



## AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ-ANS KAMPÜSÜ (AFYONKARAHİSAR) YERALTISULARININ HİDROJEOKİMYASI VE KULLANILABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Can BAŞARAN\*

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Hidrojeokimya,  
Hidrojeoloji,  
Su kalitesi,  
Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Yeraltısuyu.*

### Öz

Bu çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ahmet Necdet Sezer kampüsü içerisinde yer alan yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ile kalite ve kirlilik durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kampüs içerisinde yer alan 5 adet yeraltısuyu kuyusundan örnek alınmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre yeraltısularının Na-Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğu ve tamamının aynı rezervuardan beslendiği belirlenmiştir. Örneklerin içilebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde TS266 (2005), WHO (2011) ve İTASHY (2013) standart ve yönetmeliklerinden ve Schoeller içilebilirlik diyagramından faydalanılmıştır. İçilebilirlik açısından su örnekleri sahip oldukları element içeriklerine bağlı olarak farklı özellikler sunmakta olup genel olarak; kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular, içme ve kullanma suları sınıfında yer almaktadırlar. Sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesinde EC (elektriksel iletkenlik), SAR (sodyum adsorbsiyon oranı) ve % Na (yüzde sodyum), RSC (artıksal sodyum karbonat), MT (magnezyum tehlikesi), KR (Kelley oranı) ve PI (geçirgenlik indeksi) gibi kimyasal indeks hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre genel olarak tüm sular sulamaya uygun olmakla birlikte bu suların kullanılacağı bitkilerin özenle seçilmesi gerekmektedir. Çevrede yer alan jeotermal sular ile bölgenin toprak yapısının aşırı tuzlu olması ve yakın çevrede gerçekleştirilen tarım faaliyetleri incelenen suların kullanım özelliklerini etkileyen olası parametrelerdir.

## THE DETERMINATION OF HYDROGEOCHEMISTRY AND USABILITY CHARACTERISTICS OF GROUNDWATERS IN THE AFYON KOCATEPE UNIVERSITY-ANS CAMPUS (AFYONKARAHİSAR)

### Keywords

*Hydrogeochemistry,  
Hydrogeology,  
Water quality,  
Afyon Kocatepe University,  
Groundwater.*

### Abstract

In this study, it was aimed to determine the hydrogeochemical characteristics and quality and pollution status of the groundwaters within the campus of Ahmet Necdet Sezer, Afyon Kocatepe University. For this purpose, 5 groundwater wells were sampled. Based on the chemical analysis results, it was determined that the groundwaters have Na-Ca-HCO<sub>3</sub> type and all of them were fed from the same reservoir. TS266 (2005), WHO (2011) and ITASHY (2013) standards and regulations and Schoeller potability diagram were used to determine the drinking water characteristics of the samples. In terms of potability, water samples offer different properties depending on their elemental content and they are defined as waters for human consumption (except spring waters) and drinking-domestic waters. In the evaluation of irrigation water quality, EC (electrical conductivity), SAR (sodium adsorption rate) and Na (percent sodium) values and RSC (residual sodium carbonate), MT (magnesium hazard), KR (Kelley ratio) and PI (permeability index) indexes were performed. According to these calculations, in general, although all waters are suitable for irrigation, the plants where these waters will be used should be selected carefully. The geothermal waters in the surroundings, the salty soil structure and the agricultural activities in the region are the possible parameters affecting the usage characteristics of the studied waters.

\* İlgili yazar / Corresponding author: cbasaran@aku.edu.tr, +90-272-218-2452

**Alıntı / Cite**

Başaran, C., (2019). Afyon Kocatepe Üniversitesi-ANS Kampüsü (Afyonkarahisar) Yeraltısularının Hidrojeokimyası Ve Kullanılabilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 431-440.

**Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)**

C. Başaran, 0000-0001-6281-6580

**Makale Süreci / Article Process**

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	08.01.2019
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	13.02.2019
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	15.02.2019
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	26.06.2019

**1. Giriş**

Tüm canlıların suya ihtiyacı vardır. Suyun yaşam için en önemli ihtiyaçlardan biri olması, artan insan nüfusu ve buna bağlı gelişen su ihtiyacı ile su kaynaklarının giderek azalması kalite değerlendirmelerine yönelik çalışmaların önemini artırmaktadır. Dünyada'ki içilebilir nitelikteki su oranı yaklaşık % 0.74 civarındadır (Akın ve Akın, 2007). Ülkemiz su kaynakları sınırsız değildir bu nedenle suların kalitesi ile kullanım alanlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Çalışma alanı Afyonkarahisar ilinin 7 km kuzeyinde yer alan Afyon Kocatepe Üniversitesi-ANS Kampüsü ve civarıdır. Kampüs alanında yaklaşık 30000 öğrenci eğitim görmektedir ve 421.000 m<sup>2</sup> yeşil alan sulanmaktadır. Kampüs alanında açılmış olan sondaj kuyularından elde edilen yeraltısularından An1, An2, An3, An4 kodlu örnekler sulama suyu olarak, An5 kodlu su örneği ise insani tüketim amaçlı (içme ve kullanma) kullanılmaktadır. İncelenen Kampüs içindeki içme suyu ihtiyacı hizmet alımı yoluyla hazır sular ile karşılanmaktadır. İncelenen sondaj sularının özellikleri daha önce detaylı bir şekilde araştırılmamış olması mevcut su kaynaklarının kalitesi ve kullanılabilirliği ile sürdürülebilir yönetimi açısından önem taşımaktadır. Çalışma özelinde kampüs alanında yer alan ve farklı alanlarda kullanılan sondaj sularının hidrojeokimyasal özellikleri belirlenerek su kalitesi ve kullanım alanlarına yönelik araştırmalar yapılmıştır.

