

Van İli Erçek Gölü Kıyı Bölgesi Sularının Fiziksel Özellikleri ve İz Element Konsantrasyon Değişimlerinin Noktasal Analizi

Sultan APAYDIN^{1,a}, Yakup CUCİ^{1,b}, Veli Keskin^{2,c}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

²Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana

^aORCID: 0000-0003-1593-6971; ^bORCID: 0000-0003-4318-9934; ^cORCID: 0000-0003-2769-5044

Makale Bilgileri

Geliş : 06.03.2025

Kabul : 01.07.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1652427

Sorumlu Yazar

Veli KESKİN

veli_keskin@outlook.com.tr

Anahtar Kelimeler

Antropojenik kirlilik

Erçek gölü

Hidrojeokimya

İz element

Su kalitesi

Atf şekli: APAYDIN, S., CUCİ, Y., KESKİN, V., (2025). Van İli Erçek Gölü Kıyı Bölgesi Sularının Fiziksel Özellikleri ve İz Element Konsantrasyon Değişimlerinin Noktasal Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(2), 485-499.

ÖZ

Bu çalışma, Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Van ili İpekyolu ilçesine bağlı Erçek mahallesinde yer alan Erçek Gölü kıyı suları ve çevresinde bulunan gidegenleri ile gölü besleyen akarsuların iz element kirlilik düzeylerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Temmuz 2024'te göl yüzeyindeki farklı noktalardan alınan 15 su örneği, fizikokimyasal ve jeokimyasal özelliklerin belirlenmesi amacıyla incelenmiştir. Yerinde yapılan sertlik (°F), sıcaklık (T), pH, oksidasyon indirgenme potansiyeli (OİP), elektriksel iletkenlik (Eİ) ve toplam çözünmüş madde (TÇM) ölçümleri ile birlikte, bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}), sülfat (SO_4^{2-}) ve klorür (Cl^-) kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), sodyum (Na^+), potasyum (K^+), parametreleri spektrofotometre ve iyon kromatografisi yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Arsenik (As), bor (B), baryum (Ba), mangan (Mn), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) gibi iz elementler ise İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ile incelenmiştir. Tüm veriler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY) ve Çevre Koruma Ajansı (EPA) standartlarıyla karşılaştırılmıştır.

Point-Based Analysis of Physical Properties and Trace Element Concentration Variations in the Coastal Waters of Lake Erçek, Van Province

Article Info

Received : 06.03.2025

Accepted : 01.07.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1652427

Corresponding Author

Veli KESKİN

veli_keskin@outlook.com.tr

Keywords

Anthropogenic pollution

Erçek lake

Hydrogeochemistry

Trace element

Water quality

How to cite: APAYDIN, S., CUCİ, Y., KESKİN, V., (2025). Point-Based Analysis of Physical Properties and Trace Element Concentration Variations in the Coastal Waters of Lake Erçek, Van Province. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 40(2), 485-499.

ABSTRACT

This study was conducted to determine the trace element pollution levels in the coastal waters of Lake Erçek and the streams feeding the lake, located in the Erçek neighborhood of İpekyolu district, Van province, Eastern Anatolia Region. In July 2024, a total of 15 water samples were collected from different points on the lake surface and analyzed to determine their physicochemical and geochemical properties. On-site measurements included hardness (°F), temperature (T), pH, oxidation-reduction potential (ORP), electrical conductivity (EC), and total dissolved solids (TDS). Laboratory analyses were performed for bicarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}), sulfate (SO_4^{2-}), chloride (Cl^-), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), and potassium (K^+), using spectrophotometry and ion chromatography methods. Trace elements such as arsenic (As), boron (B), barium (Ba), manganese (Mn), nickel (Ni), and lead (Pb) were analyzed using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). All results were compared against the standards set by the World Health Organization (WHO), the Regulation on Water Intended for Human Consumption (RWIHC - Turkey), and the Environmental Protection Agency (EPA).

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, litolojik ayrışma, endüstriyel üretim, tarımsal faaliyetler, antropojenik atık deşarjları ve benzeri birçok nedenden dolayı yüzey sularının giderek daha güvenilmez hale gelmesi, göl sularında ve buna bağlı yeraltı suyu sistemlerinde meydana gelen kontaminasyonun anlaşılmasını günümüzde önemli kılmaktadır. Artan kentsel ve kırsal nüfusun temel ihtiyaçlarını karşılamak için yeraltı suyunu birincil kaynak olarak kullanması ve bu su kaynaklarına büyük ölçüde bağımlı olması, son yıllarda sanayi ve sulama amaçlı kullanımın artmasıyla yeraltı suyu sisteminin yüzey suları ile olan hidrojeolojik bağlantısının, özellikle jeokimyasal etkileşimlerinin daha iyi anlaşılmasını gerekli kılmaktadır. Gelişen teknoloji ve iklim değişikliklerine bağlı olarak yeraltı suyunun sulama amaçlı kullanımında önemli bir artış yaşanmasına rağmen, tarım arazilerinde yoğun üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan akarsu ve göl suyu kirliliği ile bu kirliliğin temel nedenleri ve gelecekteki çevresel etkileri yeterince araştırılmamıştır. Özellikle iklim değişikliği; artan sıcaklık, buharlaşma ve düzensiz yağış rejimleri nedeniyle yüzey ve yeraltı su kaynaklarının hem miktarını hem de kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Su seviyelerinde yaşanan düşüş, kimyasal madde birikimlerini artırmakta; artan sulama ihtiyacı ise yeraltı suyu tüketimini hızlandırarak hidrojeolojik dengeyi bozmakta ve kirlenme riskini artırmaktadır. Bu nedenle, gerçekleştirilen bu çalışma, göl sularında oluşabilecek noktasal kirliliğin düzeyini, bu kirliliğin olası kökensel kaynaklarını, göl sularına yapılan kontrolsüz deşarjların yeraltı su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerini ve suyun fizikokimyasal özelliklerindeki değişimleri değerlendirmeyi ve daha sonra yapılacak çalışmalar için ön bilgi edinimi ve karşılaştırma hususunda katkı sunmayı amaçlamaktadır. Göl sularını besleyen akarsular, mevcut sulama suyu sondaj kuyuları, kaynaklar, bölgenin hidrojeolojik çerçevesi, yerleşim yerlerinin atık suları ve bölgenin jeolojik ile yapısal özellikleri, göl suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle çalışmada, sulama suyu sondaj kuyuları, kaynaklar, bölgenin hidrojeolojik çerçevesi, yerleşim yerleri atık su deşarj noktaları, bölgenin jeolojisi ve yapısal özellik verileri kullanılmıştır. Gölsel ekosistemlerin kirleticilerle ilişkileri incelendiğinde ağır metaller yaygın kirleticiler olup hem ekosistemlere hem de insan sağlığına olumsuz etkilerde bulunmaktadır [1,2]. Göllere antropojenik yollarla boşaltıldıktan sonra, ağır metaller sucul organizmalarda birikerek normal konsantrasyonlarının on binlerce katına ulaşabilir ve besin zincirinin son aşamasına geçebilmektedir [3]. Ayrıca, bazı ağır metallerin (As ve Hg) eser miktarlarda bile sucul organizmalar üzerinde toksik etkiler gösterebildiği kanıtlanmıştır [4]. İnsanlar için iz elemente maruz kalma, kirlenmiş içme suyu, tarımsal gıda veya kontamine balıkların tüketilmesi yoluyla gerçekleşir [5]. Antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan evsel atık su, endüstriyel atık su, madencilik atık suyu, tarımsal gübre sızıntıları ve kömür yanması gibi girdilere ek olarak, göllerdeki iz elementler doğal süreçlerden de kaynaklanabilmektedir. Bu süreçler arasında kayaların ayrışması ve toprak erozyonu yer almakta olup, bu süreçler göllerdeki azot ve fosfor besin maddeleri ile benzer etkileşimler göstermektedir [6,7]. Ayrıca, göl sularında besin maddelerini etkileyen aynı fizikokimyasal faktörler ağır metalleri de etkileyebilir. Bunun yanında, göllerdeki azot ve fosfor besin maddeleri ile ağır metaller arasında iyon değişimi, kompleksleşme ve eş çökelme gibi kimyasal etkileşimler meydana gelebilir [8]. Bu etkileşimler, su sıcaklığı (°C), pH, çözünmüş oksijen (ÇO) ve bulanıklık gibi abiyotik parametrelere duyarlıdır ve bu da göllerdeki iz elementlerin dağılım fazlarını etkilemektedir [9]. Su kaynaklarındaki kirleticiler, insan vücudunda biyolojik olarak birikebildikleri için kanser türleri ve diğer sağlık bozucu riskleri tetikleyebilmekte ve canlıların sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadırlar [10]. İz element, atom ağırlığı 63,546 ile 200,590 arasında değişen ve özgül ağırlığı 4,0'dan büyük, elementlerdir [11]. Suda kolloidal, partikül ve çözünmüş fazlarda bulunabilirler [12]. Bu elementlerin suların bünyesinde, bulunmaları doğal ya da antropojenik kökenli olabilmektedir. İz elementlerin, canlı vücuduna alınması ile metalin niteliğine ve miktarına bağlı olarak çeşitli semptomlarla birlikte ciddi sağlık etkilerine neden olmaktadır [13,14]. Bununla birlikte, madenler ve maden işleme atıkları mevcut kirleticilerin sudaki derişimlerini değiştirmektedir. Bu nedenle, sudaki iz element kirliliğinin periyodik olarak izlenmesi bir gerekliliktir [15]. İnceleme alanı olarak belirlenen Van ilinin İpekyolu ilçesi Erçek Mahallesi sınırları içerisinde bulunan Erçek Gölü, madencilik, tarım, hayvancılık faaliyetleri, litolojik etkileşim ve antropojenik atıklar gibi çeşitli kaynaklardan gelen toksik atıklara maruz kalmaktadır. Maden işletme atık suları ve yerleşim yerlerinin evsel atık sularının büyük bir kısmı, herhangi bir arıtma yapılmadan yüzeysel akış sistemlerine deşarj edilmektedir. Soda su özelliği gösteren Erçek Gölü, 200'den fazla göçmen kuşun uğrak yeri olmasının yanı sıra, flamingo kuşlarının önemli bir barınma ve üreme alanıdır. Ayrıca, bölge için önemli bir turizm alanı olması nedeniyle, bu tabiat alanının ve göl sularının iz element konsantrasyonları ile fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve gerekli koruma önlemlerinin alınması büyük önem taşımaktadır. Erçek Gölü'nde yapılan bu çalışmada, göl sularının kalitesi ve iz element derişimlerinin maruziyet sonucunda yaratabileceği etkileri araştırılmıştır (Şekil 1).

