

## Kütahya ve Köprüören Ovalarındaki Yüze ve Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve İz Element İçerikleri

Meral ÖZCAN<sup>1</sup>, Hüseyin KARAKUŞ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 43100, Kütahya, Türkiye

(Alınış / Received: 19.04.2019, Kabul / Accepted: 30.05.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 30.08.2019)

### Anahtar Kelimeler

Yeraltısuyu,  
Jeokimya,  
İz element,  
Kütahya,  
Köprüören

**Özet:** Bu çalışma Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yüze ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi ve iz element içeriklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Her iki ovada bulunan yüze ve yeraltısularının majör iyon ve iz element analizleri yapılmıştır. Major iyon analizlerine göre bölgedeki doğal suların kimyasal fasiyesi karbonatlı kayalarca denetlenmektedir. Örneklenen sularda bazı iz element derişimlerinin içme suyu standartlarındaki sınır değerleri aştığı belirlenmiştir. Her iki ovada özellikle arsenik (As) derişimleri on farklı noktada içme suları için 10 ppb olarak önerilen sınır değeri aşmaktadır. Köprüören ovasında Enne Barajı'na drene olan Köprüören Deresi'nde kurşun (Pb) ve antimon (Sb) derişimleri eşik değerlerin üzerindedir. Arsenik ve antimon dışında demir (Fe), çinko (Zn) ve mangan (Mn) derişimlerinin yerel sanayi kuruluşlarının bulunduğu kesimlerde veya maden işletmeleri civarında yüksek derişimlere ulaştığı belirlenmiştir.

## Hydrogeochemical Features and Trace Element Contents of Surface and Groundwaters in Kütahya and Köprüören Plains

### Keywords

Groundwater,  
Geochemistry,  
Trace element,  
Kütahya,  
Köprüören

**Abstract:** The aim of this study is to investigate the geochemical properties of surface and groundwater in Kütahya and Köprüören plains and to determine the trace element contents. Major ion and trace element analysis of surface and groundwater in both plain were performed. According to major ion analysis, the chemical facies of natural waters in the region are controlled by carbonate rocks. It is determined that some trace element concentrations exceed the limit values in drinking water standards. Particularly, arsenic (As) concentrations in both plains exceed the recommended limit value of 10 ppb for drinking water at ten different points. The concentration of lead (Pb) and antimony (Sb) at Köprüören creek, which is drained to Enne Dam in Köprüören plain, is above the threshold values. In addition to arsenic and antimony, the concentrations of iron (Fe), zinc (Zn) and manganese (Mn) were found to be high in the regions where the local industrial establishments were located or in the vicinity of the mine enterprises.

### 1. Giriş

Günümüzde modern yaşamın gereği olarak endüstrileşme, şehirleşme ve artan nüfusa paralel olarak çevre kirliliği artmakta, özellikle yağışlı dönemlerde antropojenik kaynaklı kirletici unsurlar toprağa ve doğal sulara karışmaktadır. Bu kirletici unsurların başında ağır metaller/iz elementler yer alır. Bu elementlerin bazıları kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), çinko (Zn), antimon (Sb), nikel (Ni), krom (Cr), arsenik (As), cıva (Hg) ve selenyum (Se) dir. Bu elementler için ulusal (TS266) ve uluslararası [1]

içme suyu standartlarında verilen sınır değerler 5-50 µg/L arasında değişmektedir.

Kütahya ilinde kirliliğe neden olabilecek faktörler çeşitli sanayi kuruluşlarının yakıt tüketiminden kaynaklanan gazlar ve fosseptik atıklar, tarımsal faaliyetlerde kullanılan suni ilaç ve gübreler, yerleşim yerlerinin kanalizasyon atıkları, eski gömülü çöp yığınları, ısınma amaçlı kullanılan soba ve doğalgaz bacalarından çıkan CO, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gazları gibi hem havayı hem de doğal suları kirletebilecek unsurlardır. Yörede bulunan gümüş, termik santral, azot sanayi ve yersel önemli sanayi kuruluşları gibi fabrika baca gazı

\*İlgili yazar: huseyin.karakus@dpu.edu.tr

ve fosseptik atıklarının da kirletici özellikleri göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda [2, 3] Köprüören Havzası'nın güneyinde gümüş içeren metalik maden yataklarının işletilmesi, kuzeyinde de linyit yatakları ile ilişkili arsenikçe zengin minerallerin çözünmesi sonucunda bölgedeki yüzey ve yeraltısularında As kirliliğinin varlığı saptanmıştır. Benzer bir çalışmada [4] Köprüören Ovasında gümüş madenciliğinin yapıldığı sahaya yakın alanlardaki yeraltısularında As ile birlikte Sb derişimlerinin içme suyu standartlarındaki eşik değerlerin aşıldığı belirlenmiştir.

Günümüzde Kütahya ve Köprüören ovalarında yeraltısuyu kullanımı tarımsal sulama ile sınırlıdır. İçme-kullanma suyu ihtiyacı Kütahya il merkezine yaklaşık 18 km mesafede bulunan Gelinkaya ve Porsuk kaynak suyu sistemi ile karşılanmaktadır [5]. Ancak, artan nüfus ve sanayileşmeye paralel olarak kullanılabilir nitelikteki su ihtiyacının artması kaçınılmazdır. Bununla birlikte Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan RCP4.5 iklim değişim senaryosuna göre birinci dönemde (2016-2040) özellikle ilkbahar yağışlarında yurdun büyük bir bölümünde %20'lere varan düşüşler meydana geleceği öngörülmektedir [6]. Aynı senaryoya göre 2041-2070 yılları arasında kapsayan ikinci dönemde ise Kütahya ilini içini alan bölgede mevsimlere bağlı olarak yağışlarda %5-%20 arasında düşüşler beklenmektedir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yeraltısularının yakın gelecekte olmasa bile orta vadede bölgedeki yerleşimlerin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılanması amacıyla kullanılması olasılığı artmaktadır. Bu bağlamda Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yüzey ve yeraltısularının mevcut niteliğinin tarımsal sulama ve içme suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi ivedilik arz etmektedir.

Sunulan bu çalışmada, Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş, iz element içerikleri ve olası iz element kirlilik durumları araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler benzer amaç ve kapsamda hazırlanmış olan yüksek lisans tezinden [7] derlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Arazi çalışmaları

Öncelikle arazi çalışmaları ile her iki ovada bulunan su noktaları (çoğunlukla sığ keson kuyular ve dereler) tespit edilmiştir. GPS yardımıyla koordinatları alınmış örnekleme uygun noktalar Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı ArcGIS yazılımına aktararak her iki ovayı temsil edecek konumsal dağılıma sahip noktalar seçilmiştir. Ölçüm ve

örnekleme çalışmaları bölgenin yağışlı dönemi olarak kabul edilen Nisan 2017 ayında yapılmış olup, genelde Kuvaterner ve Pliyo-Kuvaterner çökellerde açılmış kuyular ve derelerden olmak üzere toplamda 43 adet su örneği alınmıştır.

Örnekleme sırasında kuyularda seviye ölçümleri Heron Instruments Conductivity Plus model seviye ölçer ile yapılmıştır. Örneklere ait sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri için YSI 556 MPS model multiparametre cihazı kullanılmıştır. Ölçümler öncesinde cihazlar standart çözeltilerle (pH için pH= 4.01 ve pH= 7.01; EC için EC= 1413  $\mu$ S/cm) kalibre edilmiştir.

Alkalinite tayini arazi koşullarında titrasyon ile yapılmıştır. 250 ml'lik polietilen şişeler ile alınan örnekler analizlerin yapılacağı laboratuvara ulaştırılmaya kadar +4 °C'de koruma altına alınmıştır.