**2. Materyal ve Metot**

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

Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli K25-a4 paftasında yer almaktadır. İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler önceki araştırmalar dikkate alınarak arazi çalışmaları ile tespit edilmiştir. Elde edilen jeolojik bilgiler ışığında çalışma alanında bulunan jeolojik birimler su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre sınıflandırılmış ve akifer olabilecek birimler belirlenmiştir.

Hidrojeokimya bölümünde çalışma alanındaki suların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla anyon+kasyon analizleri için 500 ml HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) numune kabı kullanılmış ve

örnekler analize kadar <4°C sıcaklıkta korunmuştur. Diğer element analizleri için örnekler 100 ml'lik HDPE şişelere filtre edilerek alınmış (0,45 µm), daha sonra ultra saf HNO<sub>3</sub> ilavesi ile örnek pH'ları <2'ye düşürülmüştür. Örnek alımı sırasında HQ40D (Hach-Lange) marka portatif su ölçüm cihazı ile suların sıcaklık (T-°C), elektriksel iletkenlik (EC-µs/cm), redoks potansiyeli (Eh-mV) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri ölçülmüştür. Suların anyon ve kasyon analizleri (HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, Cl, F, SO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, Na, K, Ca, Mg) Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası laboratuvarlarında, ağır metal ve iz element analizleri ACME (Kanada) laboratuvarında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (ITASHY-2013), Türk İçmesuyu (TS266-2005) ve Dünya İçmesuyu (WHO-2011 gibi standartlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca; Schoeller içilebilirlik, ABD tuzluluk, Wilcox grafikleri, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY-1991) ve RSC, MT, KR ve PI gibi kimyasal indeks hesaplamaları yardımıyla içme ve kullanma suyu olarak uygunlukları değerlendirilmiştir.

**3. Jeoloji**

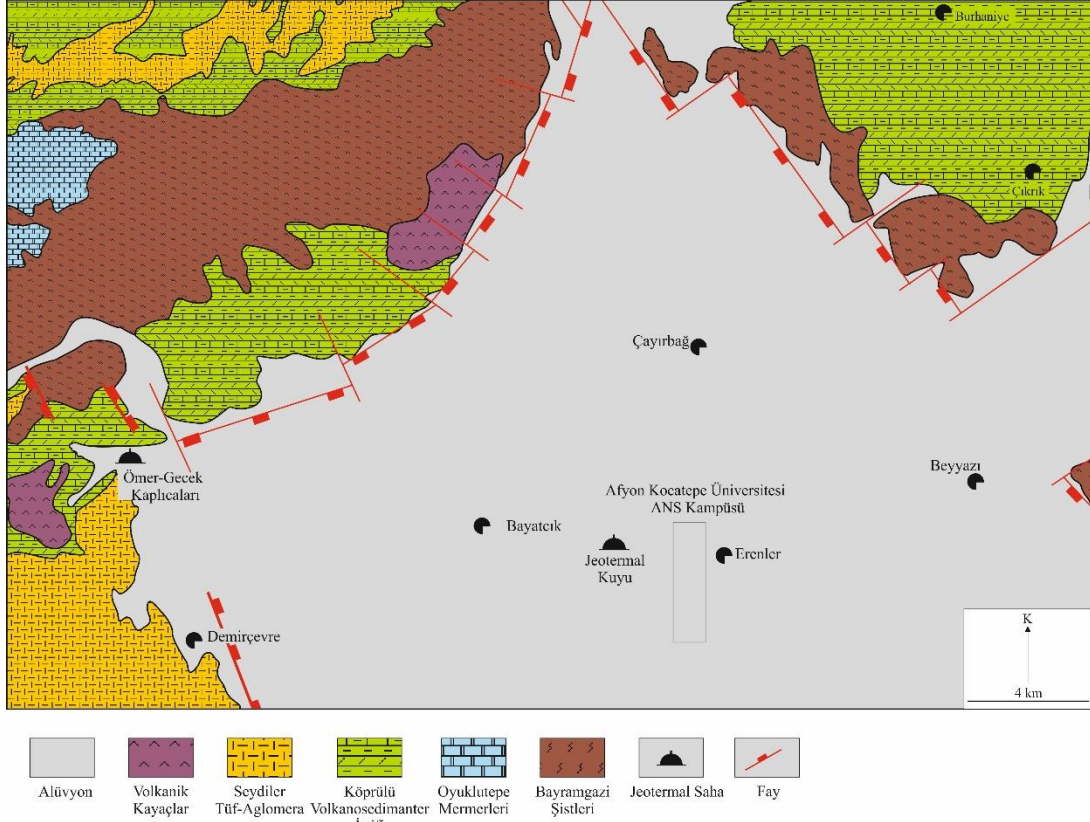
İnceleme alanı, Ketin (1966)'da belirtilen "Anatolid" bölgesinde bulunmakla birlikte, Göncüoğlu vd. (1996) tarafından önerilen tektonik modele göre Afyon Zonu'nun içerisinde yer almakta ve bu zona ait temel kayaları içermektedir. Afyon Zonu batıda Menderes Masifi'nden Afyonkarahisar'a kadar uzanan düşük dereceli metamorfik bir kuşaktır ve yeşilist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş çökellerden oluşur. Baskın olarak sedimanter kökene sahip olan birimler birden fazla bölgesel metamorfizma ve deformasyon geçirmişlerdir. Bu meta-sedimanter istif üzerine Üst Permian-Alt Triyas yaşlı polijenik çakıllı konglomeralar çökelmiştir. Bu konglomeraları Triyas-Jura yaşlı karbonatlar üzerlemektedir. Neojen yaşlı genç volkanik ve piroklastik seriler ise tüm birimleri örtmektedir (Tolluoğlu vd., 1997). İnceleme alanında düz ovalar ve dere yatakları boyunca görülen alüvyonlar geniş alanlar kaplarlar. Afyon Kocatepe Üniversitesi, ANS Kampüsünün bulunduğu alan da alüvyonal bir düzlük üzerinde yer almaktadır. Bayramgazi şistleri ve Oyuklutepe Mermerlerinden oluşan Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfikleri inceleme alanındaki temel kayalardır. Paleozoyik birimlerin üzerine uyumsuz olarak konglomera, kumtaşı seviyeleri, killi kireçtaşı, kumtaşı, volkanik cam, trakiandezitik tüf, karbonat çimentolu tüfit