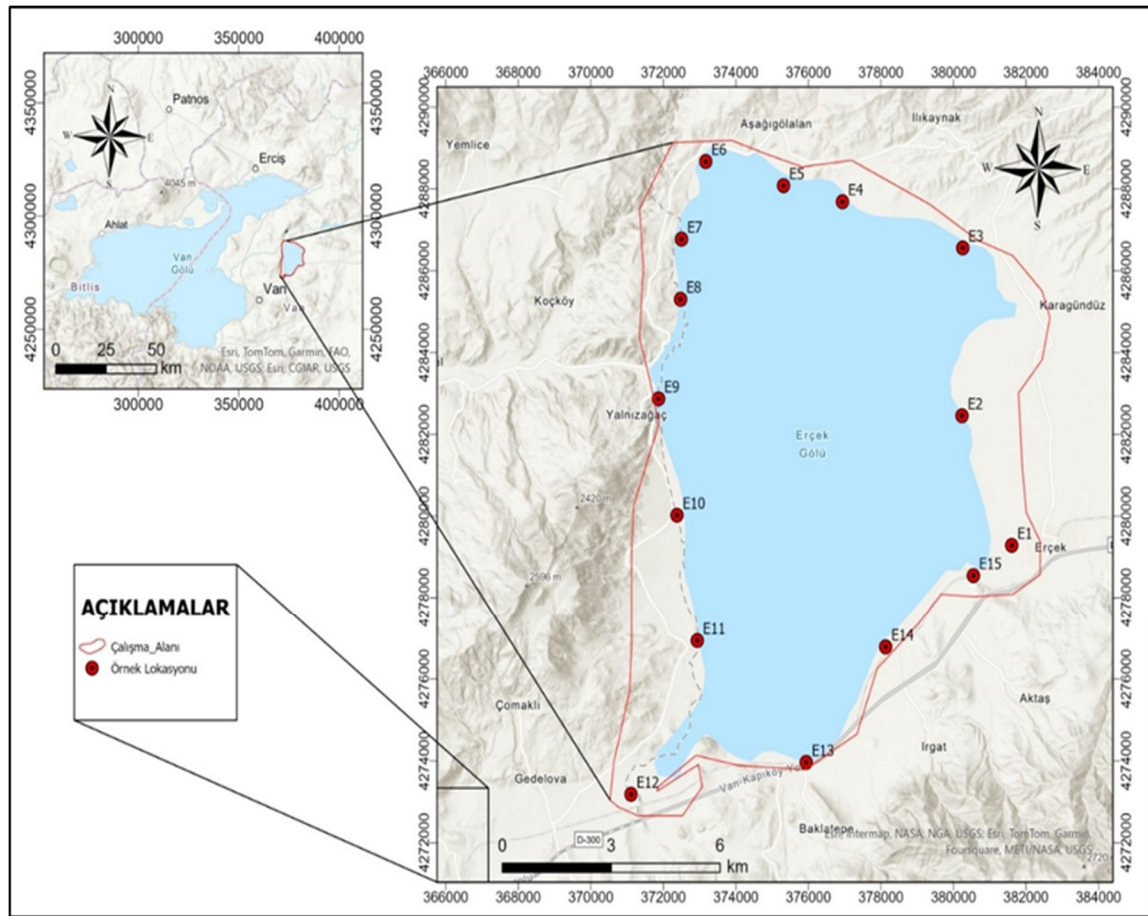
2. MATERYAL METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmanın ana materyalini, Doğu Anadolu Bölgesi'nde Van ili, İpekyolu ilçesine bağlı Erçek Mahallesi'nde bulunan Erçek Gölü, gölün beslenme alanındaki su kaynakları, bu kaynakların içerisinde bulunduğu litolojiler ve yerleşim yerlerinden kaynaklanan çevresel ve antropojenik atıklar oluşturmaktadır.

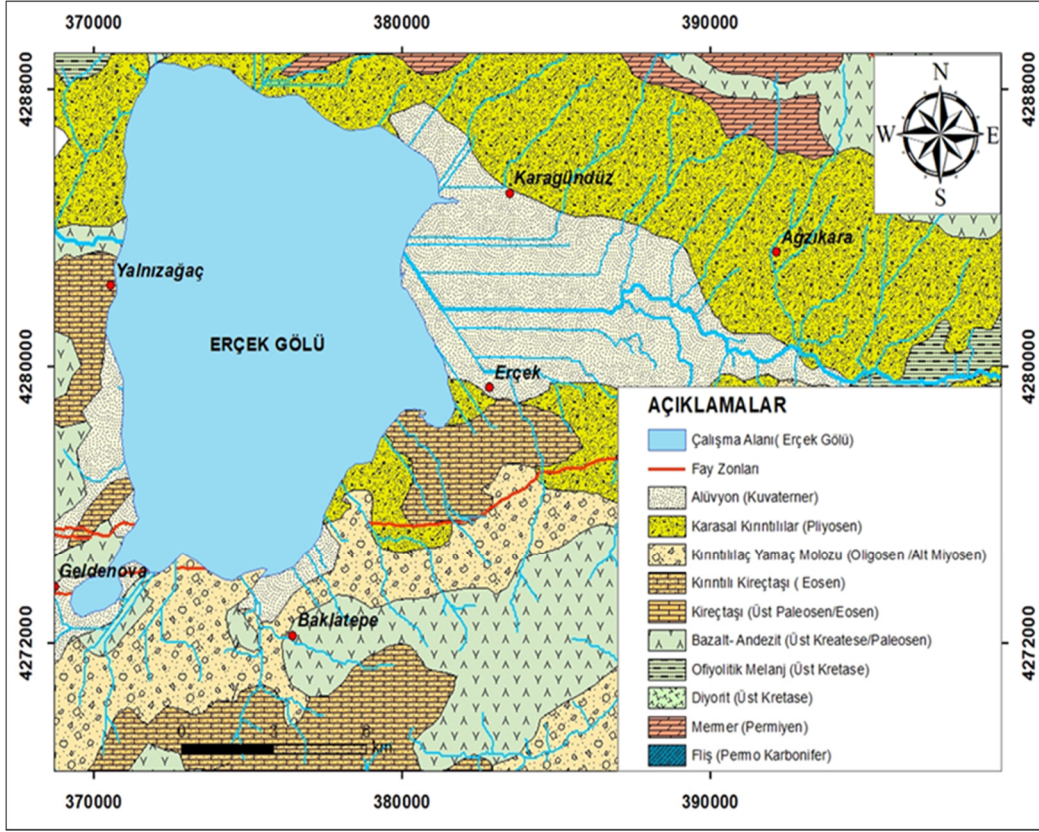
2.1.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Van ili, İpekyolu ilçesine bağlı Erçek Mahallesi'nde bulunmaktadır. Mahalleye adını veren Erçek Gölü, deniz seviyesinden 1803 metre yükseklikte, 38°44'20.99"-38°35'43.59" kuzey enlemleri ile 43°33'11.26"- 43°31'36.66" doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Van Gölü'nün yaklaşık 30 km doğusunda bulunan Erçek Gölü, yaklaşık 112 km² alan kaplamakta olup beslenme alanı yaklaşık 1530 km²'dir [16,17].