### 2.2. Kimyasal analizler

Major iyon ve iz element analizleri Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bölümü Su Kimyası laboratuvarında yapılmıştır.

- $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$ , vb. major iyon ile  $F^-$ ,  $Br^-$ ,  $PO_4^{-3}$ ,  $NO_3^-$  ve  $NO_2^-$  analizleri iyon kromatografi yöntemi (Dionex model) ile,
- $CO_3-HCO_3$  analizleri ise hata sınırı  $\pm 3$  mg/l olan titrimetrik yöntem ile,
- İz element analizleri ICP-MS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

İyon dengesine dayalı elektronötrallite hesaplamasına göre analiz hataları % 0.04 - % 4.5 arasında değişmekte olup, jeokimyasal değerlendirmeler için analiz sonuçları güvenilir olarak kabul edilmiştir.

### 2.3. Sonuçların değerlendirilmesi

Arazi ölçüm verileri haritalara aktarılmış, elde edilen fiziksel ve kimyasal veriler ArcGIS yazılımının "Topo to Raster" eklentisi yardımı ile 50 m x 50 m çözünürlükte raster formatına dönüştürülerek alansal dağılım haritaları yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarından litoloji ve hidrojeolojik yapı arasındaki ilişkinin açıklanması için hidrojeokimyasal çalışmalarda yaygın olarak yararlanılan Piper diyagramı kullanılmıştır. Örneklenen suların tarımsal sulamaya uygunlukları Wilcox ve ABD tuzluluk Lab. diyagramları ile değerlendirilmiştir. İz element analiz sonuçları TS266-İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği ve Dünya Sağlık Organizasyonu (WHO) "İçme Suyu Kalitesi için Kılavuz Değerleri" çerçevesinde değerlendirilerek elde edilen bulgular öneriler eşliğinde sunulmuştur.

### 3. Bulgular

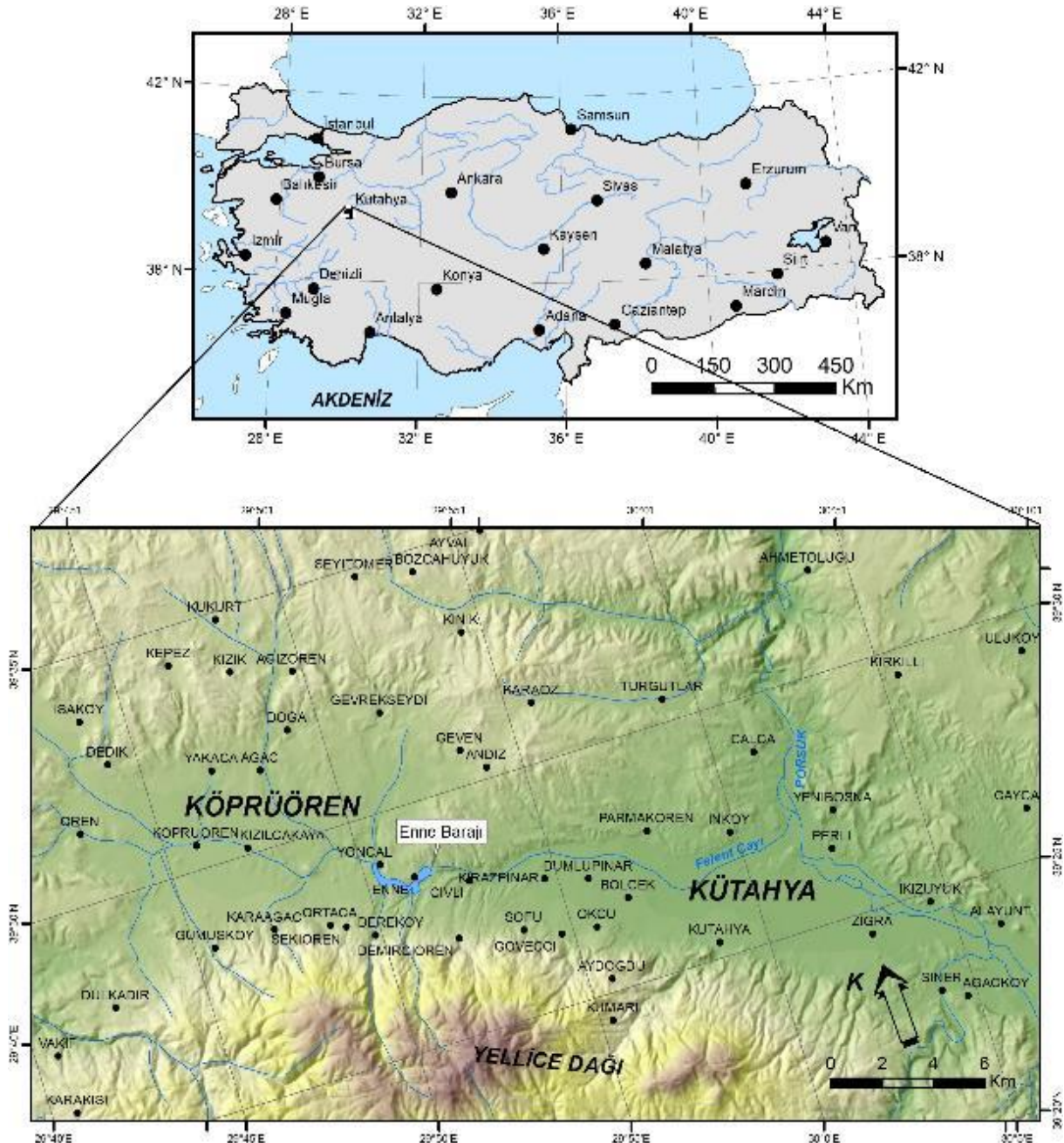
#### 3.1. İnceleme alanının tanıtılması

Kütahya ve Köprüören ovaları Ege Bölgesinin İç Batı Anadolu bölümünde, Kütahya merkez ilçe ili sınırları içinde bulunur (Şekil 1). Kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı bu ovalar güneyde Yellice dağı, kuzeyde ise Karaöz dağlarıyla sınırlanmıştır.

İnceleme alanında ana akarsu ağını Porsuk Çayı ve onun yan kolu olan Felent Çayı oluşturur. Her iki akarsu, Kütahya ovasının kuzey sınırında birleşerek Ilıca civarında Porsuk baraj gölüne dökülür. Kütahya ve Köprüören ovaları birbirinden Felent Çayı üzerinde inşa edilmiş Enne Barajı'nın bulunduğu dar bir boğazdan ayrılır (Şekil 1).

Köprüören Ovası 1020 m -1050 m kotları arasında yer alırken, Kütahya Ovası 920 m -970 m kotları arasında yer almaktadır. Her iki ovada da arazi eğimi %1'in altındadır. Düşük eğimli ovalık alanlarda tarımı yapılan başlıca ürünler buğday, arpa, nohut ve şeker pancarıdır.

Çalışma alanı iklim olarak Türkiye'nin batısında görülen Akdeniz iklimi ile İç Anadolu'nun tipik karasal iklimi arasında geçiş bölgesi olarak dikkat çeker. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı geçer. Yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama yağış yüksekliği sırası ile 10.8 °C ve 556.8 mm dir.



Şekil 1. Kütahya ve Köprüören ovaları yer bulduru haritası

### 3.2. Jeolojik ve hidrojeolojik özellikler

Kütahya ve Köprüören ovaları, Türkiye'nin neotektonik dönemi gerilmeli tektonik rejimi etkisinde gelişmiş çöküntü yapılarındandır. Ovaların gelişimi güneylerinde yer alan yükselim alanları ile düzlükleri ayıran eğim bileşeni baskın KB-GD gidişli basamaklı bir fay dizisi tarafından denetlenmektedir. Ovaları çevreleyen yükselim alanlarında Paleozoyik ve Mesozoyik dönemlerine ait birimler yer alır. Ovalık bölüm ise Kuvaterner ve Pliyo-Kuvaterner genç çökel dolguludur. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası MTA tarafından hazırlanmış olan 1/500000 ölçekli İzmir ve Ankara paftalarından [8, 9] derlenerek Şekil 2'de sunulmuştur.