seviyeleri içeren Ömer-Gecek formasyonu gelmektedir. Üst Miyosen yaşlı volkanik kayalar ve alüvyon ise bölgedeki en genç birimlerdir (Ulutürk, 2009; Yıldız vd., 2012) (Şekil 1).

### 3. Hidrojeoloji

Afyon Kocatepe Üniversitesi, ANS kampüsünün bulunduğu alan hidrojeolojik olarak Akarçay havzası-Afyon alt havzası içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan alüvyon ve yamaç molozu bölgedeki en önemli soğuk su akiferi olan "Taneli Ortam Akiferi"ni (Toa-1) temsil etmektedir. Temelde yer alan

Oyuklutepe Mermerleri bölge genelinde yer alan sıcak sular için "kaya ortam akiferi" (Koa-1) özelliği sunarken, Afyon meamorfikleri "geçirimsiz birim" (Gç) olarak tanımlanmıştır. Miyosen yaşlı volkanik-sedimanter kayaç ardalanmalı Ömer-Gecek formasyonu kumlu çakıllı seviyeleri nedeniyle "yarı geçirimli taneli ortam akiferi" (Toa-2) ve volkanik kayalar sahip oldukları kırıklı-çatlaklı yapı nedeniyle "yarı geçirimli kaya ortam akiferi" (Koa-2) olarak tanımlanmıştır (Şekil 2).

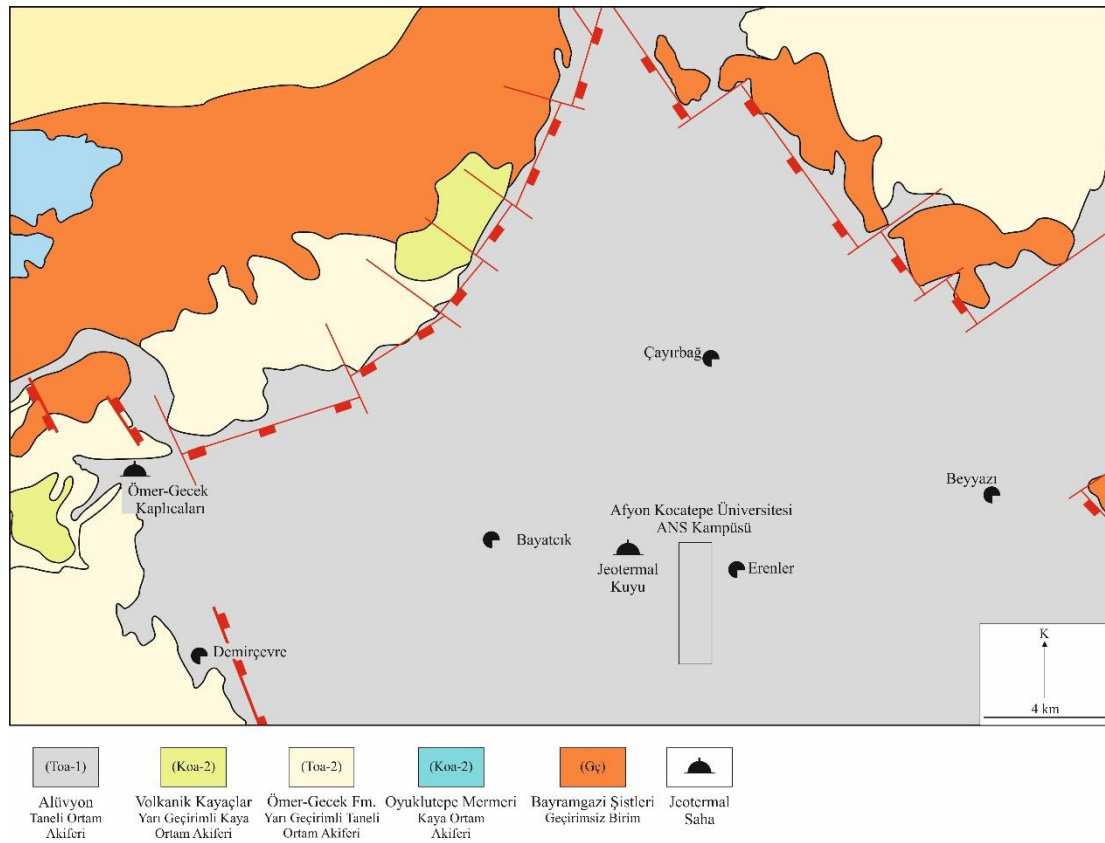


Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Ulutürk, 2009; Yıldız vd., 2012'den değiştirilerek alınmıştır).

