

Araştırma Makalesi / Research Article

## Erdemli (Mersin) Kıyı Akiferi Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

*An Assessment of The Water Quality of Erdemli (Mersin) Coastal Aquifer*

Fatma ECE KARAKUŞ<sup>1</sup> , Mehmet Ali KURT<sup>\*2</sup> , Ümit YILDIRIM<sup>3</sup>

Cüneyt GÜLER<sup>4</sup> , Onur GÜVEN<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 33343, Yenişehir, Mersin

<sup>2\*</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 33343, Yenişehir, Mersin

<sup>3</sup> Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü 69000, Bayburt

<sup>4</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 33343, Yenişehir, Mersin

<sup>5</sup> Bayburt Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, 69000, Bayburt

Geliş (Received): 4 Ekim (October) 2023 / Düzeltme (Revised): 20 Kasım (November) 2023 / Kabul (Accepted): 22 Kasım (November) 2023

### ÖZ

Kıyı akiferlerinin su kalitesi ve miktarı değişen iklim koşulları ve artan antropojenik faaliyetler nedeniyle her geçen gün olumsuz yönde daha fazla etkilenmektedir. Bu çalışma, Erdemli Kıyı Akiferi'nin (EKA) su kalitesinin ve kirlenici unsurlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Ağustos 2020'de yeraltı suyu örnekleme yapılarak suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standartlarına göre değerlendirilmiştir. EKA'nın Akdeniz kıyısına yakın olan bazı noktalardan alınan örneklerde elektriksel iletkenlik değerlerinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu örneklerin sodyum (Na<sup>+</sup>) ve klorür (Cl<sup>-</sup>) derişimlerinin de yüksek olduğu ve WHO tarafından tavsiye edilen sınır değerlerin üzerinde oldukları belirlenmiştir. EKA'daki bir diğer önemli problem ise nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) kirliliğidir. Ağustos 2020 dönemi örneklerinin nitrat derişimleri 2,17-131,51 mg/L arasında değişmekte olup 15 örneğin nitrat derişimi sınır değerin (50 mg/L) üzerindedir. Bazı örneklerdeki iz element derişimleri de (Al, Fe ve Ni) WHO'da belirtilen sınır değerleri aşmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı suları, tarımsal sulama suyu kalitesi açısından değerlendirildiğinde, aktif deniz suyu girişiminin görüldüğü bölgelerdeki suların, sulama amacıyla kullanımının uygun olmadığı belirlenmiştir. Çalışma alanı ve civarında her geçen gün yeni tarım alanlarının açıldığı gözlenmektedir. Bu durum, EKA'daki azalan su kaynaklarının üzerindeki baskıyı daha da artırmaktadır. Sonuç olarak, EKA'da sürdürülebilir entegre su yönetiminin gecikmeksizin uygulanması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Antropojenik faaliyetler, Deniz suyu girişimi, Erdemli Kıyı Akiferi (EKA), Su kalitesi, Yeraltı suyu, Sulama suyu.

### ABSTRACT

*The water quality and quantity of coastal aquifers are increasingly adversely affected due to changing climate conditions and increasing anthropogenic activities. This study was conducted to determine the water quality and pollutants of the Erdemli Coastal Aquifer (ECA). In this study, groundwater sampling was carried out in August 2020 to determine the physical and chemical properties of the water. The obtained results were evaluated according to the World Health Organization (WHO) drinking water standards. It was found that the electrical conductivity values*

were quite high in samples taken from certain points near the Mediterranean coast of ECA. These samples also exhibited high sodium ( $Na^+$ ) and chloride ( $Cl^-$ ) concentrations, exceeding the recommended WHO limits. Another significant problem in the ECA is nitrate ( $NO_3^-$ ) pollution. The nitrate concentrations in the August 2020 samples ranged from 2.17 to 131.51 mg/L, with 15 samples exceeding the limit value (50 mg/L). Some samples also exceeded the WHO-established limit values for trace element concentrations (Al, Fe and Ni). When assessing the groundwater in the study area for agricultural irrigation water quality, it was determined that waters in areas with active seawater intrusion were not suitable for irrigation purposes. The study area and its vicinity have been witnessing the opening of new agricultural areas on a daily basis. This situation further exacerbates the pressure on the declining water resources in the ECA. As a result, the implementation of sustainable integrated water management in ECA is urgently needed.

**Keywords:** Anthropogenic activities, Seawater intrusion, Erdemli Coastal Aquifer (ECA), Water quality, Groundwater, Irrigation water.

## GİRİŞ

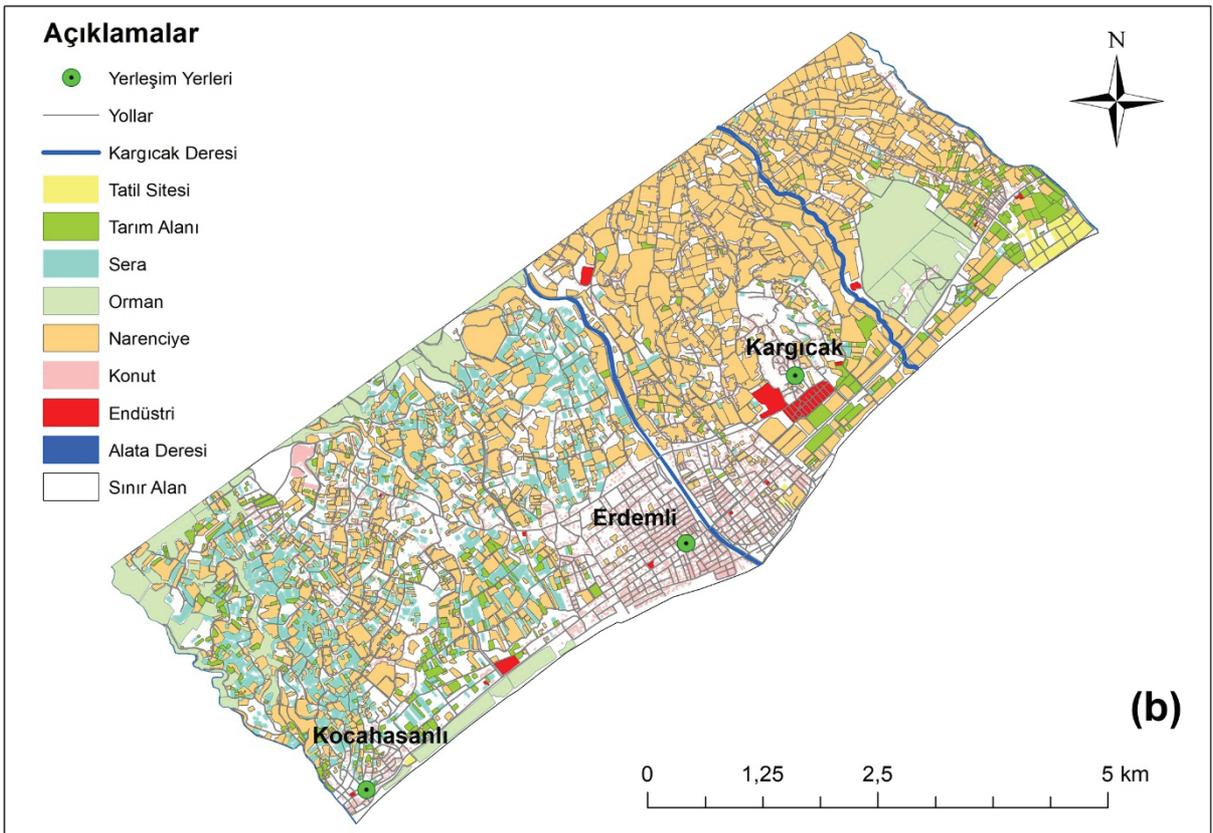
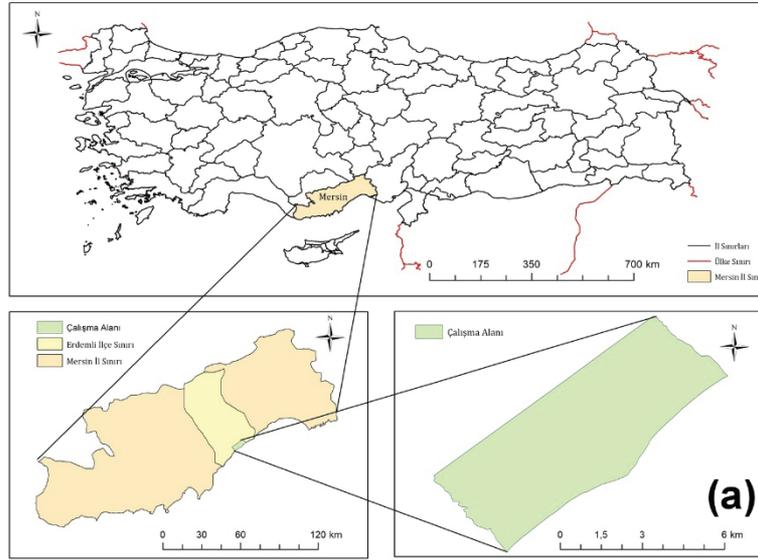
Son yıllarda, kurak ve yarı kurak kıyı kesimlerinde yeraltı suyu kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Bu tür alanlarda bulunan sular, sürekli olarak artan iklim ve çevre baskısı altındadır (Alfarrah ve Walraevens, 2018). Kıyı bölgelerinin dünyadaki en yoğun nüfusa sahip bölgeler olması sebebiyle, tatlı suya olan talep te yüksektir (Gaaloul vd., 2012). Kıyı bölgelerinde yeraltı sularının kalite ve miktar açısından bozulması, değişen iklim şartları ve antropojenik faktörler arasındaki karmaşık etkileşimlerin bir sonucudur. Kıyı akiferleri, yoğun endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerle ilişkili kirlilik ve aşırı pompaj, kötü tasarlanmış kanalizasyon sistemleri, uygunsuz atık bertarafı gibi antropojenik kökenli faktörler tarafından kirlenmektedir. Bunun yanı sıra, jeojenik kökenli kirlilik kaynakları nedeniyle tehdit altında bulunan kıyı akiferlerinde, akiferin doğal kayaç yapısının jeokimyasal özelliklerine bağlı olarak kirlenme meydana gelebilmektedir. Sonuç olarak, doğal ve antropojenik faktörlerin etkisiyle kıyı akiferlerindeki tatlı su kaynakları üzerinde yoğun kirlilik baskıları oluşmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Mersin ilinin batısında bulunan Erdemli Kıyı Akiferi (EKA) yeraltı suyunun fiziko-kimyasal parametrelerinin belirlenmesi ve doğal ve antropojenik etkiler sonucu oluşan kirlilik kaynaklarının ortaya