İnceleme alanında temel kayacı Yellice Dağı ve eteklerinde yüzeylenen, baskın litolojisi mikaşist olan ve yer yer mermer mostraları içeren Sarıcasu Formasyonu oluşturur. Bu birimin üzerinde kristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşan Arıkaya formasyonu yer alır. Fay zonuna yakın yerlerde yoğun makaslamaya uğramış birimin kalınlığı 400 m civarında olup, Kütahya Fay Zonuna yakın yerlerde fay pudrası ismiyle nitelendirilmiştir [10].

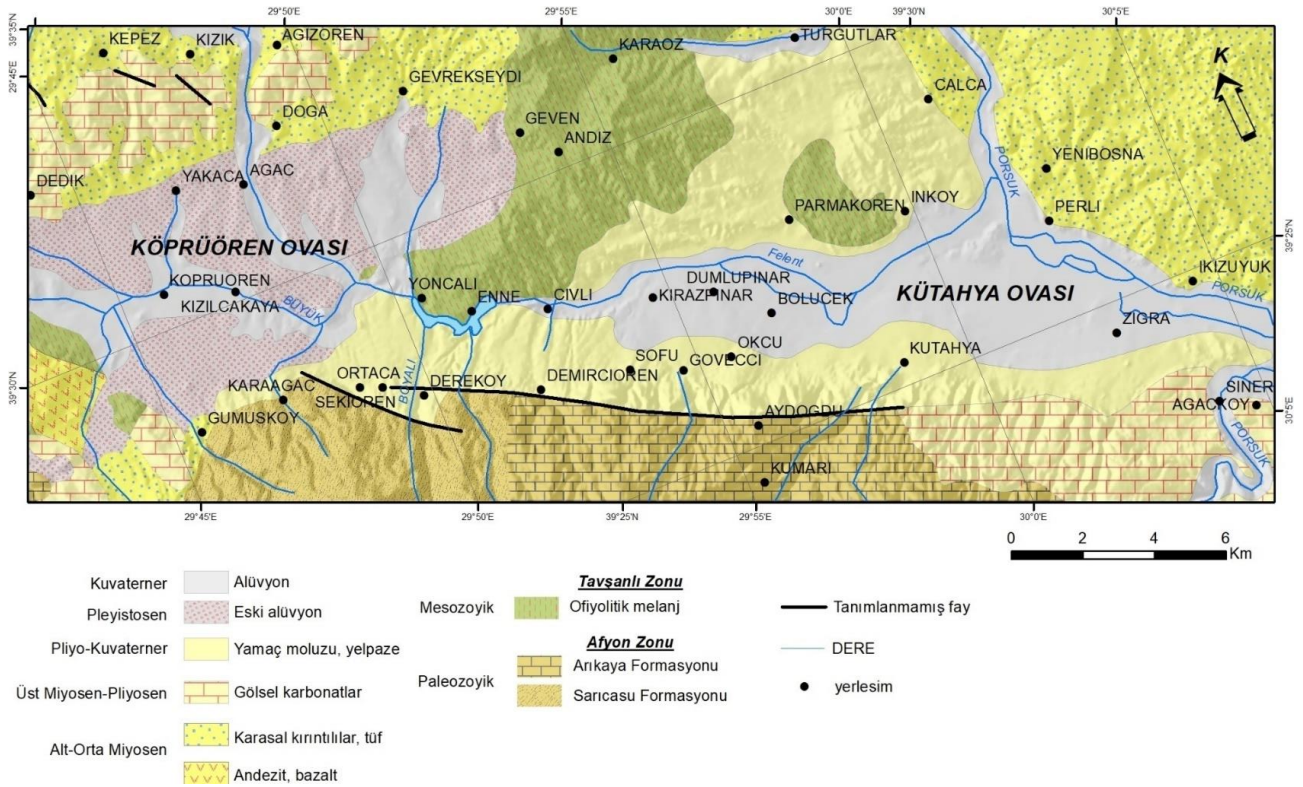
Çalışma alanı içindeki Tavşanlı Zonu kayaları farklı araştırmacılar tarafından Ovacık Melanjı Ofiyoliti adı altında incelenmiştir. Ovacık Melanjı yüksek basınç/düşük sıcaklık metamorfizması geçirmiş bazik lav, volkanik aglomera, tuf, radyolaryalı çört, şeyl, serpantin, talk, grovak ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır [11].

Bölgedeki karasal çökeller kaba konglomera, kumtaşı ve üste doğru kıltaşı marnlardan oluşan Alt-Orta Miyosen yaş aralığına sahip Beke Formasyonu [12] ile başlar. Daha üstte ise Kütahya Ovası'nın KD'sunda geniş bir alanda yüzeylenen Orta Miyosen yaşlı genelde kirli beyaz, açık sarı renkli Çayca Tuf birimi [10] gelir.

Kireçtaşı ve marndan oluşan gölsel karbonatlar 150 m'yi bulan kalınlığıyla bölgede geniş alanda yüzeylenir [10]. Kütahya genelinde yapılan bölgesel jeolojik çalışmalarda bu birimler Üst Miyosen yaşlı Emet Formasyonu adıyla ayrılanmıştır [13].

Kütahya ovasının kuzey-kuzeybatısında ve Yellice Dağı eteklerinde uzun bir hat boyu gözlemlenen Pliyo-Kuvaterner birimler Kirazpınar Formasyonu olarak adlandırılmış [10] olup pekişmiş-yarı pekişmiş, sarımsı, bej ve kırmızımsı renkli çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşur. Yellice Dağı etekleri boyunca Kütahya Fay zonunun değişik kesimlerinde oluşan alüvyal yelpazeler ise Kütahya Formasyonu olarak ayrılanmıştır [10].

Köprüören Ovası'nda çakıl, kum, silt ve kilden oluşan tutturulmamış çökeller "eski alüvyon" adı altında incelenmiştir [10, 12]. Kütahya Ovası'ndaki alüvyon ise her iki ovada drenajı sağlayan Felent Çayı ve Porsuk Çayının bıraktığı çökellerdir. Genellikle çakıl, kum, silt, kil boyutu malzemelerden oluşan kalınlığı bazı sondaj kuyularında 100 m'yi aştığı gözlenmiştir [14].



Şekil 2. Kütahya ve Köprüören ovaları çevresinin jeoloji haritası [8, 9,10]

Kütahya ve Köprüören ovalarındaki akifer sistemini alüvyon birimler oluşturur. Kütahya Ovası'ndaki serbest akifer özelliğindeki alüvyon birimlerin kapladıkları alan yaklaşık 80 km<sup>2</sup>'dir. Alüvyon kalınlığı ise çoğunlukla 10-100 m arasında değişmektedir. Alüvyon kalınlığı ova kenarlarında 10-20 m iken ova merkez bölümünde yer alan Kütahya il merkezi ile azot sanayi arasında kalan bölgede ise yer yer 100 m'ye ulaşır. Ovada açılan sondaj kuyularından yapılan pompaj deneyleri ile 3-40 l/s arası değişen debiye ulaşıldığı, özgül debilerin 1-3 l/s/m arası değiştiği, iletkenlik katsayısının ise ortalama 210 m<sup>3</sup>/gün/m olduğu tespit edilmiştir. [15]. Yeraltı suyu tablası oldukça sığ derinlikte, yüzeyden 1.5-9 m arasında değişmektedir (Şekil 3). Felent Çayı'nın akış yaptığı Bölcek mah. kuzeyi ile Parmakören köyü güneyi arasında kalan bölümde yer yer bataklık oluşumları mevcuttur.