### 4. Hidrojeokimya

Çalışma alanında bulunan sondaj sularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının belirlenmesi için, kampüs içinde sulama-içme ve kullanma amaçlı olarak kullanılan 5 adet sondajdan su örneği alınmış, yerinde ölçümleri (T, EC, pH, Eh) ve kimyasal analizleri (Tablo 1)

yapılmıştır. Bölgedeki suların pH değerleri 7.38 ile 7.89 arasında olup "nötr sular" sınıfında yer almaktadır. Suların EC değerleri 955-1188  $\mu\text{s}/\text{cm}$  arasında, sıcaklıkları ise 11.8-17.6 °C arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki suların sertlikleri 24.1-27.2 °Fr derecesi aralığındadır. Bu değerler çalışma alanındaki örneklerin "sert su" sınıfında yer aldığını göstermektedir.



**Şekil 2.** İnceleme alanının hidrojeoloji haritası (Ulutürk, 2009; Yıldız vd., 2012'den değiştirilerek alınmıştır).

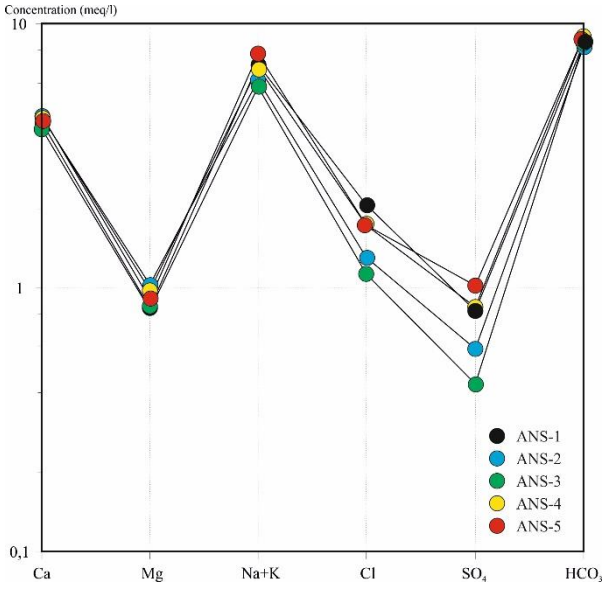
**Tablo 1.** Su örneklerinin fiziksel ölçümleri, kimyasal analiz sonuçları ve ilgili standartlar belirtilen değerler (S1 - Kaynak (memba) suları, S2 - Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular, T1 - İşlem görmüş kaynak (memba) suları, T2 - İçme ve kullanma suları; TS266 (2005)).

Örnek	ÖEİ (ms/cm)	pH	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	F
AN-1	1150	7.38	85.1	10.2	11.0	155.3	73.3	39.4	518.5	0.24
AN-2	1010	7.61	89.2	11.5	10.3	134.4	46.2	28.2	522.1	0.11
AN-3	955	7.86	80.1	10.1	10.7	126.4	40.2	20.7	518.5	0.09
AN-4	1126	7.89	89.5	11.9	13.1	149.1	61.4	40.6	549.0	0.11
AN-5	1188	7.8	90.7	11.0	12.0	170.5	83.4	49.2	549.0	0.24
<b>WHO2011</b>		8,2-8,8								1.5
<b>TS266 (2005)</b>										
<b>S1-S2T1</b>	650	6,5-9,5				100	30	25		1
<b>S2T2</b>	2500	6,5-9,5				200	250	250		1.5
<b>ITASHY2013</b>										

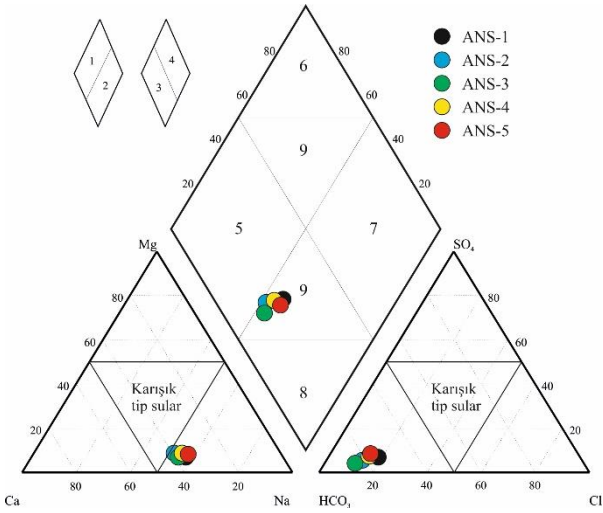
Kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak bölgedeki suların kimyasal yapısı ve su tipleri de belirlenmiştir. Su tiplerinin belirlenmesinde; Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH 1979), Schoeller (1955) ve Piper (1944) sınıflandırmalarından yararlanılmıştır. İnceleme alanındaki suların tamamı Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflamasına göre Na-Ca-HCO<sub>3</sub> tipinde sularlardır. Schoeller (1955)'e göre incelenen tüm sular; klorür içeriğine göre, "Olağan Klorürlü", sülfat konsantrasyonları bakımından "Olağan Sülfatlı" ve karbonat-bikarbonat içeriği

bakımından ise "Hiperkarbonatlı" sular sınıfına girmektedir. Schoeller (1955) diyagramında örneklerin birbirine paralel doğrular halinde olması aynı rezervuardan beslendiklerinin bir işaretidir (Şekil 3). Piper (1944)'e göre yapılan sınıflandırmada ise su örneklerinde hakim anyonun HCO<sub>3</sub> olduğu ve katyon bakımından örneklerin karışık tip katyonlar alanına doğru yönlendiği, dörtgen diyagramda ise örneklerin 2, 3 ve 9 numaralı alanlarda, (Ca+Mg) < (Na+K), Zayıf asit kökleri (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) > Güçlü asit kökleri (Cl+SO<sub>4</sub>) ve

İyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık suları temsil ettiği görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Schoeller diyagramı.



