

**GAZLIGÖL (İHSANIYE-AFYONKARAHİSAR, TÜRKİYE) SU KAYNAKLARININ
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE KALİTE DEĞERLENDİRMESİ**
**QUALITY ASSESSMENT AND HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF GAZLIGÖL
(İHSANIYE-AFYONKARAHİSAR, TURKEY) WATER RESOURCES**

Hilal ARIOL ERBAŞ 

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
Konya, Türkiye

Ayla BOZDAĞ 

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Konya, Türkiye

Geliş Tarihi / Received: 11.10.2021
Kabul Tarihi / Accepted: 20.11.2021

Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.767

ÖZET

İnceleme alanı Afyonkarahisar ilinin yaklaşık 21 km kuzeyinde bulunan Gazlıgöl (İhsaniye) ve çevresini içermektedir. Bu çalışmada inceleme alanındaki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve farklı amaçlar için kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bölgedeki toplam 19 adet yeraltısuyu örneğinin pH, elektriksel iletkenlik (EC), ana anyon-kasyon ve NO₃ içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bölgedeki su kaynaklarının pH değerleri 7.1 ile 8.1 arasında değişmekte ve ortalama 7.7 olup bazik sular sınıfında yer almaktadır. Elektriksel iletkenlik değerleri ise 110 ile 1927 µS/cm arasında olup ortalama 461 µS/cm'dir. Bölgedeki hakim su tipleri ise Ca-Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄, Na-Ca-HCO₃ ve Na-Ca-HCO₃-SO₄'dür.

İnceleme alanındaki su kaynaklarının içme suyu olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266) standartları kullanılmış ve sadece H16 ve H18 numaralı örneklerin içme suyu olarak kullanımının sakıncalı olabileceği belirlenmiştir. Su kaynaklarının sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde elektriksel iletkenlik, sodyum yüzdesi, sodyum adsorpsiyon oranı, artıksal sodyum karbonat, Kelley indeksi, geçirgenlik indeksi parametreleri ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre HG16 ve HG18 numaralı örnekler hariç tüm örneklerin sulama suyu açısından uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca suların endüstride kullanım özellikleri değerlendirildiğinde HG1, HG11 ve HG19 numaralı örneklerin “kaynarken köpüren sular” sınıfında, HG16 ve HG18 numaralı örneklerin “kaynarken çok köpüren sular” sınıfında olduğu belirlenmiştir. HG9, HG10, HG11, HG13, HG16, HG18 ve HG19 numaralı örnekler ise “karbonat çökmesi izlenir” sınıfında olup bu tip sular çürütme ve kireçlendirmeye neden olabilir.

Anahtar Kelimeler: Su kalitesi, Gazlıgöl, hidrojeokimya, sodyum adsorpsiyon oranı

ABSTRACT

The study area includes Gazlıgöl (İhsaniye) and its surroundings located approximately 21 km north of Afyonkarahisar province. In this study, it is aimed to determine the hydrochemical properties of the water resources in the study area and their usability for different purposes. With this scope, pH, electrical conductivity (EC), main anion-cation and NO₃ contents of a total of 19 groundwater samples in the region were determined. According to the results obtained, the pH values of the water resources in the region vary between 7.1 and 8.1 and the average is 7.7, which is basic water. The electrical conductivity values are between 110 and 1927 µS/cm, with an average of 461 µS/cm. The dominant water types in the region are Ca-Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄, Na-Ca-HCO₃ and Na-Ca-HCO₃-SO₄.

World Health Organization (WHO) and Turkish Standards Institute (TSE 266) standards were used to evaluate the usability of water resources in the study area as drinking water and it has been determined that only the samples H16 and H18 can be unfavorable to use as drinking water. Electrical conductivity, sodium percentage, sodium adsorption rate, residual sodium carbonate, Kelley index, permeability index parameters, Wilcox and US Salinity Laboratory Diagrams were used to evaluate the suitability of water resources as irrigation water. According to the results obtained, it was determined that all waters were suitable for irrigation water, except for samples HG16 and HG18. In addition, in terms of the industrial use properties of the water resources, HG1, HG11 and HG19 samples are in the "bubbling waters when boiling" class, while the HG16 and HG18 samples are in the "highly foaming waters when boiling" class. HG9, HG10, HG11, HG13, HG16, HG18 and HG19 samples in the class of "carbonate precipitations occur" and this type of water can cause rotting and calcification.

Keywords: Water quality, Gazlıgöl, hydrogeochemistry, sodium adsorption rate

1. GİRİŞ

Yeraltısuyu, birçok ülkede içme suyu kaynağı olarak kullanılmasının yanında evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler için ana su kaynağı haline gelmiştir. Son yıllarda küresel ısınma sonucu yağışların azlığı, buharlaşmanın fazla olmasına bağlı yüzey sularındaki azalma ve bununla birlikte nüfus artışı, içme suyu olarak yeraltısuyuna olan talebi arttırmıştır. Dünya nüfusunun yaklaşık üçte biri yeraltısuyunu içme suyu olarak kullanmaktadır (Topfer, 1999). Fakat yeraltı suyu, doğal kaynaklardan veya çeşitli insan faaliyetlerinden dolayı kirlenebilir. Yeraltı suyu kalitesi, doğal olarak akifer özelliklerine, litolojiye, yeraltı suyunun hızına, besleme sularının kalitesine ve bunların diğer su türleri ve akiferlerle etkileşimine bağlıdır (Helena ve diğ 1998). Bununla birlikte giderek artan kentleşme ve endüstriyel ve tarımsal faaliyetler gibi antropojenik faaliyetler yeraltısuyunun kalitesini olumsuz şekilde etkilemektedir. İnsan faaliyetleri, ya büyük miktarda atık ürettikleri ya da hidrolojik döngüde değişikliklere neden oldukları için, yeraltısuyunu sonraki kullanımları daha kısıtlı hale gelecek şekilde kalitelerini değiştirerek kirletir (Helena ve diğ 1998). Bu nedenle yeraltısı kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi, sürdürülebilir kalkınma için gerekli olup su yönetimi için önemli bilgiler sağlamaktadır. Tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirleticilerin yeraltısuyundaki miktarının ölçülmesi ve belirlenmesi, yeraltısularındaki kirliliğin kontrol edilmesinde faydalı yardımcıları olarak görünmektedir (Jalali 2009).

İnceleme alanı ülkemizin İç Ege bölgesinde yer alan Afyonkarahisar ilinin yaklaşık 21 km kuzeyinde bulunan Gazlıgöl ve 36 km kuzeyinde bulunan İhsaniye ilçesi ve çevrelerini içermektedir (Şekil 1). Gazlıgöl Afyonkarahisar ilinin önemli termal turizm merkezlerinden biri olup bölgede sanayileşme hızla gelişmekte ve bunun yanında seracılık, tarım ve hayvancılık faaliyetleri yoğun şekilde yürütülmektedir. Bu çalışmada bölgede farklı amaçlar için yoğun olarak kullanılan yeraltısuyunun hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanıma uygunluğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle çalışma bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı açısından önem arz etmektedir.

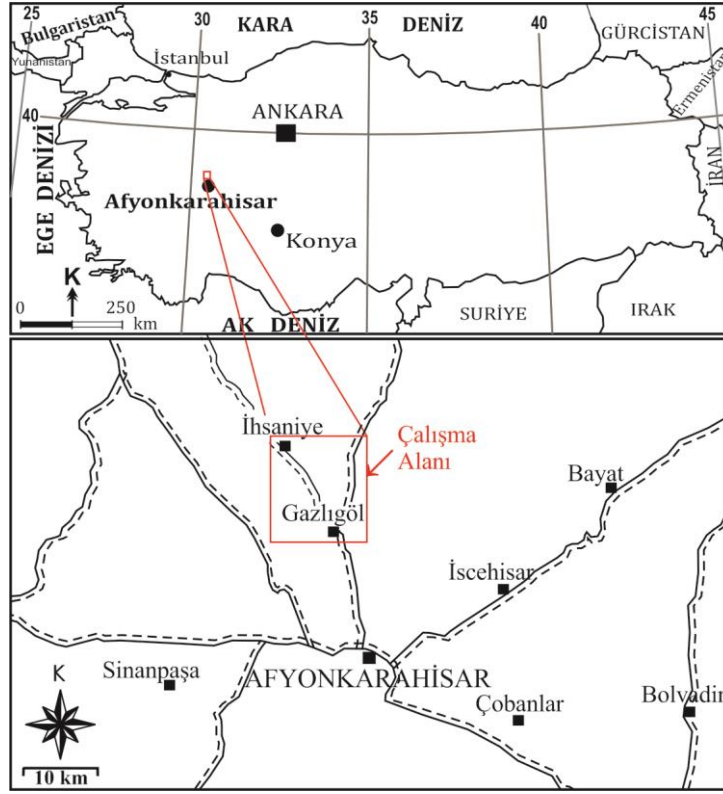
2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalışma alanı

İnceleme alanı ülkemizin İç Ege bölgesinde yer alan Afyonkarahisar ilinin yaklaşık 36 km kuzeyinde bulunan İhsaniye ilçesi ve 21 km kuzeyinde bulunan Gazlıgöl beldesini ve çevresini içeren yaklaşık 460 km²'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1).