konulmasıdır. Çalışma alanı, Mersin ili Erdemli ilçesi sınırları içerisinde olup  $36^{\circ}34'$ – $36^{\circ}39'K$  ve  $34^{\circ}14'$ – $34^{\circ}21'D$  koordinatları arasında yer almaktadır. (Şekil 1a). Çalışma alanının doğusunda Arpaçbahşiş Deresi, batısında Kocahasanlı Deresi ve güneyinde Akdeniz bulunmakta olup bu alan yaklaşık olarak  $45 \text{ km}^2$ 'dir. Yapılan çalışmanın amacı doğrultusunda EKA'nın kirlenmeye karşı hassasiyetini etkileyebilecek faktörlerin daha iyi anlaşılabilmesi için arazi kullanım haritası oluşturulmuştur (Şekil 1b). Bu çalışmayla birlikte, yeraltı suyu kalitesini etkileyen kirliliğin boyutu, alansal dağılımı, risk alanları ve su kirliliğine neden olan faktörler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Çalışma alanında, lokasyonları GPS yardımıyla kaydedilen 50 yeraltı suyu kuyusundan Ağustos 2020'de örnekleme yapılmıştır. Örnek alma işlemi, kuyuya ait pompanın çalıştırılarak yeraltı suyunun bir müddet boşa aktırılması sonrasında gerçekleştirilmiştir. Her kuyudan ikişer adet yeraltı suyu örneği alınmış olup bu amaç için  $250 \text{ mL}$ 'lik yüksek yoğunluklu polietilen kaplar kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru (a) ve arazi kullanım haritası (b).

Figure 1. Location map (a) and land use map (b) of the study area.

Karakuş, Kurt, Yıldırım, Güler, Güven

Bu örneklerden bir tanesi katyon, bir tanesi ise anyon analizleri için ayrılmıştır. Katyon analizleri için alınan örneklere yaklaşık 2 mL HNO<sub>3</sub> ilave edilmiştir. Alınan tüm örnekler, içerisinde soğutulmuş termojel kalıplar bulunan bir buzluğa konularak laboratuvara nakledilmiş ve analizler tamamlanıncaya kadar +4 °C'deki buzdolabında muhafaza edilmiştir.

Yeraltı suyu örneklerinin fiziksel parametreleri (sıcaklık, pH, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli, çözülmüş oksijen, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk) multiparametre ölçüm cihazı ile arazide ölçülmüştür. Su örneklerinin karbonat ve bikarbonat derişimleri dijital büret kullanılarak titrasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Majör katyonların (Ca, K, Mg ve Na) ve iz elementlerin (Li, B, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Cd, Sb, Ba ve Pb) analizleri Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Agilent marka ICP-MS cihazı kullanılarak, majör anyonların (Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ve PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) analizleri Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Hach Lange marka DR6000 model UV spektrofotometre cihazı ile yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen hidrokimyasal parametrelere ait dağılım haritaları ve çalışma alanının güncel arazi kullanım haritası bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı ile oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki yeraltı suyu örneklerinin hidrojeokimyasal sınıflandırmaları Yarı Logaritmik Schoeller diyagramı (Schoeller, 1955), sulama suyu olarak kullanılabilirlik değerlendirmeleri ise ABD Tuzluluk diyagramı (United States Salinity Laboratory Staff, 1954) ve Wilcox diyagramı (Wilcox, 1954) kullanılarak yapılmıştır.

## TARTIŞMALAR

### Fiziksel Parametreler

Suların sıcaklığı coğrafi konuma, su tablasının derinliğine, bölgeden bölgeye değişen coğrafi ve çevresel faktörlere bağlıdır. Yeraltı sularının sıcaklığı genellikle yıl boyunca oldukça az değişim göstermekte olup yüzey sularına göre daha düşüktür. Ortamdaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler suyun sıcaklığına bağlı olarak gelişir (Akbulut, 2016). Sıcaklığın artmasıyla, sularda çözülmüş oksijen derişimleri azalmaktadır. Ayrıca, suyun sıcaklığının artması, pH ve Eh gibi fiziksel parametreleri de doğrudan etkilemektedir. EKA alanında Ağustos 2020'de ölçülen sıcaklık değerleri; 18,3-24,8 °C arasında değişmektedir (Şekil 2a). WHO içme suyu standartlarında sıcaklık için bir sınır değer belirtilmemiştir (WHO, 2011).

Hidrojen iyonu derişimi (pH), minerallerin çözünürlüğü, elementlerin hareketliliği ve su içinde meydana gelen biyojeokimyasal reaksiyonlar için önemlidir. EKA'da yeraltı suyu örneklerinin pH değerleri 7,11-7,82 arasında, değişmektedir (Şekil 2b). Su örneklerinin tümü WHO içme suyu standartlarında belirtilen değer (6,5-8,5) aralığındadır (WHO, 2011).

Elektronların bir yerden başka bir yere aktarıldığı (yükseltgenme-indirgenme reaksiyonları) kimyasal reaksiyonlarda sulu bir çözeltinin yükseltgenme potansiyeli Eh olarak ifade edilmektedir (Akbulut, 2016). EKA'da su örneklerinin Eh değerleri 153,60-259,90 mV (Şekil 2c) arasında değişmektedir. WHO içme suyu standartlarında Eh için sınır değer belirtilmemiştir (WHO, 2011).

Elektriksel iletkenlik (Eİ), suyun içilebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli parametrelerden biridir. EKA'da su

örneklerinde ölçülen en düşük Eİ değeri 540  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en yüksek Eİ değeri ise 4358  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir (Şekil 2d). Diğer bir fiziko-kimyasal gösterge olan tuzluluk Eİ ile doğrudan ilişkilidir. En yüksek Eİ değerinin ölçüldüğü kuyuda, deniz suyu girişi etkisi olması nedeniyle tuzluluk değerinin de yüksek olduğu (2,32 g/L) belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda en düşük Eİ değerleri Alata Deresi'nin batısında, kuzeybatısında ve kuzeydoğusunda ölçülmüştür (Şekil 2d). Akdeniz'in kıyısındaki kuyulardan alınan su örneklerinin çoğu yüksek Eİ değerlerine sahiptir. WHO içme suyu standartlarında elektriksel iletkenlik (Eİ) için sınır değer belirtilmemiştir (WHO, 2011).

