Tuzlu ve Az Sodyumlu) ve C₂S₁ (Orta Tuzlulukta ve Az Sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 6). Bu sular içerisinde sadece K4 ve K13 örnekleri farklılık göstermektedir. K4 örneği C₃S₂ (Fazla Tuzlu ve Orta Derecede Sodyumlu) sular sınıfında yer alırken K13 örneği ise C₂S₂ (Orta Tuzlulukta ve Orta Derecede Sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 6). Bu iki örneğin sulama suyu olarak kullanılabilirliği sınırlıdır.

Wilcox diyagramından elde edilen sonuçlara göre ise bölgedeki tüm sular 'Çok İyi Kullanılabilir Sular' sınıfında yer almaktadır (Şekil 7).

Çizelge 6. Spearman korelasyon analiz sonuçları.
Table 6. Spearman correlation analysis results.

		Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄
Na	r	1,000	0,097	0,436	0,946	0,888	0,911	0,925
	p		0,732	0,104	0,000	0,000	0,000	0,000
K	r		1,000	0,708	0,143	0,315	0,240	0,166
	p			0,003	0,611	0,253	0,390	0,553
Ca	r			1,000	0,314	0,468	0,393	0,604
	p				0,254	0,078	0,147	0,017
Mg	r				1,000	0,920	0,954	0,800
	p					0,000	0,000	0,000
HCO₃	r					1,000	0,978	0,761
	p						0,000	0,001
Cl	r						1,000	0,764
	p							0,001
SO₄	r							1,000
	p							

Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), toprakta sodyum oranının artma olasılığını önceden tahmin edilmesini sağlar. Yüksek RSC toprakta sodikleşmeye yol açacağından sulama suyunda bulunması istenmemektedir. Sodikleşme toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Bu tür topraklarda sodyum oranı yükseldikçe, toprağın geçirgenliği azalmakta, toprağın havalanması güçleşmektedir. Toprak ıslanınca yapışkan, kuruyunca çatlaklı ve kabuksu bir yapı kazanmaktadır (Çuhadar ve Tamgaç, 1994).

RSC aşağıda verilen formül (1) yardımıyla hesaplanmaktadır (Eaton, 1950). RSC değeri <1.25 ise sulama için uygun, 2.5' dan büyük değerler ise sulamaya uygun olmayan sular olarak sınıflandırılmıştır (USEPA, 1999).

$$RSC=(rCO_3+rHCO_3)-(rCa+rMg) \quad (1)$$

Bölgedeki tüm sular RSC değerlerine göre, 'Çok İyi Kalitedeki I. Sınıf su' sınıfında yer almaktadır (Çizelge 7).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1989) tarafından yapılan çalışmalarda ortaya çıkarılmış olan Geçirgenlik indeksi (PI) değeri sulama suyu için uygunluğun