İnceleme alanı İç Anadolu ve Ege Bölgesi arasında geçiş konumunda olup Akdeniz ikliminde etkilerinin görüldüğü fakat çoğunlukla karasal iklimin (yazları sıcak ve kurak kışları soğuk ve yağışlı) hüküm sürdüğü bir bölgedir. 1990-2020 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verilerine göre inceleme alanında 30 yıllık ortalama sıcaklık 11.67 °C ve yıllık ortalama yağış ise 448.67 mm'dir. Bölgede en sıcak aylar Temmuz ve Ağustos ayları olup ortalama sıcaklık değeri 26.6 °C'ye

yükselirken, en soğuk ay ortalama sıcaklık değeri -4.7°C 'ye kadar düşen Ocak ayıdır. Uzun yıllar aylık yağış ortalaması verilerine göre en yağışlı aylar ise Mayıs (49.87 mm) ve Aralık (48.33 mm) aylarıdır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

2020 yılı nüfus sayımına göre İhsaniye ilçesinin nüfusu 27,807 olup özellikle Gazlıgöl beldesinde termal turizmin etkisiyle nüfus önemli oranda artmaktadır. Bölge halkının başlıca geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Ayrıca termal aktivitelerin yoğun olduğu bölgede sanayileşmenin gelişmesiyle bölge halkı için alternatif geçim kaynakları oluşmaktadır. Alanın kuzeyindeki dağlık bölgede hayvancılık ön planda iken ovalık kesimlerde sulu ve kuru tarım yapılmaktadır.

2.2 Örneklem ve Analiz Teknikleri

İnceleme alanının 1/100000 ölçekli jeolojik haritası önceki çalışmalardan ve arazi çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Çalışma alanı içerisinde numune alınabilecek su noktalarının (kaynak, çeşme, sıg soğuk su kuyusu, derin soğuk su kuyusu) koordinatları Magellan eXplorer 310 marka GPS ile belirlenip topoğrafik haritalara işaretlenmiştir. Çalışma alanında Ekim-2020 döneminde toplam 19 farklı noktadan su örneği alınmıştır. Örneklerin sıcaklık (T), özgül elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyon konsantrasyonu (pH) WTW 340i marka taşınabilir ölçüm cihazı ile alanda ölçülmüştür. Su örneklerinin toplanmasında temiz polietilen şişeler kullanılmış olup bu şişeler su örneklerinin alınması sırasında her örnek noktasına ait su ile iki veya üç kez yıkanmıştır. Katyon ve anyon analizleri için her örneklem noktasından iki örnek seti toplanmıştır. Katyon analizleri için alınan örneklerde çökelimi önlemek amacıyla pH değeri 2'nin altında olacak şekilde saf HNO_3 eklenmiştir. Tüm örnekler fizikokimyasal parametreler için analiz edilene kadar 4°C 'de buzdolabında saklanmıştır.

Çalışma alanından derlenen su örneklerinin Ekim-2020 döneminde kimyasal analizleri (Ca, Mg, Na, K, HCO_3 , Cl, SO_4 , CO_3) ile NO_3 ve toplam çözünmüş katılar (TDS) değerleri Devlet Su İşleri (DSİ) 4. Bölge Müdürlüğü, Kalite Kontrol ve Laboratuvarında yaptırılmıştır.

Elde edilen fizikokimyasal analiz sonuçlarına göre major iyon özellikleri Piper diyagramı ve Schoeller sınıflaması kullanılarak değerlendirilmiştir. Suların içme, sulama ve endüstride kullanım özelliklerini belirlemek için Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266) içme suyu standartları ile Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılmıştır. Sulama suyu olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için elektriksel iletkenlik (EC), sodyum yüzdesi (%Na), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), artıksal sodyum karbonat (RSC), Kelley indeksi (KI), geçirgenlik indeksi (PI) parametreleri ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları kullanılmıştır. Endüstride kullanım özelliklerini değerlendirmek için Denge indeksi (DI), suların kaynarken köpürme (F) değerleri kullanılmıştır.

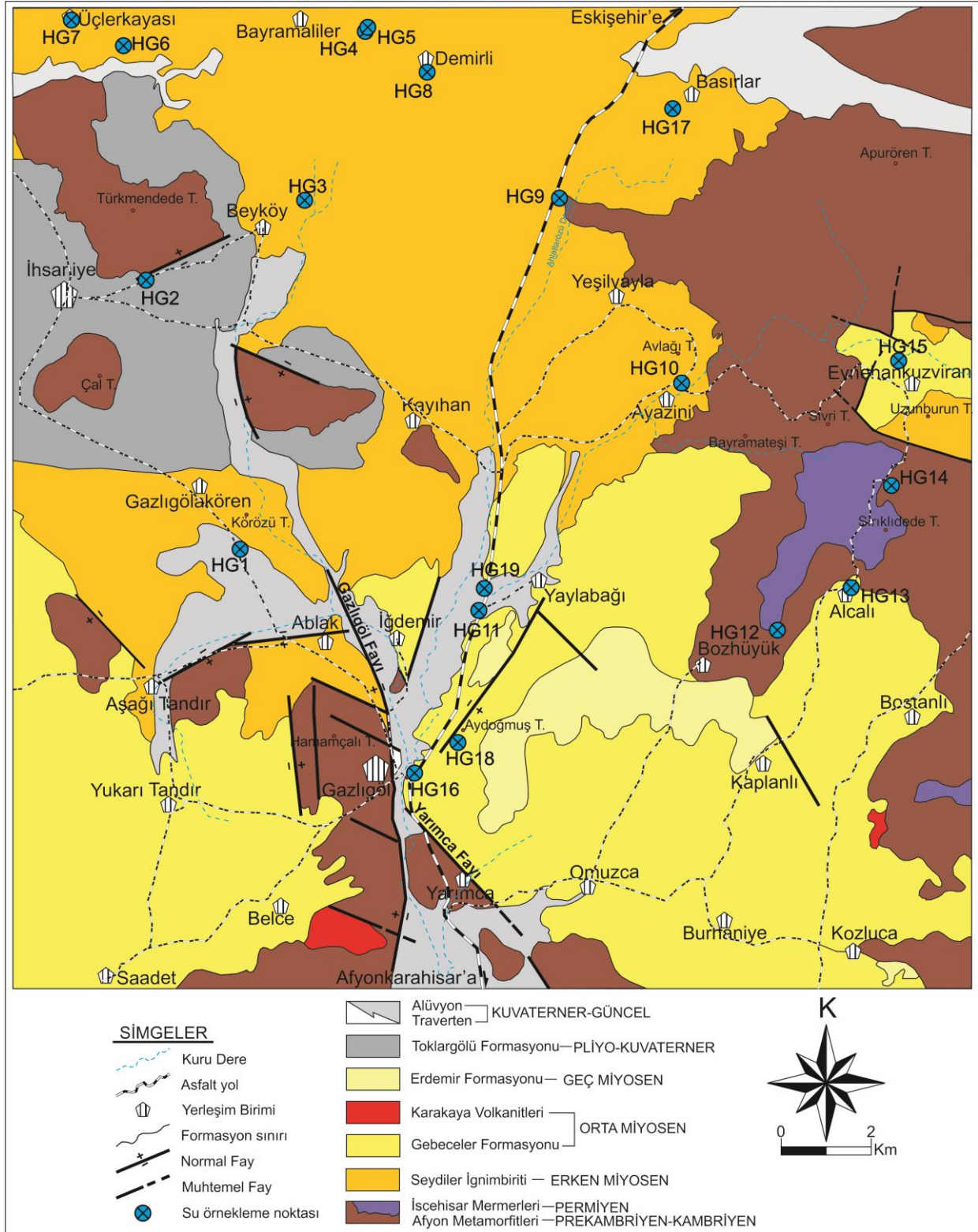
2.3. İnceleme Alanının Jeolojisi ve Hidrojeolojisi

İnceleme alanında Prekambriyen'den Kuvaterner-Güncel'e kadar çökelmiş jeolojik birimler yüzlek vermektedir (Şekil 2).

