



## Akşehir (Konya) Ovası Yeraltısuyu Kalitesi ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi

Şehnaz ŞENER<sup>1\*</sup>, Simge VAROL<sup>1</sup>, Erhan ŞENER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Arş. Uygulama Merkezi, Isparta, Türkiye

### Ö Z

Bu çalışmada Akşehir Gölü havzasının içerisinde yer alan Akşehir ovasının en önemli su kaynağı olan ve aynı zamanda Akşehir Gölü'nü de besleyen yeraltısularının kalitesi ve kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır. Yeraltısularından alınan 31 örnek üzerinde fizikokimyasal analizler yanısıra ağır metal ve nitrat analizleri yapılmıştır. Çalışma alanındaki baskın su türleri Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve Ca-HCO<sub>3</sub>'tür. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre yeraltısuları EC parametresi açısından "**kötü kalite-çok iyi kaliteli sular**" sınıfı aralığında, diğer parametreler açısından "**orta kaliteli-çok iyi kaliteli sular**" sınıfında yer almaktadır. Ayrıca yeraltısuları ağır metal ve nitrat konsantrasyonları bakımından içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. S24, S25 ve S29 nolu örnekler ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramlarına göre sulama suyu olarak kullanıma "**uygun değil**" şeklindedir. PI değerlerine göre çalışma alanındaki örneklerin %80,69'u sulama suyuna "**uygun**" bulunmuştur. Sodyum yüzdesine göre numunelerin %3,22'si (S24) çalışma alanında "**Şüpheli sulama suyu**" sınıfındadır. MH ve RSC değerlerine göre ise tüm su örneklerinin sulama suyu olarak kullanıma "**uygun**" olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bölgede yeraltısularının kalitesine etki eden en önemli faktörler jeojenik olduğu kadar tarımsal faaliyetlere bağlı antropojenik kirlenmedir.

**Anahtar kelimeler:** Yeraltısuyu, yeraltısuyu kalitesi, sulama suyu, içme suyu, Akşehir ovası

### MAKALE BİLGİSİ

#### ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş : 31.01.2021

Düzeltilme : 17.04.2021

Kabul : 25.04.2021

Yayın : 25.04.2022



DOI:10.17216/LimnoFish.871731

#### \* SORUMLU YAZAR

sehnazsener@sdu.edu.tr

Tel : +90 246 211 13 24

Fax : +90 246 237 08 59

### Determination of Groundwater Quality and Usability of Akşehir (Konya) Plain

**Abstract:** In this study, the quality and usability of groundwater, which is the most crucial water source in Akşehir Lake basin and also recharging the Akşehir Lake, were determined. Thirty-one samples were taken from groundwater, and physicochemical, heavy metal and nitrate analyses were performed. The dominant water types were Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> and Ca-HCO<sub>3</sub>. According to the Schoeller diagram, groundwater was in the "**poor quality-very good quality waters**" class in terms of EC parameters and the "**middle quality-very good quality waters**" class in terms of other parameters. In addition, groundwater was not suitable for drinking water in heavy metal and nitrate concentrations. S24, S25 and S29 samples were found not suitable for use as irrigation water according to the USA Salinity laboratory and Wilcox diagrams. According to the PI values, 80.69% of the samples were "**suitable**" for irrigation water. According to the sodium percentage, 3.22% (S24) of the samples were in the "**Suspicious irrigation water**" class. According to the MH and RSC values, all water samples were determined to be "**suitable**" for irrigation water. As a result, the most critical factors affecting the quality of groundwater in the region were geogenic and anthropogenic pollution due to agricultural activities.

**Keywords:** Groundwater, groundwater quality, irrigation water, drinking water, Akşehir plain

#### Alıntılama

Şener Ş, Varol S, Şener E. 2022. Akşehir (Konya) Ovası Yeraltısuyu Kalitesi ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi LimnoFish. 8(1): 80-91.

doi: 10.17216/LimnoFish.871731

### Giriş

Çevre kirliliği, ülkelerin sürdürülebilir kalkınmasının önündeki en önemli engellerden biridir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de su; son derece değerli, ekonomik ve stratejik bir doğal kaynaktır. Yeraltısuyu, kirleticilerden etkilenmesi daha zor olduğu için içme suyu olarak özellikle tercih edilmektedir (Babiker vd. 2007; Arya vd. 2012; Şener vd. 2019; Varol ve Köse 2020; Şener ve Şener

2020). Bu nedenle, dünyadaki içme suyunun yaklaşık yarısı yeraltısuyu akiferlerinden alınmaktadır (Li vd. 2018). Bununla birlikte, yeraltısuyu kalitesi ve kimyası hem doğal süreçlerle (hava koşulları ve toprak erozyonu) hem de antropojenik girdilerle (tarımsal faaliyetler, belediye ve endüstriyel atık su deşarjı, katı atıklar vb.) kontrol edilmektedir (Varol ve Davraz 2014; Kazi vd. 2009; Mutlu ve Verep 2018).

Yeraltısuyunun kalitesi, yeraltının herhangi bir noktasında yeraltısuyu akış yolu boyunca birçok işlemin birleşik etkisini yansıtmaktadır. Normal koşullar altında, yeraltısuyu kimyasının mevsimsel ve mekansal değişiklikleri, çevredeki jeokimyasal süreçleri belirlemektedir. Bu jeokimyasal süreçleri etkileyen faktörleri jeojenik ve antropojenik olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Jeojenik faktörler jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik koşullarla ilişkilidir. Yeraltısularının kimyasını ve kalitesini değiştiren antropojenik faktörler evsel, sulama ve endüstriyel kullanımların bir sonucudur (Varol ve Şekerci 2018). Bu nedenle, yeraltısuyu kalitesinin bozulması içme, evsel, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerde kullanımını etkilemekte ve sınırlandırmaktadır. Bugün, dünya genelindeki hastalıkların neredeyse %80'i ve gelişmekte olan ülkelerdeki ölümlerin üçte biri kirli veya bozulmuş içme suyundan kaynaklanmaktadır (WHO 2004). Bu nedenle suyun güvenli kullanımı açısından yeraltısuyu kalitesinin belirlenmesi son derece önemlidir.

Bu çalışmada, Akşehir ovası yeraltısuyunun su kalitesi ve kullanılabilirliği araştırılmıştır. Buna bağlı olarak makalenin temel amacı, çalışma alanında bulunan yerleşim yerlerinde içme, kullanma ve sulama suyu olarak kullanılan veya kullanılacak yeraltısuyunun kalitesini belirlemektir. Varol (2021) tarafından bölgedeki su kaynaklarının sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, yeraltı sularındaki arsenik seviyeleri hem yetişkinler hem de çocuklar için kabul edilemez kanserojen ve kanserojen olmayan sağlık riski oluşturmaktadır. Ancak diğer su kalite parametrelerine ait bir araştırma bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışmanın sonuçları, bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ile kalitesi ve kullanılabilirliği açısından da önemlidir. Kalitesi bilinen yeraltısularının doğru kullanım alanlarında efektif kullanımı ile çalışma alanındaki yeraltısuyunun sürdürülebilirliği sağlanacaktır.

## Materyal ve Metot

### Çalışma Alanı

Akşehir ilçesi, Konya ilinin kuzeybatısında, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır (Şekil 1). Akşehir Gölü, Akşehir ilçesinin kuzeyinde yer alır. İlçenin yüzölçümü 955 km<sup>2</sup> ve deniz seviyesinden 1050 m yüksekliktedir.