Tuzluluk, toprak ve su kaynaklarını etkileyen ve doğal ekosistemde bozulmalara neden olan önemli bir çevresel problemdir. Artan yeraltı suyu tuzluluğu; sodyum, sülfat ve klorür gibi bazı elementlerin yüksek derişimlerinden kaynaklanmaktadır (Krishan vd., 2021). Genel olarak, çoğu yeraltı suyunun tuzlanmasına neden olan süreçler; kıyı akiferlerinde meydana gelen deniz suyu girişi, karasal kökenli doğal ve antropojenik tuzlu yeraltı suları ve karışık kökenli tuzlu yeraltı suları şeklindedir (TEMA, 2021). Tuzluluk ölçümleri, Eİ ve klorür derişimleri ile doğrudan ilişkilidir. EKA'da su örneklerinin tuzluluk değerleri 0,26-2,32 g/L arasında değişmektedir (Şekil 2e).

Çözünmüş oksijen ( $\text{ÇO}$ ), sucul ekosistemlerde önemli bir su kalitesi parametresidir.  $\text{ÇO}$  derişimleri düşük sıcaklıklarda yüksek, yüksek klorür içeren sularda ise düşüktür. Çalışma alanında en düşük  $\text{ÇO}$  değeri 1,21 mg/L, en yüksek  $\text{ÇO}$  değeri ise 8,14 mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 2f). Düşük  $\text{ÇO}$  değeri, yeraltı sularında bulunan çözünmüş oksijenin önemli ölçüde tüketildiğinin bir

göstergesidir. WHO içme suyu standartlarında çözünmüş oksijen için sınır değer belirtilmemiştir (WHO, 2011).

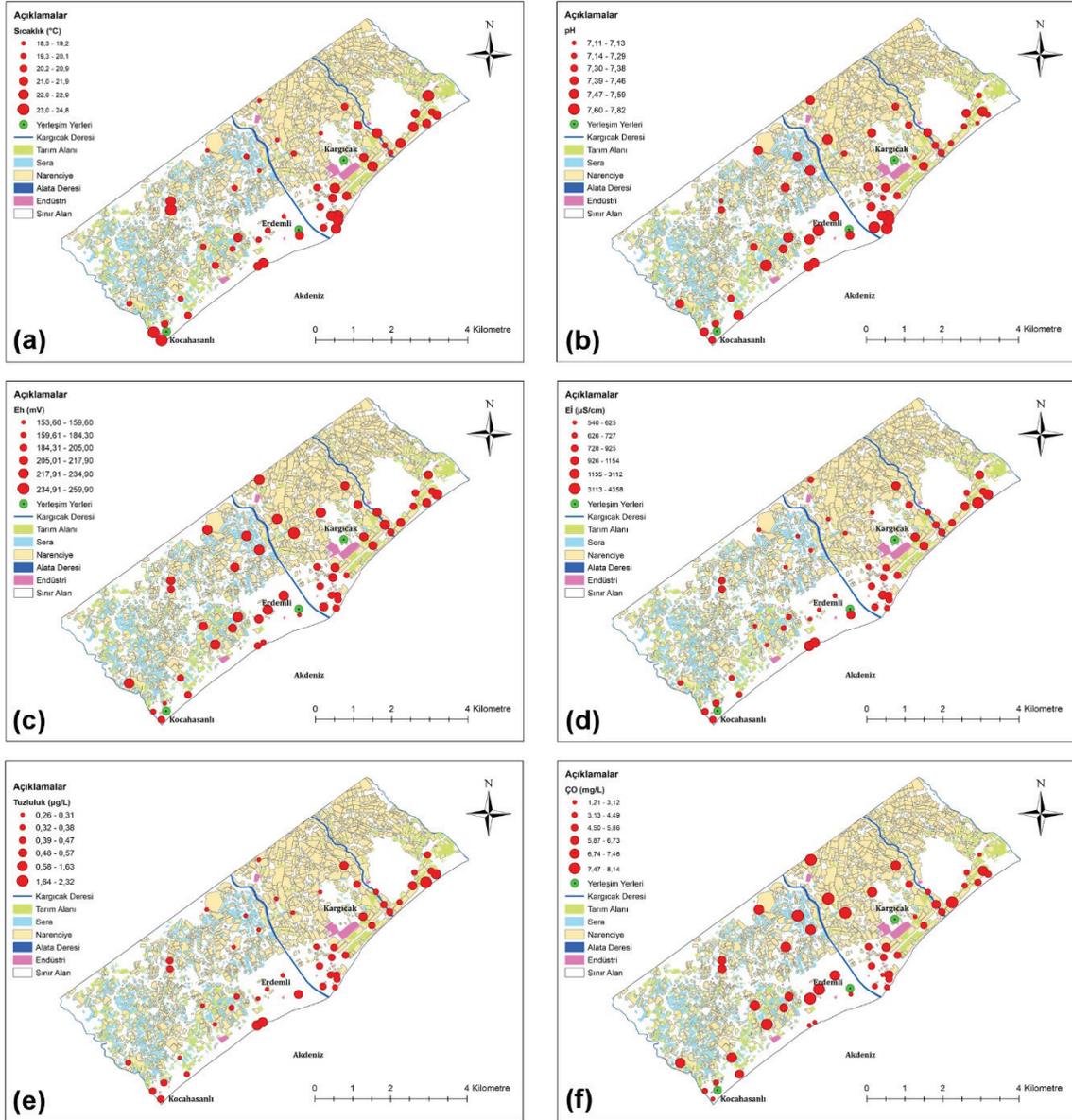
### Majör Katyon Analizleri

Yeraltı sularındaki kalsiyumun ( $\text{Ca}^{+2}$ ) kökeni; kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), jips ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) gibi minerallerle ilişkilidir (TEMA, 2021). Çalışma alanına ait yeraltı sularındaki  $\text{Ca}^{+2}$  derişimleri 74,14 mg/L ile 358,19 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 3a). Dağılım haritası incelendiğinde, yüksek  $\text{Ca}^{+2}$  değerleri çalışma alanının doğusunda yayılım göstermektedir (Şekil 3a). Bu durum, çalışma alanının kuzeydoğu kesimlerinde baskın litolojinin karbonatlı kayalar ile temsil edilmesinden kaynaklanmaktadır. WHO içme suyu standartlarında kalsiyum için sınır değer belirtilmemiştir (WHO, 2011).

Kalsiyum ile birçok açıdan benzerlik gösteren magnezyum ( $\text{Mg}^{+2}$ ) iyonunun doğal sulardaki ana kaynağı dolomit kayacıdır. Bunun yanında evaporitler, magmatik mineraller (olivin, biyotit, hornblend ve ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan talk, diyopsit, tremolit gibi mineraller de sularda magnezyuma kaynaklık edebilmektedir. (Speight, 2019). EKA'dan alınan su örneklerinin  $\text{Mg}^{+2}$  derişimlerinin 5,40-110,62 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3b). WHO içme suyu standartlarında magnezyum için herhangi bir sınır değer belirtilmemiştir (WHO, 2011).

Sulardaki sodyum ( $\text{Na}^+$ ) hem jeojenik hem de antropojenik kaynaklı olabilmektedir. Doğal sularda  $\text{Na}^+$  iyonları feldispat, plajiyoklas, nefelin, sodalit, stilbit, natrolit, jadelit ve benzeri minerallerden kaynaklanmaktadır (Leslie ve Lyons, 2018).

Karakuş, Kurt, Yıldırım, Güler, Güven



Şekil 2. Yeraltı suyu örneklerine ait sıcaklık (a), pH (b), Eh (c), elektriksel iletkenlik (d), tuzluluk (e) ve çözülmüş oksijen (f) dağılımları.

Figure 2. Spatial distributions of temperature (a), pH (b), Eh (c), electrical conductivity (d), salinity (e) and dissolved oxygen (f) of groundwater samples.