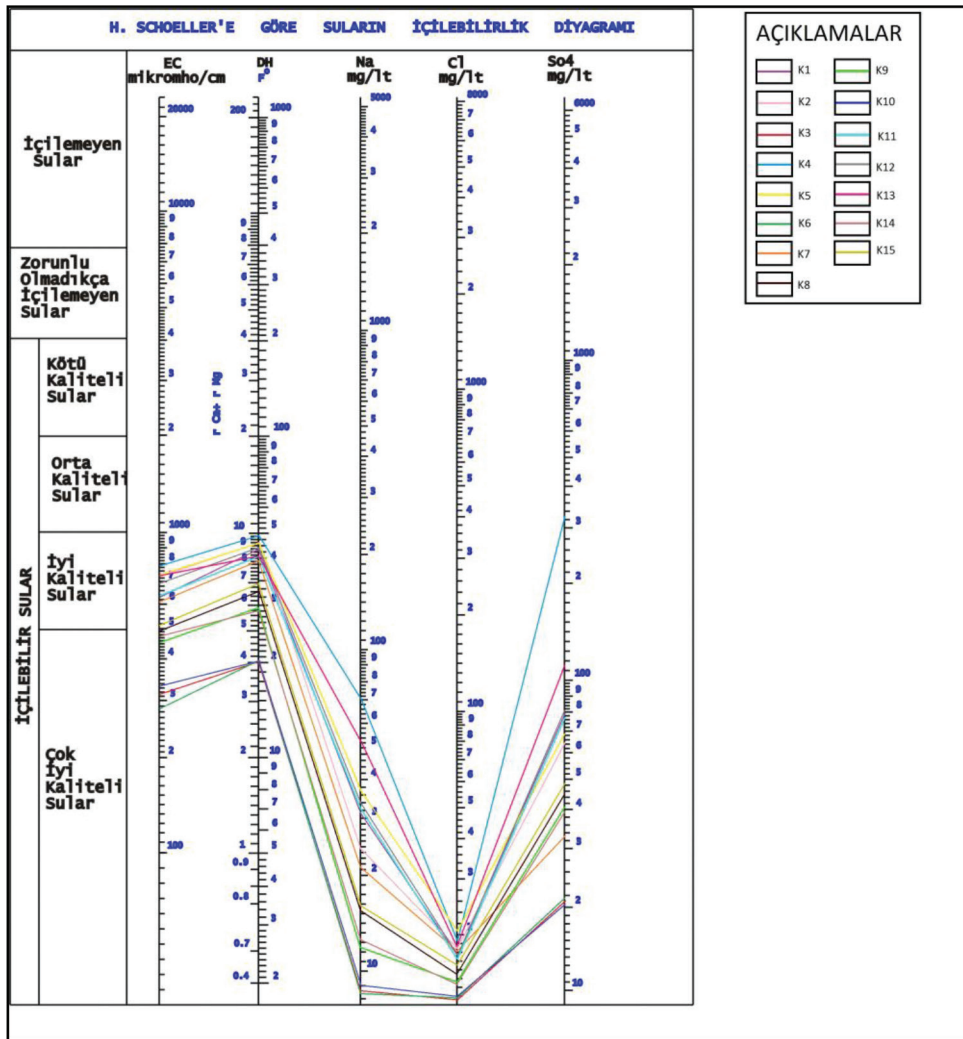
değerlendirmesinde kullanılmaktadır. PI aşağıdaki formül (2) ile hesaplanmaktadır (Doneen, 1964; WHO 1989). PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmektedir. Eğer bu değer >%75 ise sınıf I, %25-75 arasında ise sınıf II ve <%25'den küçük değerde ise sınıf III olarak değerlendirilmektedir. Sınıflamada I. ve II. sınıf sular iyi sulama suları özelliği taşımaktadır (Ragunath, 1987; Aghazadeh ve Mogaddam, 2011; Ramesh ve Elango, 2012).

$$PI=100 \times [(rNa+r\sqrt{HCO_3})/(rNa+rCa+rMg)] \quad (2)$$

Çalışma alanındaki bütün sular PI değerlerine göre "II. Sınıf Sular" yani iyi sulama suyu özelliği taşımaktadır (Çizelge 7).

Sulama suyunda Magnezyum tehlikesi (MT) olarak bilinen Mg artışı toprak kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Szabolcs ve Darab (1964) magnezyum tehlikesini ve sulamaya uygunluğunu belirlemek amacıyla MT katsayısına göre suları iki sınıfa ayırmıştır.

MT katsayısının >50 olması durumunda sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir. MT<50 olan sular sulamaya elverişli sulardır. Magnezyum tehlikesi



Şekil 5. Schoeller içilebilirlik diyagramı (Kasım-2016).
Figure 5. Schoeller drinkable diagram (November-2016).

(MT) değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (3) (Szabolcs ve Darab. 1964).