Bölgede karasal iklim hakimdir. Ayrıca İç Anadolu ve İç Batı Anadolu iklimleri de görülür. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Yıllık yağış 546 mm ve yıllık toplam potansiyel buharlaşma 690,5 mm'dir. Çalışma alanının güneyinde ve güneybatısında bulunan Sultan Dağları

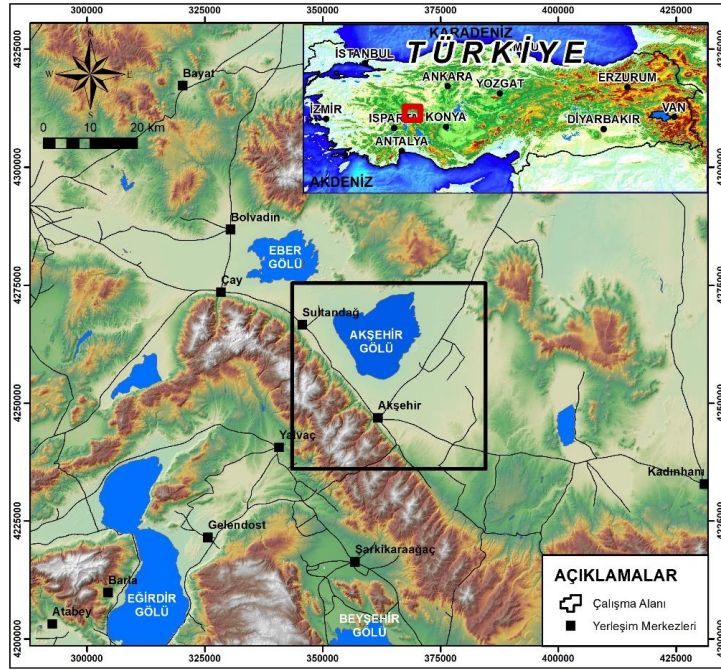
ve kuzeyindeki Akşehir Gölü bölgenin morfolojik yapısını oluşturur.

Akşehir Gölü maksimum 6000-7000 ha yüzey alanına ve 1 m derinliğe sahiptir. Göl, deniz seviyesinden 953,50 m yüksekliktedir. Çalışma alanındaki tüm yüzey suları Akşehir Gölü'ne deşarj edilmektedir. Akşehir Gölü, bölgedeki tarım alanlarının sulanması için kullanılmaktadır. Bölgede tarım faaliyetleri çok yaygındır ve toplam sulama alanı 115,8 km<sup>2</sup>'dir. Ayrıca çalışma alanında evsel, endüstriyel ve tarımsal kullanımlar için ana su kaynağı yeraltı suyudur.

### Jeoloji Ve Hidrojeoloji

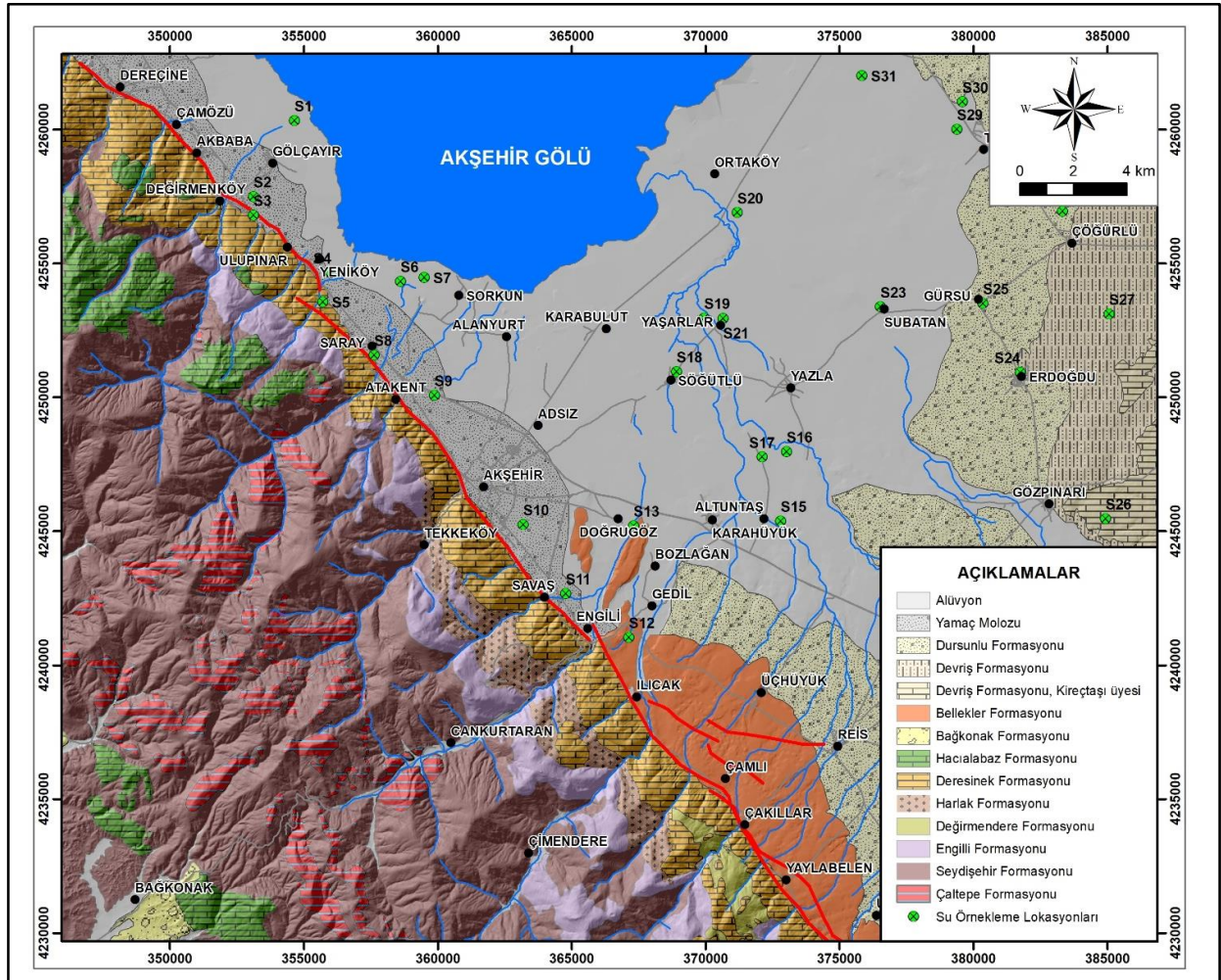
Çalışma alanı, Türkiye'nin başlıca tektonik yapıları olan Isparta açısının kuzeyinde yer almaktadır. Çalışma alanında farklı yaşlara sahip birkaç jeolojik birim haritalanmış ve jeolojik harita Şekil 2' de verilmiştir. Çalışma alanında otokton konumlu litolojik birimler görülmektedir. Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu, rekristalize kireçtaşı, dolomit ve yumrulu kireçtaşından oluşur. Harlak, Değirmendere, Engilli ve Seydişehir formasyonları çalışma alanındaki metamorfik birimlerdir. Bu oluşumlar genellikle kuvarsit, şist, metakumtaşı, metasilttaşı ve kalker / dolomit gibi litolojik birimlerden oluşur. Deresine, Hacıalabaz, Loras ve Derviş Formasyonu, Kireçtaşı üyesi kireçtaşı, dolomit ve rekristalize kireçtaşı gibi karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. Deresine formasyonu Permiyen yaşlı iken, Hacıalabaz formasyonunun yaşı Jura-Kretase olarak verilmektedir (Umut 2009a, 2009b). Miyosen yaşlı Bağkonak ve Bellekler formasyonları, konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kilttaşından oluşan neo-otokton örtü kayalarıdır. Derviş formasyonu marn, kilttaşı, kalkerden oluşur. Oluşumda ince turba katkı maddeleri ve tuf ara tabakaları görülmektedir. Dursunlu formasyonu genel olarak kil, marn, kumtaşı ve çakıllardan oluşmakta ve yer yer linyit içermektedir. Derviş ve Dursunlu formasyonlarının yaşları sırasıyla Üst Miyosen-Pliyosen ve Pliyosen-Kuvaterner'dir. Şev molozu kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutlu malzemelerden oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyon genellikle ovada izlenir. Birim kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutlu malzemelerden oluşmaktadır (Umut 2009a, 2009b).