İnceleme alanının temelini yeşilimsi gri, kahve, kızılımsı kahve, sarımsı renkler sunan çoğunlukla şist, mikaşist, kuvarsit, kalkışist paragnays ve ortagnayslardan oluşan Prekambriyen-Kambriyen yaşlı Afyon metamorfiteği oluşturmaktadır (Alan ve diğ., 2018a,b). Şistler genellikle alanın doğusunda, kuzey batısında ve Gazlıgöl çevresinde grimsi yeşil renkli, bol yapraklanmalı olup çoğunlukla bozunma yüzeyleri toprağımsı görüntü sunmaktadır. Kuvarsitler ve kuvarşistler beyaz ve krem renkli çoğunlukla boşluk içeren, yer yer kırık ve çatlaklı yapı sunmaktadır. Çoğunlukla parlak grimsi yeşil renkli mikaşistler kırılğan yapıda ve çoğunlukla döküntü şeklinde gözlenmekte olup şistozite yüzeyleri belirgindir. Afyon Metamorfiteği içerisinde üye mertebesinde ayırtlanmış Permiyen yaşlı İncehisar mermer üyesi bulunmaktadır (Öcal ve diğ., 2011). Gri, koyu gri, kahverengi, beyaz ve krem renkli, orta-kalın tabakalı ve yer yer düzensiz tabakalanma gösteren mermerler inceleme alanının doğusunda dar bir alanda yüzlek vermektedir (Şekil 2). Temel birimler üzerine uyumsuzlukla Erken Miyosen yaşlı gri, sarı, pembe, krem ve beyaz renkler sunan Seydiler İgnimbiritleri (Aydar ve diğ., 1998) gelmektedir. Çakıltaşı, kumtaşı, marn, silttaşı ve yatay tabakalı gölsel kireçtaşlarından oluşan Orta Miyosen yaşlı Gebeceler Formasyonu, Seydiler İgnimbiritlerini uyumsuzlukla örtmektedir. Çakıltaşı, kumtaşı, marn, silttaşı ve yatay tabakalı gölsel kireçtaşlarından oluşan birim inceleme alanının orta ve güney bölümünde geniş alanlarda yüzlemektedir. Trakibazalt, bazaltik trakiandezit, trakiandezit ve bazaltlardan oluşan Orta Miyosen yaşlı Karakaya volkanitleri kendinden yaşlı birimleri kesmektedir. Bu birimler üzerine uyumsuzlukla çamurtaşı, çakıltaşı, kum ve kil boyutlu malzemeden oluşan Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Erdemir formasyonu gelmektedir. Neojen birimler üzerine uyumsuzlukla çoğunlukla kızılımsı renkli polijenik kökenli çakıltaşlarından ve yer yer kumtaşlarından oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Toklargölü formasyonu gelmektedir. Travertenler ve tutturulmamış gevşek malzemeden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, bütün birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Akdeniz ve Konak, 1979; Metin ve diğ., 1987; Aydar ve diğ., 1998; Öcal ve diğ., 2011; Şahin ve diğ., 2014) (Şekil 2).

İnceleme alanındaki Prekambriyen-Kambriyen yaşlı Afyon metamorfiteğine ait kuvarsit, kuvarşist ve kalkışistler boşluklu, kırıklı ve çatlaklı yapısından dolayı geçirimli birimleri oluştururken mikaşistler ise geçirimsizdir. İncehisar mermerleri kırıklı, çatlaklı, erime boşluklu yapılarından dolayı akifer özelliği göstermektedir. Seydiler ignimbiritleri ise az geçirimli birimler olup faylar geçirimliliği etkilemiştir. Gebeceler formasyonuna ait çakıltaşı, iri taneli kumtaşı ve kireçtaşları geçirimli, silttaşı ve marn ise geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır. Bölgedeki volkanitler ise kırıklı çatlaklı yapılarından dolayı ikincil gözenekliliğe sahip olup yarı geçirimli birimler olarak değerlendirilmiştir. Erdemir formasyonuna ait çakıltaşları ve iri taneli kumtaşları ile Toklargölü formasyonuna ait çakıltaşları ve kumtaşları geçirimli birimleri oluşturmaktadır. Alüvyon ise bölgedeki diğer taneli kayaç akiferini oluşturmaktadır.

Örnekleme yapılan sondaj kuyularının derinlikleri 7 ile 160 metre arasında değişmekte debileri ise 3.5 ile 68 l/sn arasında değişmektedir. Kaynak ve çeşmelerin debileri ise 0.5 ile 27 l/sn arasında değişmektedir.



Şekil 2. İnceleme alanının genel jeoloji haritası (Alan ve diğ., 2018a, b; Öcal ve Göktaş, 2011; Öcal ve diğ., 2011'den değiştirilerek alınmıştır) ve örnek lokasyonları.

3. BULGU ve TARTIŞMALAR

3.1. Hidrojeokimya

İnceleme alanındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerini, su kalitesini ve kullanım özellikleri belirlemek için sondaj kuyuları, kaynak ve çeşme sularından Ekim-2020 döneminde 19 adet su örneği alınmıştır. Su örneklerine ait fizikokimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmektedir.

3.1.1. Fiziksel parametreler

İnceleme alanındaki suların sıcaklıkları 14 ile 26.5 °C arasında değişim göstermektedir. Suların pH değerleri 7.1 ile 8.1 arasında değişmekte ve ortalama 7.7 olup “bazik sular” sınıfında yer almaktadır. Suyun elektriksel iletkenliği iyon cinsine, derişime ve sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterir (Şahinci, 1991). İnceleme alanındaki suların elektriksel iletkenlik değerleri 110 ile 1927 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olup ortalama 461 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir (Tablo 1).

Tablo 1. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerine ait fizikokimyasal analiz sonuçları [Sıcaklık (T:°C), EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve pH hariç tüm parametreler mg/L olarak ifade edilmiştir]

Örnek Adı	Örnek Türü	T	pH	EC	TDS	Sertlik °F	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃
HG1	Derin kuyu	20	7.1	440	366	18.6	27.61	12.8	58.67	9.53	221.5	14.1	20.4	4.71
HG2	Çeşme	19.5	7.47	396	304	18.2	11.52	0.58	42.68	18.2	212	8.97	7.1	2.89
HG3	Sığ kuyu	14.8	7.87	136	117	6.7	11.24	3.16	22.86	2.46	66.51	3.52	4.23	3.79
HG4	Çeşme	18.3	7.86	110	90	4.99	5.98	1.18	18.0	1.18	62.42	3.26	3.99	2.97
HG5	Çeşme	18.5	7.86	115	97	4.87	5.75	0.98	18.6	1.08	64.32	2.91	3.5	1.89
HG6	Kaynak	17.5	7.82	129	109	6.1	8.51	2.03	20.2	2.45	65.29	3.41	4.25	3.04
HG7	Çeşme	17.5	7.68	187	153	7.5	8.947	1.83	26.4	2.19	99.34	4.22	6.37	2.69
HG8	Çeşme	16.8	7.75	215	200	7.65	11.84	3.04	23.6	4.25	133	5.96	8.4	6.59
HG9	Çeşme	18.5	7.95	516	435	26.0	16.32	5.12	67.36	22.3	267.4	10.4	18.7	5.63
HG10	Kaynak	21	7.64	392	336	22.8	8.191	4.84	57.34	20.5	217.2	8.81	18.7	0.56
HG11	Sığ kuyu	14	7.45	1091	912	45.7	50.1	18.5	128.6	32.8	356.9	76.8	140	28.4
HG12	Kaynak	14.6	8	217	175	11.6	11.3	0.45	29.58	10.2	99.46	7.73	11.8	5.03
HG13	Kaynak	20.1	8.14	289	245	16.6	12.24	0.44	37.25	17.7	161.7	6.33	9.09	2.83
HG14	Kaynak	16.1	7.85	244	209	14.7	8.164	0.38	36.38	13.7	136.1	4.61	5.67	5.9
HG15	Çeşme	15.9	8.01	264	212	13.1	11.25	0.53	29.92	13.6	137.9	5.98	9	6.32
HG16	Tulumba	18.8	7.7	1927	1708	42.2	339.1	59.1	103.2	40	868.3	84.1	212	1.74
HG17	Kaynak	20.3	6.3	112	102	4.2	6.44	2.3	13.6	2	72	2.8	3.79	
HG18	Derin kuyu	26.5	7.08	1170	1052	31.6	180.2	30.6	102.4	14.7	631.6	34.5	49.1	8.86
HG19	Derin kuyu	15.8	7.33	808	652	41.1	25.89	7.69	120.3	26.8	367	48.3	58.9	4.38
TSE (2005)		-	6.5-9.5	2500	1500	-	200	12	200	150	500	250	250	50
WHO (2011)		-	6.5-8.5	1500	1000	-	200	10	75	50	300	250	250	50