$$MT=100x [rMg / (rMg+rCa)] \quad (3)$$

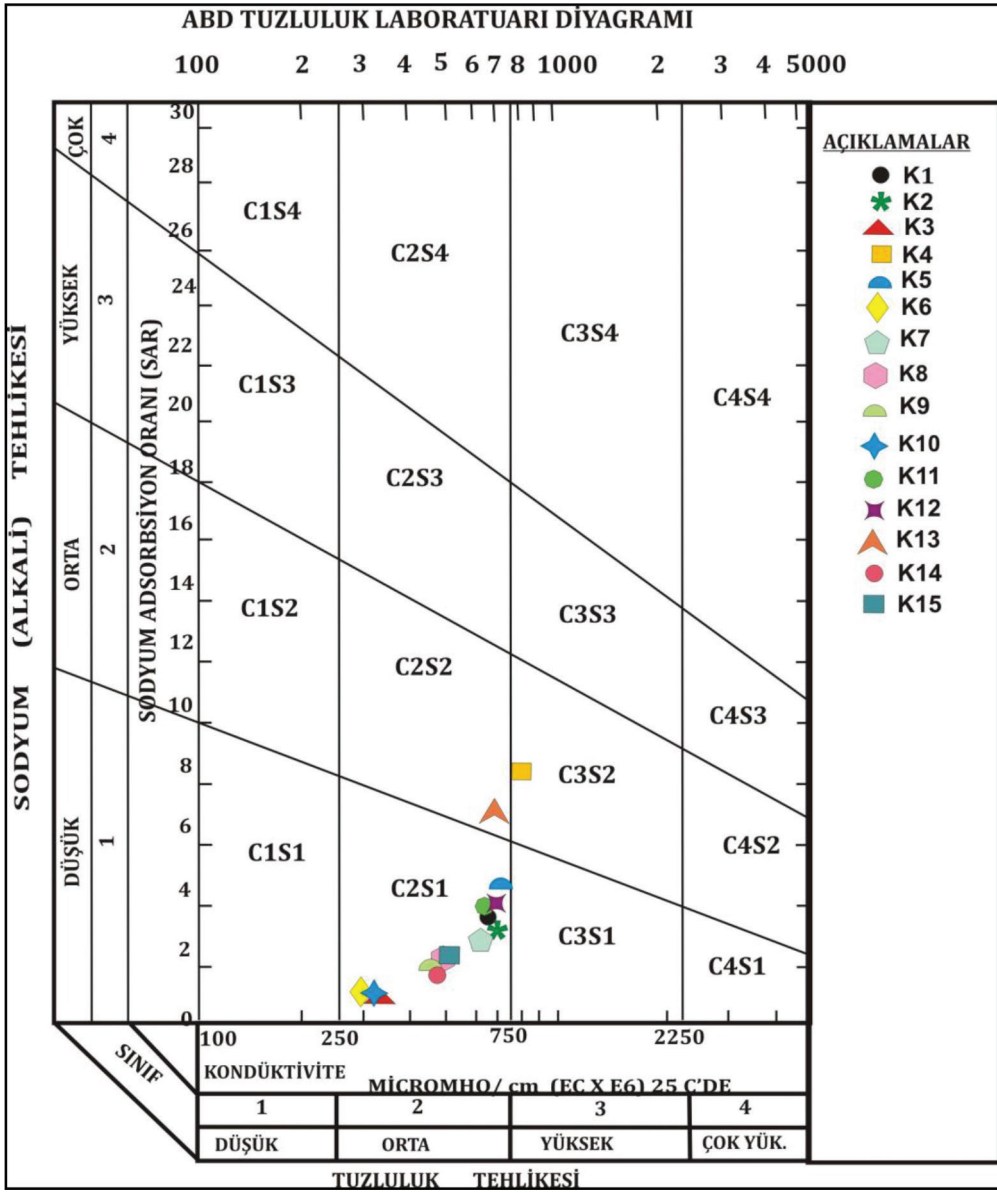
Çalışma alanındaki sular MT açısından değerlendirildiğinde K2, K3, K6, K8, K9, K10, K14 ve K15 no'lu örneklerin sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu, bunun yanısıra K1, K4, K5, K7, K11, K12 ve K13 no'lu örneklerin ise sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 7).

Suların endüstride kullanım özellikleri

Suların içme ve sulama amaçlı kullanımları yanında endüstri alanında da kullanımları söz konusudur. Endüstride kullanılacak sularda aranan özellikler de

kullanım yerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle inceleme alanındaki suların endüstride kullanılması durumunda çürütme, kireçlendirme ve köpürme özellikleri ile beton üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Çalışma alanı olan Korkuteli ilçesi içerisindeki suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerini belirlemek amacıyla Langelier (1942) tarafından sunulan 'Kalsiyum Denge Diyagramı' kullanılmıştır (Şekil 8). Diyagram üzerinden okunan denge pH'sı (pHs) ile yerinde ölçümlerle belirlenen suyun pH değeri karşılaştırılarak DI denge endeksi aşağıdaki formül (4) ile hesaplanmıştır (Çizelge 7). Denge endeksinin yorumlaması eğer $DI > +0,1$ ise suda karbonat çökmesi izlenir, $DI = \pm 0,1$ ise su karbonatça doygundur ve $DI < -0,1$ ise su karbonat çözündürebilir şeklindedir.



Şekil 6. ABD Tuzluluk Diyagramı (Kasım-2016).
Figure 6. US Salinity Diagram (November-2016).

$$DI = pH - pH_s \quad (4)$$

Buna göre çalışma alanındaki suların tamamı 'Karbonat Çökmesinin Görüleceği' sular sınıfında yer almaktadır (Çizelge 7).