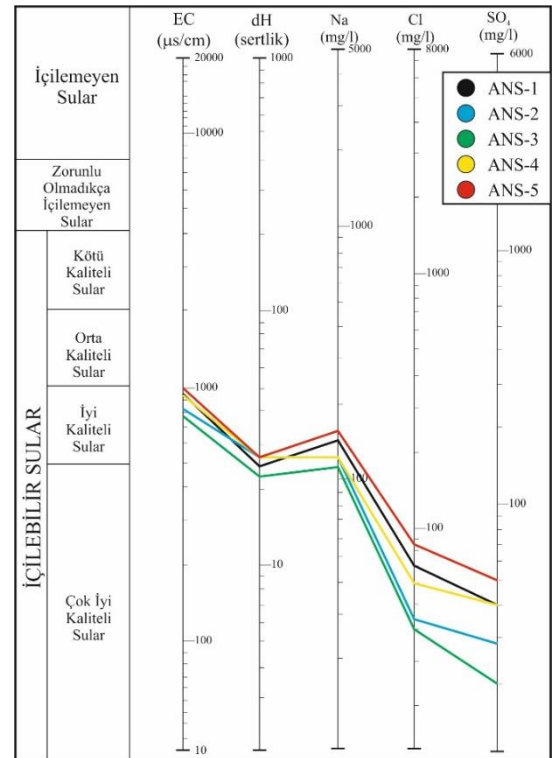
Şekil 4. Piper diyagramı.

## 5. Su Örneklerinin Kullanım Alanlarının Belirlenmesi

### 5.1. Suların İçilebilirlik Özellikleri

Çalışma alanına ait suların içme suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde analiz sonuçları Türk İçme Suyu (TS 266), Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (ITASHY, 2013)'te belirtilen değerler ile karşılaştırılmıştır (Tablo 1). TS 266 standardında sular; Sınıf 1: Kaynak (memba) suları, Sınıf 2: Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular olmak üzere iki sınıftır. Sınıf 1 sular bir tip olup, Sınıf 2 sular ise Tip 1: İşlem görmüş kaynak (memba) suları ve Tip 2: İçme ve kullanma suları olmak üzere iki tiptir. Standartlarda

belirtilen majör anyon ve kasyonlar dikkate alındığında; EC, Na, Cl ve SO<sub>4</sub> bakımından örneklerin S1 ve S2T1 su sınıflarına uygun olmadığı ve S2 (Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular) ve T2 (İçme ve kullanma suları) standardına uygun olduğu belirlenmiştir. PH, ve F değerleri ise S1 ve S1T1 tip sular için belirtilen değerlerin altındadır. WHO 2011 standardında pH değeri 8.2-8.8 arasında istenmekte olup incelenen su örneklerinin pH değerleri bu standarta uymamaktadır. Ayrıca, çalışma alanındaki sular EC, Na, Cl, SO<sub>4</sub> ve sertlik değerleri dikkate alındığında, Schoeller içilebilirlik diyagramına göre değerlendirildiğinde tüm suların görece yüksek elektriksel iletkenlik ve Na değerlerine bağlı olarak "İyi Kaliteli Sular" sınıfında yer aldığı görülmektedir (Şekil 5). Sularındaki yüksek Na ve elektriksel iletkenlik değerleri; yakın çevrede yer alan jeotermal sular ile yada yüksek tuzlulukta toprak yapısı ile olan etkileşimi işaret etmektedir.

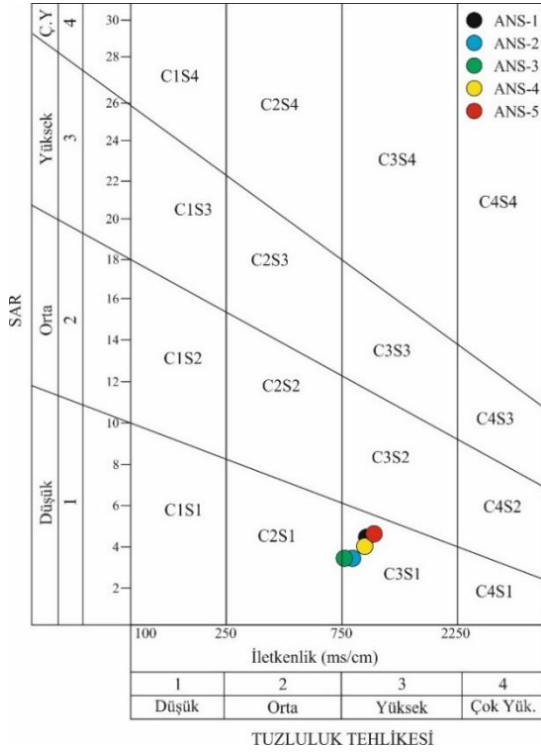


Şekil 5. Schoeller içilebilirlik diyagramı.

### 5.2. Suların Sulama Suyu Özellikleri

İncelenen yeraltısularının sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde; Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları, Su kirliliği kontrol yönetmeliği (SKKY, 1991) ile artıksal sodyum karbonat (RSC), geçirgenlik indeksi (PI) ve magnezyum tehlikesi (MT) ve Kelly oranı (KR) değerleri kullanılmıştır. Ayrıca tüm örneklerin genel bir bütün olarak SKKY (1991)'de verilen "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri"ne göre değerlendirilmesi Tablo 2'de verilmiştir. ABD Tuzluluk Lab. diyagramı

sınıflamalarına göre çalışma alanındaki sular C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> (yüksek tuzlulukta ve az sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 6). C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> tip sular sulama suyu olarak kullanılmayacağı için, tuza dayanıklı bitkilerin seçilmesi, düzenli yıkama ve özel toprak işleme programlarının uygulanması gerekir (Richards, 1954; Demer ve Hepdeniz, 2018). Wilcox diyagramından elde edilen sonuçlara göre ise bölgedeki tüm sular 'Çok İyi-İyi Kullanılabilir Sular' sınıfında yer almaktadır (Şekil 7).