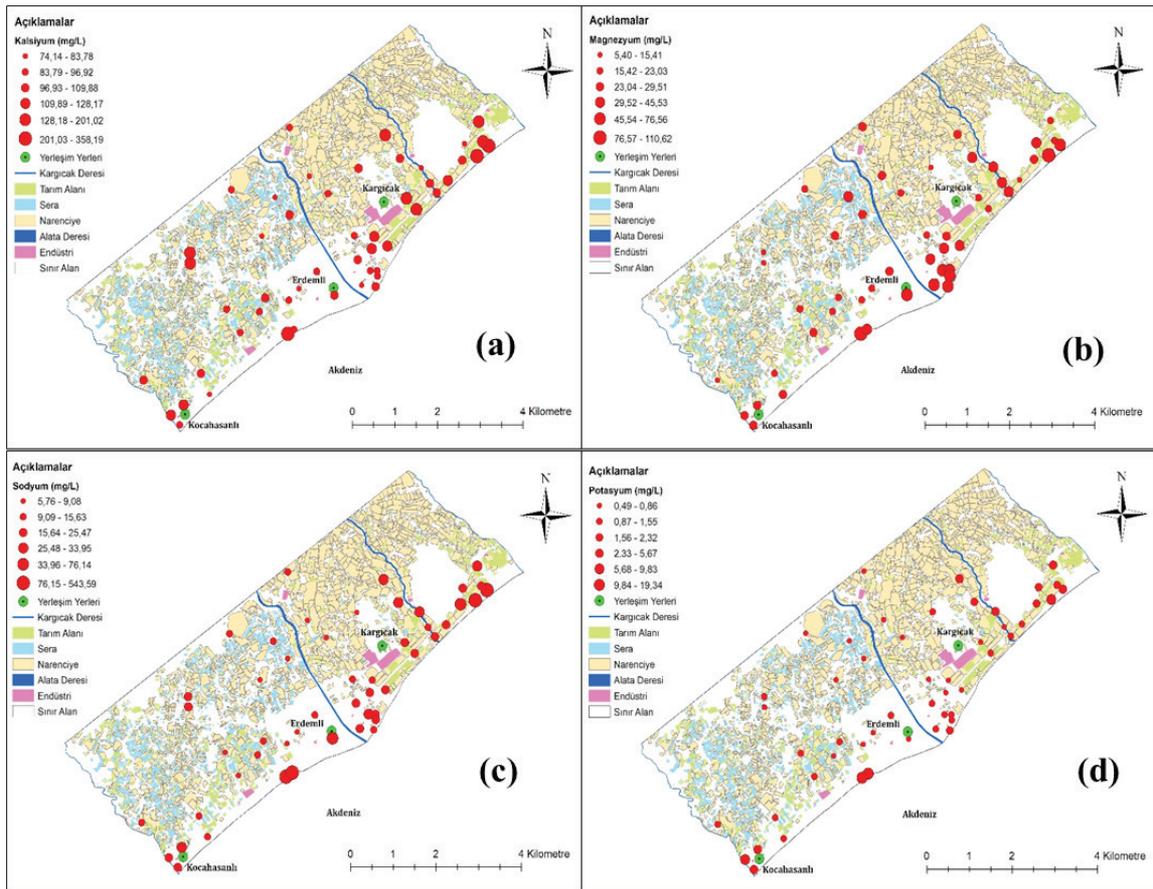
Çalışma alanındaki su örneklerinin  $\text{Na}^+$  derişimleri 5,76-543,59 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 3c). WHO içme suyu

standardında izin verilen maksimum  $\text{Na}^+$  miktarı 200 mg/L'dir (WHO, 2011). EKA'dan alınan dört adet örnekte bu sınır değerini aşıldığı tespit

edilmiştir. Genel olarak denize yakın noktalarda bulunan kuyularda yüksek  $\text{Na}^+$  derişimleri tespit edilmiştir. Bunun nedeninin tarımsal faaliyetlere bağlı olarak aşırı yeraltı suyu pompajı ve deniz suyu girişimi olduğu düşünölmektedir.

Alkali metal grubunda bulunan potasyum ( $\text{K}^+$ ) birçok açıdan  $\text{Na}^+$  ile benzer özellikler sergilemekte olup magmatik kayalarda  $\text{Na}^+$  iyonu, tortul kayalarda ise  $\text{K}^+$  iyonu hâkimdir.  $\text{K}^+$  içeren silikat kayalardaki ana mineraller ortoklaz, mikroklin, mikalar ve lösittir (Smedley ve Kinniburgh, 2022). Su-kayaç etkileşimi

sonucunda potasyum suyun bünyesine katılmaktadır. EKA'dan alınan su örneklerinin  $\text{K}^+$  derişimleri 0,49-19,34 mg/L arasındadır (Şekil 3d). En yüksek  $\text{K}^+$  derişimleri, Kargıcak Deresi'nin doğusunda ve yakın çevresinde görölmektedir (Şekil 3d). Ayrıca, Kocahasanlı Deresi'nin yakın çevresindeki üç örnekte ve Alata Deresi'nin güneybatısında kıyıya yakın bölgedeki iki kuyuda yüksek  $\text{K}^+$  derişimleri gözlenmiştir. WHO içme suyu standartlarında potasyum için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir (WHO, 2011).



Şekil 3. Yeraltı suyu örneklerine ait  $\text{Ca}^{+2}$  (a),  $\text{Mg}^{+2}$  (b),  $\text{Na}^+$  (c) ve  $\text{K}^+$  (d) derişimlerinin alansal dağılımları.

Figure 3. Spatial distributions of  $\text{Ca}^{+2}$  (a),  $\text{Mg}^{+2}$  (b),  $\text{Na}^+$  (c) and  $\text{K}^+$  (d) concentrations of the groundwater samples.

### Majör Anyon Analizleri

Yeraltı suyundaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının ana kaynakları; atmosfer ve topraktaki CO<sub>2</sub> ve karbonatlı kayaçların erimesidir (Varol, 2011). Doğal sulara karbonat ve bikarbonat derişimleri doğrudan CO<sub>2</sub> ve pH ile ilişkilidir. EKA'dan alınan su örneklerinin bikarbonat derişimlerinin 260,7-347,8 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4a). En yüksek bikarbonat derişimleri, çalışma alanının doğusunda görülmektedir (Şekil 4a). Çalışma alanının batısında da yer yer yüksek bikarbonat değerleri gözlenmektedir. Bölgedeki suların pH aralığı, bikarbonat iyonunun egemen olduğu aralıkta olduğundan dolayı, su kimyası açısından en baskın iyon bikarbonattır. WHO içme suyu standartlarında bikarbonat için sınır değeri belirtilmemiştir (WHO, 2011).