Çalışma alanının hidrojeolojik özelliklerini belirlemek için her bir litolojik birim akifer kapasitesine göre değerlendirilmiş ve geçirimsiz (akifer), yarı geçirimli (akitard), geçirimli-1 (taneli akifer) ve geçirimli-2 (karstik akifer) olmak üzere dört grup tanımlanmıştır. Yeraltısuyu açısından en önemli akifer birimi, alüvyon ve yamaç molozlarından oluşan taneli akiferdir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Figure 1. Study area location map



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji ve örnekleme lokasyon haritası

Figure 2. Study area geology and sampling location map

Alüvyon alanı yaklaşık 720,3 km<sup>2</sup>'dir. Bölgede alüvyon birim üzerinde yeraltısuyu kuyuları açılmış olup, yeraltısuyu ağırlıklı olarak alüvyondan alınmaktadır. Yeraltısuyu potansiyelinin önemli bir bölümünü depolayan sedimanların kalınlığı ovada 300 m'den fazladır.

### Örnek Toplama Ve Analiz Yöntemleri

Çalışma alanından Ekim 2018'de 31 yeraltısuyu örneği toplanmış ve örnekleme noktasının koordinatları Magellan eXplorer 600 Manuel Küresel Konumlandırma Sistemine (GPS) yüklenmiştir. Anyon ve katyon analizleri için numune alma noktalarından iki farklı su numunesi alınmıştır. Şişelenmiş suların birine katyon analizi için birkaç damla %0,5 nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) eklenmiş ve asitliği düşürülmüştür. Diğer şişedeki su numunesi, anyon analizi için asitlenmemiştir. Yeraltısuyu örneklerinin pH, Eh, sıcaklık (T; °C), elektriksel iletkenlik (EC; µS / cm) ve toplam çözünmüş katı madde (TDS; mg / L) değerleri gibi yerinde

ölçüm parametreleri YSI Professional Plus cihaz kullanılarak ölçülmüştür. Ana katyon ve ağır metaller Bureau Veritas Mineral Laboratuvarı'nda (Kanada-ISO 9002 Akredite Şirketi) analiz edilmiş, katyonlar (kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum), indüktif olarak bağlanmış bir plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak ölçülmüştür. Süleyman Demirel Üniversitesi (Isparta) Jeotermal Enerji Laboratuvarı Yeraltı Suyu Maden Kaynakları Araştırma Merkezinde bikarbonat, klorür, karbonat ve sülfat analizleri yapılmıştır. CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> ve Cl tayini için titrimetrik yöntemler kullanılmış SO<sub>4</sub> baryum sülfat bulanıklık yöntemi ile analiz edilmiştir (Tablo 1). Kimyasal verileri değerlendirmek için AquaChem Yazılımı kullanılmıştır. Haritalarının hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılmıştır. ArcGIS 9.3 yazılımı, Spatial Analyst uzantısı ve ters mesafe ağırlığı (IDW) enterpolasyon yöntemleri kullanılmış ve çalışma alanı bir UTM Zone 35, ED50 verisine eşlenmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan analiz yöntemleri

**Table 1.** Analysis methods used in the study

| Örnek Tipi  | Parametreler  | Yöntem                      | Laboratuvar   |
|---|---|-----------------------------|---|
| Yeraltısuyu<br>(Toplam 31<br>örnek)                           | Sıcaklık (T/°C), pH,<br>TDS ve Elektriksel<br>İletkenlik (EC) | <i>In situ</i>              | <i>In situ</i>  |
|   | As, B, Fe, Pb   | ICP Kütle<br>spektrometresi | Bureau Veritas Mineral Laboratory (Canada-ISO<br>9002 Accredited Co.))  |
|   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                                 | İyon<br>kromatografisi      | Süleyman Demirel Üniversitesi (Isparta) Jeotermal<br>Enerji Laboratuvarı Yeraltı Suyu Maden Kaynakları<br>Araştırma Merkezi |
|   | Cl <sup>-</sup>   | Titrimetrik                 |   |
|   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                  | İyon<br>kromatografisi      |   |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | Titrimetrik   |                             |   |

## Bulgular

### Yeraltısularının Hidrokimyasal Özellikleri

Yeraltısuyu kalitesi ve kimyasal özellikleri, akifer kayaçların özelliklerine ve antropojenik girdilere bağlıdır. Bu nedenle suyun farklı amaçlara uygunluğunu belirlemek için hidrokimyasal özellikleri ve su kalitesi bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Adimalla 2019). Elde edilen analiz sonuçlarına göre yeraltısuyu örneklerinin sıcaklık (°C), pH, EC, Eh, TDS, Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve Cl dahil olmak üzere fizikokimyasal parametreleri

ve ana iyonları Tablo 2'de istatistiksel özetler olarak listelenmiştir.

Su tiplerinin belirlenmesinde Schoeller (1955) ve Piper (1944) sınıflandırmalarından yararlanılmıştır. Schoeller (1955) sınıflamasında yeraltısuları klorür sınıflamasına göre, '*Olağan klorürlü sular*', sülfat sınıflamasına göre, '*Olağan sülfatlı sular ve Oligosülfatlı Sular*' ve karbonat-bikarbonat sınıflamasına göre '*Olağan karbonatlı ve Hipokarbonatlı sular*' sınıflarına girmektedir. Çalışma alanındaki yeraltısularının

hidrojeokimyasal fasiyesi ise, meq/L birimlerinde ana kanyonlar (Ca, Mg, Na ve K) ve anyonlar (HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve Cl) kullanılarak Piper (1944) 'e göre değerlendirilmiştir. Piper'e (1944) göre, çalışma alanındaki baskın su türleri Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve Ca-HCO<sub>3</sub>'tür (Şekil 3).

#### Yeraltısularının Kullanım Özellikleri

Çalışma alanındaki yeraltısuları içme, kullanma ve sulama suyu gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu nedenle bu bölümde yeraltısularının kullanılabilirliği analiz sonuçları, ilgili standartlar ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

#### Yeraltısularının İçilebilirlik Özellikleri

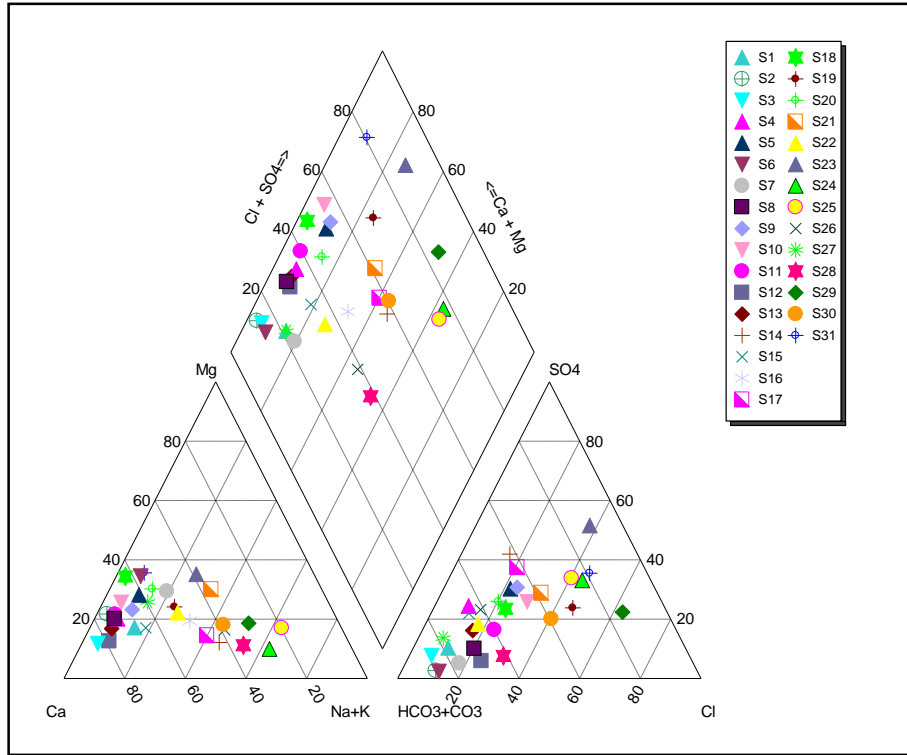
İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu (TSE266) (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (2011) standartları kullanılmıştır. Tablo 2'e göre, yeraltı suyu örneklerinin sıcaklığı 12,40 (°C) -16,00 (°C) aralığındadır. Yeraltı suyu örneklerinin pH değerleri 7,15 ile 8,10 arasındadır. Bu da suların alkali su özelliklerine sahip olduğunu gösterir.