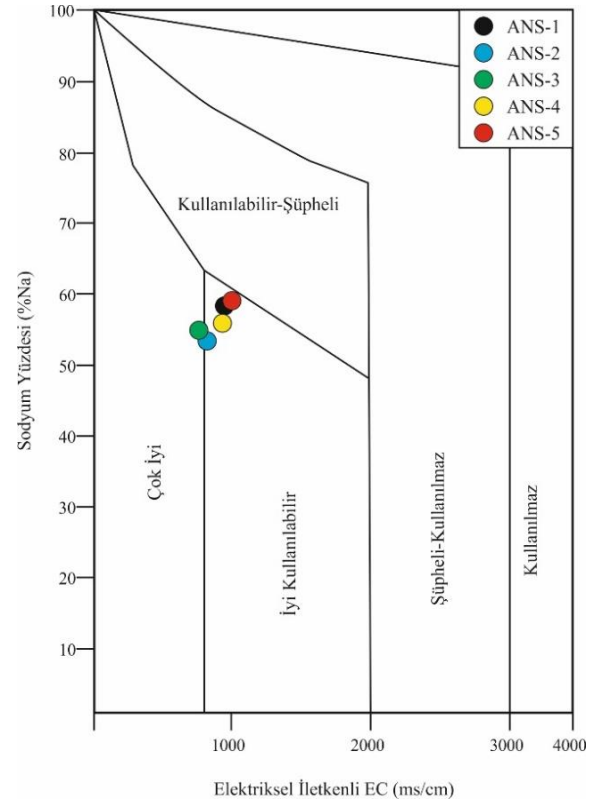


Şekil 6. ABD tuzluluk diyagramı.

Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), toprakta sodyum oranının artma olasılığını önceden tahmin edilmesini sağlar. Yüksek RSC toprakta sodikleşmeye yol açacağından sulama suyunda bulunması istenmemektedir. Yeraltısularındaki karbonat ve bikarbonat değerlerinin, kalsiyum ve magnezyumdan daha fazla olması, yeraltısuyunun sulama için uygunluğunu etkiler. Bu tür topraklardaki yüksek sodyum oranı toprağın geçirgenliğini azaltarak toprağın havalanmasını güçleştirmektedir (Raghunath, 1987; Aghazadeh ve Mogoddam, 2011; Çuhadar ve Tamgaç, 1994). RSC aşağıda verilen formül (1) yardımıyla hesaplanmaktadır (Eaton, 1950). RSC değeri <1.25 ise çok iyi; 2.5' dan büyük değerler ise kullanılabilir sular olarak sınıflandırılmıştır (SKKY, 1991).

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

Bölgedeki tüm sular RSC değerlerine göre, 'kullanılabilir sular' sınıfında yer almaktadır (Tablo 2). Elde edilen pozitif RCS değerleri, sodyum zararı yaratabilecek bir risk olduğunu gösterir.



Şekil 7. Wilcox diyagramı.

Geçirgenlik indeksi (PI) değeri sulama suyu için uygunluğun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. PI aşağıdaki formül (2) ile hesaplanmaktadır (Doneen, 1964). 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 (Raghunath, 1987; Aghazadeh ve Mogoddam, 2011; Ramesh ve Elango, 2012).

$$PI = 100 * \left[ \frac{rNa + r\sqrt{HCO_3}}{rNa + rCa + rMg} \right] \quad (2)$$

Çalışma alanındaki bütün sular PI değerlerine göre "I. Sınıf Sular" yani çok iyi sulama suyu özelliği taşımaktadır (Tablo 3).

Magnezyum Tehlikesi (MT) toprağı tuzlandırmakta, bitki büyümesini ve verimini olumsuz etkilemektedir (Joshi vd., 2009; Venugopal vd., 2009).

**Tablo 2.** Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri (SKKY, 1991).

Kalite kriterleri	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. sınıf su (zararlı) uygun değil	İnceleme Alanı Suları			Sınıfı
						min.	max.	ort.	
EC	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000	955	1188	1086	III
% Na	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80	53.1	58.7	55.99	III
SAR	< 10	10-18	18-26	> 26		3.54	4.5	3.95	I
RSC (meq/l)	< 1.25	1.25-2.5	> 2.5			3.15	3.67	3.47	III
Klorür (Cl <sup>-</sup> ), mg/l	0-142	142-249	249-426	426-710	> 710	40.2	83.4	60.88	I
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) mg/l	0-192	192-336	336-575	575-960	> 960	20.7	49.2	35.62	I
Bor (mg/l)	0-0.5	0.5-1.12	1.12-2.0	> 2.0	-	1.03	1.57	1.23	II-III
Sulama suyu sınıfı*	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	-	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	III
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50	1.75	6.72	5.14	II
Sıcaklık	30	30	35	40	> 40	<30	<30	<30	I

MT katsayısının >50 olması durumunda sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir. MT<50 olan sular sulamaya elverişli sulardır. Magnezyum tehlikesi (MT) değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Szabolcs ve Darab, 1964; Raghunath, 1987):

$$MT = 100 * \left[ \frac{rMg}{rMg+rCa} \right] \quad (3)$$

Çalışma alanındaki sular MT açısından değerlendirildiğinde incelenen örneklerin sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Kelley Oranı (KR):Kelley oranı, sodyum ölçümüne karşı kalsiyum ve magnezyum oranı olarak ifade edilir. Kelly oranının 1'den büyük değeri, sudaki aşırı sodyumu gösterir. Bu nedenle, Kelly oranı 1'den az olan su, sulama için uygun kabul edilir. KR, aşağıdaki eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır (Kelley, 1963):

$$KR = \left[ \frac{rNa}{rCa+rMg} \right] \quad (4)$$

İncelenen sular KR değerleri bakımından (1.1-1.3 meq/l) sulamaya uygun olmayan sular olarak sınıflandırılmışlardır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Su örneklerinin kalite indisleri.