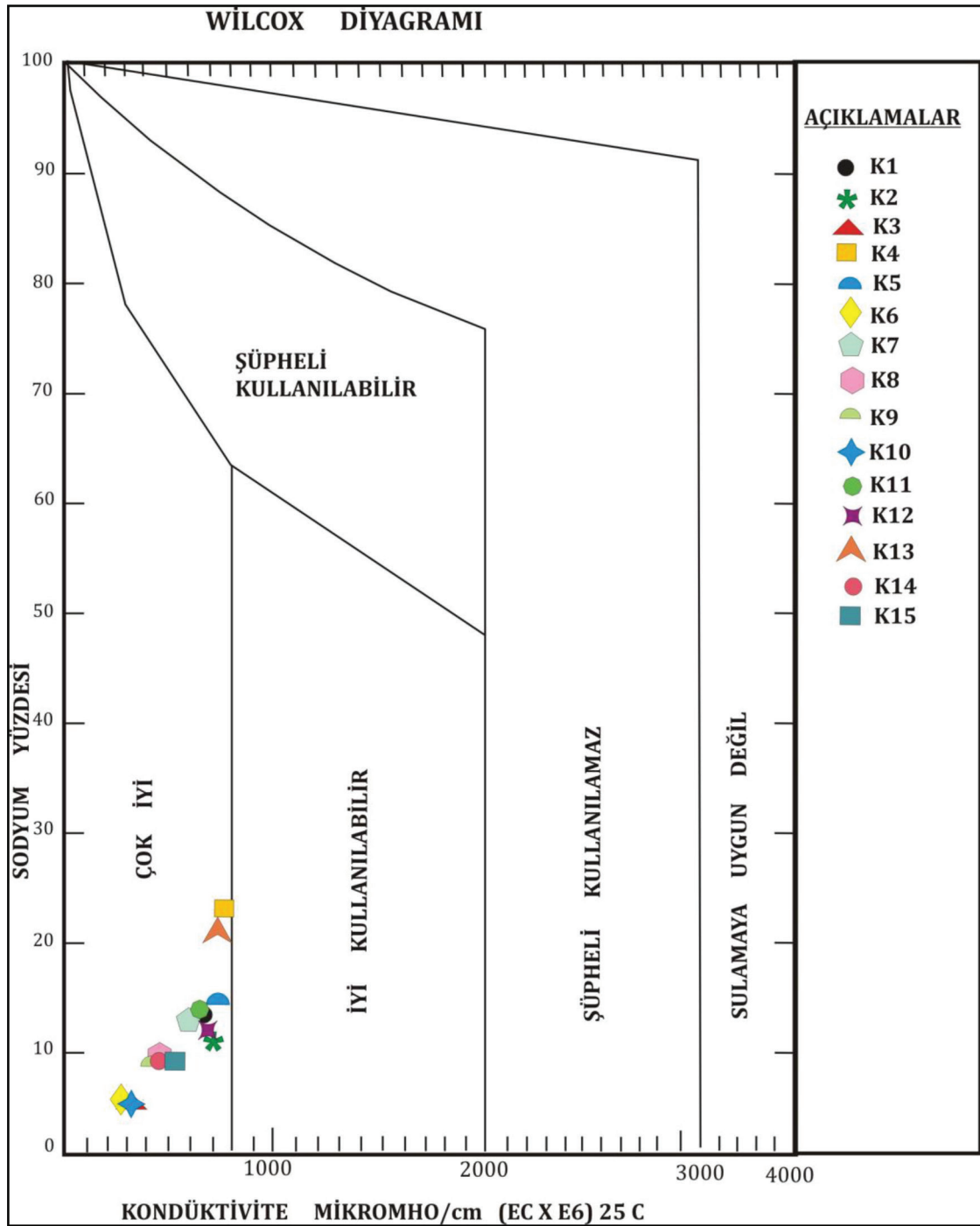
Suların köpürme özelliğinde ise su içerisindeki potasyum ve sodyum tuzları suların kaynarken köpürmesine ve bu durum mekanik aksamın kazan ve borularında çökme ve kabuklanmaya neden olmaktadır. Buna ek olarak çökme ve kabuklanma sonucunda ısı iletkenliği azalarak yakıt masrafını arttırmaktadır. Bu da suda istenmeyen bir özelliktir. Suların köpürme

özelliğinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır (5).

$$F = 62 r Na^+ + 78 r K^+ \quad (5)$$

Suların köpürme özelliğinin belirlenmesinde kullanılan F değeri eğer < 60 ise Kaynarken köpürmeyen sular, $60 < F < 200$ ise Kaynarken köpüren sular ve $F > 200$ ise

Kaynarken çok köpüren suları göstermektedir. Çalışma alanındaki sular köpürme özelliği sınıflamasına göre değerlendirildiğinde K3, K6, K8, K9, K10, K14 ve K15 no'lu örneklerin 'Kaynarken Köpürmeyen



Şekil 7. Wilcox diyagramı (Kasım-2016).
Figure 7. Wilcox diagram (November-2016).

Sular' sınıfında yer aldığı, diğer suların (K1, K2, K4, K5, K7, K11, K12 ve K13) ise 'Kaynarken Köpüren Sular' sınıfında yer aldığı görülmüştür (Çizelge 7).

Bu özelliklerin yanısıra sular içerisindeki SO_4 içeriği beton üzerinde olumsuz etki oluşturabilmektedir.