Çalışma alanındaki tüm su numuneleri, pH değerleri içme suyu kılavuzlarında belirtilen sınırlar içinde olduğundan pH değerleri açısından içilebilir özelliktedir (WHO 2011; TSE266 2005). Yeraltısuyu örneklerinin EC değerleri 290,00 (µS/cm) ile 2900,00 (µS/cm) arasında değişmektedir. Su numunelerindeki yüksek EC değerleri, çalışma alanındaki tuzların zenginleşmesine ve evsel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan antropojenik etkilerin varlığına işaret etmektedir. Ayrıca yeraltısularının TDS değerleri ise 150,00 ile 1780,00 (mg/L) arasında değişmektedir. İçme suyu standartlarında belirtilen TDS sınır değeri 500 mg/L'dir (WHO 2011). Buna göre çalışma alanındaki S19, S21, S23, S24, S25, S26, S28, S29, S30 ve S31 numuneleri içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. Çalışma alanındaki su örnekleri sertlik derecelerine göre değerlendirildiğinde "*az sert sular*" ile "*çok sert sular*" arasında oldukları belirlenmiştir. Suların sertlik derecelerindeki değişimin yağışlar ve suların kayalarla etkileşimine bağlı olduğu düşünülmektedir.

**Tablo 2.** Yeraltısuyunun fiziksel ve kimyasal parametrelerinin istatistiksel özeti

**Table 2.** Statistical summary of physical and chemical parameters of groundwater

| Parametreler     | Birimler | Örn. sayısı | Min.   | Mak.    | Ort.   | Std. Sapma | Su Kalite Standartları |               |
|------------------|----------|-------------|--------|---------|--------|------------|------------------------|---------------|
|                  |          |             |        |         |        |            | WHO (2011)             | TSE266 (2005) |
| Sıcaklık         | (°C)     | 31          | 12,40  | 16,00   | 14,21  | 0,87       |                        |               |
| pH               |          | 31          | 7,15   | 8,10    | 7,72   | 0,22       | 6,5–8,5                | 6,5–9,5       |
| EC               | (µS/cm)  | 31          | 290,00 | 2900,00 | 811,19 | 582,10     |                        |               |
| Eh               | (mV)     | 31          | 260,00 | 350,00  | 287,96 | 22,08      |                        |               |
| Sertlik          | (°F)     | 31          | 15,80  | 69,97   | 28,91  | 14,28      |                        |               |
| TDS              | (mg/L)   | 31          | 150,00 | 1780,00 | 488,09 | 361,10     | 500                    |               |
| Ca               | (mg/L)   | 31          | 40,00  | 175,50  | 79,54  | 32,39      | 300                    | 200           |
| Mg               | (mg/L)   | 31          | 5,31   | 82,42   | 22,40  | 18,00      | 30                     | 150           |
| Na               | (mg/L)   | 31          | 2,00   | 285,90  | 56,55  | 77,32      | 200                    | 200           |
| K                | (mg/L)   | 31          | 0,78   | 18,51   | 5,27   | 4,91       |                        | 12            |
| HCO <sub>3</sub> | (mg/L)   | 31          | 105,60 | 333,00  | 189,09 | 47,25      | 500                    |               |
| SO <sub>4</sub>  | (mg/L)   | 31          | 3,98   | 482,60  | 99,56  | 109,71     | 250                    | 250           |
| Cl               | (mg/L)   | 31          | 8,80   | 519,80  | 88,78  | 113,79     | 250                    | 250           |
| NO <sub>3</sub>  | (mg/L)   | 31          | 0,20   | 232,50  | 37,88  | 59,27      | 50                     |               |
| CO <sub>3</sub>  | (mg/L)   | 31          | 2      | 2       | 2      | 0          |                        |               |
| Fe <sub>T</sub>  | (µg/L)   | 31          | 100,00 | 1487,00 | 374,61 | 380,28     |                        | 200           |
| Pb <sub>T</sub>  | (µg/L)   | 31          | 58,00  | 697,00  | 112,51 | 126,09     | 10                     | 10            |
| As <sub>T</sub>  | (µg/L)   | 31          | 10,60  | 112,34  | 43,16  | 22,05      | 10                     | 10            |
| B                | (µg/L)   | 31          | 100,00 | 958,00  | 321,48 | 218,93     | 2400                   | 1000          |
| SAR              | (meq/l)  | 31          | 0,08   | 6,02    | 1,39   | 1,70       |                        |               |



Şekil 3. Piper Diyagramı (Piper 1944)

Figure 3. Piper Diagram (Piper 1944)

Analiz sonuçlarına göre çalışma alanındaki su örneklerinin majör iyon konsantrasyonları da içilebilirlik için değerlendirilmiştir. WHO (2011) içme suyu kılavuzlarında Mg ve Na için izin verilen içme suyu sınırını sırasıyla 30 mg/L ve 200 mg/L olarak belirlemiştir. Buna göre S5, S19, S21, S23, S25, S29 ve S31 Mg için kabul edilebilir limiti ve S24, S25 ile S29 Na limitini aşmaktadır. Ca iyonları, herhangi bir su örneğinde WHO (2011) ve TSE266 (2005) standartlarında belirlenen içme suyu sınırını aşmamaktadır.

Çalışma alanındaki su örneklerinin WHO (2011) içme suyu kalitesi kılavuzu, içme suyu için kabul edilebilir  $\text{HCO}_3$  iyon konsantrasyonu sınırını 500 mg/L olarak belirlemektedir. Çalışma alanındaki tüm su, içme suyu yönergelerinde belirlenen sınır değer altındadır (WHO 2011). İçme suyu kalitesi için WHO (2011) ve TSE266 (2005) standartları içme suyundaki  $\text{SO}_4$  iyon konsantrasyonu için kabul edilebilir sınırı 250 mg/L olarak belirlemiştir. Çalışma alanında, numunelerden S23, S24, S25, S29 ve S31 kabul edilebilir  $\text{SO}_4$  sınırını aşmaktadır. Cl, yeraltısularında bulunan başka bir majör anyondur. Yüksek klorür konsantrasyonu (> 250 mg/L) suda tuzlu bir tat yaratır (WHO 2011). Çalışma alanında örneklerin %16,12'si (S23, S24, S25, S29 ve S31) 250 mg/L'nin üzerinde değerlere sahiptir. Bu, çalışma alanındaki yeraltısularının insan faaliyetlerinden (evsel atık su, septik tanklar),

özellikle tarımsal faaliyetlerden (gübre, pestisitler) ve ayrıca klorür içeren minerallerin çökmesi gibi doğal kaynaklardan önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir (Adimalla 2019). Bu durumda yeraltısuyundaki Cl konsantrasyonları hem doğal hem de antropojenik kökene sahiptir.