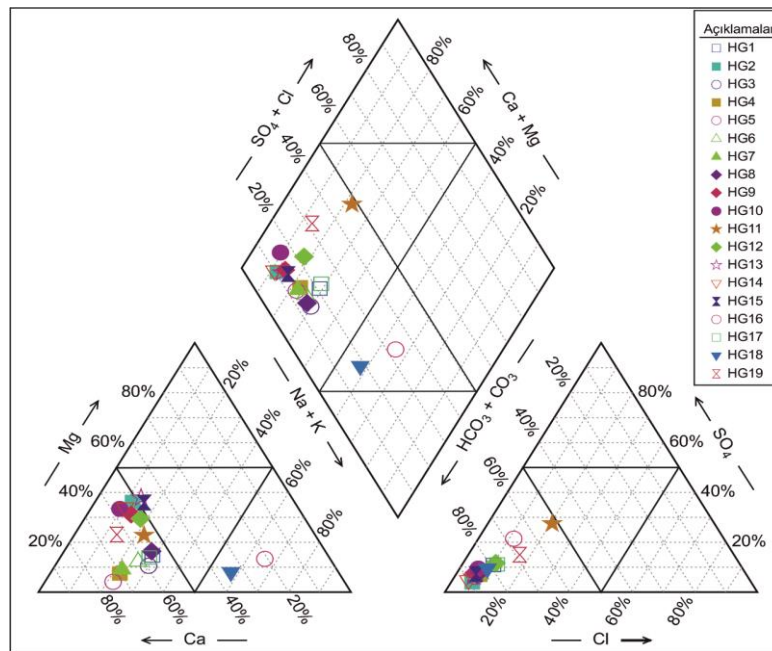
Sertlik, sudaki kalsiyum ve magnezyum iyonları başta olmak üzere, +2 veya daha yüksek değeriğe sahip metalik katyonların miktarına bağlıdır. Bir Fransız sertlik derecesi, 100 ml suda bulunan 1 mg CaCO_3 miktarıdır (Şahinci, 1991). İnceleme alanındaki suların sertliği 4.2 ile 45.7 °F arasında değişim göstermektedir (Tablo 1). Suların sertlik sınıflaması (Şahinci, 1991) Tablo 2’de verilmektedir. Sertlik değerlerine göre HG3, HG4, HG5, HG6 ve HG17 numaralı örnekler “Çok yumuşak”; HG7, HG8, HG12 ve HG15 numaralı örnekler “Yumuşak”; HG1, HG2, HG13 ve HG14 numaralı örnekler “Az sert”; HG9, HG10 ve HG 18 numaralı örnekler “Oldukça Sert” ve HG11, HG16 ve HG19 numaralı örnekler ise “Sert” sular sınıfında yer almaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Suların sertliklerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991).

Fransız Sertliği (Fr)	Su Sınıfı
<7.2	Çok yumuşak
7.2-14.5	Yumuşak
14.5-21.5	Az sert
21.5-32.5	Oldukça sert
32.5-54.0	Sert
54.0<	Çok sert

3.1.2. Suların Kimyasal Sınıflandırması

İnceleme alanındaki su kaynaklarının iyon dağılımları Piper diyagramı (Piper, 1944) üzerinde incelenmiştir (Şekil 3). Piper diyagramına göre su örneklerinin çoğunda alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg) alkali elementlerden (Na+K) fazla olduğu ve tüm su örneklerinde zayıf asit köklerinin toplamının (CO_3+HCO_3) güçlü asit köklerinin ($\text{Cl}+\text{SO}_4$) toplamından oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu tip sular karbonat sertliği %50’den yüksek olan sulara işaret etmektedir. Sadece HG16 ve HG18 numaralı örneklerde alkali elementler, alkali toprak elementlerinden daha yüksek değerler göstermektedir. İnceleme alanındaki sulardan HG1, HG3, HG4, HG5, HG6, HG7, HG8 ve HG17 numaralı örneklerin Ca-Na-HCO₃ fasiyesinde, HG2, HG9, HG10, HG12, HG13, HG14, HG15 ve HG19 numaralı örneklerin Ca-Mg-HCO₃ fasiyesinde, HG11 numaralı örneğin Ca-Mg-HCO₃-SO₄ fasiyesinde ve HG16 ile HG18 numaralı örneklerin ise Na-Ca-HCO₃ ve Na-Ca-HCO₃-SO₄ fasiyeslerinde olduğu belirlenmiştir. Bölgede belirlenen farklı fasiyes tipleri su örneklerinin bulunduğu noktalar ve su örneklerinin alındığı bölgedeki litolojik birimler arasındaki ilişkiyi kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. İnceleme alanındaki su kaynaklarına ait Piper diyagramı

İnceleme alanındaki su kaynakları, klorür, sülfat ve karbonat-bikarbonat konsantrasyonlarına göre Schoeller (1955) sınıflaması dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Schoeller (1955) sınıflaması Tablo 3’de verilmektedir. İnceleme alanındaki su kaynaklarının klorür içeriğine göre “Olağan klorürlü sular” sınıfında ve sülfat içeriğine göre “Olağan sülfatlı sular” sınıfında yer almaktadır. Suların karbonat-bikarbonat içeriğine göre ise HG3, HG4, HG5, HG6, HG7, HG12 ve HG17 numaralı örnekler “Hipokarbonatlı sular, HG1, HG2, HG8, HG9, HG10, HG11, HG13, HG14, HG15 ve HG19 numaralı örnekler “Olağan karbonatlı sular” ve HG16 ile HG18 numaralı örnekler “hiperkarbonatlı sular sınıfında yer almaktadır.

Tablo 3. Schoeller (1955)’e göre su sınıflaması

Klorür sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat-bikarbonat Sınıflaması	
Su sınıfı	Klorür Miktarı (meq/l)	Su sınıfı	Sülfat Miktarı (meq/l)	Su sınıfı	Karbonat-bikarbonat miktarı (meq/l)
Olağan klorürlü su	< 15	Olağan sülfatlı su	< 6	Hipokarbonatlı su	< 2
Oligoklorürlü su	15-40	Oligosülfatlı su	6-24	Olağan karbonatlı su	2-7
Orta klorürlü su	40-140	Sülfatlı su	24-58	Hiperkarbonatlı su	7 <
Klorürce zengin su	140-420	Hiposülfatlı su	58 <		
Klorotalastik su	420-700	-			
Hiperklorürlü su	700 <	-			

3.2. İnceleme Alanındaki Su Kaynaklarının Kullanım Özellikleri

İnceleme alanından alınan su örnekleri içme, sulama ve endüstride kullanım amaçlarına göre uygunluğu değerlendirilmiştir.