Sülfatlı sular, çimento içerisinde önemli miktarlarda CaO, MgO, SO_4 bulunması halinde bu maddelerin su ile birleşmesi durumunda önemli miktarda hacim artışına ve betonun parçalanmasına neden olabilmektedir (Şahinci, 1991).

Çizelge 7. Suların sulama suyu ve endüstride kullanım parametreleri.
Table 7. Use parameters of irrigation water and industrial use.

Örnek No	RSC	PI	% Na	SAR	MT	DI	F
K1	-1.70	39.55	13.41	3.77	52.53	2,08	87.12
K2	-1.27	37.21	10.10	2.83	47.80	1,61	70.86
K3	-0.25	50.63	4.70	0.78	26.73	2,25	13.18
K4	-1.66	45.87	23.66	8.24	65.99	1,97	191.28
K5	-1.59	40.01	14.72	4.54	68.04	1,74	103.24
K6	-0.38	49.67	4.67	0.76	26.29	2,27	13.18
K7	-0.60	40.67	10.55	2.84	62.39	1,95	62.48
K8	-0.89	41.80	9.30	2.17	46.31	1,93	46.52
K9	-0.74	44.24	9.00	1.91	41.51	1,92	38.3
K10	-0.25	50.17	4.81	0.83	27.78	2,11	13.8
K11	-1.34	41.27	14.12	3.92	52.79	1,74	87.74
K12	-1.74	39.57	13.92	4.00	53.45	1,73	93.32
K13	-0.68	47.29	21.55	6.73	61.73	1,84	147.88
K14	-0.81	44.02	8.90	1.89	42.24	1,89	37.68
K15	-0.86	41.29	9.21	2.21	47.52	1,69	47.76

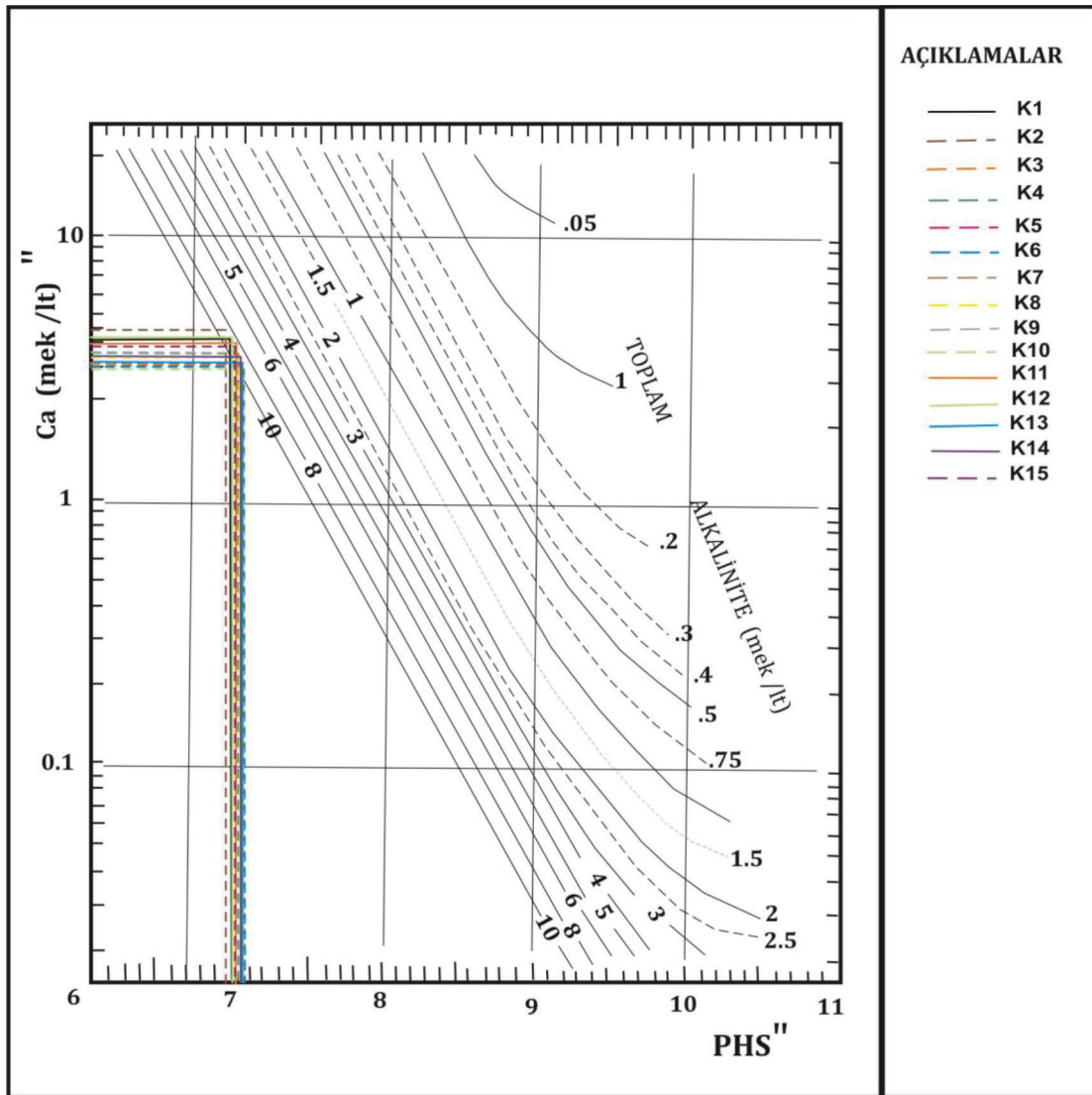
Sudaki SO₄ miktarı 0-0.15 g/l arasında ise etkileme derecesi 'Pratik Olarak Yok', 0.15- 1.00 g/l arasında ise 'Etkime Var', 1.00-2.00 g/l arasında ise beton üzerinde 'Önemli Derecede Etkisi Var' ve 2.00 g/l' den fazla ise beton üzerinde 'Çok Önemli Derecede Etkisi Var' anlamını taşımaktadır. Bu sınıflamaya göre çalışma alanındaki sularda sülfat miktarı 0.021-0.132 g/l arasındadır ve bölgedeki suların beton üzerinde olumsuz etkisi bulunmamaktadır.