Bu çalışmada, su numunelerinin analiz sonuçlarında iz elementler ( $\text{Fe}_T$ ,  $\text{Pb}_T$ ,  $\text{As}_T$  ve B) ve nitrat ( $\text{NO}_3$ ) konsantrasyonları, kirletici kaynaklar açısından içme suyunda istenmeyen iyonlar olarak nitelendirildikleri için değerlendirilmiştir (Tablo 2). İnceleme alanındaki yeraltısularının  $\text{Fe}_T$  iyonu konsantrasyonları 100 ile 1487,00  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir. İçme suyunda izin verilen  $\text{Fe}_T$  konsantrasyonu TSE266 (2005) içme suyu standartlarına göre 200  $\mu\text{g/L}$  olarak belirlenmiştir. Buna göre yeraltısularında  $\text{Fe}_T$  konsantrasyonunun, tüm su örneklerinde belirlenen sınır değeri aştığı tespit edilmiştir. Yüksek  $\text{Fe}_T$  konsantrasyonu insan sağlığı için risklidir. Özellikle bu tür su örnekleri içmek için kullanıldığında estetik ve hemokromatozise neden olabilmektedir (Boateng vd. 2019). Çalışma alanındaki yeraltısularının  $\text{Pb}_T$  konsantrasyonları 58,00  $\mu\text{g/L}$  ile 697,00  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir. WHO (2011) ve TSE266 (2005) kriterlerine göre, içme suyu için kabul edilebilir  $\text{Pb}_T$  konsantrasyonu sınırı 10  $\mu\text{g/L}$ 'dir. Buna göre çalışma alanındaki tüm su örnekleri sınır değeri aşmıştır. Yüksek  $\text{Pb}_T$  seviyeleri, insan sağlığı için

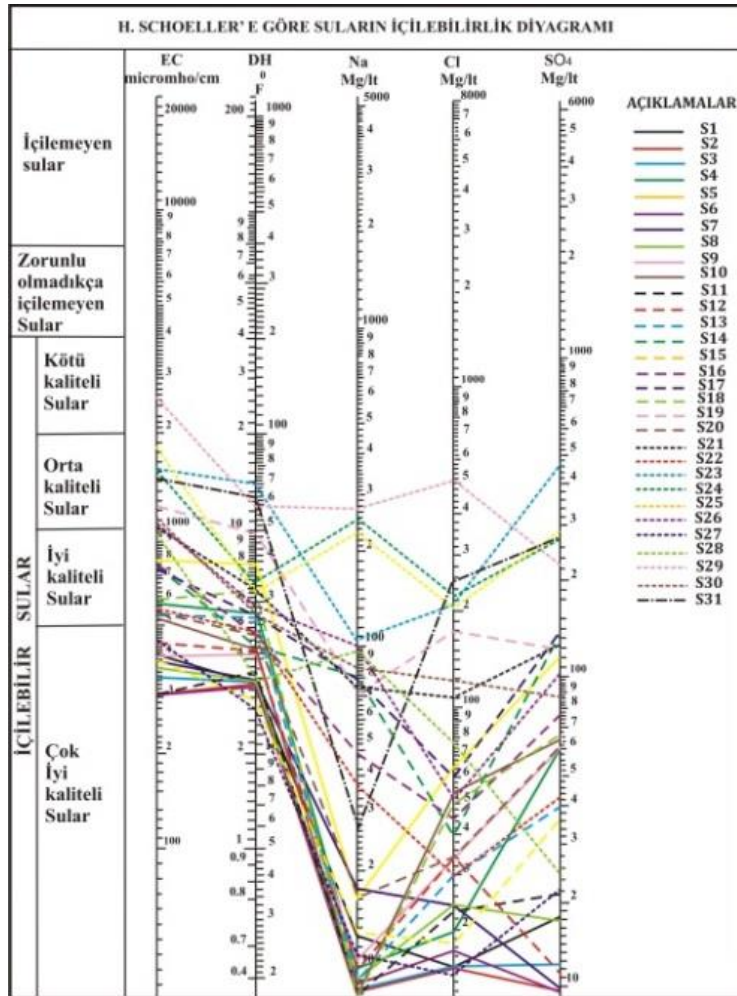
önemli bir risk faktörüdür. Bu, beyin hasarına ve sinir sistemi bozulmasına neden olabilir (Boateng vd. 2019). Çalışma alanındaki yeraltısularının  $As_T$  konsantrasyonları ise 10,60  $\mu\text{g/L}$  ile 112,34  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir. WHO (2011) ve TSE266 (2005) standartlarına göre, içme suyundaki  $As_T$  konsantrasyonu için kabul edilebilir sınır 10  $\mu\text{g/L}$  olarak belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanındaki tüm su örnekleri sınır değeri aşmıştır. Arsenik içeren su tüketimi yüksek kanser riski içermektedir (Varol ve Şekerci 2018). Çalışma alanı yeraltısularında tespit edilen bir diğer eser element B'dir. Çalışma alanındaki yeraltısuyu konsantrasyonları 100,00  $\mu\text{g/L}$  ile 958,00  $\mu\text{g/L}$  arasındadır. WHO (2011) ve TSE266 (2005) standartları, içme suyu için kabul edilebilir B konsantrasyonu sınırının sırasıyla 2400  $\mu\text{g/L}$  ve 1000  $\mu\text{g/L}$  olduğunu belirtmektedir. Buna göre çalışma alanındaki su örneklerinin B konsantrasyonu sınır değerlerin altındadır. Ayrıca çalışma alanındaki yeraltı suyunun  $NO_3$  konsantrasyonları 0,20 mg/L ile 232,50 mg/L arasındadır. WHO (2011) standartları içme suyundaki maksimum  $NO_3$  değerinin 50 mg/L

olduğunu belirtmektedir. Çalışma alanında, 31 numune arasından 8 numune (S10, S23, S24, S25, S28, S29, S30 ve S31)  $NO_3$  için kabul edilebilir sınırı aşmaktadır.  $NO_3$ 'ün ana kaynağı tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atık sudur.  $NO_3$ , dünyadaki yeraltısuyu kirliliğine en büyük katkıda bulunan etkenlerden biridir.

Ayrıca su örnekleri için, Schoeller içilebilirlik diyagramı hazırlanmıştır. Bu diyagrama göre yeraltısularının EC parametresi açısından '**kötü kalite- çok iyi kaliteli sular**' sınıfı aralığında, diğer parametreler açısından '**orta kaliteli-çok iyi kaliteli sular**' sınıfında yer aldığı görülmektedir (Şekil 4).

#### Yeraltısularının Sulama Suyu Olarak Kullanım Özellikleri

Su örneklerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'e göre değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Schoeller içilebilirlik diyagramı

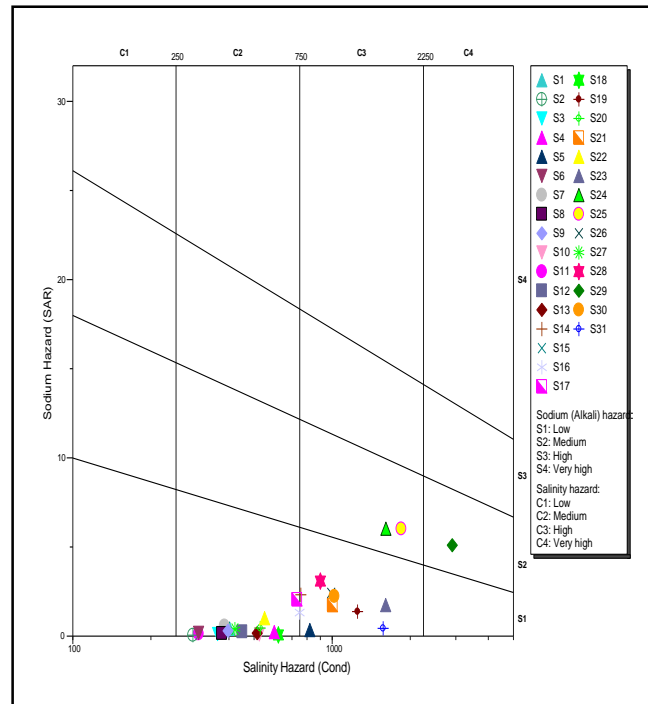
Figure 4. Schoeller drinkability diagram