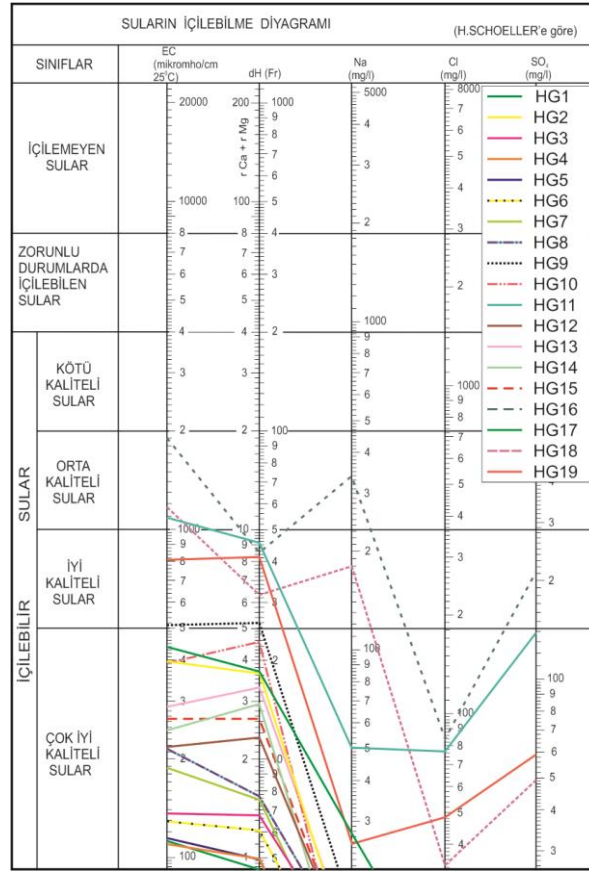
3.2.1. Suların İçme Suyu Olarak Kullanım Özellikleri

İnceleme alanındaki su kaynaklarının içme suyu olarak uygunluğu Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 2005), içme suyu standartlarına göre değerlendirilmiştir. WHO ve TSE içme suyu standartları sınır değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca bölgedeki su kaynaklarının içilebilirlik özelliklerinin tespit edilmesinde Schoeller’in içilebilirlik diyagramı (Schoeller, 1962) kullanılmıştır.

İncelenen su örneklerinin Mg, K, Cl, SO₄ ve NO₃ içerikleri WHO ve TSE standartları içme suyu sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. HG16 numaralı örneğin EC değeri WHO ve TSE standartları içme suyu sınır değerlerinin üzerinde olup HG18 numaralı örnek ise WHO içme suyu sınır değerinin üzerindedir. Sadece H16 numaralı örneğin Na değeri WHO ve TSE içme suyu standartları sınır değerinin üzerindedir. H11, H16, H18 ve H19 numaralı örneklerin kalsiyum değeri WHO içme suyu standartlarının üzerindedir. İnceleme alanındaki su kaynakları içme suyu standartlarına göre değerlendirildiğinde sadece H16 ve H18 numaralı örneklerin içme suyu olarak kullanımının sakıncalı olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Schoeller’in içilebilirlik diyagramı (Schoeller, 1962) Şekil 4’de gösterilmektedir. Schoeller’in içilebilirlik diyagramında H11, H16 ve H18 numaralı örnekler EC değerlerine göre “Orta Kaliteli Sular” sınıfında iken diğer tüm örnekler EC değerlerine göre “İyi ve Çok İyi Kaliteli Sular” sınıfındadır. Ayrıca belirtilen üç örnek hariç diğer tüm su örnekleri Fransız setliği, sodyum, klorür ve sülfat içerikleri bakımından da “Çok İyi Kaliteli Sular”

sınıfında bulunmuştur. HG11, HG16 ve HG18 numaralı örnekler Fransız sertliği, sodyum ve sülfat içeriklerine göre ise “Orta, İyi ve Çok Kaliteli Sular” sınıfında ve klorür içeriği bakımından “Çok İyi Kaliteli Sular” sınıfında yer almaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. İnceleme alanındaki soğuk suların içilebilirlik diyagramı (Schoeller, 1962)

3.2.1. Suların Sulama Suyu olarak Kullanım Özellikleri

İnceleme alanında yüzey suyunun olmamasından dolayı bölgede yapılan tarımsal aktivitelerde sulama suyu olarak yeraltısuyu kullanılmaktadır. Sulama suyu olarak kullanılan sulardaki çözünmüş iyonların gereğinden fazla olması, bitkilerin ve toprağın fizikokimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek toprağın bozunmasına ve daha düşük verimliliğe yol açabilmektedir (Ravikumar ve diğ., 2010). Bu nedenle inceleme alanındaki su kaynaklarının sulama suyu açısından uygunluğu, elektriksel iletkenlik (EC), sodyum yüzdesi (%Na), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), artıksal sodyum karbonat (RSC), Kelley indeksi (KI), geçirgenlik indeksi (PI) parametreleri ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanındaki su kaynaklarının tarımsal sulama suyu uygunluğunu değerlendirmede kullanılan parametrelerin istatistiksel sonuçları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. İnceleme alanındaki su kaynaklarının tarımsal sulama suyu uygunluğunu değerlendirmede kullanılan parametrelerin istatistiksel sonuçları

Parametre	Maximum	Minimum	Ortalama	Std.Sp.
%Na	65.80	9.54	24.38	14.73
SAR	10.14	0.33	1.48	2.46
RSC	5.78	-3.30	0.03	1.96
KI	1.75	0.08	0.36	0.42
PI	121.40	38.30	72.32	23.72

Tuzluluk tehlikesi: Sulama sularının toplam tuz miktarı elektriksel iletkenlik olarak ifade edilmektedir. Sulama suyunun elektriksel iletkenlik değeri ne kadar yüksekse, toprak ıslak görünse bile bitkiler için o kadar az su bulunur. Bitkiler yalnızca saf suyu açığa çıkarabildiğinden, toprak çözeltisindeki kullanılabilir bitki suyu, EC arttıkça önemli ölçüde azalır (Bauder ve diğ., 2011).

İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinden sadece HG16 numaralı örnek EC sınıflamasına göre sulama suyu olarak “Şüpheli” sınıfta yer alırken HG11 ve HG18 numaralı örnekler “İzin verilebilir” sınıfındadır. Diğer tüm örnekler EC sınıflamasına göre sulama suyu olarak “İyi” sınıfında bulunmuş olup kullanımı uygundur (Tablo 5).

Tablo 5. İnceleme alanındaki yeraltısuları için kullanılan sulama suyu kalite parametreleri, su sınıfı ve su sınıflamasında kullanılan kaynaklar.

Parametre	Değer	Su Sınıfı	Örnekler	Kaynak
EC (µS/cm)	< 750	İyi	HG1-HG10, HG12-HG17, HG19	Bauder ve diğ., 2011
	750-1500	İzin verilebilir	HG11, HG18	
	1500-3000	Şüpheli	HG16	
	> 3000	Uygun değil	-	
%Na	0-20	Çok İyi	HG2, HG9, HG10, HG12-HG15, HG19	Wilcox 1955
	20-40	İyi	HG1, HG3-HG8, HG11, HG17	
	40-60	İzin verilebilir	-	
	60-80	Şüpheli	-	
	>80	Uygun değil	-	
SAR	<10	Çok İyi	HG1-HG15, HG17-HG19	Todd 1980 Richards 1954
	10-18	İyi	HG16	
	19-20	Şüpheli	-	
	<26	Uygun değil	-	
RSC	<1.25	İyi	HG1-HG15, HG17	Eaton 1950 Richards 1954
	1.25-2.5	Şüpheli	-	
	>2.5	Uygun Değil	HG16, HG18	
KI	< 1	Uygun	HG1-HG15, HG17	Kelley (1963)
	1-2	Kısmen Uygun	HG16, HG18	
	1 <	Uygun Değil	-	
PI	%75 <	Çok İyi	HG3-HG8, HG16-HG18	Raghunath (1987)
	%75- %25	İyi	HG1, HG2, HG9-HG15, HG19	
	< %25	Uygun Değil	-	

Yüzde sodyum oranı (%Na): Sodyum iyonu, toprağın fiziksel özelliklerini ve bitki gelişmesini olumsuz etkiler. Sodyum iyonunun diğer katyonlara oranla yüksek konsantrasyonlarda olmasından dolayı katyon değişimi ile toprakta emilerek toprağı yapısını teksel bir yapıya dönüştürmekte ve toprağın geçirimsizliğini azaltabilmektedir (Singh ve diğ., 2008; Jalali, 2009). Tarımsal aktivitelerde kullanılan su kalitesinin uygunluğunun değerlendirilmesinde sodyum yüzdesi değeri kullanılmakta olup aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (Wilcox, 1955);

$$\%Na = ((Na+K)/(Ca+Mg+Na+K))*100 \quad (1)$$

İnceleme alanındaki su kaynaklarının %Na değeri 9.54 ile 65.80 arasındadır (Tablo 4). Yüzde sodyum değerine göre sadece HG16 numaralı örnek tarımsal sulama suyu olarak “şüpheli” sınıftayken HG18 numaralı örnek “izin verilebilir” sınıfında bulunmuştur. İnceleme alanındaki diğer sular, %Na değerlerine göre “çok iyi ve “iyi” sınıfta olup sulama suyu olarak kullanılabilir (Tablo 5).