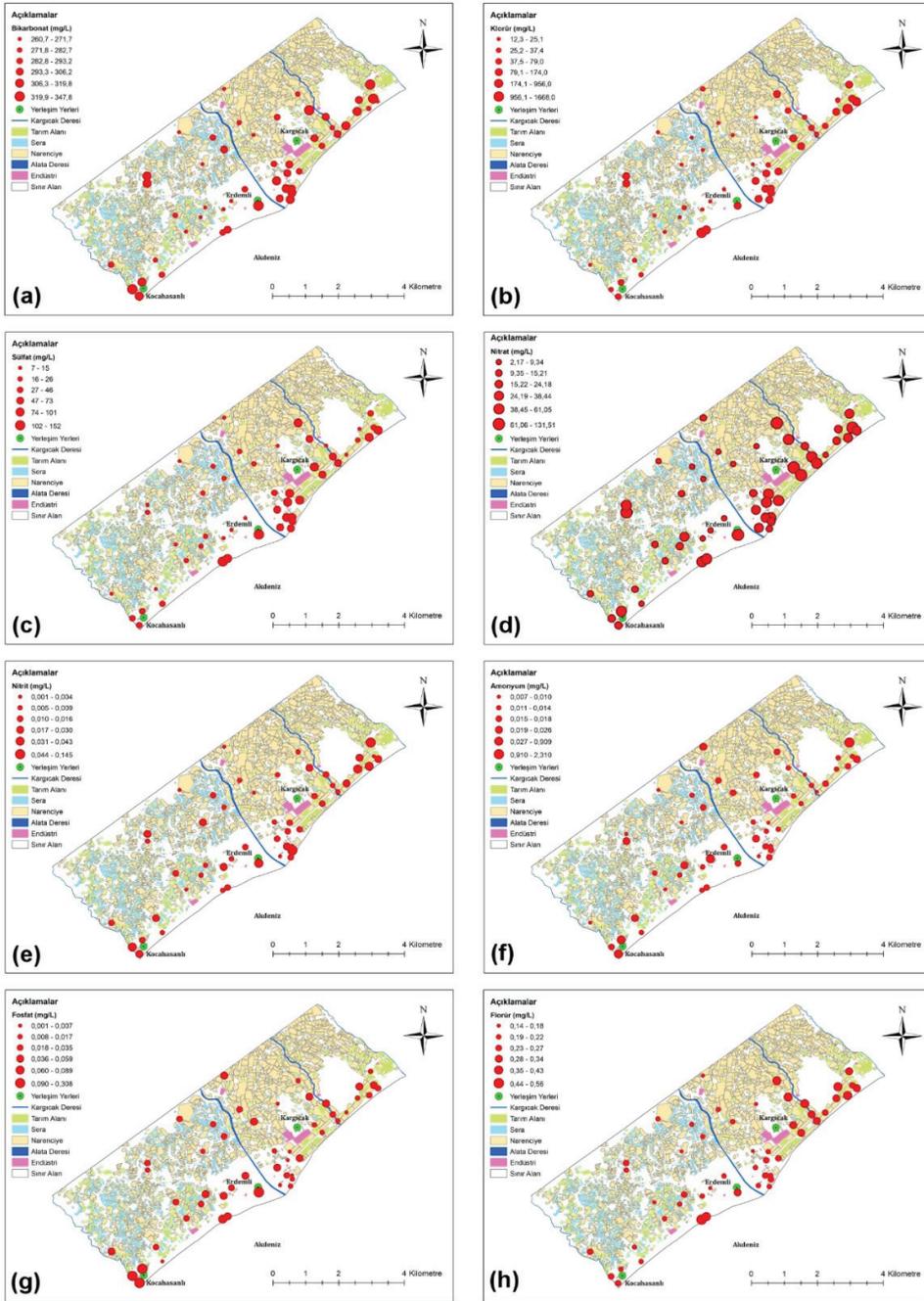
Kayaçların aşınması, atmosferik birikim, inorganik gübreler, çöp sızıntı suları, fosseptik atık suları, endüstriyel atıklar ve deniz suyu girişimi gibi hem doğal hem de antropojenik faktörler yeraltı sularında klorür (Cl<sup>-</sup>) içeriğinin artmasına neden olmaktadır (Mullaney vd., 2009). Çalışma alanında yeraltı suyu örneklerinin Cl<sup>-</sup> derişimlerinin 12,3-1668,0 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4b). Çalışma alanının batısındaki kıyı bölgesinde ve çalışma alanının kuzeyindeki iki ayrı kuyuda yüksek derişimlerin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4b). WHO'ya göre, suların içme suyu olarak kullanımı açısından Cl<sup>-</sup> sınır değeri 250 mg/L'dir (WHO, 2011). Bölgeden alınan dört adet örnekte sınır değerin aşıldığı tespit edilmiş olup bunların Cl<sup>-</sup> derişimleri 1668, 1330, 956, 537 mg/L'dir.

Yeraltı suyundaki sülfatın ana kaynağını jips ve anhidritin çözünmesi oluşturmaktadır.

Kıyı akiferlerinde görülen deniz suyu girişimi de (deniz suyunun tatlı yeraltı suyu ile karışması) sülfat derişimini arttırmaktadır (Samantara vd., 2017). EKA'dan alınan yeraltı suyu örneklerindeki SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> derişimleri 7 ile 152 mg/L arasında değışmektedir (Şekil 4c). Çalışma alanındaki SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> içerikleri büyük oranda bölgede yapılan tarımsal faaliyetlerden ve evsel atıklardan kaynaklanmaktadır. Çalışma alanının doğusunda evsel ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olmasından dolayı bu bölgede sülfat derişimleri yüksektir. İçme suyu olarak kullanımı açısından SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> için sınır değeri 500 mg/L olarak belirlenmiştir (WHO, 2011). Bu çalışma kapsamında alınan su örneklerinin tamamı bu sınır değerin altındadır.

Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) yeraltı sularında ve yüzey sularında antropojenik kaynaklı olarak bulunmaktadır (Krishan vd., 2021). Tarımda kullanılan gübreler nitrat kirliliğinin en önemli kaynağını oluşturmaktadır. Evsel ve endüstriyel kaynaklı atık sular ve kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen sızıntılar yeraltı suyunda NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kirliliğine neden olabilmektedir. Çalışma alanındaki yeraltı sularının NO<sub>3</sub><sup>-</sup> derişimleri 2,17 ile 131,51 mg/L arasında değışmektedir (Şekil 4d). WHO standardına (WHO, 2011) göre, içme sularında NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sınır değeri 50 mg/L'dir. Bölgeden alınan su örneklerinin 15'i bu sınır değerini aşmıştır.

Nitrifikasyon ve denitrifikasyonun ara ürünü olan nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) yeraltı sularında çok düşük derişimlerde bulunmaktadır. EKA'dan alınan su örneklerindeki NO<sub>2</sub><sup>-</sup> derişimlerinin 0,001 ile 0,145 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4e). WHO standardına (WHO, 2011) göre, içme sularında NO<sub>2</sub><sup>-</sup> sınır değeri 0,2 mg/L'dir. Bölgeden alınan tüm su örneklerinin NO<sub>2</sub><sup>-</sup> miktarları bu sınır değerinin altındadır.



Şekil 4. Yeraltı suyu örneklerine ait  $HCO_3^-$  (a),  $Cl^-$  (b),  $SO_4^{2-}$  (c),  $NO_3^-$  (d),  $NO_2^-$  (e),  $NH_4^+$  (f),  $PO_4^{3-}$  (g) ve  $F^-$  (h) derişimlerinin alansal dağılımları.

Figure 4. Spatial distributions of  $HCO_3^-$  (a),  $Cl^-$  (b),  $SO_4^{2-}$  (c),  $NO_3^-$  (d),  $NO_2^-$  (e),  $NH_4^+$  (f),  $PO_4^{3-}$  (g) and  $F^-$  (h) concentrations in groundwater samples.

Karakuş, Kurt, Yıldırım, Güler, Güven

Amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ), topraktaki organik maddelerin parçalanması, atık su arıtımı ve hayvan atıkları gibi kaynaklardan yeraltı sularına sızmaktadır. Çalışma alanından alınan su örneklerindeki  $\text{NH}_4^+$  derişimleri 0,007 ile 2,31 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4f). WHO standardına (WHO, 2011) göre, içme sularında  $\text{NH}_4^+$  için verilen sınır değer 1,5 mg/L'dir. Bölgeden alınan 48 nolu örnekte bu sınır değerini aştığı tespit edilmiştir.

Fosfat ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) yeraltı sularına hem jeojenik hem de antropojenik kaynaklardan karışabilmektedir. Jeojenik kaynaklı  $\text{PO}_4^{-3}$ , apatit minarelinin su-kayaç etkileşimi sonucunda çözünmektedir. Antropojenik  $\text{PO}_4^{-3}$ 'ün kaynağını ise fosfatlı gübreler, deterjanlar, kanalizasyon, hayvansal atıklar ve endüstriyel deşarjlar oluşturmaktadır. Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerindeki  $\text{PO}_4^{-3}$  derişimleri 0,001 ile 0,308 mg/L arasındadır (Şekil 4g). WHO içme suyu standardında fosfat için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir (WHO, 2011).

Jeojenik kökenli florür ( $\text{F}^-$ ), volkanik kayalar, mika mineralleri ve jeotermal kaynaklarda bulunmaktadır (Varol, 2011). Antropojenik kökenli  $\text{F}^-$  ise; kimyasal gübrelerin ve endüstriyel atıkların sızmasından kaynaklanmaktadır (Samantara vd., 2017). Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerindeki  $\text{F}^-$  derişimleri 0,14 ile 0,56 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4h). WHO standardına (WHO, 2011) göre, içme sularında  $\text{F}^-$  için belirlenen sınır değeri 1,5 mg/L'dir. Elde edilen sonuçlara göre,  $\text{F}^-$  için belirtilen sınır değeri aşan örnek bulunmamaktadır.