**Tablo 3.** Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinde sulama suyu kalite parametreleri sonuçları  
**Table 3.** The results of irrigation water quality parameters in groundwater samples in the study area

| Parametreler  | Min.  | Mak.  | Sınıflandırma aralıkları | Yeraltısuyu sulama sınıflamaları | Örnek sayısı (n= 31) |        |
|---|-------|-------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|--------|
|   |       |       |                          |                                  | In (no.)             | In (%) |
| SAR (Bouwer 1978)                                   | 0,08  | 6,02  | <6                       | Problem yok                      | 30                   | 96,78  |
|   |       |       | 6-9                      | Problem yaratabilir              | 1                    | 3,22   |
|   |       |       | >9                       | Problemlidir                     | -                    | -      |
| Geçirgenlik İndeksi (PI) (Doneen 1964)              | 20,19 | 78,10 | <60                      | Uygun                            | 25                   | 80,64  |
|   |       |       | >60                      | Uygun değil                      | 6                    | 19,35  |
| Na % (Wilcox 1955)                                  | 2,15  | 60,17 | <20                      | Mükemmel                         | 18                   | 58,08  |
|   |       |       | 20-40                    | İyi                              | 8                    | 25,80  |
|   |       |       | 40-60                    | İzin verilebilir                 | 4                    | 12,90  |
|   |       |       | 60-80                    | Şüpheli                          | 1                    | 3,22   |
|   |       |       | >80                      | Uygun değil                      | -                    | -      |
| Magnesium Tehlikesi (MH) (Paliwal 1972)             | 13,80 | 46,55 | <50                      | Uygun                            | 31                   | 100    |
|   |       |       | >50                      | Uygun değil                      | -                    | -      |
| Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) (Lloyd ve Heathcote) | 0,1   | 0,31  | <1,25                    | Uygun                            | 31                   | 100    |
|   |       |       | 1,25-2,50                | Sınırlı                          | -                    | -      |
|   |       |       | >2,50                    | Uygun değil                      | -                    | -      |

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı sınıflamalarına göre çalışma alanındaki sular genelde **C2S1 (Orta Tuzlulukta ve Az Sodyumlu)** ve **C3S1 (Yüksek Tuzlulukta ve Az Sodyumlu)** sular sınıfında yer almaktadır. Örnekler içerisinde sadece S24, S25 ve S29 örnekleri

farklılık göstermektedir. S24 ve S25 örnekleri **C3S2 (Fazla Tuzlu ve Orta Sodyumlu)** sular sınıfında, S29 no'lu örnek ise **C4S2 (Aşırı Tuzlu ve Orta Sodyumlu)** sular sınıfında yer almaktadır. Bu üç örneğin sulama suyu olarak kullanılabilirliği sınırlıdır (Şekil 5).



**Şekil 5.** ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı  
**Figure 5.** USA Salinity Laboratory Diagram



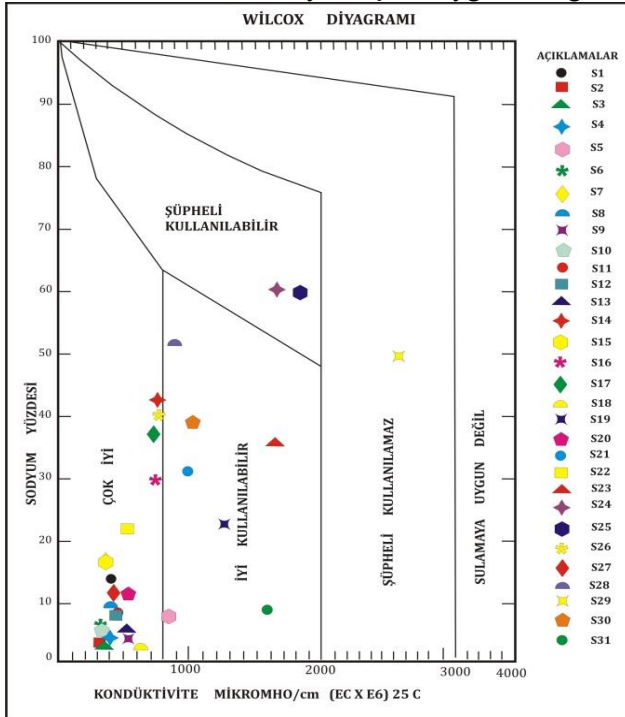
Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemede kullanılan diğer bir diyagram ise Wilcox diyagramıdır. Wilcox diyagramına göre çalışma alanında S24, S25 no'lu örnekler **“Şüpheli Kullanılabilir”**, S29 numaralı örnek **“Şüpheli Kullanılmaz”** sular sınıfında olarak belirlenmiştir. Bu örnekler dışındaki diğer tüm sular ise **“Çok İyi İyile Kullanılabilir”** sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 6).

#### Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR):

Tarımsal alanlarda sulama suyu olarak çalışma alanında yeraltı suyunun kullanımında en önemli parametrelerden biri olan SAR değerleri 0,08 ile 6,02 meq/L arasındadır. SAR değerlerine göre sadece çalışma alanındaki S24 numunesi sulama suyu açısından **“sorun yaratabilir”**. Diğer örnekler çalışma alanındaki SAR değeri açısından **“Problem yok”** sınıfındadır.

#### Geçirgenlik İndeksi (PI):

Çalışmada geçirgenlik indeksi değerleri hesaplanmış ve değerlendirmelerde Doneen 1964 sınıflandırması kullanılmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının PI değerleri 20,19 ile 78,10 arasında değişmektedir. PI değerlerine göre çalışma alanındaki örneklerin %80,69'u sulama suyuna uygundur (Tablo 3). S14, S24, S25, S26, S28 ve S30 numuneleri sulama suyu için uygun değildir.



Şekil 6. Wilcox diyagramı

Figure 6. Wilcox diyagram

#### Sodyum Yüzdesi (%Na):

Tüm doğal sularda, sudaki sodyum yüzdesi, suyun tarımsal amaçlara uygunluğunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Wilcox 1955). Karbonat iyonu ile

birleşen sodyum, alkali toprakların oluşumuna neden olur. Ek olarak, klorür iyonu ile birleşen sodyum, yüksek tuz içeriğine sahip topraklar oluşturur. Bu toprakların her ikisi de bitki büyümesini engeller ve mahsul verimini düşürür. Bu nedenle, çalışma alanında yeraltı suyunun sulama suyu olarak kullanıma uygunluğunu belirlemek için ayrı ayrı numunelerin sodyum yüzde değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3). Numunelerin Sodyum yüzdesine göre %58,08'i **“Mükemmel”** sulama suyu sınıfında, numunelerin %25,80'i **“İyi”** sulama suyu sınıfında, numunelerin %12,90'ı **“İzin Verilebilir”** sulama suyu sınıfında yer almaktadır. Örneklerin %3,22'si (S24) çalışma alanında **“Şüpheli sulama suyu”** sınıfındadır.

#### Magnezyum Tehlikesi (MH):

Sulama suyu kalitesinin uygunluğunu değerlendirmek için geliştirilen bir başka yöntem de Paliwal (1972) tarafından geliştirilen "Magnezyum tehlike" oranıdır (MH). Ca ve Mg iyonları genellikle suda denge durumundadır ve bu denge durumunu sürdürme eğilimindedir. Sudaki Na iyonları veya diğer tuzlar fazla ise sudaki magnezyum konsantrasyonu artar ve bu da toprak yapısına zarar verir. Bu durum mahsul verimini etkilemektedir (Varol ve Davraz 2016). Buna göre çalışma alanındaki yeraltı suyunun MH değerleri hesaplanmıştır. MH değerleri 13,80 ile 46,55 arasında değişmektedir. Buna göre tüm su örnekleri sulama suyu olarak kullanıma **“uygun”**dur.