Köprüören Ovası'nda alüvyon yaklaşık 88 km<sup>2</sup>'lik alanı kapsamaktadır. Kalınlığı ise 40 m civarındadır [14].

İnceleme alanında yeraltı suyu seviye tespiti amacıyla ovalarda yer alan sığ keson kuyular ile birlikte Paleozoyik şist ve mermerlerde açılmış olan kuyularda da seviye ölçümü yapılmıştır. Kuyular ile birlikte yükselim alanlarında yer alan kaynaklar ve ovadaki yüzey suları doğal yeraltı suyu kotu kabul edilerek yeraltı suyu eş-seviye haritası oluşturulmuştur (Şekil 3).

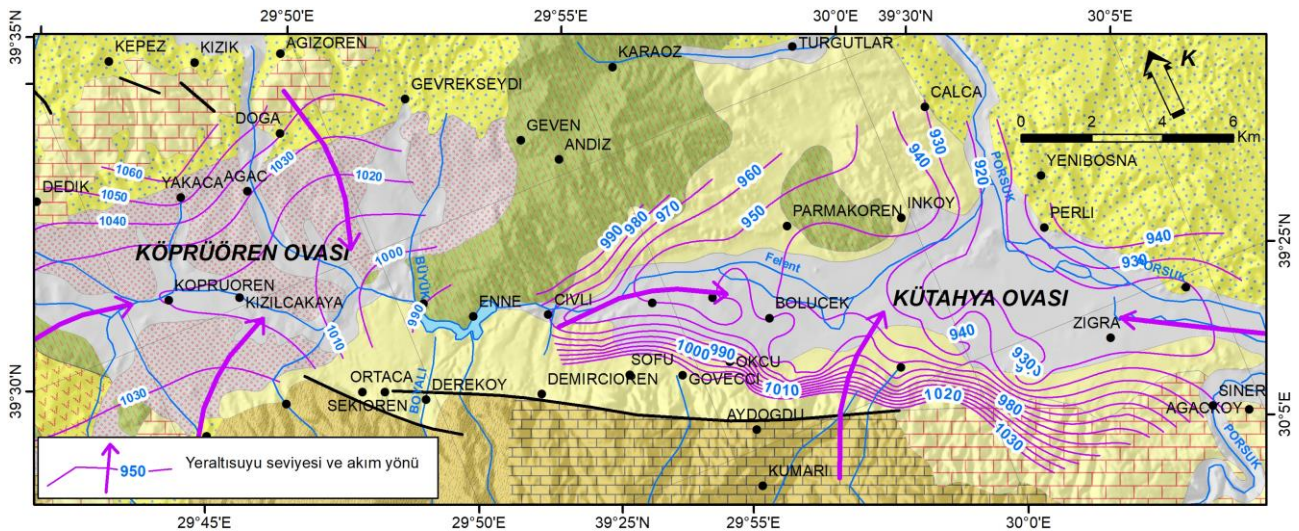
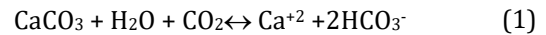
Yeraltı suyu akım yönleri yüzey sularının akımı yönü ile uyumlu olup Köprüören Ovası'nda batıdan doğuya doğrudur. Kütahya Ovası'nda güneyde topoğrafyanın yükselmesiyle yeraltı suyu seviyesi de yükselmekte ve ovaya doğru topoğrafyaya uygun olarak azalmaktadır. Bu ovadaki akım yönünü Felent ve Porsuk Çayları ile uyumlu olup güney, doğu ve batıdan gelen akımlar Porsuk Çayı akış yönünü izleyerek kuzeye doğru yönelmektedir.

### 3.3. Hidrojeokimya

Çalışma kapsamında örneklenen su noktalarının koordinat bilgileri ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de, majör iyon analiz sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur. İnceleme alanında ölçülen suların sıcaklıkları ise 7.2 °C ile 16 °C arasında değişmektedir (Tablo 1). Sıcaklığın nispeten yüksek olduğu noktalar şehirleşmenin olduğu alanlarda gözlenmektedir. Bu olgu "kentsel ısı adası" etkisi olarak tanımlanmakta, kentleşmeden dolayı yerel ısınmadan kaynaklanan iklimsel olmayan bozulmaların bir sonucu olarak açıklanmaktadır [16]. Yüzeysel sularında ve kırsal kesimlerde bulunan yeraltı sularında ise sıcaklıklar göreceli olarak daha düşüktür.

EC değerleri 320 - 1860 µS/cm arasındadır (Tablo 1). Ölçüm sonuçlarına göre EC eş dağılım haritası oluşturularak Şekil 4' te sunulmuştur. Buna göre; her iki ovanın orta kesimlerinde ovaları sınırlayan yükseltilerden ovalara doğru gerçekleşen yeraltı suyu akım yönü boyunca su-kayaç etkileşimi sonucu iletkenlik artışı gözlenmektedir. PH değerleri ise 7.0 ile 8.5 arasında, nötre yakın hafif alkali suları ifade etmektedir.

Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yüzey ve yeraltı suyu kimyasını denetleyen süreçler, bu amaç için yaygın olarak kullanılan Piper diyagramı ile incelenmiştir. İnceleme alanındaki su noktalarının Şekil 5'te yer alan Piper diyagramı üzerindeki konumlarına göre, sular kimyasal fasiyes olarak çoğunlukla Ca-HCO<sub>3</sub> ile Mg-HCO<sub>3</sub> tipi sular sınıfına girmektedirler. Kimyasal fasiyes türlerine göre sulara Ca, Mg ve HCO<sub>3</sub> iyonlarının baskın olmasını, jeolojik yapı dikkate alındığında, bölge genelinde geniş yayılım gösteren Arıkaya Formasyonu ile Gölsel karbonatları ile ilişkilendirmek mümkündür. Karbonatlı kayaç (kireçtaşı ve dolomit) mineralleri kalsit ve dolomitin çözünme tepkimeleri sonucunda, su fazına sırası ile Ca, Mg, HCO<sub>3</sub> geçer:



Şekil 3. Kütahya ve Köprüören ovalarında yeraltı suyu eş-seviye dağılımı

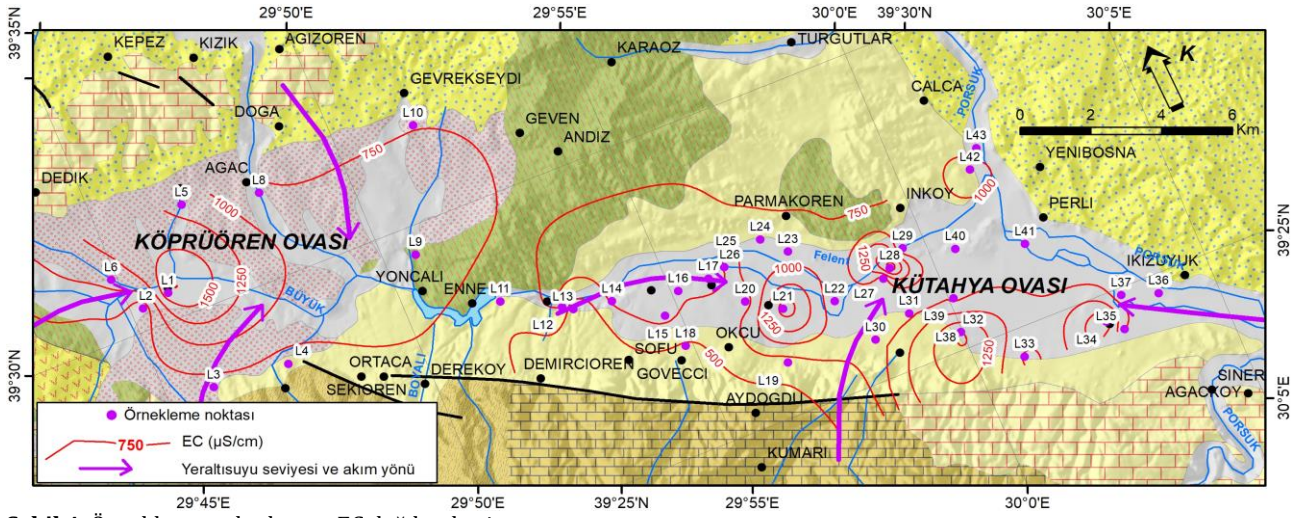
**Tablo 1.** Örnekleme noktalarının UTM (ED50) koordinatları ve fiziksel ölçüm sonuçları