Örnek	PI	MT	KR
AN-1	81.68	16.48	1.33
AN-2	78.00	17.53	1.08
AN-3	81.52	17.17	1.14
AN-4	79.49	18.01	1.19
AN-5	81.07	16.67	1.37

## 6. Sularda kirlilik araştırmaları

Su kaynaklarında kirlenmeye neden olan en önemli unsurları jeojenik ve antropojenik kökenli olarak

sınıflandırmak mümkündür. Jeojenik kökenli kirlilik; doğal süreç içerisinde su-kayaç etkileşimi sonucu kazanılan elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Antropojenik kökenli kirlilik ise katı-sıvı atıklar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan kirliliktir. Su kaynaklarında en çok rastlanan kirletici maddeler azot bileşikleri olan nitrat, nitrit, amonyak, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir (Uslu ve Türkman, 1987). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ans Kampüsünün üzerinde kurulu olduğu alüvyon akiferde yapılan seracılık ve tarımsal faaliyetler esnasında kullanılan pestisitler, doğal ve yapay gübreler ve hayvancılık muhtemel antropojenik kirlilik etkisini oluştururken; yakın çevrede yer alan jeotermal sular ile olan muhtemel karışım ve bölgenin oldukça tuzlu bir toprağa sahip olması jeojenik etkileri oluşturmaktadır. Çalışma alanında su kaynaklarındaki kirlilik durumunun tespiti için elde edilen ağır metal ve kirletici sonuçları TS 266 (20059, WHO, (2011) ve İTASHY, (2013) içme suyu standartlarına göre (Tablo 4) ve SKKY, (1991)'e göre değerlendirilmiştir (Tablo 5).

Tablo 4 incelendiğinde örneklerin içme suyu için belirlenen NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, Al, Cu, Mn, Pb, Sb, Cr bakımından sınır değerleri aşmadığı, As ve B içeriklerinin sınır değere eşit ve/veya üzerinde olduğu An3 ve An4 kodlu örneklerin Fe içeriğinin ise bazı standartları aştığı görülmektedir. Örneklerin As, B ve Fe içerikleri bölgedeki jeotermal suların ve yakın çevrede yer alan volkanik/metamorfik kayaların ayrışması sonucu oluşmuş alüvyon birim ile olan etkileşimden kaynaklanmaktadır. Genellikle sulara 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun antropojenik kökenli kirleticiler tarafından kirlendiğini göstermektedir (Davraz ve Ünver, 2014). Sulama suyu açısından ise tüm örnekler SKKY, 1991'de verilen "Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler" standardına uygundur (Tablo 5).

**Tablo 4.** İncelenen yeraltısularının ağır metal ve kirletici içeriklerinin içme suyu standartları ile karşılaştırılması.

Örnek	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	As	B	Al	Cu	Fe	Mn	Pb	Sb	Cr
AN-1	0.00	4.7	0.00	0.02	1.03	<0.01	<0.01	0.03	0.02	<0.01	<0.005	0.01
AN-2	0.00	6.7	0.00	0.02	1.30	<0.01	<0.01	0.01	0.00	<0.01	<0.005	0.01
AN-3	0.00	6.2	0.00	0.01	1.16	<0.01	<0.01	0.17	0.01	<0.01	<0.005	0.00
AN-4	0.00	6.5	0.00	0.01	1.57	<0.01	<0.01	0.33	0.02	<0.01	<0.005	0.00
AN-5	0.00	1.8	0.00	0.01	1.08	<0.01	<0.01	0.04	0.00	<0.01	<0.005	0.01
WHO2011	3	50	-	0.01	2.4	0.1	2	0.1	0.05	0.01	0.02	0.05
S1-S2T1	0.1	25	0.05	0.01	1	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005	0.05
TS266 (2005) S2T2 İTASHY2013	0.5	50	0.5	0.01	1	0.2	2	0.2	0.05	0.01	0.005	0.05

TS266 (2005): S1 - Kaynak (memba) suları, S2 - Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular, T1 - işlem görmüş kaynak (memba) suları, T2 - İçme ve kullanma suları

**Tablo 5.** İncelenen yeraltısularının ağır metal ve kirletici içeriklerinin her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler ile karşılaştırılması (SKKY, 1991).

Elementler	Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler mg/1	İnceleme Alanı Suları		
		min.	max.	ort.
Alüminyum (Al)	5	0.005	0.008	0.006
Arsenik (As)	0.1	0.014	0.019	0.016
Bor (B)	3	1.03	1.57	1.23
Krom (Cr)	0.1	0.01	0.0025	0.006
Bakır (Cu)	0.2	0.01	0.0017	0.005
Demir (Fe)	5	0.01	0.33	0.11
Kurşun (Pb)	5	0.001	0.003	0.002
Manganez (Mn)	0.2	0.003	0.023	0.011
Molibden (Mo)	0.01	0.0009	0.0019	0.0014
Nikel (Ni)	0.2	0.0002	0.014	0.003
Selenyum (Se)	0.02	0.001	0.004	0.002
Vanadyum (V)	0.1	0.008	0.01	0.009
Çinko (Zn)	2	0.004	0.7	0.18

## 7. Sonuçlar

Çalışmada yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının belirlenebilmesi için sondaj kuyularından 5 adet su örneği alınmış ve fizikokimyasal, kimyasal ve kirlilik parametreleri belirlenmiştir. İncelenen su örnekleri genel olarak Na-Ca-HCO<sub>3</sub> su tipinde olup, Na iyonunun yüksek konsantrasyonu; yakın çevrede yer alan jeotermal sondaj sularıyla olası bir karışımı ve/veya yüksek tuzlu toprak ile olan su kaya etkileşimini göstermektedir.