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR): Bitki büyümesi için sodyum dengesizliği olan suyun kullanılması, belirli toprak dokusu koşullarında verimi düşürmektedir. Sulama suyu kalsiyum ve magnezyum içeriğine göre yüksek sodyum içerirse suyun sızmasında ve/veya süzülmesinde azalma meydana getirebilir. "Sodisite" olarak adlandırılan bu durum, aşırı sodyum birikiminden kaynaklanır. Su ve topraktaki sodisiteyi değerlendirmek için en yaygın ölçüme Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) denir. SAR, sudaki kalsiyum ve magnezyum iyonlarının toplamına kıyasla nispi sodyum konsantrasyonu cinsinden sodikliği tanımlar (Bauder ve diğ., 2011). SAR değeri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır;

$$SAR = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2} \quad (2)$$

İnceleme alanındaki su kaynaklarının SAR değeri 0.33 ile 10.14 arasında değişim göstermekte (Tablo 4) olup tüm örnekler SAR değerine göre sulama suyu için uygundur (Tablo 5).

Artıksal sodyum karbonat (RSC): Tarımsal sulama suyunun uygunluğunu değerlendirmede kullanılan diğer parametre de artıksal sodyum karbonat değeridir. RSC değeri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır (Eaton, 1950);

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) \quad (3)$$

İnceleme alanındaki su kaynaklarının RSC değeri -3.30 ile 5.78 arasında değişmektedir (Tablo 4). HG16 ve HG18 numaralı örneklerin RSC değerleri sırasıyla 5.78 ve 4.02 olup sulama suyu olarak uygun değildir. Diğer tüm örneklerin RSC değeri 1.25'den küçük olup RCD değerine göre sulama suyu olarak uygundur (Tablo 5).

Kelley İndeksi (KI): Kelley indeksi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır (Kelley, 1963);

$$KI = Na / (Ca + Mg) \quad (4)$$

İnceleme alanındaki su kaynaklarının KI değerleri 0.08 ile 1.75 arasında değişim göstermektedir (Tablo 4). HG16 ve HG18 numaralı örnekler KI değerlerine göre "Kısmen Uygun", diğer örneklerin hepsi "Uygun" sınıfında olup, inceleme alanındaki tüm örnekler KI değerine göre sulama suyu olarak uygundur (Tablo 5).

Geçirgenlik indeksi (PI): Tarımsal aktivitelerde kullanılan suyun uygunluğunun değerlendirilmesinde Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1989) tarafından PI değeri kullanılmakta olup aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır (Doneen, 1964, Raghunath 1987; Ramesh ve Elango, 2012):

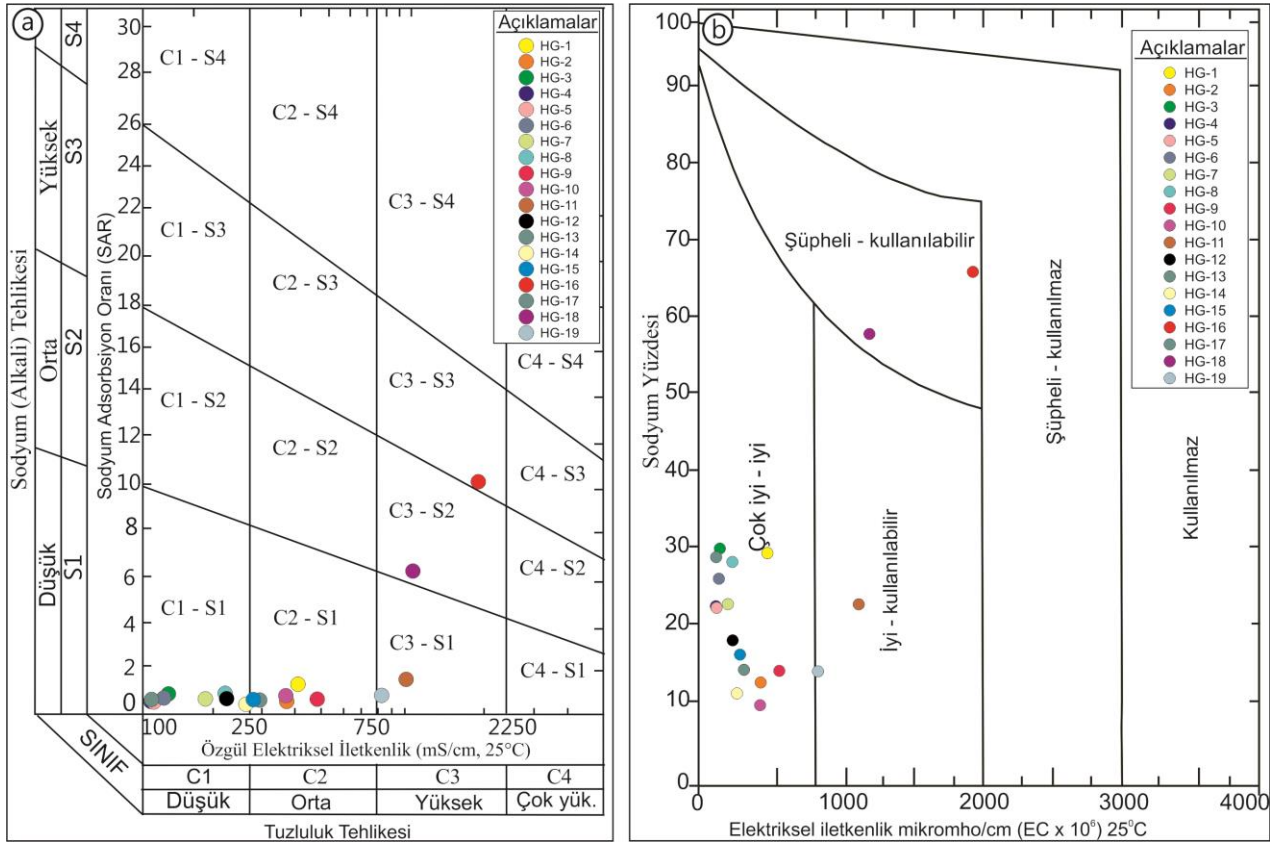
$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na} \times 100 \quad (5)$$

İnceleme alanından alınan su örneklerinin % 47.37'sinin PI değeri %75'den büyük olup "Çok iyi", sınıfında, %52.63'ünün PI değeri %75- %25 "İyi" sınıfındadır ve tüm su örneklerinin PI değerlerine göre sulama suyu olarak uygundur (Tablo 5).

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı: İnceleme alanındaki su kaynaklarının tarımsal amaçlı sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına (Richards 1954) göre HG16 nolu örnek C₃S₃ sınıfında olup bu sınıfa giren sular fazla tuzlu ve sodyumlu su özelliğinde olup drenajı yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. HG18 nolu örnek C₃S₂ sınıfında olup bu sular fazla tuzlu ve orta derecede sodyumlu su özelliğinde olup drenajı yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. HG11 ile HG19 nolu örnekler C₃S₁ sınıfındadır ve bu sınıfa giren suların tuz içeriği fazla ve sodyum içeriği düşüktür. Diğer örneklerin hepsi C₁S₁ ve C₂S₂ sınıfında olup bu tip sular az ve orta tuzlu ve sodyumlu sular olup tarımsal amaçlı sulama suyu olarak kullanılabilir (Şekil 5a).

Wilcox Diyagramı: Suların tarımsal amaçlı sulama suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemede kullanılan diğer bir diyagram Wilcox diyagramı (1955)'dir. Diyagramda suların sulama için uygunluğu belirlenirken kullanılan parametreler suların % Na ve EC değerleridir. Wilcox

diyagramına göre HG16 ve HG18 numaralı örnekler “şüpheli-kullanılabilir” sınıfında, HG11 ve HG19 numaralı örnekler “iyi-kullanılabilir” sınıfında ve diğer tüm örnekler “çok iyi-iyi” sınıfında (Şekil 5b).



Şekil 5. İnceleme alanındaki sulara ait a) ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı, b) Wilcox diyagramı (Wilcox 1955).