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve örnekleme noktaları

Erçek Gölü'nün maksimum derinliği 40 m. ortalama derinliği ise yaklaşık 18,50 m olarak ölçülmüştür [16]. Gölün beslenme alanı yaklaşık 1530 km²'dir [17,18]. Göl suyu tuzluluğu yaklaşık %24 olarak tespit edilmiştir. Bu zenginleşmesinin temel nedeninin, havza içerisinde bulunan bazik/ultrabazik ve karbonatlı kayaların, göl sularını besleyen yüzey sularıyla teması sonucu çözünmesinden, bölgedeki etkin fay hatlarından ve Van havzasında geniş alanlarda gözlenen volkanik arazi göl suları etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir [19]. Erçek Gölü batimetri haritasına göre göl alanı, üç ana morfolojik bölüme ayrılarak incelenebilir. Bunlar gölsel şelf (0-15 m), gölsel yamaç (15-25 m) ve derin havza (≥ 25 m)'dır. Bu morfolojik bölümlere göre, gölsel yamaç ve gölsel şelf batıda daha derin ve dik eğimli, doğuda ise daha geniştir. Göl alanının kuzey ve güney sınırları ise benzer morfolojik özellikler göstermektedir (



Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası [28]

2.2. Metot

Bu çalışma kapsamında, araştırma alanı olarak belirlenen Erçek Gölü ve onu besleyen Özalp Çayı'ndan 2024 yılı Temmuz ayında örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktaları, göl sahili boyunca ve Özalp Çayı'nın göl sularına karıştığı bölgede, yerleşim yerleri, tarım alanları ve bölgenin litolojik özellikleri göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Bu kapsamda toplam 15 adet su örneği toplanmıştır (Şekil 1). Numuneler, saf su ile önceden temizlenmiş iki adet 250 mL kapasiteli polietilen şişe kullanılarak alınmış, her bir örnekleme noktasında numune kapları alınacak su ile üç kez durulanmıştır. Alınan numunelerden biri anyon ve katyon analizleri için, diğeri ise iz element analizleri için ayrılmıştır. Numuneler, saha çalışmasının hemen ardından Millipore filtrasyon ünitesi ve filtre kâğıdı ile filtrelenmiştir. İz element analizine yönelik numunelere, pH değerini < 2 seviyesine indirmek amacıyla 6 N ultra saf nitrik asit eklenmiştir. Saha çalışmaları sırasında suyun sıcaklığı (T), elektriksel iletkenliği (Eİ), toplam çözünmüş madde (TÇM), oksidasyon-indirgenme potansiyeli (OİP) ve pH parametreleri yerinde ölçülmüştür. Bu ölçümler, Hanna HI 8334 pH metre, Antech PC Testr 35 elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı, Eutech ORP metre ve AD14 Waterproof ORP cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hanna HI 8334 cihazının pH ölçümünde ± 0.01 birim hata payı bulunmakta olup, ölçümler Standard Methods 4500-H+ B prosedürüne uygun olarak yapılmıştır. Antech PC Testr 35 cihazı, elektriksel iletkenlik ölçümünde $\pm 1.0\%$ hata payına sahip olup, Standard Methods 2510 B standardı doğrultusunda kullanılmıştır. Eutech ve AD14 Waterproof ORP cihazları ise redoks potansiyeli (ORP) ölçümlerinde ± 5 mV hata payı ile güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Tüm cihazlar, üretici önerileri doğrultusunda kalibre edilmiş ve ölçüm prosedürleri ilgili standartlara uygun şekilde tekrarlanmıştır. Laboratuvar çalışmalarında, anyon ve katyon analizleri iyon kromatografisi ve spektrofotometri yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bikarbonat, karbonat ve klorür derişimleri titrasyon yöntemiyle belirlenmiştir. İz elementler (As, B, Ba, Mn, Ni, Pb) ise Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında (ÇÜMERLAB) İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) yöntemi ile analiz edilmiştir. Elde edilen iz element ve anyon/katyon analiz sonuçları, göl sularının fizikokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla değerlendirilmiştir. Veriler, ulusal ve uluslararası referans aralıkları ile karşılaştırılmış, sonuçlar Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemiyle analiz edilerek tespit edilen derişim değerlerine göre noktasal dağılım haritaları oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. İz Elementler

Arsenik (As)

Arsenik, Dünya'nın kabuğunda yaygın olarak -3, 0, +3 ve +5 oksidasyon durumlarında bulunur ve genellikle sülfürler, metal arsenürler veya arsenatlar şeklinde görülür. Suda, arsenik genellikle oksidasyon koşullarına bağlı olarak arsenat (+5) formunda bulunurken, anaerobik ortamda arsenit (+3) formunda bulunma olasılığı yüksektir. Doğal sularda arsenik konsantrasyonu genellikle 1–2 µg/L'den daha düşük seviyelerde gözlemlenir. Ancak, sülfürlü mineral yataklarının veya volkanik kayalardan türeyen tortul birikimlerin bulunduğu yeraltı sularında arsenik konsantrasyonları önemli ölçüde artabilir. Doğal sulardaki arsenik seviyeleri, doğal kaynakların bulunduğu bölgelerde 12 mg/L'ye kadar çıkabilir. Bununla birlikte, düşük arsenik konsantrasyonlarının sağlık üzerindeki gerçek riskleri konusunda önemli belirsizlikler devam etmektedir. Mevcut bilimsel veriler, doğrusal veya doğrusal olmayan ekstrapolasyon yöntemlerine dair yeterli biyolojik temel sunmamaktadır. Ayrıca, arsenik içeren suyun artırılmasıyla ilgili pratik zorluklar ve 1–10 µg/L arasındaki pratik ölçüm sınırı dikkate alınarak, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından arsenik için belirlenen kılavuz değeri 10 µg/L olarak korunmuş ve “geçici” olarak tanımlanmıştır [28]. Erçek Gölü, Van bölgesinde volkanik ve tortul kayaların etkili olduğu jeolojik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, doğal olarak arsenik gibi bazı ağır metallerin varlığı söz konusu olabilir. Daha önceki çalışmalarda Erçek Gölü ve çevresindeki su kaynaklarında arsenik konsantrasyonlarının genellikle Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kılavuz değeri olan 10 µg/L'nin altında veya bu değere yakın seyrettiği bildirilmiştir. Ancak, yapılan bu çalışmada gölü besleyen akarsularda ve özellikle yer altı sularında, lokal jeokimyasal koşullar nedeniyle arsenik seviyelerinde zamanla artışların olduğu gözlenmiştir.

Bor (B)

Bor, doğada yaygın olarak bulunan ve geniş bir dağılıma sahip olan kimyasal bir elementtir [29]. Hem doğal hem de antropojenik faktörler, borun hava, su ve toprağa salınmasına neden olabilmektedir [30]. Akdeniz bölgesindeki yeraltı sularında çözünen bor genellikle jeojenik kökenlidir ve hidrotermal kaynaklar, tuzlu su girişi, su-kaya etkileşimi ile deniz suyu intrüzyonu gibi süreçlerle ilişkilidir [31,32]. Bunun yanında, borun hava, su ve toprağa salınmasına katkıda bulunan antropojenik faktörler de önemlidir. Bor, cam ve cam ürünleri, deri işleme, temizlik ürünleri, kozmetikler, tarım kimyasalları, insektisitler, alev geciktiriciler ve korozyon inhibitörleri gibi çeşitli ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [33,34]. Bu durum, çevrede bor kirliliğinin artan bir eğilim gösterdiğini ortaya koymaktadır [34]. Borlu asit veya boraksa kısa ve uzun süreli oral maruziyetlerin, laboratuvar hayvanlarında erkek üreme sistemini bor toksisitesinin tutarlı bir hedefi olarak etkilediği rapor edilmiştir [36]. Yakın tarihli bir araştırma, bor işçilerinin maruziyetinin, eşlerinin hamilelik sürecinde gecikmelere ve canlı doğum oranında azalmaya yol açabileceğini göstermiştir [37]. Ayrıca, cinsel kromozom testi (FISH testi) sonuçları, bor maruziyetine bağlı olarak Y:X kromozom oranında anlamlı bir azalma olduğunu ortaya koymuştur [38]. Yapılan bu çalışmada tespit edilen bor derişimlerinin bu çalışmaya temel teşkil etmesi açısından, bölgede daha önce yapılmış bor analizlerine ilişkin veriler ile kıyaslanmıştır. 2021 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi (YYÜ) araştırma ekibi tarafından yürütülen çalışmada, Erçek Gölü ile Özalp ilçesi sınırları içerisinde yer alan dört farklı kuyudan alınan su örneklerinde bor (B) konsantrasyonları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, göl suyu ve kuyu örneklerinde bor düzeylerinin 80–140 mg/L aralığında olduğu tespit edilmiş ve yapılan bu laboratuvar ön çalışmasında tespit edilen bor değerleri ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir.