Sularda kirlilik araştırmaları

Su kaynaklarında kirlenmeye neden olan en önemli unsurları jeojenik ve antropojenik kökenli olarak sınıflandırmak mümkündür. Jeojenik kökenli kirlilik; doğal süreç içerisinde suların kayalarla etkileşimleri sonucu bileşimlerine kazandırdıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının kirliliğini oluşturan en büyük etkenlerden bir diğeri ise; antropojenik kökenli olarak ifade edilen, katı-sıvı atıklar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli endüstri kuruluş-

larından kaynaklanan kirliliktir. Su kaynaklarında en çok rastlanan kirliletiçi maddeler azot bileşikleri olan nitrat, nitrit, amonyak, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir (Uslu ve Türkman, 1987).

Çalışma alanında en önemli kirlilik kaynağı tarımsal aktivitelerden (seracılık başta olmak üzere) ve hayvancılıktan kaynaklanan kirliliktir. Evsel katı ve sıvı atıklar ile endüstriyel atıklar ise bölgedeki diğer önemli kirliletiçi kaynaklardır. Kirlilik düzeyinin belirlenmesinde kirlilik parametrelerinin kimyasal analizler yardımıyla tespit edilmesi gerekmektedir. Korkuteli ilçesinin üzerinde kurulduğu, alüvyon akiferde yapılan özellikle seracılık ve yoğun tarımsal faaliyetler esnasında kullanılan pestisitler, doğal ve suni (yapay) gübreler ve ayrıca, yöre halkının büyük bir çoğunluğunun geçimini sağladığı büyük ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliği sırasında hayvansal atıkların neden olduğu kirlilik, başlıca kirliletiçi unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarımsal faaliyetler sonucu yeraltısularında gözlenen önemli kirliletiçi maddeler azot türevleri ve pestisitlerdir.



Şekil 8. Kalsiyum denge diyagramı.
Figure 8. Calcium equilibrium diagram.

Çalışma alanında su kaynaklarındaki kirlilik durumunun tespiti için (Kasım 2016) azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır (Çizelge 8). Türk (TS 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 2011) içme suyu standartlarına göre içme sularında nitrat konsantrasyonlarının 50 mg/l'yi aşmaması gerekmektedir. Nitrit (NO_2) ve amonyum (NH_4)'un ise içme sularında hiç bulunmaması gerekmektedir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin tamamında nitrit ve amonyum 0.00 mg/l iken, nitrat 5.57-31.40 mg/l arasındadır (Çizelge 8). Elde edilen bu sonuçlar Türk İçme Suyu standartları (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırıldığında hiçbir örnekte tarımsal faaliyetlerden kaynaklı azot

ve türevlerinin sınır değerleri aşmadığı belirlenmiştir. Ancak çalışma alanındaki sular her ne kadar nitrat içeriği bakımından da içilebilir özellikte görülse de örneklerin nitrat değerleri 10 mg/l'nin üzerinde olduğu için suların antropojenik kökenli kirlenici unsurlardan etkilendiğini göstermektedir.