### İz Element Analizleri

Çalışma alanına ait yeraltı sularının iz element (Li, B, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe,

Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Cd, Sb, Ba ve Pb) içeriklerini belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır. Çalışma alanından alınan yeraltı sularındaki B, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, As, Cd, Sb ve Pb derişimlerinin oldukça düşük olduğu, buna karşın Al, Fe, Ni ve Br derişimlerinin ise oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, sadece WHO (2011) tarafından belirlenen sınır değerleri aşan elementler için dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Yeraltı suyu örneklerindeki alüminyum (Al) derişimleri 0,01 ile 1524,04  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir (Şekil 5a). WHO standardına (WHO, 2011) göre, içme sularında Al için belirlenen sınır değeri 100  $\mu\text{g/L}$ 'dir. Su örneklerinin on tanesinde ölçülen Al derişimleri sınır değerinin üstündedir. Genel olarak, yüksek Al derişime sahip örnekler Alata ve Kargıcak dereleri arasında dağılım sergilemektedir (Şekil 5a).

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerindeki demir (Fe) derişimleri 1,08 ile 3656,57  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir (Şekil 5b). WHO standardına (WHO, 2011) göre, içme sularında Fe için belirlenen sınır değeri 300  $\mu\text{g/L}$ 'dir. Alınan örneklerden sekiz tanesinde belirtilen sınır değeri aşılmış olup Fe ve Al derişimlerinin benzer alansal dağılım sergiledikleri görülmüştür (Şekil 5b).

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerinin nikel (Ni) derişimleri 0,30 ile 80,21  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmektedir (Şekil 5c). WHO standardına (WHO, 2011) göre, içme sularında Ni için belirlenen sınır değeri 70  $\mu\text{g/L}$ 'dir ve sadece bir örnekte (ES1-25 nolu) bu sınır değeri aşılmıştır.

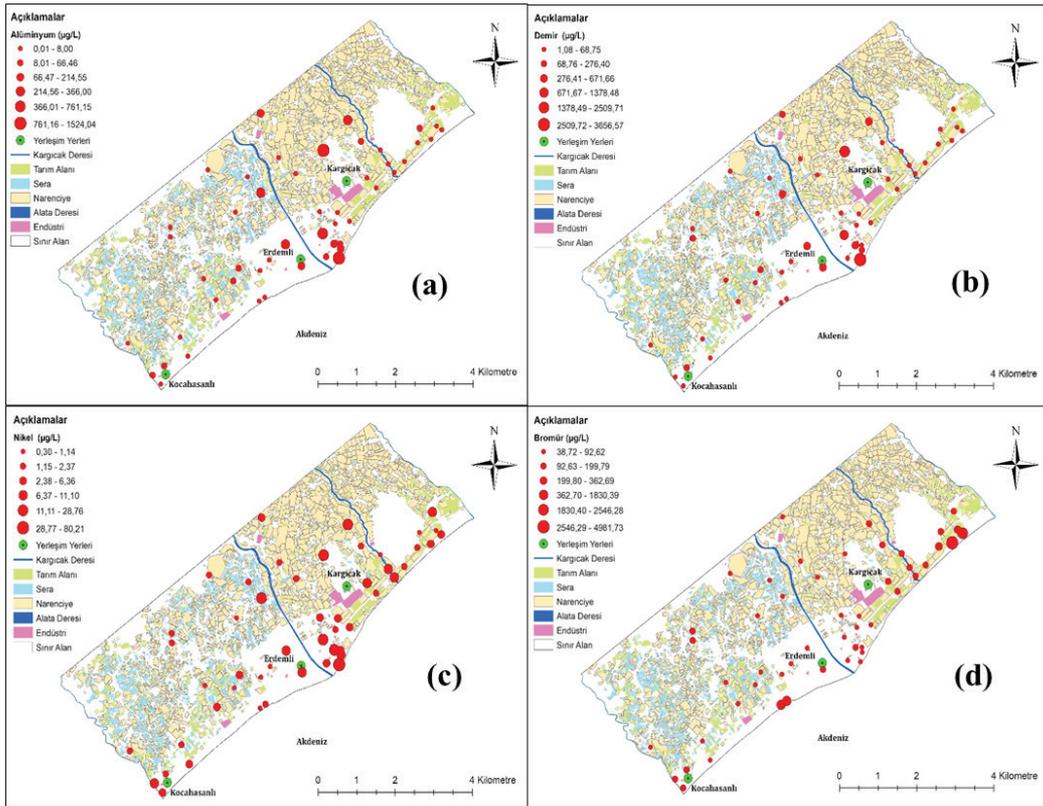
EKA'dan alınan su örneklerinin bromür (Br) derişimleri 38,72 ile 4981,73  $\mu\text{g/L}$  arasında değişmekte olup (Şekil 5d) çalışma alanının doğusunda bulunan bazı örneklerde yüksek

derişimler gözlenmiştir. Çalışma alanının batısındaki kıyı kesimlerinden alınan iki örnekte (ES1-5 ve ES1-7 nolu) oldukça yüksek Br derişimleri tespit edilmiştir (Şekil 5d). Kıyı bölgesinde bulunan kuyularda görülen deniz suyu girişi etkisi sebebiyle yüksek Br derişimleri gözlenmektedir. Ayrıca, çalışma alanına ait Br ve  $Cl^-$  dağılım haritaları oldukça benzerlik göstermektedir (Şekil 4b ve Şekil 5d).

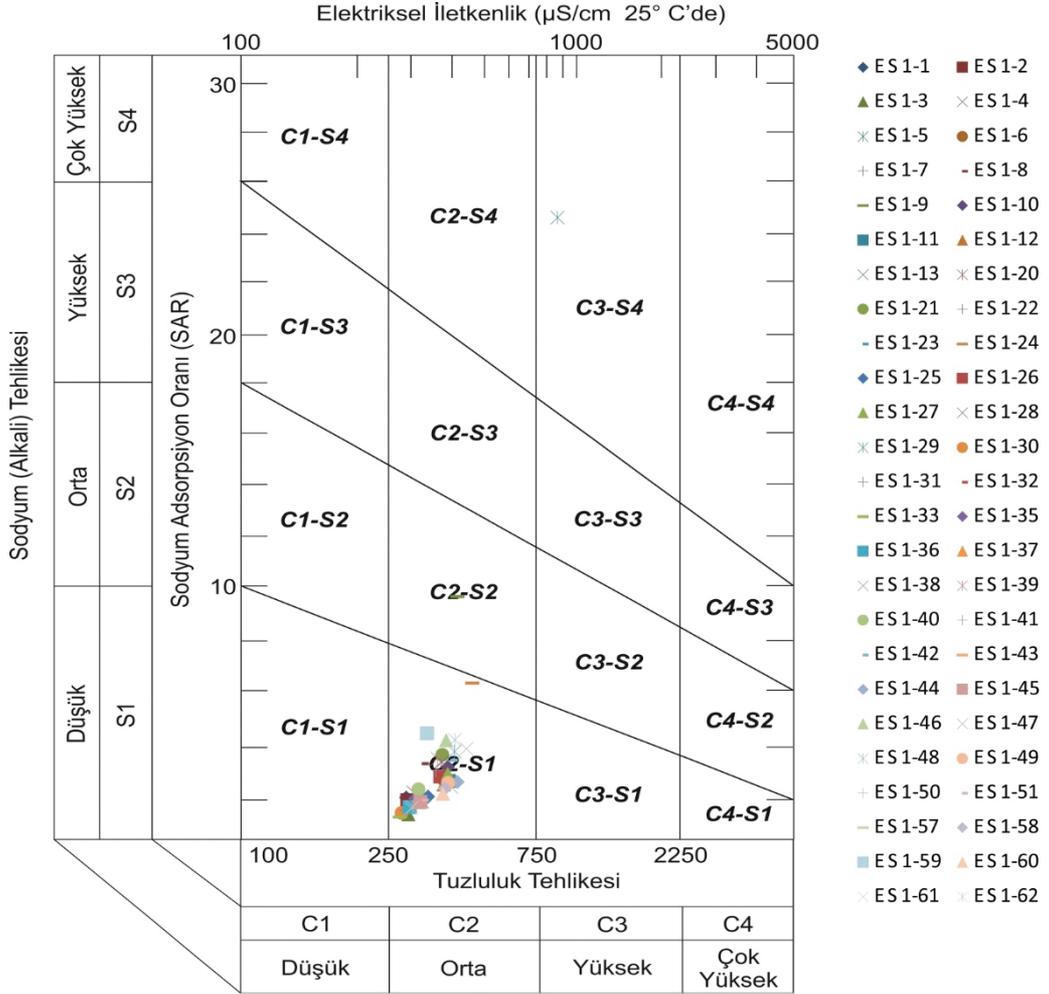
WHO içme suyu standardında Br için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir (WHO, 2011).