Baryum (Ba)

Baryum bileşenleri, doğada cevher yatakları ve magmatik ile sedimanter kayalar içinde bulunur ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Suda bulunan baryum, çoğunlukla doğal kaynaklardan gelir; ancak baryum, endüstriyel emisyonlar ve antropojenik kullanımlar yoluyla da çevreye girebilir. Gıda, mesleki olmayan kişilerin alüminyum alımında birincil kaynaktır. Ancak, suda baryum konsantrasyonları yüksek olduğunda, içme suyu toplam alıma önemli ölçüde katkıda bulunabilir. [30]. İçme suyundaki baryum konsantrasyonları genellikle 100 µg/L'nin altındadır, ancak yer altı suyu kaynaklarından elde edilen içme suyunda 1 mg/L'nin üzerinde konsantrasyonlar ölçülmüştür. Baryumun kanserojen veya genotoksik olduğuna dair herhangi bir kanıt bulunmamaktadır. Akut hipertansiyon, vaka raporlarında gözlemlenmiştir, ancak etkiler hipokalemiye bağlı ikincil etkiler olabileceği belirtilmiştir [40]. Baryumun 10 mg/L'deki

derişiminin hipertansiyon üzerindeki etkilerini bildiren bilimsel çalışmalar, örnekleme büyüklüğü ve kısa maruz kalma süresi ile sınırlıdır. Yapılan çalışmalar baryumun laboratuvar hayvanlarında nefropatiye yol açtığını göstermiştir ve bu durum, mevcut referanslar için endişe verici bir toksikolojik uç nokta olarak seçilmiştir [30]. Yapılan bu çalışmada tespit edilen baryum derişimlerinin bu çalışmaya temel teşkil etmesi açısından ve bölgede daha önce yapılmış baryum analizleri bulunmadığından bir ilk olma özelliği taşımaktadır.

Mangan (Mn)

Manganez, Dünya'nın kabuğunda en bol bulunan metallere biridir ve genellikle demirle birlikte bulunur. On bir farklı oksidasyon durumunda var olabilen manganez, genellikle klorür, oksit ve sülfatlar şeklinde bulunur. Doğal sulara manganezin en yaygın oksidasyon durumları, manganez (II) ve manganez (IV) olarak karşımıza çıkmaktadır. Manganez, birçok yüzey suyu ve yer altı suyu kaynağında doğal olarak meydana gelir. Doğal olarak bulunan manganez, içme suyu için genellikle en önemli kaynak olmasına rağmen, insan kaynaklı faaliyetler de suya yüksek seviyelerde manganez karışmasına neden olabilmektedir. İçme suyu sistemlerinde partiküler manganez bulunması, kabul edilebilirlik sorunlarına yol açabilmektedir [30]. Manganez konsantrasyonlarının 0.02 mg/L'nin üzeri olması, suyun renk değıştirmesi ve sıhhi tesisat donanımları ile çamaşırdaki leke oluşumu hakkında şikayetlere neden olmuştur. Bu nedenle, su kaynaklarında özellikle içme sularında manganez ile ilgili yönetimde sağlık ve estetik açıdan değerlendirmeler yapılmalı, su kaynaklarının arıtılması, uygun deşarj koşullarının oluşturulması ve içme suyu kalitesi için düzenlemeler ile standartlar belirlenirken bu unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, yer altı sularındaki manganez seviyelerini kontrol etmek için kuyu açmak veya farklı kuyulardan su karıştırmak gibi seçenekler sunulmalıdır. Termoklinin bulunduğu göl ve rezervuar kaynaklarında, alt su seviyelerinin anoksik hale gelmesini engellemek amacıyla kaynakların yönetilmesi gereklidir [30]. Bölgede daha önce benzer bir mangan çalışması yapılmadığı için yapılan bu çalışma önem arz etmektedir.

Nikel (Ni)

Nikel, doğal olarak bulunan bir element olup genellikle paslanmaz çelik ve nikel alaşımlarının üretiminde kullanılmaktadır. Sigara içmeyen, mesleki maruziyeti olmayan bireyler açısından gıdalar, nikel maruziyetinin temel kaynağını oluşturmaktadır; su ise toplam günlük oral alımda genellikle küçük bir katkı sağlamaktadır [30]. Ancak, su kaynaklı nikel maruziyeti, yoğun kirlilik durumlarında, yer altı suyunda doğal olarak bulunan nikelin hareketliliği sonucu veya nikel ya da krom kaplamalı musluklardan ya da suyla temas eden paslanmaz çelik cihaz ve malzemelerden nikel sızması durumunda önemli bir risk faktörü oluşturabilir. İçme suyunda nikelin birincil kaynağı, su ile temas eden metal yüzeylerden nikelin salınmasıdır. İçme suyundaki nikel konsantrasyonları genellikle 25 µg/L'nin altında seyretmektedir. Ancak, nikelin içme suyu ile temas eden metal alaşımlardan salınımı, antropojenik kirlilik veya doğal yataklardan mobilizasyon gibi durumlar nedeniyle bu konsantrasyonlar 5 mg/L'ye kadar yükselebilmektedir [30]. Erçek Gölü (ve çevresi) özelinde nikel parametresiyle ilgili mevcut literatürde doğrudan yapılmış saha çalışmaları veya analiz sonuçları bulunmadığından yapılan çalışma ilk özelliği taşımaktadır.

Kurşun (Pb)

Kurşun, esas olarak kurşun-asit akülerin, lehimlerin ve alaşımların üretiminde kullanılmaktadır. Organolead bileşenleri olan tetraetil ve tetrametil kurşun, benzin içinde anti-knock ve yağlama ajanı olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır; ancak bu kullanımlar, birçok ülkede büyük ölçüde sonlandırılmıştır [30]. Benzindeki kurşun içeren katkı maddelerinin ve gıda işleme endüstrisindeki kurşunlu lehimlerin kullanımının azalmasıyla birlikte, hava ve gıda kaynaklı kurşun seviyeleri düşmektedir. Çoğu ülkede, belirli kaynaklar olmadıkça, kurşun seviyeleri kanlarda da azalmaktadır. Geçici Kılavuz Değeri 0,01 mg/L (10 µg/L) olan kurşunun içme suyundaki konsantrasyonları genellikle 5 µg/L'nin altındadır. Ancak, kurşunlu servis bağlantıları veya bağlantı parçalarının bulunduğu yerlerde çok daha yüksek konsantrasyonlar (100 µg/L'nin üzerinde) ölçülmüştür. Kurşunun birincil kaynağı, binalardaki servis bağlantıları ve sıhhi tesisatlardır. Bu sebeple, kurşun miktarı musluktan ölçülmelidir. Ayrıca, kurşun konsantrasyonları, suyun kurşun içeren malzemelerle temas ettiği süreye göre de değışebilir [30]. Kurşun derişimleri ile ilgili Erçek gölü ve çevresinde yapılan herhangi bir çalışma bulunmadığından yapılan bu çalışma ile ilgili tespit edilen kurşun derişim değeri karşılaştırılamamıştır.