#### Artıksal Sodyum Karbonat (RSC):

RSC, sulama suyu olarak su kullanımının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer önemli parametredir (Varol ve Davraz 2016). Magnezyum ve kalsiyum iyonları yüksekse, bu iyonlar karbonat olarak çökeltme eğilimindedir. Diğer yandan karbonat çökeltmesi gerçekleşirken sodyum konsantrasyonu artar ve sudaki sodyum toprağa sabitlenir. Böylece toprak geçirgenliği azalır (Varol ve Şekerci 2018). Lloyd ve Heathcote (1985), sulama suyunu RSC'ye göre üç ana grupta sınıflandırmıştır. RSC değerlerine göre, tüm numuneler **“Uygun”** sulama suyu sınıfındadır (Tablo 3).

#### Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Akşehir Gölü havzasındaki yeraltısularının kalitesi ve kullanılabilirliği incelenmiştir. Akşehir ilçesi Konya il sınırları içerisinde yer almakta aynı zamanda ilçe sınırları içerisine Akşehir Gölü de girmektedir. Çalışma alanındaki tüm litolojik birimler otokton konumlu olarak bölgede yerleşim göstermektedir. Çalışma alanının hidrojeolojik özelliklerini belirlemek için her bir litolojik birim akifer kapasitesine göre değerlendirilmiş ve geçirimsiz (akifer), yarı geçirimli (akitard), geçirimli-1 (taneli akifer) ve geçirimli-2

(karstik akifer) olmak üzere dört grup tanımlanmıştır. Yeraltısuyu açısından en önemli akifer birimi, alüvyon ve yamaç molozlarından oluşan taneli akiferdir. Bölgede alüvyon birim üzerinde yeraltısuyu kuyuları açılmış olup, yeraltısuyu ağırlıklı olarak alüvyondan alınmaktadır.

Yeraltısularından alınan 31 örnek üzerinde fizikokimyasal analizler yanı sıra ağır metal ve nitrat analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre yeraltısularının su tipleri belirlenmiştir. Schoeller (1955) sınıflamasında yeraltısuları klorür sınıflamasına göre, '**Olağan klorürlü sular**', sülfat sınıflamasına göre, '**Olağan sülfatlı sular ve Oligosülfatlı Sular**' ve karbonat-bikarbonat sınıflamasına göre '**Olağan karbonatlı ve Hipokarbonatlı sular**' sınıflarına girmektedir. Piper'e (1944) göre ise, çalışma alanındaki baskın su türleri Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve Ca-HCO<sub>3</sub>'tür. Yeraltısularının kimyasal özelliklerinin oluşumunda bölgede geniş yayılım gösteren kireçtaşlarının etkisi büyüktür. Hidrokimyasal özellikleri belirlenen yeraltısularının kalitesi ve kullanım alanlarını belirlemek için farklı diyagram ve sınıflamalar kullanılmış bunun yanında ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırmaları da yapılmıştır.

Buna göre yeraltısularının öncelikle içme suyu olarak kalitesi ve kullanılabilirliği belirlenmiştir. Sular pH değerleri bakımından alkali su özelliklerine sahiptir. Su numunelerindeki yüksek EC değerleri, çalışma alanındaki tuzların zenginleşmesine ve evsel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan antropojenik etkilerin varlığına işaret etmektedir. Ayrıca yeraltısularının TDS değerleri ise 150,00 ile 1780,00 (mg/L) arasında değişmektedir. Buna göre çalışma alanındaki S19, S21, S23, S24, S25, S26, S28, S29, S30 ve S31 numuneleri içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. Çalışma alanındaki su örnekleri sertlik derecelerine göre değerlendirildiğinde "**az sert sular**" ile "**çok sert sular**" arasında oldukları belirlenmiştir. Suların sertlik derecelerindeki değişimin yağışlar ve suların kayalarla etkileşimine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Majör iyonlar açısından içilebilirlik değerlendirmelerinde S5, S19, S21, S23, S25, S29 ve S31 Mg için kabul edilebilir limiti ve S24, S25 ile S29 ise Na için kabul edilebilir limiti aşmaktadır. Ayrıca çalışma alanında, numunelerden S23, S24, S25, S29 ve S31 kabul edilebilir SO<sub>4</sub> sınırını aşmaktadır. Aynı şekilde örneklerin %16,12'si (S23, S24, S25, S29 ve S31) 250 mg/L'nin üzerinde Cl konsantrasyonuna sahiptir. Bu durum, çalışma alanındaki yeraltısularının insan faaliyetlerinden (evsel atık su, septik tanklar), özellikle tarımsal faaliyetlerden (gübre, pestisitler) ve ayrıca klorür içeren minerallerin çökmesi gibi doğal kaynaklardan önemli ölçüde etkilendiğini

göstermektedir. Su numunelerinin analiz sonuçlarında iz elementler (Fe<sub>T</sub>, Pb<sub>T</sub>, As<sub>T</sub> ve B) ve nitrat (NO<sub>3</sub>) konsantrasyonları da içme suyu olarak kullanıma uygunluğunu değerlendirmede kullanılmıştır. Yeraltısularında Fe<sub>T</sub>, Pb<sub>T</sub>, As<sub>T</sub> konsantrasyonunun, tüm su örneklerinde belirlenen sınır değeri aştığı tespit edilmiştir. Yeraltısularında yüksek miktarlarda Fe<sub>T</sub>, Pb<sub>T</sub>, As<sub>T</sub> iyonlarının varlığı doğal kayaç-su etkileşimi sonucunda gelişmektedir. Bölgede yüzeyleyen litolojik birimler ve bu birimlerden türeyerek oluşmuş olan çakıl, kum, kil, silt gibi sedimanlar ile yeraltısuyunun etkileşimi iyon artışlarına sebep olmaktadır. Özellikle, silt ve siltli kil sedimanları ve kil mineralleri yüksek miktarda As<sub>T</sub> içerir (Anawar vd. 2003). Yüksek Fe<sub>T</sub>, Pb<sub>T</sub> ve As<sub>T</sub> konsantrasyonu insan sağlığı için risklidir. Ayrıca çalışma alanındaki yeraltı suyunun NO<sub>3</sub> konsantrasyonları 0,20 mg/L ile 232,50 mg/L arasındadır. Çalışma alanında, 31 numune arasından 8 numune (S10, S23, S24, S25, S28, S29, S30 ve S31) NO<sub>3</sub> için kabul edilebilir sınırı aşmaktadır. NO<sub>3</sub>'ün ana kaynağı tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atık sudur. Ek olarak su örnekleri için, Schoeller içilebilirlik diyagramı hazırlanmıştır. Bu diyagrama göre yeraltısularının EC parametresi açısından '**kötü kalite- çok iyi kaliteli sular**' sınıfı aralığında, diğer parametreler açısından '**orta kaliteli-çok iyi kaliteli sular**' sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Su örneklerinin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır. ABD Tuzluluk Lab. Diyagramı sınıflamalarına göre çalışma alanındaki sular genel olarak **C2S1 (Orta Tuzlulukta ve Az Sodyumlu)** ve **C3S1 (Yüksek Tuzlulukta ve Az Sodyumlu)** sular sınıfında yer alırken, S24 ve S25 örnekleri **C3S2 (Fazla Tuzlu ve Orta Sodyumlu)** sular sınıfında, S29 no'lu örnek ise **C4S2 (Aşırı Tuzlu ve Orta Sodyumlu)** sular sınıfında yer almaktadır. Wilcox diyagramına göre ise S24, S25 no'lu örnekler "**Şüpheli Kullanılabilir**", S29 numaralı örnek "**Şüpheli Kullanılamaz**" sular sınıfında olarak belirlenmiştir. Bu örnekler dışındaki diğer tüm sular ise "**Çok İyi-İyi Kullanılabilir**" sular sınıfında yer almaktadır.