Kod	Lokasyon	Tür	Doğu	Kuzey	Kot (m)	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	T ( $^{\circ}\text{C}$ )
L1	Köprüören	Kuyu	737631	4376805	1022	7.67	1689	9.0
L2	Köprüören dere	Dere	736802	4376630	1007	8.25	616	10.0
L3	Gümüşköy	Kuyu	737875	4373780	1041	8.25	662	9.1
L4	Kızılca kaya	Kuyu	740089	4373682	1034	7.79	668	10.7
L5	Yakacaköy	Kuyu	738878	4379080	1019	7.95	1141	11.8
L6	Örenköy	Dere	736249	4377723	1017	8.38	1096	9.8
L7	Örenköy	Kuyu	733663	4378350	1031	7.53	801	11.0
L8	Ağaçköy	Kuyu	741052	4378649	1028	7.71	798	12.4
L9	Yoncalı	Kuyu	744573	4375411	1002	7.58	938	12.0
L10	Seydiköy	Kuyu	745821	4378973	1044	7.75	740	12.0
L11	Enne Barajı	Dere	746339	4373299	991	8.7	615	11.9
L12	Civli	Kuyu	747916	4372536	965	7.75	738	11.4
L13	Civli	Kuyu	748195	4372363	956	8.4	323	7.9
L14	Civli dere	Dere	749300	4372206	946	7.99	783	9.5
L15	Kirazpınar	Kuyu	750552	4371281	964	7.46	802	10.6
L16	Kirazpınar	Kuyu	751158	4371832	946	7.55	778	8.8
L17	Dumlupınar	Kuyu	752078	4371866	943	7.78	829	12.0
L18	M. Ali Ceylan	Kuyu	750797	4370258	973	7.92	475	12.7
L19	Evliya Çelebi	Kuyu	753326	4368794	956	7.89	662	10.0
L20	Y. Selim Külliye	Kuyu	752820	4370878	948	7.78	668	13.5
L21	M. Ali Yurttaş	Kuyu	753751	4370311	942	7.42	1567	12.7
L22	Parmakören	Dere	755195	4370012	928	7.83	857	11.4
L23	Parmakören	Kuyu	754457	4371832	932	7.52	837	12.6
L24	Parmakören	Kuyu	753850	4372435	935	7.47	793	12.5
L25	Parmakören	Kuyu	752802	4372374	940	7.56	738	12.2
L26	Parmakören	Dere	752616	4372033	939	7.81	744	9.6
L27	TOKİ dere	Dere	756713	4370142	930	8.17	877	10.1
L28	İnköy mera	Kuyu	756991	4370374	929	7.7	1853	11.0
L29	İnköy mera	Kuyu	757529	4370786	926	7.85	742	12.7
L30	Sanayi	Kuyu	755883	4368555	937	7.44	832	13.6
L31	Şeker Fab. Yanı	Kuyu	757044	4368941	940	7.63	814	13.8
L32	İstasyon	Kuyu	758218	4367922	923	7.55	1486	7.2
L33	H. Güral Anaokulu	Kuyu	243047	4366536	916	7.71	736	16.0
L34	Zığra	Kuyu	245567	4366518	903	7.27	1362	11.8
L35	Zığra2	Kuyu	245957	4366107	912	7.38	778	11.8
L36	İkizhüyük	Kuyu	247264	4366669	909	8.01	656	12.5
L37	İkizhüyük	Kuyu	246270	4368218	917	8.32	617	14.6
L38	Vefa	Kuyu	241967	4368218	962	7.89	1175	12.5
L39	Polisevi	Kuyu	241913	4368907	925	7.56	709	13.6
L40	Perli dere	Dere	242551	4370205	923	7.93	847	12.2
L41	Perli	Kuyu	244403	4369525	918	8.03	567	12.4
L42	Yenibosna	Kuyu	243880	4372144	925	7.52	1098	13.5
L43	Porsuk	Dere	244301	4372641	943	7.89	884	14.2

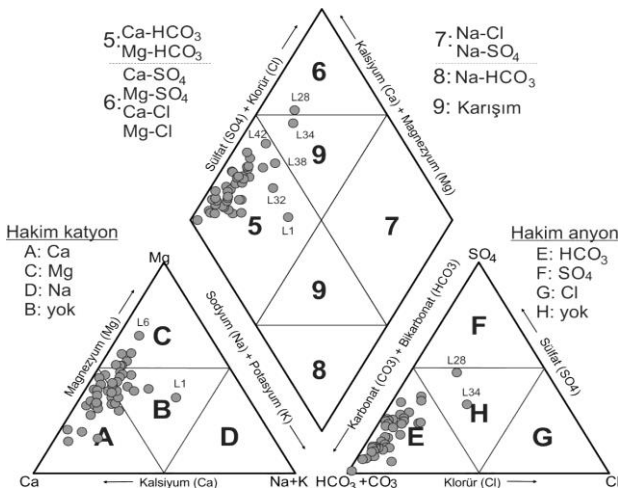
Not: L1 ve L32 arasındaki örnekler 35. Zon, diğer örnekler 36.Zon içinde yer almaktadır