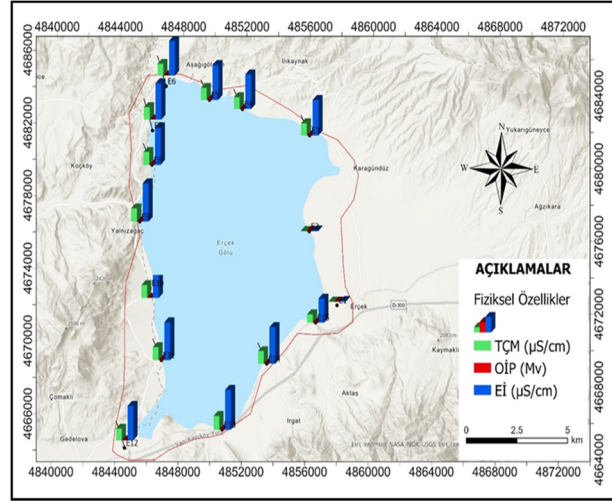
3.2. Hidrojeokimya

Erçek Gölü ve yakın çevresinde gerçekleştirilen çalışma kapsamında elde edilen hidrojeokimyasal bulgular değerlendirildiğinde, göl suyunda ölçülen maksimum ve minimum sertlik değerlerinin sırasıyla 142,45 °F ve 25,48 °F olduğu, ortalama sertlik değerinin ise 75,49 °F olarak tespit edildiği belirlenmiştir. Genel olarak, göl suyunun ortalama sertlik değeri, “çok sert su” sınıfında yer almaktadır. Saha çalışmaları kapsamında yapılan ölçümlere göre göl sularının pH değerlerinin ortalamasının 9,8’den büyük olduğu; pH aralığının ise 7,96 ile 10,30 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu bulgular, göl suyunun bazik karakterli sular sınıfında yer aldığını göstermektedir. Göl suyunun sıcaklık ortalaması, ölçümlerin yapıldığı temmuz ayında 25,6°C olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, göl sularının elektriksel iletkenlik (Eİ) değerlerinin 534,11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 23860,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği, ortalama Eİ değerinin ise 18526,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Çalışma alanının doğusundan gölü besleyen Özalp Çayı’nın elektriksel iletkenlik (Eİ) değerinin, göl sularına kıyasla oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3) [16]. Göl suyu ve gölü besleyen en önemli tatlı su kaynağı olan Mehmetalan çayında yapılan ölçümlere göre toplam çözünmüş madde (TÇM) değerlerinin 347,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 15509,43 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği, ortalama TÇM değerinin ise 12042,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Arazi çalışmaları sonucunda ölçülen oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (OİP) değerleri incelendiğinde, göl suyunun kimyasal özellikleriyle ilgili önemli bulgular elde edilmiştir. Ölçüm değerlerinin -51 mV ile 186 mV arasında değiştiği, bu geniş aralığın gölün farklı lokasyonlarında oksidasyon-redüksiyon dengesinde belirgin bir heterojenlik olduğunu ortaya koyduğu tespit edilmiştir. Özellikle 12., 13. ve 14. ölçüm noktalarında belirlenen negatif OİP değerleri (-51 mV, -8 mV ve 6 mV), bu bölgelerde indirgen ortam koşullarının baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum, organik madde miktarının yüksekliği veya çözünmüş oksijen seviyelerinin düşüklüğü ile ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte, 2. ölçüm noktasında tespit edilen en yüksek pozitif OİP değeri olan 186 mV, bu lokasyonda oksitleyici koşulların baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Düşük ve negatif oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (OİP) değerlerinin görüldüğü lokasyonlar, özellikle demir, manganez veya sülfür gibi elementlerin indirgenmiş formlarının varlığı ile ilişkilendirilebilir. Bu tür değişiklikler, Erçek Gölü’nün çevresel etkileşim faktörlerine, kirlilik kaynaklarına veya doğal jeokimyasal süreçlere maruz kaldığını göstermektedir. Ölçüm değerlerindeki bu çeşitlilik, göl ekosisteminin farklı bölümlerinde ayrıntılı incelemeler yapmayı ve olası kirlilik kaynaklarının belirlenmesini zorunlu kılmaktadır (Çizelge 2, Şekil 4). Yapılan analizler ile elde edilen yüzey suyu iyon konsantrasyon verileri incelendiğinde, anyon sıralamasının genel olarak $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ şeklinde, katyon sıralamasının ise $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$ şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Göl suyu örneklerinin kalsiyum (Ca^{2+}) değerleri 3,76 ile 155,45 mg/L arasında değişmekte, ortalama kalsiyum derişimi ise 59,40 mg/L olarak belirlenmiştir (Çizelge 2, Şekil 5 ve 6). Göl suyu magnezyum (Mg^{2+}) derişimleri 21,11 ile 304,57 mg/L arasında değişirken, ortalama Mg^{2+} derişimi 147,29 mg/L olarak bulunmuştur. Bu derişimler, genel olarak göl alanı ve çevresindeki jeolojik birimleri oluşturan bazik/ultrabazik kayalar ve farklı yaşlardaki $\text{Mg} + \text{CaCO}_3$ kökenli litolojilerle ilişkilendirilmiştir (Şekil 3 ve 5). Göl sularının potasyum (K^+) derişimleri ise 7,30 ile 103,57 mg/L arasında değişmekte, ortalama potasyum derişimi 75,23 mg/L olarak belirlenmiştir. İnceleme alanı ve çevresindeki potasyum derişimlerinin, öncelikli olarak jeolojik kökenli olduğu ve göl sularının eski volkanik aktivitelere bağlı oluşmuş volkanosedimanter birimlerden etkilendiği, ayrıca bölgedeki tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübreler ve verim artırıcı kimyasalların da az bir etkisi olduğu düşünülmektedir (Şekil 3 ve 5). Göl sularında yüksek derişimlerde tespit edilen sodyum (Na^+) değerleri 14,90 ile 8854,54 mg/L arasında değişmekte, ortalama değeri ise 6598,59 mg/L olarak bulunmuştur. Klorür (Cl^-) değerleri ise 3,2 ile 23,81 mg/L arasında değişmektedir. Diğer katyon değerlerine göre oldukça yüksek olan sodyum değerlerinin, Erçek Gölü’nün oluşumunda etkili olan yapısal unsurlar (fay hatları, tektonik çökme vb.) ve jeolojik etkileşimlerle (bazik/ultrabazik kayalar, volkanosedimanter birimler, eski volkanik aktivitelere bağlı çöküntü alanları) ilişkilendirilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca, göl tabanında oluşmuş lokal bor cevherleşmeleri de bu yüksek sodyum derişimlerinin kaynağı olabilir (Şekil 3, 5 ve 8) [16,31]. Göl suları anyon derişim değişimleri incelendiğinde, bikarbonat (HCO_3^-) değerlerinin 292,80 ile 8369,20 mg/L arasında değiştiği, karbonat (CO_3^{2-}) değerlerinin ise 0 ile 603,90 mg/L arasında değiştiği, HCO_3^- ve CO_3^{2-} ortalama derişimlerinin sırasıyla 6398,03 mg/L ve 146,34 mg/L olduğu belirlenmiştir (Şekil 6, Çizelge 1). Sülfat (SO_4^{2-}) derişim değerlerinin 28,16 ile 2192,96 mg/L arasında değiştiği, göl suyu ortalama SO_4^{2-} değeri ise 1702,96 mg/L olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki göl sularının klor (Cl^-) derişimleri genel olarak 18,18 ile 5012,32 mg/L arasında değişmekte, ortalama Cl^- değeri ise 4136,17 mg/L olarak bulunmuştur. Bu anyon derişim artışları, bölgede meydana gelen eski volkanik aktiviteler ve buna bağlı oluşmuş lokal cevherleşmelerle ilişkilendirilebilir. Ayrıca, bölgede çökelmiş farklı yaşlardaki karbonat kökenli birimler, bazik/ultrabazik kayalar, volkanosedimanter birimler ve fay zonları gibi yapısal unsurlar, bu artışların kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, Erçek Gölü çevresindeki yerleşim yerlerinden

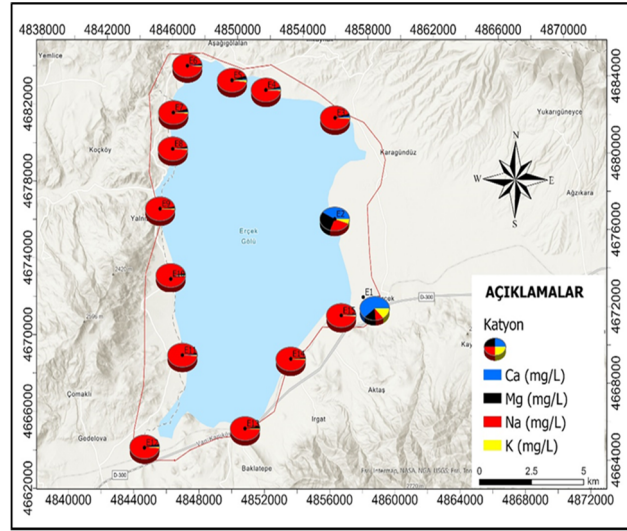
kaynaklanan antropojenik atıkların göle deşarj edilmesi ve tarımsal üretime bağılı olarak ortaya çıkan atıkların göl alanına karışması da göl sularının anyon derişim değerlerini değiştiren faktörler arasında yer almaktadır.