Ağır metallerin su içerisindeki varlığı suyun hangi tür kayaçlarla etkileşim içerisinde olduğunu göstermesi yanı sıra su içerisindeki miktarı, suyun kalitesini de etkilemektedir. Bu nedenle, çalışma alanındaki sulara birincil (major) iyon analizleri ile birlikte ikincil ve üçüncül iyonların analizleri de yapılmıştır (Çizelge 8). Elde edilen sonuçlar Türk İçme Suyu standartları (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011)

Çizelge 8. Korkuteli ilçesi su kaynaklarının ağır metal ve azot türevleri analiz sonuçları.

Table 8. Analysis results of heavy metal and nitrogen derivatives of Korkuteli water resources.

Örnek No	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Al (mg/l)	As (mg/l)	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)
K1	0.00	27.90	0.00	0,00	0,08	0,01	0,05	0,01	0,03
K2	0.00	31.40	0.00	0,03	0,12	0,01	0,04	0,10	0,17
K3	0.00	5.57	0.00	0,00	0,11	0,00	0,01	0,01	0,01
K4	0.00	23.78	0.00	0,00	0,11	0,04	0,07	0,02	0,03
K5	0.00	37.34	0.00	0,00	0,13	0,00	0,06	0,01	0,00
K6	0.00	5.65	0.00	0,01	0,15	0,00	0,01	0,04	0,00
K7	0.00	23.04	0.00	0,01	0,15	0,00	0,04	0,11	0,00
K8	0.00	17.19	0.00	0,00	0,13	0,01	0,02	0,01	0,01
K9	0.00	13.60	0.00	0,02	0,17	0,00	0,02	0,05	0,07
K10	0.00	5.84	0.00	0,00	0,14	0,00	0,01	0,01	0,00
K11	0.00	25.62	0.00	0,00	0,15	0,01	0,05	0,01	0,01
K12	0.00	27.71	0.00	0,00	0,13	0,01	0,05	0,01	0,01
K13	0.00	21.78	0.00	0,00	0,15	0,02	0,06	0,03	0,53
K14	0.00	13.32	0.00	0,00	0,11	0,02	0,02	0,01	0,03
K15	0.00	19.37	0.00	0,00	0,14	0,03	0,03	0,01	0,06
TS 266 2005	0.05	50	0.05-0.50	0.2	0.01	2	0.05	0.2	-
WHO 2011	3	50	0.05-0.50	0.9	0.01	2	0.05	-	-

standartları ile karşılaştırıldığında tüm sularda arsenik (As) konsantrasyonunun belirtilen sınır değerlerin üzerinde olduğu bunun yanı sıra krom (Cr) konsantrasyonlarının ise K1, K4, K5, K11, K12, K13 no'lu örneklerde sınır değeri aştığı belirlenmiştir. Çalışma alanındaki tüm sularda As konsantrasyonlarının sınır değeri aşması bölgedeki yoğun tarımsal faaliyetlerin neden olduğu antropojenik kökenli kirlilik ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde sularda Cr artışı da yine antropojenik kirlilik ile ilişkilendirilmiştir. Çizelge 8'de verilen diğer ağır metal konsantrasyonları ise ulusal ve

uluslararası standartlarla belirlenen sınır değerleri aşmamaktadır.

SONUÇLAR

Çalışmada yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının belirlenebilmesi için sondaj kuyuları ve kaynak sularından Kasım 2016 döneminde 15 adet su örnekleri alınmış ve bu suların fizikokimyasal, kimyasal ve kirlilik parametreleri 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 sınıfl-

landırmada ise su örneklerinde Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃ su tiplerinin hakim olduğu görülmüştür.

Ayrıca suların majör iyon konsantrasyonlarının birbirleriyle ilişkilerini belirlemek için istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Spearman korelasyon analiz sonuçlarına göre örneklerdeki Na iyonu ile Mg, HCO₃, Cl ve SO₄ arasında kuvvetli pozitif korelasyon, K iyonu Ca iyonu ile kuvvetli pozitif korelasyon, Ca iyonu SO₄ iyonu ile zayıf pozitif korelasyon, Mg iyonu HCO₃, Cl ve SO₄ arasında kuvvetli pozitif korelasyon, HCO₃ iyonu ile Cl ve SO₄ arasında kuvvetli pozitif korelasyon ve yine Cl ve SO₄ arasında kuvvetli pozitif korelasyon olduğu görülmüştür. Bu durum sularda kaya su etkileşimi ile ilişkili çözünme/çökeltme ve iyon baz değişimi reaksiyonlarının gerçekleştiğini göstermektedir.