### Hidrokimyasal Sınıflandırmalar

EKA'dan alınan yeraltı suyu örneklerinin sulama suyu amaçlı kullanımını belirlemek için ABD Tuzluluk ve Wilcox diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 6 ve Şekil 7).



Karakuş, Kurt, Yıldırım, Güler, Güven



Şekil 6. Yeraltı suyu örneklerine ait ABD Tuzluluk Diyagramı.

Figure 6. US Salinity Diagram of groundwater samples.

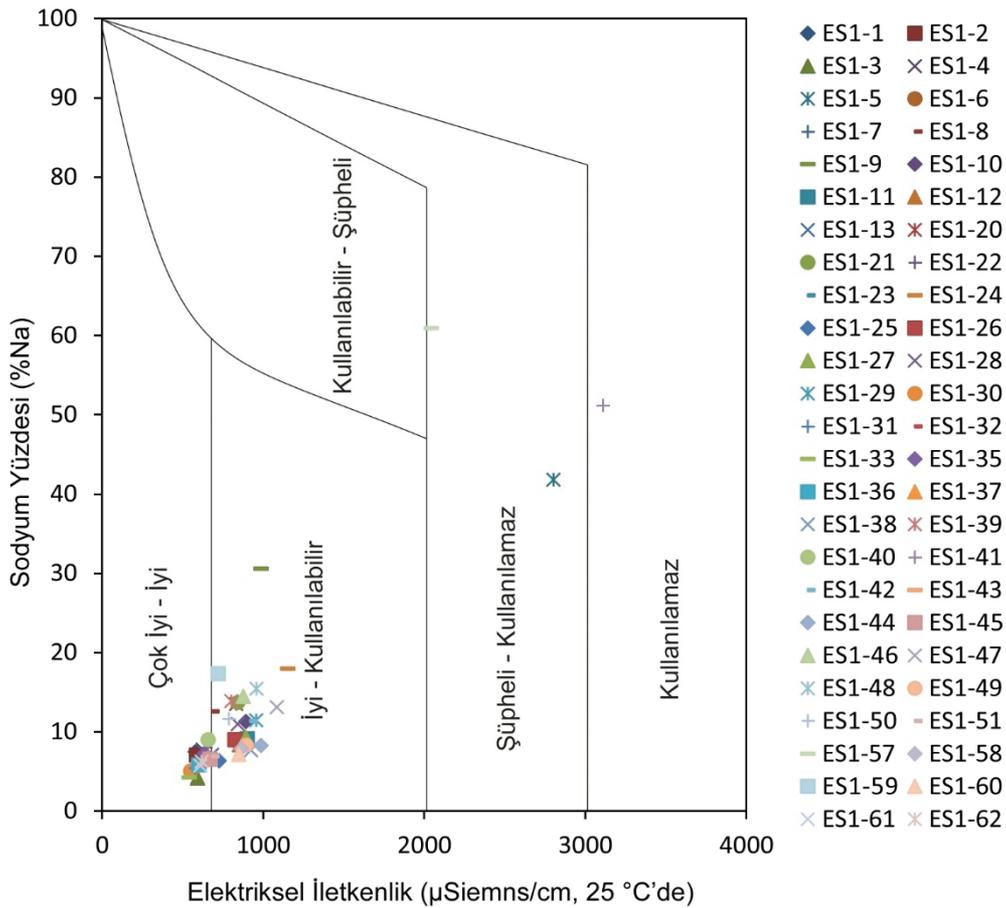
Genel olarak, iki örnek hariç diğer tüm örneklerin C2-S1 sınıfını temsil ettiği belirlenmiştir (Şekil 6). Elektriksel iletkenlik değeri 4358  $\mu\text{S/cm}$  ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) değeri 35,5 olan ES1-7 nolu örneğin C3-S4 sınıfında olduğu belirlenmiştir. C3 sınıfında bulunan sular, yüksek miktarda tuzlu sular olup bu sınıfta yer alan sular, sulama için sadece yüksek drenaja sahip olan arazilerde bazı bitki türleri için uygundur. S4 sınıfındaki

suların sulama suyu olarak kullanılması çok uygun olmayıp, ancak tuzluluk miktarı düşük olduğunda kullanılabilir. C2-S2 sınıfı suları temsil eden sadece bir örnek (ES1-41) mevcuttur.

Wilcox diyagramında ise Eİ ve %Na parametreleri kullanılmakta olup grafiğin dikey ekseninde %Na değerleri yatay ekseninde ise  $\mu\text{S/cm}$  cinsinden Eİ ölçümleri yer almaktadır. Bu

diyagramda sular, Çok iyi-İyi, İyi-Kullanılabilir, Kullanılabilir-Şüpheli, Şüpheli Kullanılmaz ve Kullanılmaz olmak üzere beş kategoriye ayrılmaktadır. Oluşturulan grafikte, EKA'dan alınan örneklerin çoğunluğu Çok İyi ve İyi-Kullanılabilir sular sınıfını temsil etmektedir (Şekil 7). Yalnızca ES1-41 nolu örnek "Kullanılmaz" sular sınıfında, iki örnek ise "Şüpheli-Kullanılmaz" sular sınıfındadır (Şekil 7).

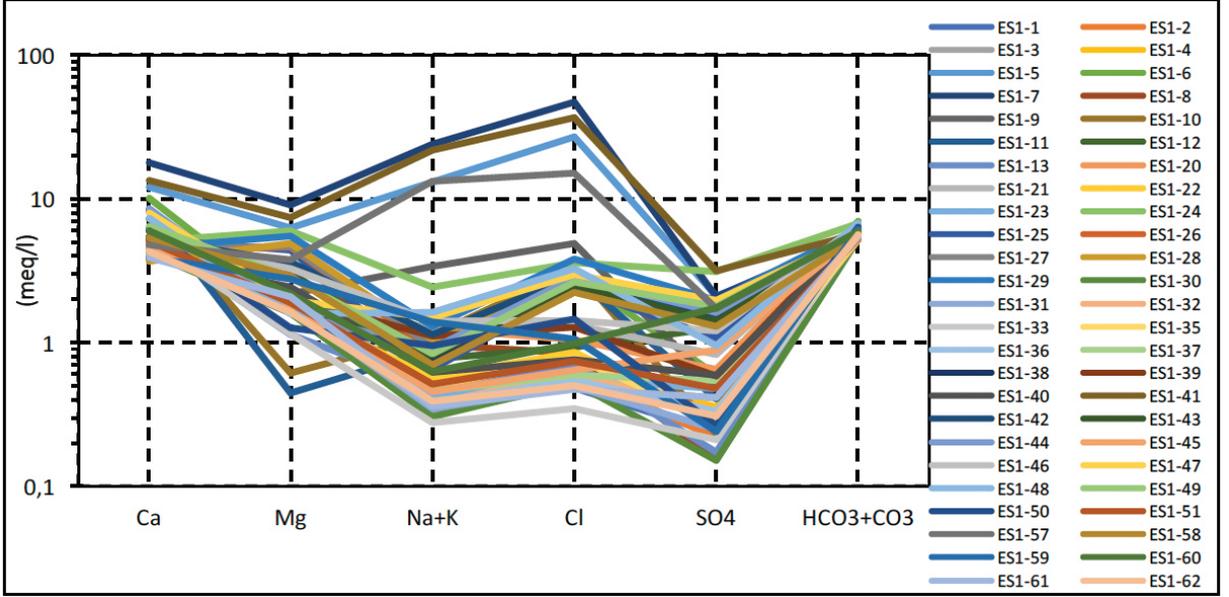
Bu çalışma kapsamında alınan yeraltı suyu örneklerinin majör anyon/kasyon derişimleri kullanılarak oluşturulan Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramında (Şekil 8) farklı kimyasal özelliklere sahip olan sular kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramında meq/L cinsinden  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  ve  $Na^{+}+K^{+}$  kanyonları ve  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{-2}$  ve  $HCO_3^{-}+CO_3^{-2}$  anyonları bulunmaktadır.