3.2.2. Suların Endüstride Kullanım Özellikleri

İnceleme alanı ülkemizdeki önemli jeotermal potansiyeline sahip alanlardan biri olmasından dolayı termal turizmin varlığı bölgenin ticari açıdan da gelişmesine neden olmuştur. Bu nedenle suların endüstride kullanım özelliklerinin belirlenmesi sürdürülebilir gelişim açısından önem arz etmektedir. Bölgede yüzey suyunun yetersiz olmasından dolayı endüstride de yeraltısuyu kullanılmaktadır. Suların kaynarken köpürme özelliği endüstride kullanıma uygunluğunu değerlendirme açısından önemli parametrelerden birisidir. Çünkü suyun kaynarken köpürme özelliği sodyum ve potasyum tuzlarından kaynaklanmakta olup köpürme sonucu suyun içerisinde dolaştığı teçhizatın içinde ve cidarlarında çökmeye ve kabuklanmaya neden olmaktadır. Bunun sonucu ısı iletkenliği azalmakta ve dolayısıyla yakıt masrafı artmaktadır (Şahinci, 1991). Suların kaynarken köpürme özelliği aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır (Şahinci, 1991);

$$F = 62 * Na + 78 * K \quad (6)$$

Bağıntıdan elde edilen F değeri <60 ise “kaynarken köpürmeyen sular”, 60<F< 200 ise “kaynarken köpüren sular” ve F>200 ise “kaynarken çok köpüren sular” sınıfını temsil etmektedir. Hesaplanan F değerlerine göre; HG1, HG11 ve HG19 numaralı örnekler “kaynarken köpüren sular” sınıfında, HG16 ve HG18 numaralı örnekler “kaynarken çok köpüren sular” sınıfında ve diğer tüm örneklerin ise “kaynarken köpürmeyen sular” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Tablo 6).

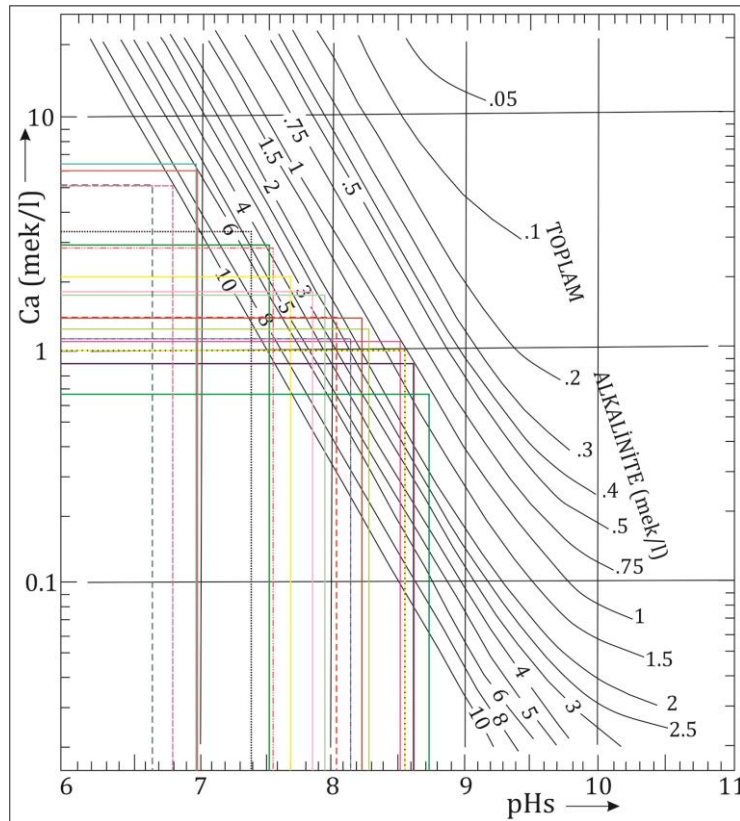
Tablo 6. İnceleme alanındaki su örneklerinin kaynariken köpürme özelliğini veren F değerleri.

Örnek Adı	F	Örnek Adı	F	Örnek Adı	F	Örnek Adı	F
HG1	100	HG6	27	HG11	172	HG16	1032
HG2	32.2	HG7	27.8	HG12	31.4	HG17	22
HG3	36.6	HG8	38.3	HG13	33.9	HG18	547
HG4	18.5	HG9	54.2	HG14	22.8	HG19	85.2
HG5	17.5	HG10	31.8	HG15	31.4		

İnceleme alanındaki suların karbonat doygunluğuna bağlı olarak endüstride kullanılan malzemeleri çürütme ve kireçlendirme özelliklerini değerlendirmek için “Langelier’in Kalsiyum Denge Diyagramı”ndan (Şahinci 1991) yararlanılmıştır (Şekil 6). Suyun karbonata karşı gösterdiği kimyasal tepkime, diyagramda bulunan pHs ve örnekleme yapılan noktada ölçülen pH değerinin karşılaştırılmasıyla ile belirlenir (Şahinci 1991). Denge indeksi (DI) değeri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır:

$$DI = pH - pH_s \quad (7)$$

Bağıntıdan elde edilen DI değeri $0.1 < DI$ ise “suda karbonat çökmesi izlenir”, $DI = 0.1$ ise “su karbonatça doymuş” ve $DI < -0.1$ ise “su karbonat çözündürebilir”. İnceleme alanındaki örneklerin denge indeksi değerleri Tablo 7’de verilmektedir. Hesaplanan DI değerine göre HG9, HG10, HG11, HG13, HG16, HG18 ve HG19 numaralı örneklerde “karbonat çökmesi izlenir” sınıfında olup endüstride kullanımı çürütme ve kireçlendirmeye neden olabilir. HG1-HG8, HG12, HG15 ve HG17 numaralı örneklerde “su karbonat çözündürebilir” sınıfında ve HG14 numaralı örnek “karbonatça doymuş” sınıfında yer almaktadır.



Şekil 6. Langelier Kalsiyum Denge Diyagramı

Tablo 7. İnceleme alanındaki su kaynaklarının belirlenen pHs ve hesaplanan DI değerleri

Örnek Adı	pH	pHs	DI	Örnek Adı	pH	pHs	DI
HG1	7.1	7.53	-0.43	HG11	7.45	6.97	0.48
HG2	7.47	7.7	-0.23	HG12	8	8.24	-0.24
HG3	7.87	8.52	-0.65	HG13	8.14	7.85	0.29
HG4	7.86	8.62	-0.76	HG14	7.85	7.95	-0.10
HG5	7.86	8.62	-0.76	HG15	8.01	8.05	-0.04
HG6	7.82	8.55	-0.73	HG16	7.7	6.65	1.05
HG7	7.68	8.28	-0.60	HG17	6.3	8.73	-2.43
HG8	7.75	8.16	-0.41	HG18	7.08	6.79	0.29
HG9	7.95	7.39	0.56	HG19	7.33	6.98	0.35
HG10	7.64	7.56	0.08				

Suda sülfat konsantrasyonunun yüksek olması betonun parçalanmasına neden olabilmektedir. Suların sülfat miktarı 0.15 g/l'den büyük olursa beton üzerinde etkiye gelişmektedir, sulardaki sülfat miktarı arttıkça etkime artmaktadır (Şahinci, 1991). İnceleme alanındaki suların sülfat miktarı 0.15 g/l'den düşük olup beton üzerinde “pratik olarak etkilenme yok” sınıfındadır. Bu verilere göre inceleme alanındaki suların beton üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi yoktur.

4. SONUÇLAR

İnceleme alanı ülkemizin İç Ege bölgesinde yer alan Afyonkarahisar ilinin yaklaşık 36 km kuzeyinde bulunan İhsaniye ilçesi ve 21 km kuzeyinde bulunan Gazlıgöl beldesini ve çevresini içeren yaklaşık 460 km²lik alanı kapsamaktadır. Bu çalışmada inceleme alandaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla toplam 19 adet su örneğinin fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre bölgedeki su kaynaklarının pH değerleri 7.1 ile 8.1 arasında değişmekte ve ortalama 7.7 olup “bazik sular” sınıfında yer almaktadır. Elektriksel iletkenlik değerleri ise 110 ile 1927 µS/cm arasında olup ortalama 461 µS/cm'dir. Sertlik değerlerine göre su kaynaklarının %47'si “yumuşak ve çok yumuşak” sınıflarında, %53'ünün ise “az sert, sert ve oldukça sert” sınıflarında olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanındaki su kaynaklarının iyon dağılımları Schoeller sınıflaması dikkate alınmış olup klorür ve sülfat içeriklerine göre sırasıyla “olağan klorürlü sular” ve “olağan sülfatlı sular” sınıfında yer almaktadır. Karbonat-bikarbonat içeriğine göre ise HG3, HG4, HG5, HG6, HG7, HG12 ve HG17 numaralı örnekler “hipokarbonatlı sular, HG1, HG2, HG8, HG9, HG10, HG11, HG13, HG14, HG15 ve HG19 numaralı örnekler “olağan karbonatlı sular” ve HG16 ile HG18 numaralı örnekler “hiperkarbonatlı sular” sınıfında yer almaktadır. Ayrıca su örneklerinin kimyasal özellikleri Piper diyagramı ile değerlendirilmiş ve HG1, HG3, HG4, HG5, HG6, HG7, HG8 ve HG17 numaralı örneklerin Ca-Na-HCO₃ fasiyesinde, HG2, HG9, HG10, HG11, HG12, HG13, HG14, HG15 ve HG19 numaralı örneklerin Ca-Mg-HCO₃ fasiyesinde ve HG16 ile HG18 numaralı örneklerin ise Na-Ca-HCO₃ fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Belirlenen farklı su fasiyesleri su örneklerinin alındığı noktalardaki farklı litolojik birimler ile ilişkilidir.