**Tablo 2.** Örneklenen su noktalarının majör iyon analiz sonuçları (ppm) ve hesaplanan pCO<sub>2</sub> değerleri

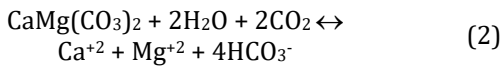
Kod	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	Analiz hatası (%)	pCO <sub>2</sub> (atm)
L1	55.0	181	81.2	103.8	51.9	215.1	586.3	128.6	3.46	-2.1
L2	13.9	2.2	50.3	67.1	10.7	24.1	402.7	7.13	3.99	-2.8
L3	16.3	1.1	19.0	116.0	10.0	81.5	343.5	5.12	2.39	-2.8
L4	4.2	1.8	19.0	117.3	9.1	44.7	373.1	10.56	1.11	-2.3
L5	20.5	24.3	78.2	125.4	49.5	109.3	533.0	51.77	3.53	-2.3
L6	22.6	6.8	110.6	75.2	11.2	152.7	579.6	7.24	3.24	-2.8
L7	10.7	19.2	64.6	76.1	12.1	52.2	467.9	13.30	3.84	-2.0
L8	11.7	3.4	68.9	76.6	13.5	156.7	367.2	25.55	0.06	-2.3
L9	20.7	2.0	45.4	143.2	13.7	133.8	503.4	0.65	1.67	-2.0
L10	12.5	2.1	58.1	79.7	8.4	27.5	481.9	6.80	2.92	-2.2
L11	13.7	3.5	49.2	64.8	10.1	115.5	307.4	0.14	1.45	-3.4
L12	9.1	0.9	34.6	115.3	12.4	41.7	438.3	1.73	3.38	-2.2
L13	7.7	0.4	25.8	25.7	18.6	9.5	177.7	0.01	1.73	-3.3
L14	10.5	1.9	45.1	106.7	13.2	106.3	414.6	0.29	0.81	-2.5
L15	8.5	0.2	46.9	111.3	15.1	33.7	444.2	36.26	4.20	-1.9
L16	10.0	0.8	43.1	90.8	16.6	30.7	402.7	32.54	1.77	-2.1
L17	16.5	7.2	49.4	93.3	25.2	45.0	420.5	41.14	2.27	-2.3
L18	3.4	0.9	31.6	60.6	2.8	2.6	325.7	5.72	2.06	-2.5
L19	8.4	1.6	49.4	87.2	8.2	103.2	385.0	0.13	0.97	-2.4
L20	10.6	1.7	35.1	89.8	13.1	27.8	385.0	15.43	2.42	-2.3
L21	61.0	19.8	98.6	173.8	100.1	202.1	639.6	95.15	2.30	-1.7
L22	22.7	3.0	53.7	104.9	28.7	116.9	425.4	7.94	1.60	-2.3
L23	24.2	0.9	49.9	110.3	17.8	122.9	426.4	4.86	2.58	-2.0
L24	25.7	1.5	47.5	105.5	22.6	97.0	408.6	23.56	2.89	-2.0
L25	16.3	0.9	37.6	110.4	17.7	62.1	414.6	3.74	3.79	-2.0
L26	19.1	2.4	43.7	97.5	18.1	107.2	366.4	1.69	3.00	-2.4
L27	23.7	3.4	56.4	99.9	30.3	112.5	425.6	6.45	2.09	-2.7
L28	77.7	6.2	137.7	194.1	169.0	606.5	544.9	2.71	-3.58	-2.1
L29	19.7	2.3	53.6	79.6	19.3	49.0	426.4	5.42	3.64	-2.3
L30	20.5	18.7	38.3	104.8	19.6	72.7	414.6	21.96	2.27	-1.9
L31	22.5	15.7	36.4	95.5	21.7	69.1	390.9	38.06	0.48	-2.1
L32	98.1	17.6	93.1	138.1	95.7	198.4	645.5	27.57	3.78	-1.9
L33	16.4	0.5	28.9	111.8	30.0	46.7	385.0	14.84	1.82	-2.2
L34	53.2	0.9	27.6	187.8	137.8	206.3	302.0	14.50	2.25	-1.9
L35	12.7	0.4	16.7	144.8	23.1	54.7	396.8	30.73	2.05	-1.9
L36	13.0	15.7	33.7	81.4	12.1	41.9	367.2	14.06	2.13	-2.5
L37	14.7	2.7	26.7	86.8	12.0	32.7	337.6	3.79	4.40	-2.9
L38	55.5	11.1	64.9	116.3	51.9	213.3	426.4	25.43	1.94	-2.4
L39	18.1	11.6	31.3	71.9	10.8	40.2	325.7	18.57	3.31	-2.1
L40	26.2	5.1	46.0	95.7	30.9	103.6	379.0	23.22	0.79	-2.5
L41	7.0	1.5	27.2	81.2	5.4	18.9	331.7	5.02	4.44	-2.6
L42	28.5	8.7	74.6	111.5	39.7	195.9	361.3	81.73	2.99	-2.1
L43	31.6	8.4	30.9	91.6	28.1	49.8	414.6	0.35	2.36	-2.4



Şekil 4. Örneklem noktaları ve EC dağılım haritası



Şekil 5. Çalışma alanındaki su örneklerinin Piper diyagramı ile gösterimi



Su noktalarının Piper diyagramının kation üçgeninde Ca ve Mg kenarında (A ve C bölgeleri), anyon üçgeninde de HCO<sub>3</sub> baskın E bölgesinde yer almaları bu çözünme tepkimelerini destekler niteliktedir.

Kalsit ve dolomitin çözünme tepkimeleri için gerekli en önemli CO<sub>2</sub> kaynağı atmosferik ve toprak kaynaklı CO<sub>2</sub> dir. Çalışma alanında örneklenen su örneklerinin kısmi CO<sub>2</sub> basınçları (pCO<sub>2</sub>) değerleri PhreeqC yazılımı [15] ile hesaplanmış ve Tablo 2'de sunulmuştur. Buna göre en düşük pCO<sub>2</sub> değeri 10<sup>-3.4</sup> atm ile Enne Baraj gölünde atmosferik CO<sub>2</sub> (10<sup>-3.5</sup> atm) ile denge koşuluna yakın bir değerde hesaplanmıştır. Yeraltısuyu örneklerinde ise en düşük pCO<sub>2</sub> değeri bekleneneği gibi örnekler arasında en düşük iyonik derişime sahip L13 örneğinde (Civli, EC: 313 µS/cm) 10<sup>-3.3</sup> atm olarak hesaplanmıştır. Diğer örneklerde ise atmosferik değerden 4 ile 58 kat arasında değişen daha yüksek pCO<sub>2</sub> değerleri hesaplanmıştır. Bu durumdan, çalışma alanındaki suların CO<sub>2</sub> kaynağının toprak zonunda üretilen CO<sub>2</sub> olduğu sonucunu çıkarmak mümkündür.

Piper diyagramındaki konumlarına göre L1, L28 ve L38 nolu örneklerin karbonatların çözünmesi dışında farklı süreçlerden de etkilenmiş oldukları anlaşılmaktadır. İnceleme alanında örnekleme yapılan su noktalarından en yüksek EC değerlerine (1363-1853 µS/cm) sahip bu örnekler Na ile SO<sub>4</sub> ve Cl bakımından kısmen zenginleşmiştir. SO<sub>4</sub> ve Cl zenginleşmesine görsel çökeller içinde olması muhtemel jips, anhidrit ve halit gibi minerallerin çözünmesinin neden olması mümkündür.

Suların kimyasal özelliklerini denetleyen süreçleri incelemek için majör iyonlar, NO<sub>3</sub> ve EC arasında Pearson korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen korelasyon matrisi ve belirlenen anlamlılık düzeyleri Tablo 3'te yer almaktadır. EC ile en yüksek korelasyon (0.92) Ca+Mg ile sağlanmaktadır. Bu yüksek katsayı suların kimyasını denetleyen en önemli sürecin karbonatların (kalsit ve dolomit) çözünmesi ile olduğu anlaşılmaktadır. HCO<sub>3</sub> için en yüksek korelasyon katsayısının Ca+Mg ile elde edilmiş olması bu süreci destekler niteliktedir. Bunun dışında EC ile Na ve Cl arasındaki yüksek korelasyon katsayıları (0.88 ve 0.85) halitin (NaCl) çözülmüş olduğuna işaret etmektedir. Na-Cl arasındaki korelasyon katsayısı 0.85 olup Ca-SO<sub>4</sub>, Na-SO<sub>4</sub>, Na-HCO<sub>3</sub> arasındaki korelasyon katsayı genelde 0.5'ten küçüktür. Bu sonuçlar, CaSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaHCO<sub>3</sub> bölgedeki sulardaki çözünürlüğünün NaCl kadar baskın olmadığını ifade etmektedir.

Tablo 3. Kimyasal parametrelerin korelasyon matrisi

	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Mg	Ca	Ca+Mg
Cl	1								
NO <sub>3</sub>	0.29	1							
SO <sub>4</sub>	0.82*	0.22	1						
HCO <sub>3</sub>	0.41*	0.44*	0.46*	1					
Na	0.85*	0.37**	0.76*	0.60*	1				
K	0.16	0.72*	0.22	0.39*	0.34**	1			
Mg	0.58*	0.37**	0.76*	0.75*	0.65*	0.28	1		
Ca	0.78*	0.26	0.66*	0.48*	0.63*	0.04	0.33**	1	
Ca+Mg	0.81*	0.39**	0.87*	0.77*	0.78*	0.22	0.87*	0.76*	1
EC	0.85*	0.57*	0.83*	0.74*	0.88*	0.49*	0.77*	0.74*	0.92*

\* Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır (2-yönlü).