Şekil 7. Yeraltı suyu örneklerine ait Wilcox Diyagramı.

Figure 7. Wilcox Diagram of groundwater samples.

Karakuş, Kurt, Yıldırım, Güler, Güven



Şekil 8. Yeraltı suyu örneklerine ait Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı.

Figure 8. Semi-logarithmic Schoeller Diagram of groundwater samples.

Şekil 8’de verilen Schoeller diyagramında genel olarak birbirine paralel çizgiler görülmektedir. Ancak bazı su örneklerinde bu paralellik söz konusu değildir. Bu diyagramda, ES1-11 ve ES1-10 örneklerinin  $Mg^{+2}$  derişimleri diğer su örneklerine oranla belirgin farklılık göstermiştir. ES1-5, ES1-7, ES1-41 ve ES1-57 örneklerinde ise  $Na^{+}+K^{+}$  ve  $Cl^{-}$  derişimlerinin diğer örneklere göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu örneklerin lokasyonları Akdeniz kıyısına yakın konumdadır. Bu noktalarda, aşırı pompaj sonucu deniz suyu girişimi meydana gelmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde yeraltı suları evsel, tarımsal ve endüstriyel amaçlı olarak yoğun bir şekilde kullanılmakta ve gün geçtikçe yeraltı sularına

olan talep artmaktadır. Özellikle kıyı kesimlerde yaşanan hızlı nüfus artışı nedeniyle bu talep sürdürülebilir bir şekilde karşılanamamaktadır. Kıyı bölgelerinde bulunan yeraltı suyu kalitesi genel olarak antropojenik faaliyetler ve değişen iklim koşullarından olumsuz yönde daha fazla etkilenmektedir.

Erdemli (Mersin) Kıyı Akiferi (EKA) yeraltı sularının kalitesinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada, 2020 yılı Ağustos ayında 50 noktadan yeraltı suyu örnekleme yapılmış ve bu suların fiziksel ve kimyasal parametreleri analiz edilmiştir. Yapılan çalışma ve değerlendirmeler sonucunda EKA’nın Akdeniz kıyısına yakın olan bazı kuyularda elektriksel iletkenlik değerlerinin oldukça yüksek olduğu ve bu noktalarda deniz suyu girişiminin olduğu tespit edilmiştir. Bu örneklerin sodyum ve klorür derişimlerinin WHO tarafından tavsiye edilen

sınır değerlerin üzerinde oldukları belirlenmiştir. Deniz suyu girişimi EKA için önemli bir problem olup bu problemin artarak devam edeceği öngörülmektedir. Çalışma alanındaki yeraltı suları, tarımsal sulama suyu kalitesi açısından değerlendirildiğinde, aktif deniz suyu girişiminin görüldüğü bölgelerdeki suların, sulama amacıyla kullanımının uygun olmadığı belirlenmiştir.

EKA yeraltı sularındaki en önemli kalite problemi nitrat kirliliğidir. Çalışma kapsamında alınan örneklerin nitrat derişimleri 2,17-131,51 mg/L arasında değişmekte olup 15 örneğin nitrat derişimi sınır değerin (50 mg/L) üzerindedir. Bu nitrat kirliliği bölgede yapılan tarımsal aktivitelerde kullanılan suni ve hayvan gübreleri ile kırsal kesimlerdeki fosseptiklerden kaynaklanmaktadır.

Tarımsal faaliyetlerin yıl boyunca devam ettiği Erdemli’de yeraltı suları yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çalışma alanı ve civarında gün geçtikçe yeni tarım alanlarının açıldığı gözlenmektedir. Bu durum EKA alanındaki azalan su kaynaklarının üzerindeki baskıyı daha da artırmaktadır. Erdemli’de artan tarımsal faaliyetler nedeniyle sulama suyu ihtiyacı artarken, değişen iklim koşullarına bağlı olarak su miktarı azalmaktadır. Sonuç olarak, artan su ihtiyacı ve azalan kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda, Erdemli’de acil olarak sürdürülebilir bir entegre su yönetiminin uygulanmasına ihtiyaç vardır.

Küresel su krizinin eşiğinde olduğumuz şu günlerde, 4R ilkeleri olarak adlandırılan Azalt (Reduce), Geri Dönüştür (Recycle), Yeniden Kullan (Reuse) ve Kurtar (Recover) ilkelerine dayanan su yönetimi hedeflerinin EKA’da uygulamaya alınması için yerel ve ulusal ölçekte gereken kararların gecikmeden alınması gerekmektedir.

### Katkı Belirtme

Bu çalışma, Doç. Dr. Mehmet Ali Kurt ve Doç. Dr. Ümit Yıldırım (Eş danışman) danışmanlığında, “Erdemli (Mersin) Kıyı Akiferi Su Kalitesinin Araştırılması” başlıklı Yüksek Lisans Tezi olarak Fatma Ece tarafından Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yayınlanmıştır. Bu araştırma, “118Y476” nolu “Sürdürülebilir Kıyısal Yeraltı Suyu Yönetimi ve Değişen İklimde Yenilikçi Yönetim Yoluyla Kirlilik Azaltma (Sustain-COAST)” başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiş olup desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederiz. Makaleyi geliştirici eleştiri ve önerileri için hakemlere ve dergi editörüne teşekkürlerimizi sunarız.

### KAYNAKLAR

- Akbulut, C. (2016). Aşağı Seyhan Ovası (Adana) Yeraltı ve Yüzeysel Suyu Kaynaklarının Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyası, Doktora tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Alfarrah, N., & Walraevens, K. (2018). Groundwater overexploitation and seawater intrusion in coastal areas of arid and semi-arid regions. *Water*, 10(2), 143. <https://doi.org/10.3390/w10020143>
- Gaaloul, N., Pliakas, F., Kallioras, A., Schuth, C., & Marinos, P. (2012). Simulation of seawater intrusion in coastal aquifers: Forty five-years exploitation in an eastern coast aquifer in NE Tunisia. *The Open Hydrology Journal*, 6(1). DOI:10.2174/1874378101206010031
- Krishan, G., Vashisht, R., Sudarsan, N., & Rao, M. S. (2021). Groundwater salinity and isotope characterization: a case study from South-West Punjab, India. *Environmental Earth Sciences*, 80, 1-11. DOI: 10.1007/s12665-021-09419-7
- Leslie, D. L., & Lyons, W. B. (2018). Variations in dissolved nitrate, chloride, and sulfate in precipitation, reservoir, and tap waters, Columbus, Ohio. *International Journal of*

Karakuş, Kurt, Yıldırım, Güler, Güven

- Environmental Research and Public Health, 15(8), 1752. DOI: 10.3390/ijerph15081752
- Mullaney, J. R., Lorenz, D. L., & Arntson, A. D. (2009). Chloride in groundwater and surface water in areas underlain by the glacial aquifer system, northern United States (Scientific Investigations Report). Reston, VA: US Geological Survey.
- Samantara, M. K., Padhi, R. K., Sowmya, M., Kumaran, P., & Satpathy, K. K. (2017). Heavy metal contamination, major ion chemistry and appraisal of the groundwater status in coastal aquifer, Kalpakkam, Tamil Nadu, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 5, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.04.001>
- Schoeller, H. (1955). *Gechemie des Eaux Souterranes*. Paris, France, Rev. Inst. Franc. Petrole.
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Speight, J. G. (2019). *Natural water remediation: Chemistry and Technology*. Butterworth-Heinemann.
- TEMA (2021) [Online]. Available: <https://topraktema.org/toprak-azot-dongusu>.
- Varol, S. (2011). *Tefenni (Burdur) Ovası Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- United States Salinity Laboratory Staff (USSLS), (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook 60*, United States Department of Agriculture, 160 pp.
- Wilcox, L.V. (1954). *Classification and use of irrigation water*. U.S. Department of Agriculture Circular 969, Washington, DC.
- World Health Organization, (2011). *Guidelines for Drinking Water Quality*, 4th ed., WHO Publications, Geneva, Switzerland, 2011.