Suların içilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için fizikokimyasal ve majör iyonları TSE 266 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırılmış, ayrıca Schoeller içilebilirlik diyagramı ile değerlendirilmiştir. Standartlarla yapılan karşılaştırmalarda su örnekleri fizikokimyasal ve majör iyonları bakımından sınır değerleri aşmadığı, Schoeller içilebilirlik diyagramına göre ise K4 no'lu örnek haricinde tüm sular "İyi-Çok İyi Kalitede Sular" sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Çalışma alanındaki K4 no'lu örnek ise SO₄ konsantrasyonu bakımından (132,73 mg/l) "Orta Kaliteli Sular" sınıfındadır. Su kaynaklarının sulama suyu olarak kullanılabilirliği ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları, Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri ile değerlendirilmiş ve sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Bölgedeki sular endüstriyel kullanım sınıflandırmalarında ise 'Karbonat Çökeltmesinin Görüleceği', K3, K6, K8, K9, K10, K14 ve K15 no'lu örneklerin 'Kaynarken Köpürmeyen Sular' sınıfında yer aldığı, diğer suların (K1, K2, K4, K5, K7, K11, K12 ve K13) ise 'Kaynarken Köpüren Sular' sınıfında yer aldığı görülmüştür. Ayrıca çalışma alanındaki tüm suların sülfat içeriği bakımından beton üzerinde olumsuz etkisi bulunmamaktadır.

Çalışmada ayrıca suların kirlilik 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. Ancak sulardaki nitrat konsantrasyonlarındaki nispi

artışlar suların çalışma alanında yapılan yoğun tarımsal faaliyetlere bağlı olarak kirlendiğini göstermektedir. Yapılan ağır metal analizlerinin sonuçlarında da özellikle As ve Cr iyon konsantrasyonlarının sularda yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum yine çalışma alanındaki yoğun tarımsal faaliyetler ile suların kirlendiğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan yüksek lisans tez çalışmasının bir ürünüdür. Yazarlar, 4720-YL1-16 no'lu proje ile araştırmanın yapılmasında finansal destek sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Aghazadeh, N., Mogaddam, A., 2011. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. EMAS, 176:183-195.
- Akın M. ve Akın G., 2017. Suyun Önemi, Türkiye'de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. DTCF Dergisi, 47(2).
- Andreo, B. and Carrasco, F., 1999. Application of geochemistry and radioactivity in the hydrogeological investigation of carbonate aquifers (Sierras Blanca and Mijas, southern Spain. Applied Geochemistry, vol. 14, p. 283-299.
- Çuhadar, G. ve Tamgaç, S., 1994. Hidrojeolojik Etütlerde Su Kimyası Verilerini Toplama ve Değerlendirme Yöntemleri. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ Yayınları, Ankara, 1-22.
- Doneen, L.D., 1964. Water quality for agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.
- Eaton, F.M., 1950. Significance of Carbonates in Irrigation Water. Soil Science, 69:123-133. DOI:10.1097/00010694-195002000-00004.
- Gültekin, F., 2011, Korelasyon Analizi. www.fikretgultekin.com/yukseklisans/ Korelasyon Analizi.pdf.
- McBean, E.A., and Rovers, F.A., 1998, Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assessment, Prentice-Hall Publishing Co. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

- Piper, A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Trans. Amer. Geophys. Union*, vol. 25, p. 914-923.
- Prakdeniz, 2017. Halkla ilişkiler, <http://www.prakdeniz.com/antalyakorkuteli-2/>, Kasım 2017'de erişilmiştir.
- Ragunath, H.M., 1987. *Groundwater*. New Delhi: Wiley.
- Ramesh, K., Elango, L., 2012. Groundwater Quality and its Suitability for Domestic and Agricultural use in Tondiar River Basin, Tamil Nadu, India. *EMAS*, 184:3887-3899.
- Runyon, R. P., Coleman, K. A., & Pittenger, D. J. 2000. *Fundamentals of behavioral statistics* (9th ed.). Boston, MA: McGraw-Hill.
- Schoeller, H., 1955, *Géochimie des eaux souterraines*. *Rev. Inst. Franç. Pétrole*, Paris, 10. No. 3-4.
- 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*, 1964, 802-812.
- TSE 266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü -Ankara.
- Turreh, 2017. Turizm rehberi, <http://www.turkiyerehberi.gen.tr/sehirler/antalya-ilceleri>, Kasım 2017'de erişilmiştir.
- USEPA, 1999. National Primary Drinking Water Regulations, Available at <http://www.epa.gov/OGWD/hfacts.html>.
- Uslu, O. ve Türkman, A., 1987, *Su Kirliliği ve Kontrolü*. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, 364 s., Ankara.
- WHO, 2006. *Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum*. Vol. 1, recommendations, (3rd ed.), chapter 9: radiological aspects. Geneva: World Health Organization.