\*\* Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır (2-yönlü).

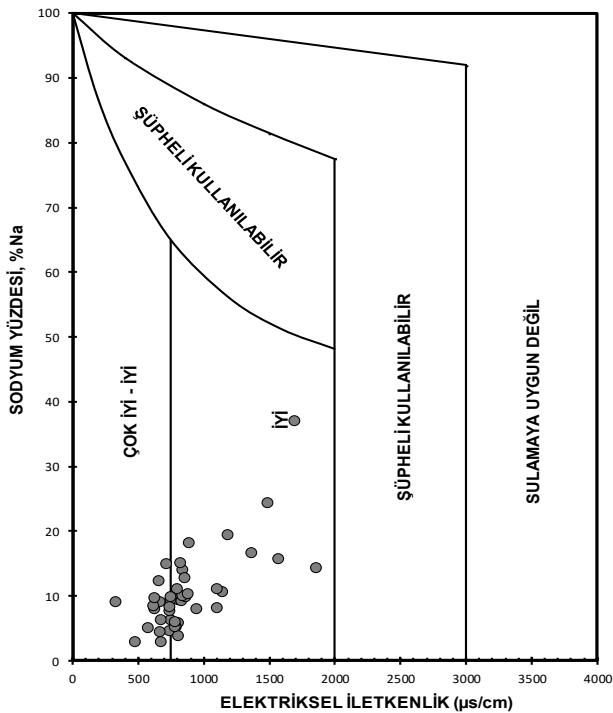


Korelasyon matrisinin sunmuş olduğu diğer önemli bulgu K-NO<sub>3</sub> arasındaki görece yüksek (0.72) korelasyon katsayısıdır. Bölgenin tarım arazisi olması nedeniyle gübreleme işleminin yeraltısuyu kimyasına yer yer etki ettiği anlaşılmaktadır. Özellikle L1 örneğinde K iyonunun en yüksek derişime sahip katyon olması ve NO<sub>3</sub> derişiminin 128.6 ppm ile en yüksek olarak bu noktada gözlenmesi gübre kullanımının bir sonucu olarak yorumlanmıştır.

### 3.4. Suların tarımsal sulamaya uygunlukları

Kütahya ve Köprüören ovalarında tarımsal faaliyetin yoğun olması nedeniyle, yüzey ve yeraltısuları sulama için kullanılmaktadır. Her iki ovadaki suların tarımsal sulamaya uygunlukları basit ve güvenilir olmaları nedeniyle Wilcox (Şekil 6) ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı (Şekil 7) diyagramları ile incelenmiştir. Her iki diyagramda yatay eksen EC yer alırken dikey ekseninde Wilcox diyagramında %Na değeri, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında ise Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) bulunmaktadır.

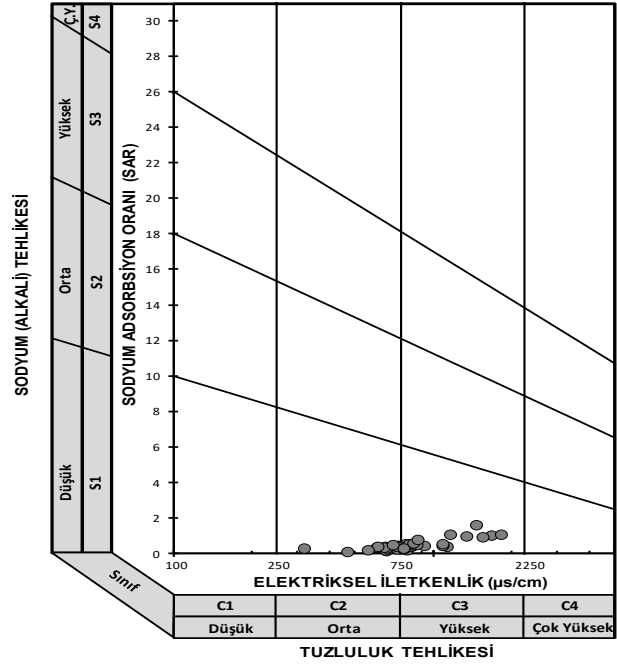
Şekil 6'da yer alan Wilcox diyagramına göre çalışma alanı içindeki sular tarımsal sulama için "Çok İyi ve İyi" sınıfında yer almaktadır.



Şekil 6. Çalışma alanındaki su örneklerinin Wilcox diyagramı ile gösterimi

Şekil 7'de yer alan ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında ise sular C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> ile C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> sınıflarında yer alır. C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> sınıfı orta derecede tuzlu, az sodyumlu suları ifade edip EC değeri 750 µS/cm olan sular için tuzluğa orta derecede dayanıklı bütün bitkilerin sulamasında kullanılabilir. C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> sınıfına düşen EC değerleri 750 µS/cm - 2250 µS/cm olan sularda ise Na tehlikesi bulunmamasına karşın tuza dayanıklı bitkiler için kullanımı uygundur. Bununla birlikte

ovalardaki yeraltısuyu tablasının yüzeye yakın olması sulama koşullarında etkin bir drenaj kontrolünün sağlanmasını gerektirmektedir.



Şekil 7. Çalışma alanındaki su örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı ile gösterimi

### 3.5. İz element analizleri

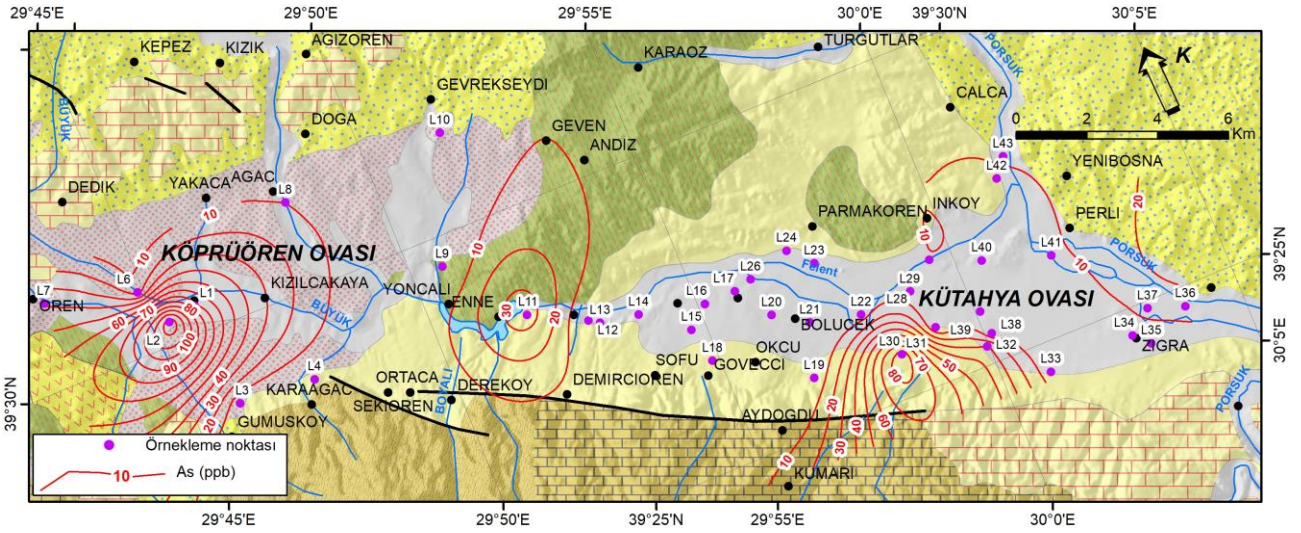
Çalışmanın bir diğer amacını teşkil eden yüzey ve yeraltısularının iz element içeriklerinin ve kirlilik durumlarını tespit etmek için numunelerin iz element analizleri yapılmıştır. İz elementlerin analiz sonuçlarında Be, Al, V, Mn, Fe, Ni, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, La, Ce, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Ir, Au, Tl, Pb, Th, U elementlerinin doğadaki izotoplarının en bol bulunanları dikkate alınmıştır. Çoğu elementin analiz sonuçları saptanma sınırının altındaki değerlerde olduğundan bu çalışmada önemli görülen belli başlı elementlerin sonuçları dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Buna göre analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Arsenik derişimleri L3, L4, L5, L8, L9, L10, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L31, L32, L33, L34, L35, L38, L39, L40, L41, L42 nolu noktalarda 10 ppb'den daha düşük değerlerde olup, L1, L2, L6, L7, L11, L30, L32, L36, L37, L43 nolu noktalarda ise 10 ppb üzeri değerlerdedir (Tablo 4). Bu noktaların dağılımına dikkat edilecek olursa, Kütahya ovasında yersel sanayinin bulunduğu kesimlerde ve Köprüören Ovasında konsantrasyon artışı gözlemlenmiştir. Köprüören ovasında yöredeki gümüş madenciliği ve maden sahası nedeniyle konsantrasyon artışı olduğu düşünülmektedir. Enne baraj gölünün bulunduğu havzada ise yüksek konsantrasyon artışı Yoncalı termal sahasının varlığı ile ilişkilendirilebilir (Şekil 8).