İnceleme alanındaki su kaynakları WHO ve TSE içme suyu standartlarına göre değerlendirildiğinde major iyon bakımından iki örnek hariç sınır değerleri aşmadığı fakat sadece H16 ve H18 numaralı örneklerin içme suyu olarak kullanımının sakıncalı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Schoeller'in içilebilirlik diyagramına göre H11, H16 ve H18 numaralı örnekler EC değerlerine göre “Orta Kaliteli Sular” sınıfında iken diğer tüm örnekler EC değerlerine göre “Çok İyi Kaliteli Sular” sınıfındadır. Fransız setliği, sodyum, klorür ve sülfat içerikleri bakımından ise tüm sular “Orta, İyi ve Çok Kaliteli Sular” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Suların tarımsal amaçlı sulama suyu bakımından uygunluğunu belirlemek için EC, SAR, %Na, RSC, KI ve PI parametreleri ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları kullanılmış ve

SAR, %Na, KI ve PI parametrelerine göre sulama suyu olarak kullanımı uygun olarak değerlendirilmiştir. Fakat EC değeri bakımından HG16 nolu örneğin “şüpheli” sınıfında ve RSC bakımından HG16 ve HG18 nolu örneklerin “uygun değil” sınıfında oldukları belirlenmiştir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre HG11, HG16, HG18 ve HG19 nolu örnekler fazla tuzlu olup direnaja yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Diğer tüm örnekler tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilir. Wilcox diyagramına göre HG16 ve HG18 numaralı örnekler “şüpheli-kullanılabilir” sınıfında, HG11 ve HG19 numaralı örnekler “iyi-kullanılabilir” sınıfında ve diğer tüm örnekler “çok iyi-iyi” sınıfında bulunmuştur. Bölgedeki suların endüstride kullanım sınıflamalarında HG1, HG11 ve HG19 numaralı örnekler “kaynarken köpüren sular” sınıfında, HG16 ve HG18 numaralı örnekler “kaynarken çok köpüren sular” sınıfında ve diğer tüm örneklerin ise “kaynarken köpürmeyen sular” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Ayrıca HG9, HG10, HG11, HG13, HG16, HG18 ve HG19 numaralı örnekler “karbonat çökmesi izlenir” sınıfında olup endüstride kullanımı çürütme ve kireçlendirmeye neden olabilir.

Teşekkür

Yazarlar arazide jeolojik incelemeler ve su kaynaklarının örnekleme çalışmaları sırasında yapmış olduğu yardımlardan dolayı Selçuk Üniversitesi, Kulu Meslek Yüksek Okulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı üyesi Öğr. Gör. Fatih ERBAŞ’a teşekkür etmektedirler.

Bu çalışma Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde devam etmekte olan yüksek lisans çalışmasının bir parçasını içermektedir.

KAYNAKLAR

- Alan, İ., Elibol, H., Balcı, V., Böke, N., Arman, S., Soyakıl, M. & Demirbağ, H. (2018a). Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Eskişehir-J24 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, No: 251.
- Alan, İ., Keskin, H., Elibol, H., Balcı, V., Böke, N. & Şahin, Ş. (2018b). Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Eskişehir-J25 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, No: 252.
- Akdeniz, N. & Konak, N. (1979). Simav-Emet Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Rapor No: 6547, Ankara (Yayımlanmamış).
- Aydar E., Bayhan H. & Gourgaud A. (1998). Koroglu caldera, mid-west Anatolia, Turkey: volcanological and magmatological evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1/4), 83-98.
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1989). *Water Quality for Agriculture*. Irrigation and Drainage Paper, 29 Rev. 1, Rome Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1985). *Water quality for agriculture*, FAO Irrigation and drainage Paper No. 29, Rev. 1, U.N. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Bauder, T.A., Waskom, R.M., Sutherland, P.L. & Davis, J.G. (2011). *Irrigation water quality criteria: Colorado State University, Fact Sheet 0.506*, 4 p.
- Doneen, LD. (1964). Notes on water quality in agriculture. *Water science and engineering paper 4001*. Department of Water Sciences and Engineering, University of California, Davis.
- Eaton, F.M. (1950). Significance of carbonate in irrigation water. *Soil Sci* 69 (2), 123-133.

- Helena, B.A., Vega, M., Barrado, E., Pardo, R. & Fernández, L. (1999). A case of hydrochemical characterization of an alluvial aquifer influenced by human activities. *Water, Air, and Soil Pollution*, 112 (3), 365-387.
- Jalali, M. (2010). Groundwater geochemistry in the Alisadr, Hamadan, western Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166 (1), 359-369.
- Kelley, W.P. (1946). Permissible composition and concentration of irrigation waters, In: *Proceeding American Society of Civil Engineering*, 607 p.
- Metin, S., Genç, Ş. & Bulut, V. (1987). Afyon ve Dolayının Jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü MTA Rapor No: 8103, Ankara, (yayımlanmamış).
- Öcal, H., & Göktaş, F. (2011). Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Afyon-K24 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, No: 158.
- Öcal, H., Turhan, N. & Göktaş, F. (2011). Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Afyon-K25 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, No: 159.
- Öztürk, A. (2004). Tuzluluk ve Sodyumluluğun Oluşumu, Bitki ve Toprağa Etkileri. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı D.S.D. Genel Müdürlüğü Bildiriler Kitabı 20-21 Mayıs, Ankara.
- Raghunath, H.M. (1987). *Groundwater*, 2nd edn. Wiley Eastern Ltd., New Delhi, 563p.
- Ramesh, K. & Elango, L. (2012). Groundwater Quality and its Suitability for Domestic and Agricultural use in Tondiar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 184, 3887-3899.
- Schoeller, H. (1955). *Gechemie des eaux souterranes*. Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris, 10. No. 3-4.
- Schoeller, H. (1962). *Les eaux souterraines*, Masson etcie, Paris (Çeviren: Karacadağ, K., Yeraltısuları Dizerkonca Matbaası), (1973), İstanbul.
- Singh A. K., Mondal, G.C., Kumar, T.B., Singh Tewary, B.K. & Sinha, A. (2008), Major ion chemistry, weathering processes and water quality assessment in upper catchment of Damodar River basin, India. *Environ Geology*, 54, 745-758.
- Şahin, Ş. & Ünlügenç, U.C. (2014). Bayat-Bolvadin (Afyonkarahisar) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (1), 173-191.
- Şahinci, A. (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*, 1. Baskı. İzmir, Türkiye, Reform Matbaası. İzmir.
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the chemical interpretation of water analysis. *Am Geophys Union Trans.* 25, 914-923.
- 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.
- Ravikumar, P., Venkatesharaju, K., Prakash, K.L. & Somashekar, R.K. (2010). Geochemistry of groundwater and groundwater prospects evaluation, Anekal Taluk, Bangalore Urban District, Karnataka. *India Environ Monit Assess* 179, 93-112.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agricultural Handbook No. 60*. US Department of Agriculture, Washington DC, p 160.
- Todd, D.K. (1980) *Groundwater hydrology*. Wiley, New York.
- Topfer, K. (1999). *Global environment outlook 2000*. Earthscan.
- TSE (2005) *Standards for drinking waters-266*, Turkish Standards Institution, Ankara-Turkey.
- WHO (2011) *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization, Geneva, 303-304.

WHO 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. In: Report of a WHO Scientific Group: Technical report series 778, (1989), Geneva, 74.

Wilcox, L.V. (1955). Classification and use of irrigation water. USDA, Circular, Washington.