SAR değerlerine göre sadece çalışma alanındaki S24 numunesi sulama suyu açısından "**sorun yaratabilir**". PI değerlerine göre çalışma alanındaki örneklerin %80,69'usulama suyuna uygundur. S14, S24, S25, S26, S28 ve S30 numuneleri sulama suyu için uygun değildir. Numunelerin Sodyum yüzdesine göre ise %58,08'i "**Mükemmel**" sulama suyu

sınıfında, numunelerin %25,80'i “İyi” sulama suyu sınıfında, numunelerin %12,90'ı “İzin Verilebilir” sulama suyu sınıfında yer almaktadır. Örneklerin %3,22'si (S24) çalışma alanında “Şüpheli” sulama suyu sınıfındadır. MH ve RSC değerlerine göre ise tüm su örnekleri sulama suyu olarak kullanıma “uygun” olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak bölgede yeraltısuyu kalitesinin içmesuyu kullanımına uygun olmadığı, sulama suyu kullanımı için ise birtakım kısıtlamaların olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki yeraltı suyu kimyası ve kalitesinde jeojenik faktörler rol oynasa da bölgedeki en önemli kirlenici kaynak tarımsal faaliyetlerdir. Bu nedenle öncelikle su kalitesini tehdit eden kirlenicileri ortadan kaldıracak önlemler alınmalıdır. Ayrıca, çalışma alanındaki yeraltı suyu kullanım öncelikleri belirlenmelidir. Yeraltı suyu kullanımının önceliği içme suyu ise, tarımsal, endüstriyel ve / veya evsel gibi diğer sektörler için alternatif su kaynakları araştırılmalıdır.

## Kaynaklar

- Adimalla N. 2019. Groundwater quality for drinking and irrigation purposes and potential health risks assessment: a case study from semi-arid region of South India. *Expos Health*. 11(2):109-123.  
doi: 10.1007/s12403-018-0288-8
- Anawar HM, Akai J, Komaki K, Terao H, Yoshioka T, Ishizuka T, Safiullah S, Kato K. 2003. Geochemical occurrence of arsenic in groundwater of Bangladesh: sources and mobilization processes. *J. Geochem Explor*.77(2-3):109-131.  
doi: 10.1016/S0375-6742(02)00273-X
- Arya S, Kumar V, Sharma S. 2012. Analysis of water quality parameters of groundwater in and around Diamond Cement Industry, Jhansi, Central India. *Int J Curr Res*. 4(3):75-77.
- Babiker IS, Mohamed MAA, Hiyama T. 2007. Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resour Manag*. 21:699-715.  
doi: 10.1007/s11269-006-9059-6
- Boateng TK, Opoku F, Akoto O. 2019. Heavy metal contamination assessment of groundwater quality: a case study of Oti landfill site, Kumasi. *Appl Water Sci*. 9(2):1-15.  
doi: 10.1007/s13201-019-0915-y
- Bouwer H. 1978. Groundwater hydrology, International student edition. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha Ltd 480 s.
- Doneen LD. 1964. Notes on water quality in agriculture. California, the USA: University of California, Davis 96 s.
- Kazi TG, Arain MB, Jamali MK, Jalbani N, Afridi HI, Sarfraz RA, Baig JA, Shah AQ. 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study. *Ecotox Environ Safe*.72(2):301-309.  
doi: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.024
- Li F, Zhu J, Deng X, Zhao Y, Li S. 2018. Assessment and uncertainty analysis of groundwater risk. *Environ Res*. 160:140-151.  
doi: 10.1016/j.envres.2017.09.030
- Lloyd JW, Heathcote JA. 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to ground water; [Erişim tarihi: 2021 Oca 15]. Erişim Adresi: <https://www.osti.gov/biblio/6026514>
- Mutlu T, Verep B. 2018. The Water Quality of Streams Flowing Into South Eastern Black Sea Coasts In Terms Of Physico-Chemical Properties. *Fresen Environ Bull*. 27(5A):3752-3758.
- Paliwal KV. 1972. Irrigation with saline water. New Delhi, India: Indian Agricultural Research Institute 198 s.
- Piper AM. 1944. A graphic procedure in the chemical interpretation of water analysis. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 25(6):914-928.  
doi: 10.1029/TR025i006p00914
- Schoeller H. 1955. Géochimie des eaux souterraines: application aux eaux des gisements de pétrole. Paris: Société des éditions Technip 213 s. [in French]
- Şener Ş, Şener E, Davraz A, Varol S. 2019. Hydrogeological and hydrochemical investigation in the Burdur Saline Lake Basin, southwest Turkey. *Geochemistry*.80(4):1-14.  
doi: 10.1016/j.chemer.2019.125592
- Şener Ş, Şener E. 2020. Özel Çevre Koruma Bölgelerinde Su Kalite Değerlendirmesi: Belek (Antalya, Türkiye) Örneği. *LimnoFish*. 6(2):100-110. [in Turkish]  
doi: 10.17216/LimnoFish.689997
- TSE266. 2005. Türk Standartları Enstitüsü, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart. İnsani tüketim amaçlı sular; [Erişim Tarihi: 2021 Oca 15]. Erişim Adresi: <http://infogroup.com.tr/media/files/sular.pdf>
- Umut M. 2009a. 1: 100,000 scale geological map of Turkey, Afyon - L-26 layout. Ankara: the General Directorate of Mineral Research and Exploration. Rapor No: 119. [in Turkish]
- Umut M. 2009b. 1: 100,000 scale geological map of Turkey, Iğın - L-27 layout. Ankara: the General Directorate of Mineral Research and Exploration. Rapor No: 120. [in Turkish]
- Varol S, Davraz A. 2014. Assessment of geochemistry and hydrogeochemical processes in groundwater of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environ Earth Sci*.71(11):4657-4673.  
doi: 10.1007/s12665-013-2856-3
- Varol S, Davraz A. 2016. Evaluation of potential human health risk and investigation of drinking water quality in Isparta city center (Turkey). *J Water Health*. 14(3):471-488.  
doi: 10.2166/wh.2015.187
- Varol S, Şekerci M. 2018. Hydrogeochemistry, water quality and health risk assessment of water resources contaminated by agricultural activities in Korkuteli (Antalya, Turkey) district center. *J Water Health*. 16(4):574-599.  
doi: 10.2166/wh.2018.003
- Varol S, Köse İ. 2020. Yazır Gölü Havzası (Çavdır/BURDUR) Su Kaynaklarının

- Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi. *LimnoFish*. 6(3):201-214. [in Turkish]  
doi: [10.17216/LimnoFish.705947](https://doi.org/10.17216/LimnoFish.705947)
- Varol S. 2021. Potential health risk assessment related to arsenic pollution and hydrogeochemistry of groundwaters in Akşehir and surroundings (Konya/Turkey). *J Water Health*. 19(1):97-107.  
doi: [10.2166/wh.2020.107](https://doi.org/10.2166/wh.2020.107)
- WHO. 2004. World Health Organization. Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd edition; [Erişim Tarihi: 2021 Oca 15].Erişim Adresi: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/GDWQ2004web.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf)
- WHO. 2011. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. 4th edition; [Erişim Tarihi: 2021 Oca 15].Erişim Adresi: [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/9789241548151\\_eng.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/9789241548151_eng.pdf)
- Wilcox LV. 1955. Classification and use of irrigation waters. Washington DC, the USA: United States Department of Agriculture 19 s