Çizelge 1. Erçek gölü sularının fiziksel özellikleri ve anyon /katyon derişim değerleri

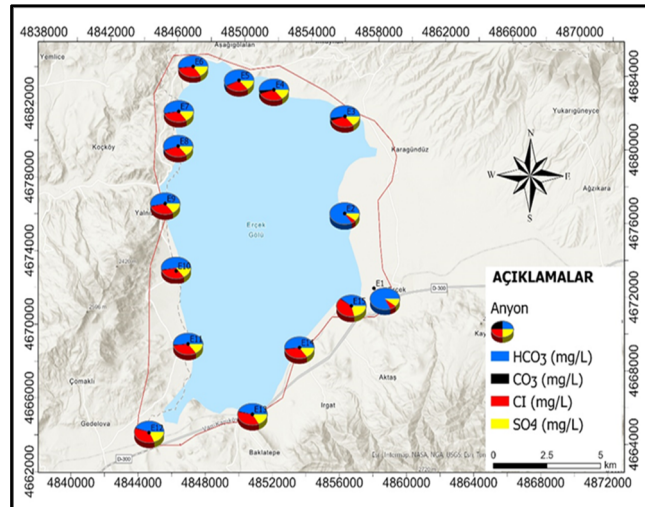
Örnek noktası	T °C	pH	Sertlik (°F)	El (µS/cm)	OİP (Mv)	TÇM (µS/cm)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
E-1	19,9	7,96	301,31	534,107	126	347,17	85,86	21,11	14,90	18,51	232,41	0,00	21,13	28,16
E-2	27	8,59	306,31	647,315	186	420,75	60,18	37,89	37,40	7,30	292,80	0,00	18,18	33,58
E-3	27,7	10	1233,88	21248,2	67	13811,32	152,38	207,23	7498,47	87,21	7362,70	443,10	4471,00	1922,54
E-4	26	9,98	1069,23	20783,7	33	13509,43	155,45	165,39	8511,21	91,00	7399,30	603,90	4614,69	1984,31
E-5	26,5	10	720,72	20812,8	42	13528,30	60,55	138,30	3760,99	82,02	7576,20	94,20	4034,98	1750,27
E-6	27	10,1	718,39	20812,8	47	13528,30	47,60	145,58	8817,22	91,56	7326,10	88,80	4755,87	2057,28
E-7	26,6	10	1424,51	21741,7	53	14132,08	68,21	304,57	8764,22	103,57	7466,40	99,30	4719,36	2047,82
E-8	25,8	10,02	806,97	22438,3	35	14584,91	57,79	160,92	8624,36	90,32	8369,20	95,40	4764,38	2072,84
E-9	25,5	10,3	786,93	22931,8	47	14905,66	52,58	159,21	8854,54	87,47	7820,20	97,80	4815,23	2090,83
E-10	25,2	10,04	711,35	22438,3	35	14584,91	51,97	141,23	8588,68	86,34	7850,70	102,00	4962,87	2130,73
E-11	25,1	10,04	656,4	22670,5	45	14735,85	18,87	147,96	8447,76	83,43	7387,10	105,90	4955,51	2050,55
E-12	24,8	9,94	637,19	20580,6	-51	13377,36	21,52	141,68	5730	77,62	4280,98	59,4	3422,59	1711,17
E-13	24,4	10,08	984,24	23860,7	-8	15509,43	3,76	236,73	8671,2	95,29	6319,6	96,6	5012,32	2192,96
E-14	25,5	10,14	710,75	21973,9	6	14283,02	24,12	157,97	8822,3	90,47	7637,2	117	4968,32	2174,54
E-15	26,2	9,82	254,76	14426,7	27	9377,36	30,13	43,59	3835,6	36,35	2483,92	45,3	2391,13	1296,83
MAK	27,7	10,30	1424,51	23860,67	186	15509,43	155,45	304,57	8854,54	103,57	8369,20	603,90	5012,32	2192,96
MIN	19,9	7,96	254,76	534,11	-51	347,17	3,76	21,11	14,90	7,30	292,80	0,00	18,18	28,16
ORT	25,6	9,80	754,86	18526,75	46	12042,39	59,40	147,29	6598,59	75,23	6398,03	146,34	4136,17	1702,96
İTASHY(2005)	25	6,5-9,5	-	-	-	-	200	50	200	-	250	-	250	50
EPA (2009)	-	6,5-9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	250	-	250	44,3
WHO (2008)	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	250	-	250	50



Şekil 4. Akarsuların fiziksel parametrelerinin değişim haritası: Toplam çözünmüş madde (TÇM, $\mu\text{S/cm}$), Oksidasyon indirgenme potansiyeli (OİP, Mv), Elektriksel iletkenlik (EI, $\mu\text{S/cm}$)



Şekil 5. Akarsuların majör katyon kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), sodyum (Na^+), potasyum (K^+) derişimlerinin değişim haritası



Şekil 6. Akarsuların majör anyon bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}), sülfat (SO_4^{2-}) ve klorür (Cl^-) derişimlerinin değişim haritası

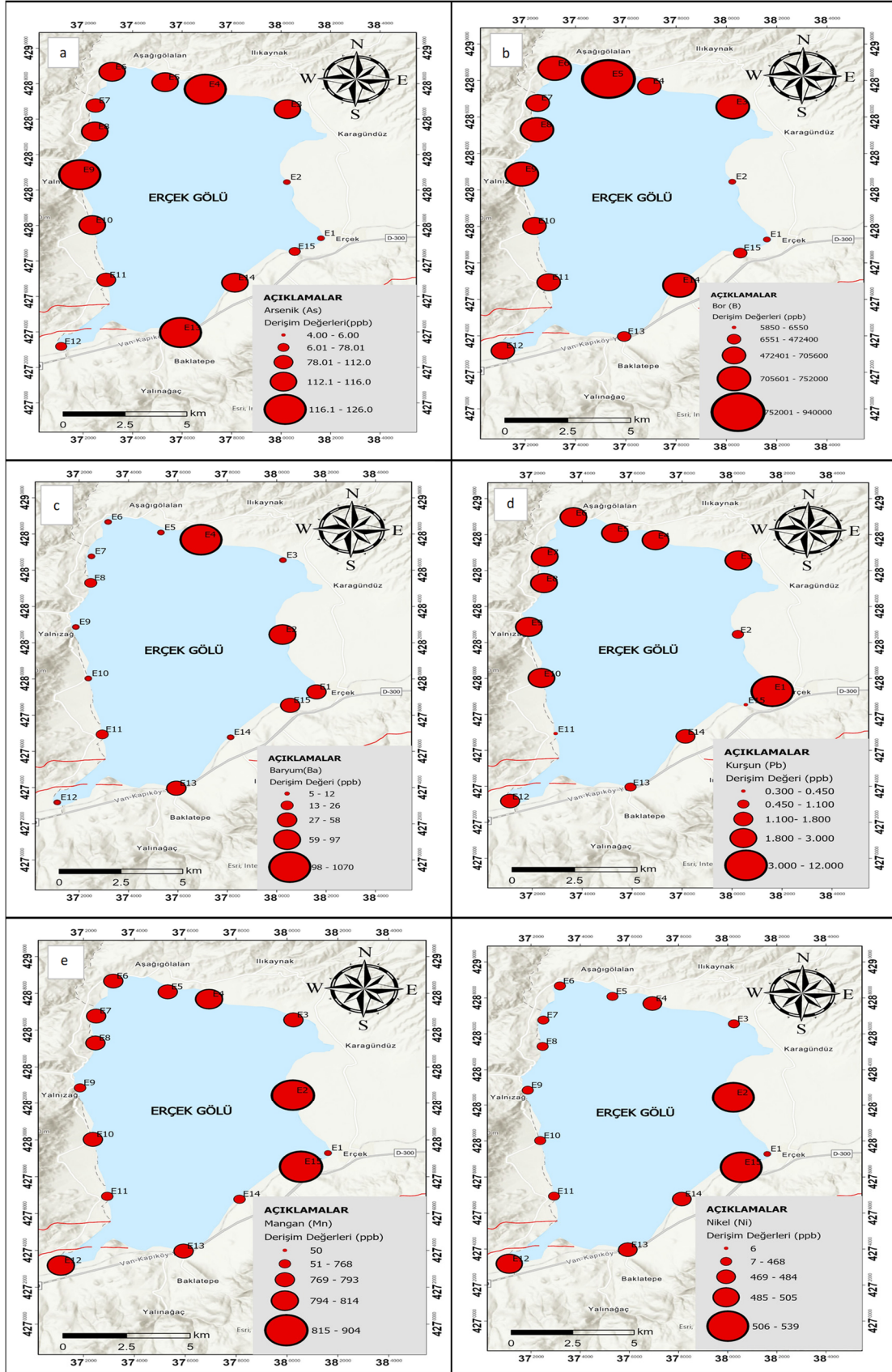
3.1. Göl Sularının İz Element Derişimleri

Van Erçek Gölü'nün belirli noktalarından alınan 15 su örneğinde As, B, Ba, Mn, Ni ve Pb elementlerine yönelik yapılan analiz sonuçları Çizelge 2'de sunulmuş; bu elementlerin derişim dağılım haritaları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında hazırlanarak Şekil 7'de görselleştirilmiştir. Göl alanındaki suyun iz element derişimlerinin, bölgedeki jeolojik birimlere, aktif fay zonlarına, yerleşim yerlerinden kaynaklanan antropojenik atıkların dağılımına, tarım alanlarına ve ulaşım yollarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği düşünülmektedir (Çizelge 2, Şekil 7).