Suların içilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için analiz sonuçları TS 266 (2005), İTASHY (2013) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırılmış, ayrıca Schoeller içilebilirlik

diyagramı ile değerlendirilmiştir. Standartlarda belirtilen majör anyon ve katyonlar dikkate alındığında; EC, Na, Cl ve SO<sub>4</sub> bakımından örneklerin TS266 (2005)'de verilen S1 ve S2T1 su sınıflarına uygun olmadığı ve S2T2 standardına uygun olduğu belirlenmiştir. PH ve F değerleri ise S1 ve S1T1 tip sular için belirtilen değerlerin altındadır. WHO 2011 standardında pH değeri 8.2-8.8 arasında istenmekte olup incelenen su örneklerinin pH değerleri bu standarta uymamaktadır. Ayrıca, çalışma alanındaki sular Schoeller içilebilirlik diyagramına göre değerlendirildiğinde tüm suların "İyi Kaliteli Sular" sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Yeraltısularının sulama suyu olarak kullanılabilirliği ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları, Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) Kelly oranı (KR) ve Magnezyum Tehlikesi (MT)



parametreleri ve SKKY, 1991 yönetmeliği ile değerlendirilmiştir. Genel olarak tüm sular sulamaya uygun olmakla birlikte bu suların kullanılacağı bitkilerin özenle seçilmesi gerekmektedir.

Çalışmada ayrıca NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> 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, Fe ve B iyon konsantrasyonlarının sulara yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum yakın çevredeki jeotermal sular ile olan olası karışımı göstermektedir. Sulama suyu kalite parametrelerine göre su örneklerinin kalitesi I ile III. sınıflar arasında değişiklik göstermektedir. Bunun yanı sıra örneklerin kirlenme ve ağır metal içeriklerinin sulama suyu olarak uygun olduğu belirlenmiştir.

### Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 18. KARİYER. 177 numaralı proje ile desteklenmiştir.

### Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar

Aghazadeh, N., Mogaddam, A.A., 2011. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, North-west of Iran. *Environ Monit. Assess.* 176, 183–195.

Akın, M., Akın, G., 2017. Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 47 (2), 105-118.

Çuhadar, G., Tamgaç, S., 1994. Hidrojeolojik Etütlerde Su Kimyası Verilerini Toplama ve Değerlendirme Yöntemleri. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ Yayınları, Ankara, s. 1-22.

Davraz, A., Ünver, Ö., 2014. İnegöl Havzası (Bursa) Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Kalite Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18 (2), 7-21

Demir, S., Hepdeniz, K., 2018. Isparta Ovasında (GB-Türkiye) sulama suyu kalitesinin istatistik ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak

değerlendirilmesi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 109-122.

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.

Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Özcan, A., Işık, A., 1996. Orta Sakarya’da Nallıhan-Sarıcakaya Arasındaki Yapısal Birliklerin Jeolojik Özellikleri, MTA Rap. No. 10094, (Yayınlanmamış).

IAH., 1979. Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500.000, International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.

İTASHY, 2013. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Resmi Gazete, sayı: 28580.

Joshi, D.M., Kumar, A., Agrawal, N., 2009. Assessment of the Irrigation Water Quality of River Ganga in Haridwar District India. *Journal of Chemistry* 2 (2), 285-292.

Kelley, W.P., 1963. Use of Saline Irrigation Water. *Soil Science* 95 (6), 385-391.

Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, 66, 20-34, Ankara,

Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical interpretation of Water Analysis, *Transactions, American Geophysical Union*, 25, 914-23.

Raghunath, H.M. 1987. *Groundwater* (2nd ed.), 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. *EMAS*, 184:3887–3899.

Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agricultural Handbook No. 60*. US Department of Agriculture, Washington DC, 160 p.

Schoeller, H., 1955. *Geochemie Des Eaux Souterraines*, *Revue De L'institute Francois Du Petrole*, 10, 230-44.

SKKY, 1991. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, sayı: 20748.

- Szabolcs, I., Darab, C., 1964. The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content of Soils. In: Szabolcs I (ed) Proceedings of 8th International Congress Soil Science Sodics SoilsISSS, Trans, II, 802-812.
- Tolluoğlu, Ü.A., Erkan, Y., Yavaş, F., 1997. Afyon metasedimenter grubunun Mesozoyik öncesi metamorfik evrimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 40-2, 1-17.
- TS 266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü , Ankara.
- Ulutürk, Y., 2009. Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) dolayının jeolojisi ve suların kökensele yorumu, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, 364 s., Ankara.
- Venugopal, T., Giridharan, L., Jayaprakash, M., Periakali, P., 2009. Environmental Impact Assessment and Seasonal Variation Study of the Groundwater in the Vicinity of River Adyar, Chennai, India. Environmental Monitoring and Assessment 149, 81-97.
- WHO, 2011. Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, recommendations, (4rd ed.) Geneva: World Health Organization.
- Yıldız, A., Bağcı, M., Candansayar, M.E., Çonkar, F.E., Başaran, C., Erdoğan, E., 2012. Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Necdet Sezer Kampüsünün Bulunduğu Bölgenin Jeotermal Potansiyelinin Araştırılması, AKÜ BAPK projesi, proje no: 12.TEMATİK.03.