Çizelge 2. İz element derişim değerleri

Örnek noktası	As (ppb)	B (ppb)	Ba (ppb)	Mn (ppb)	Ni (ppb)	Pb (ppb)
E-1	4	6550	58	50	6	12,0
E-2	6	5850	97	904	539	1,1
E-3	114	719200	5	784	464	3,0
E-4	120	686400	1070	807	472	2,3
E-5	115	940000	11	780	465	2,6
E-6	114	717200	12	776	463	2,4
E-7	112	705600	9	779	459	2,1
E-8	116	722000	18	786	467	2,2
E-9	124	752000	10	767	460	2,3
E-10	114	680800	6	793	468	2,3
E-11	109	702000	26	747	460	0,3
E-12	78	696400	9	814	505	1,6
E-13	126	472400	39	793	484	1,0
E-14	116	725200	6	768	471	1,8
E-15	50	372000	36	871	525	0,5
MAX	126,00	940000	1070,00	904,00	539,00	12,00
MIN	4,00	5850	5,00	50,00	6,00	0,30
ORT	94,53	593573,33	94,13	747,93	447,20	2,50
ITASHY (2005)	10	1000	700	50	20	10
EPA(2005)	10	-	2000	50	-	15
TS 266 (2005)	10	1000	300	50	20	10
WHO (1998)	10	300	300	50	20	10

Analiz sonuçları ve derişim dağılım haritaları incelendiğinde, yüksek iz element derişimlerinin genellikle göl alanının kuzey-kuzeybatı yönünde yer alan 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. numaralı örnekleme alanlarında tespit edildiği belirlenmiştir. Göl sularında görülen yüksek iz element derişimlerinin kökensel kaynağının büyük ölçüde jeolojik olduğu; bu durumun fay zonlarında bulunan volkanik ve magmatik kökenli litolojiler ile eski volkanik aktivitelere bağlı olarak göl tabanında meydana gelen cevherleşmelerle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, yerleşim yerlerinden kaynaklanan antropojenik atıklarla birlikte tarımsal verim artırıcı gübreler ve zirai ilaçlamalardan kaynaklanan kimyasal girdilerin de yüksek derişimlere katkı sağladığı değerlendirilmektedir. Göl çevresinde bahçe tarımıyla birlikte yem bitkileri (fiğ, yonca, korunga), tahıl tarımı (buğday, arpa vb.) yetiştirilmekte, mera ve besi hayvancılığı yapılmaktadır. İz element analiz sonuçları, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (ITHASY), Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Türk İçme Suyu Standardı (TS 266) gibi standartlara göre değerlendirildiğinde, arsenik ve bor elementlerinin 1. ve 2. numaralı örnekleme noktaları haricindeki tüm alanlarda ilgili standart değerlerini aştığı tespit edilmiştir. Mangan derişimlerinin ise incelenen tüm örneklerde bu standartları aştığı görülmüştür (Çizelge 2). Nikel, yalnızca 1. numaralı örnek dışında kalan tüm noktalarda standart değerlerin üzerinde bulunurken, kurşunun yalnızca 1. numaralı örnekleme noktasında sınır değerleri aştığı belirlenmiştir (Şekil 7). Analiz edilen diğer iz elementlerin değerleri belirtilen standartları aşmadığı için değerlendirmeye dahil edilmemiştir.



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışma kapsamında, Van ilinin İpekyolu ilçesinde yer alan Erçek Gölü'nün 15 farklı noktasında pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), toplam çözünmüş madde (TÇM), sıcaklık ve çözünmüş oksijen (OİP) gibi fiziksel parametreler ölçülmüştür. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, su örneklerinin majör anyon - katyon ve iz element derişimleri belirlenmiş; ayrıca fizikokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Yapılan pH sınıflamasına göre, göl sularının bazik karakterde Temmuz ayı sıcaklığının ortalama 25,6°C olduğu tespit edilmiştir. Hidrokimyasal fasiyes tipi Na-HCO₃ olarak saptanmış, baskın katyonun kalsiyum (Ca²⁺) ve baskın anyonun bikarbonat (HCO₃⁻) olduğu tespit edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄²⁻ iyonlarının derişim değerlerinin, ITASHY [38], EPA [39] ve WHO [40] ve TS [41] standartlarında belirtilen sınır değerlerin oldukça üzerinde olduğu görülmüştür. Bu derişim değerleri dikkate alındığında, göl suyunun bölgedeki içme sularına veya kaliteli yüzey sularına karışmasının ciddi kalite kaybına yol açacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, göl suyunun bölge akiferleri ile temas etmemesine özen gösterilmelidir. Ayrıca, kazı, dolgu ve tarımsal çalışmalar (örneğin, yol açma ve tarla düzeltme), su kuyusu açma faaliyetleri, sanayi ve maden arama/işletme kazı işlemleri sırasında yüzey ve yeraltı drenaj hatlarının bozulmamasına dikkat edilmesi önem arz etmektedir (Çizelge 1). Yapılan arazi çalışmaları sonucunda ölçülen oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (OİP) değerleri incelendiğinde, göl suyunun kimyasal özelliklerinin -51 mV ile 186 mV arasında geniş bir aralıkta değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, gölün farklı lokasyonlarında oksidasyon-redüksiyon dengesinde belirgin bir heterojenlik olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle 12., 13. ve 14. ölçüm noktalarında tespit edilen negatif OİP değerleri (-51 mV, -8 mV ve 6 mV), bu bölgelerde indirgen ortam koşullarının baskın olduğunu göstermektedir. Düşük ve negatif OİP değerleri görülen bu lokasyonlar, demir, manganez veya sülfür gibi elementlerin indirgenmiş formlarının varlığını işaret etmektedir. Bu tür bulgular, Erçek Gölü'nün çevresel etkileşim faktörlerine, kirlilik kaynaklarına veya doğal jeokimyasal süreçlere maruz kaldığını göstermektedir. Erçek Gölü'ne ait iz element analiz sonuçları ile derişim dağılım haritaları incelendiğinde, yüksek derişimlerin göl alanının kuzey ve kuzeybatı yönlerindeki 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. numaralı örnekleme noktalarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Yüksek iz element derişimlerinin kökensel kaynağının daha çok jeolojik olduğu, fay zonlarında bulunan volkanik ve magmatik kökenli litolojiler ile eski volkanik aktivitelere bağlı olarak göl tabanında meydana gelen cevherleşmelerle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, yerleşim alanlarına bağlı antropojenik atık deşarjları, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübreler ve zirai ilaçlardan kaynaklanan kimyasal atıklar ile göl alanına yakın demiryolu ve karayolu ulaşım hatlarından kaynaklanan yakıt atıklarının da iz element derişimlerini artırdığı veya değiştirdiği değerlendirilmektedir. İz element analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü (WHO), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (ITASHY), Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Türk İçme Suyu Standardı (TS 266) gibi standartlara göre değerlendirildiğinde, arsenik ve bor elementlerinin 1. ve 2. numaralı örnekleme noktaları hariç tüm alanlarda ilgili standart değerlerini aştığı belirlenmiştir. Mangan derişimlerinin tüm standart değerlerin üzerinde olduğu (Çizelge 2), nikelin ise 1. numaralı örnek hariç diğer tüm örneklerde sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kurşunun yalnızca 1. numaralı örnekleme noktasında standart sınır değerlerini aştığı görülmüştür. Bu çalışma sonucunda, Erçek Gölü sularında ciddi miktarda iz element derişimlerinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Göl sularının tarımsal, endüstriyel, kozmetik ve turizm gibi çeşitli amaçlarla doğrudan veya dolaylı kullanımının risk taşıdığı belirlenmiştir. Bu nedenle, göl sularının kullanımından kaçınılması veya kullanım durumunda su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi, kirlenici kaynakların kontrol altına alınması, atık su arıtma sistemlerinin etkinleştirilmesi ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi gibi kapsamlı önlemlerin alınması gerekmektedir. Ayrıca, bölge halkının konu hakkında bilinçlendirilmesi ve su kaynaklarının korunmasına yönelik eğitim programlarının düzenlenmesi tavsiye edilmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu makale yazarın (Sultan APAYDIN) yüksek lisans tezinin bir bölümünden üretilmiştir. Ayrıca makalenin son haline gelmesinde emeği geçen Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi editör ve hakemlerine teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

1. Mengchang, H., Wang, Z. & Tang, H. (1998). The chemical, toxicological and ecological studies in assessing the heavy metal pollution in Le an River, China. *Water Research*, 32(2), 510-518.
2. Gao, Q., Li, Y., Cheng, Q., Yu, M., Hu, B., Wang, Z. & Yu, Z. (2016). Analysis and assessment of the nutrients, biochemical indexes and heavy metals in the Three Gorges Reservoir, China, from 2008 to 2013. *Water Research*, 92, 262-274.
3. Liu, H., Liu, G., Yuan, Z., Wang, S., Liu, Y. & Da, C. (2019). Occurrence, potential health risk of heavy metals in aquatic organisms from Laizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 388-394.
4. Gu, Y.G., Huang, H.H., Liu, Y., Gong, X.Y. & Liao, X.L. (2018). Non-metric multidimensional scaling and human risks of heavy metal concentrations in wild marine organisms from the Maowei Sea, the Beibu Gulf, South China Sea. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 59, 119-124.
5. Keskin, V., Türkmen, S. ve Özbek, A. (2024). Afşin-Elbistan termik santrali (Kahramanmaraş) çevresinin yüzey sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(4), 1113-1127.
6. Keskin, V. ve Türkmen, S. (2023). Seyhan Nehrinin su kalitesi ve iz element konsantrasyonlarının değerlendirilmesi [Evaluation of water quality and trace element concentrations of the Seyhan River]. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(4), 1093-1106.
7. Şener, Ş. ve Şener, E. (2015). Kovada Gölü (Isparta) dip sedimanlarında ağır metal dağılımı ve kirliliğinin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 86-96.
8. Lermonto, A., Yokoyam, L., Lermontov, M., Augusta, M. & Machado, S. (2009). River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, 9(6), 1188-1197.
9. Chowdhury, S., Mazunder, M.A.J., Al-Attas, O. & Husain, T. (2016). Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications and future needs in developing countries. *Science of the Total Environment*, 569-570, 476-488.
10. Momodu, M.A. & Anyakora, C.A. (2010). Heavy metal contamination of ground water: The Surulere case study. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2, 39-43.
11. Adepoju-Bello, A.A., Ojomolade, O.O., Ayoola, G.A. & Coker, H.A.B. (2009). Quantitative analysis of some toxic metals in domestic water obtained from Lagos metropolis. *The Nigeria Journal of Pharmacy*, 42(1), 57-60.
12. Adepoju-Bello, A.A. & Alabi, O.M. (2005). Heavy metals: A review. *The Nigeria Journal of Pharmacy*, 37, 41-45.
13. Khoshnam, S.E., William, W., Maryam, F., Yaghoob, F. & Hadi, F.M. (2017). Pathogenic mechanisms following ischemic stroke. *Neurological Sciences*, 38(7), 1167-1186.
14. Karmakar, B., Singh, M.K., Choudhary, B.K., Singh, S.K., Egbueri, J.C., Gautam, S.K. & Rawat, K.S. (2021). Investigation of the hydrogeochemistry, groundwater quality, and associated health risks in industrialized regions of Tripura, northeast India. *Environmental Forensics*, 24(5-6), 285-306.
15. İpek, S. ve Sarı, M. (1998). Erçek Gölü'nün batimetrik özelliklerinin belirlenmesi. *TÜBİTAK*, Ankara, Türkiye, YDABÇAG-609-A.
16. Yılmaz, M. (2013). Erçek Gölü Havzası'nın coğrafi etüdü. *Doktora Tezi*. Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.
17. Duman, N. ve Çiçek, İ. (2011). Erçek Gölü yakın çevresinin jeomorfolojik özellikleri. *e-Journal of New World Science Academy*, 6(4), 169-188.
18. Ateş, Ş., Mutlu, G., Özerk, O.C., Çiçek, İ. ve Gülmez, F.A. (2007). Van ili kentleşme alanları yer bilim verileri. *MTA Genel Müdürlüğü*, Ankara, Türkiye, 10961.
19. Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakoglu, A., Dağ, Z., Erkanol, D., Örcen, S., Taşkiran, M.A., Ulu, Ü., Ünal, M. F. ve Yıldırım, H. (1984). *Özalp (Van)-İran sınırı arasındaki alanın jeolojisi*. (MTA Rapor No. 7623). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye. (Yayımlanmamış rapor)
20. Acarlar, M., Bilgin, A.Z., Erkal, T., Güner, E., Şen, A.Ş., Elibol, E., Gedik, İ. ve Uğuz, M.F. (1991). *Van Gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi*. (MTA Rapor No. 9469). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüt Dairesi, Ankara, Türkiye. (Yayımlanmamış rapor).
21. Yılmaz, Y., Şaroğlu, F. & Güner, Y. (1987). Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199.
22. İnandık, H. (1965). *Türkiye gölleri (Morfolojik ve hidrolojik teknikleri)*. İstanbul Üniversitesi Yayınları, 1155.

23. Lahn, E. (1948). *Türkiye göllerinin jeolojisi ve jeomorfolojisi hakkında bir etüd*. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, B-12.
24. Toker, T. & Tur, H. (2018). Structural patterns of the Lake Erçek Basin, eastern Anatolia (Turkey): Evidence from single-channel seismic interpretation. *Marine Geophysical Research*, 39, 567-588.
25. Şaroğlu, F. ve Güner, Y. (1981). Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 50, 24-39.
26. Acarlar, M., Aktimur, T. ve Çakmakoglu, A. (1987). *Özalp K51-d1 ve d2 jeoloji paftası*. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
27. Şahinci, A. (1991). *Doğal suların jeokimyası*. (1. Baskı). Reform Matbaası, İzmir.
28. WHO, (2022). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*. ISBN 978-92-4-004506-4.
29. Neal, C., Fox, K.K., Harrow, M. & Neal, M. (1998). Boron in the major UK rivers entering the North Sea. *Science of the Total Environment*, 210-211, 41-51.
30. Kloppmann, W., Bianchini, G., Charalambides, A., Dotsika, E., Guerrot, C., Klose, P., Marei, A., Pennisi, M., Vengosh, A. & Voutsas, A. (2004). *Boron contamination of water resources in the Mediterranean region: distribution, sources, social impact and remediation* (Final report, boremed Project, EU Grant EVK1-CT-2000-00046). European Commission, Brussels.
31. Vengosh, A., Weinthal, E., Kloppmann, W., Bianchini, G., Charalambides, A., Dotsika, E., Guerrot, C., Klose, P., Marei, A., Pennisi, M. & Voutsas, A. (2004). Tracing the origin of boron contamination in water resources in the Mediterranean region. *Uluslararası Jeoloji Kongresi*, Floransa, İtalya.
32. Wyness, A., Parkman, R. & Neal, C. (2003). A summary of boron surface water quality data throughout the European Union. *Science of the Total Environment*, 314, 255-269.
33. Ermidou-Pollet, S., Sabatakakis, N., Sdougas, N. & Pollet, S. (2012). Influence of the geochemical environment on freshwater trace element levels in Greece. *Trace Elements & Electrolytes*, 29(2), 113-118.
34. WHO, (1998). *Environmental health criteria 204: Boron*.
35. Liu, P., Wang, C. & Hu, J. (2005). Preliminary study on pregnancy outcome of spouses of boron workers. *China Public Health*, 5, 035.
36. Robbins, W.A., Wei, F., Elashoff, D.A., Wu, G., Xun, L. & Jia, J. (2008). Y:X sperm ratio in boron-exposed men. *Journal of Andrology*, 29(1), 115-121.
37. USEPA, (2005). *Baryum ve bileşenlerinin toksikolojik incelemesi*. Entegre Risk Bilgi Sistemi (IRIS).
38. İTHASY, (2005). *İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik*. Resmi Gazete, 17.02.2005 No. 25730.
39. EPA, (2009). National primary drinking water standards. *Environmental Protection Agency, Office of Water*.
40. WHO, (2008). *Guidelines on drinking-water quality*.
41. TS 266, (1930). *Umumi Hıfzıssıhha kanununun insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmeliği*.