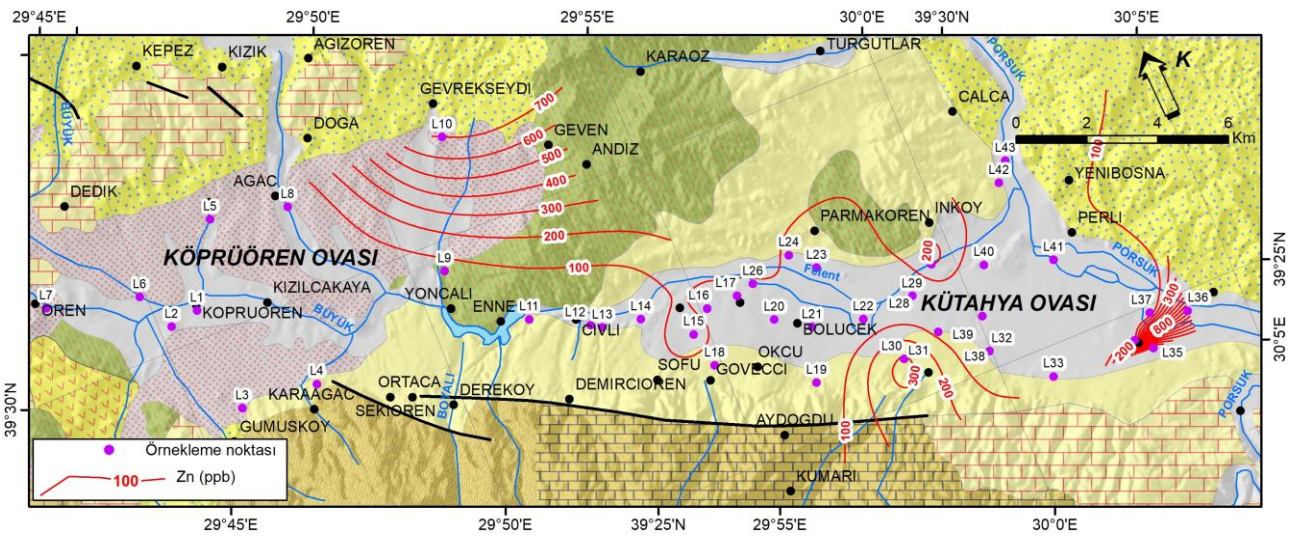
**Tablo 4.** İz element analiz sonuçları (ppb)

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Zn	Cd	Se	Ba	Sb
L1	8.987	71.09	8.007	0.546	6.422	1.391	0.22	0.78	39.01	0.05	1.52	124.9	2.607
L2	115.9	125.2	8.053	*	180	11.89	16.97	2.068	18.57	0.029	0.46	264.3	147.7
L3	8.586	3.365	4.305	*	3.345	1.512	0.265	*	10.57	*	*	109.3	0.698
L4	11.1	1.299	5.754	*	6.085	1.071	*	0.116	7.482	*	*	47.94	0.543
L5	37.93	9.779	8.145	*	118.2	1.339	28.07	3.338	53.17	*	1.559	266.5	0.135
L6	17.28	14.07	9.314	*	79.03	1.313	1.597	12.58	4.556	*	0.247	141.9	0.76
L7	7.017	38.4	6.058	*	11.13	1.479	*	0.547	8.658	*	0.165	168.7	0.755
L8	7.293	9.505	5.353	*	2.975	4.768	*	*	5.51	*	0.201	134.1	0.164
L9	8.458	0.133	5.061	*	12.97	1.011	63.06	*	58.27	*	*	39.03	0.043
L10	7.997	4.461	7.423	11.62	186.2	2.526	2.69	0.54	703	*	*	383	0.08
L11	8.604	33.61	6.662	*	27.62	2.006	14.52	1.372	5.838	*	*	73.96	6.239
L12	9.601	0.071	6.61	*	57.69	1.681	0.383	*	3.783	*	*	42	0.13
L13	6.811	*	2.723	*	181.1	1.846	28.63	*	4.538	*	*	15.75	0.019
L14	12.96	2.415	3.632	*	105.9	1.368	1.054	0.343	3.51	*	0.178	76.91	0.73
L15	7.811	*	5.731	*	8.366	1.49	1.034	0.24	173.7	*	*	30.67	0.131
L16	8.832	*	8.344	7.555	15.67	1.717	1.098	4.315	56.42	*	*	32.02	0.019
L17	8.145	*	4.845	*	23.11	1.419	0.24	*	3.364	*	0.06	56.66	0.018
L18	5.908	0.259	5.033	*	3.938	1.649	*	*	4.687	*	0.044	34.29	0.074
L19	7.186	2.578	5.473	*	16.78	1.5	49.32	*	3.795	*	*	32.72	0.029
L20	6.863	3.12	4.25	*	55.36	1.429	0.085	*	3.968	*	0.148	53.68	0.108
L21	6.081	0.05	6.817	*	6.204	1.463	*	0.662	9.008	*	*	115.7	0.014
L22	9.42	4.211	5.814	*	110.8	1.509	4.156	1.597	4.555	*	0.135	67.38	0.607
L23	7.044	2.011	4.848	*	3.573	1.739	1.328	0.047	14.75	*	*	136	0.329
L24	6.725	3.182	6.28	*	40.62	1.977	0.121	1.289	42.41	*	0.634	121.7	0.4
L25	6.794	1.372	3.825	*	*	1.771	5.849	0.799	266.8	*	*	104.5	0.118
L26	8.797	3.747	0.827	*	26.53	1.663	3.928	0.898	4.083	*	0.175	67.11	0.624
L27	7.178	5.245	3.844	*	58.23	2.563	11.91	1.315	5.044	*	*	76.95	0.701
L28	5.989	2.873	3.808	*	2.315	1.649	0.899	2.575	37.35	*	0.594	73.86	0.405
L29	5.857	9.051	7.506	*	4.03	1.462	0.576	1.137	200.9	*	*	132.7	0.483
L30	5.94	84.06	2.168	*	18.63	1.263	16.77	0.399	307	*	*	37.4	5.335
L31	5.413	0.405	1.648	*	*	1.692	0.048	0.26	74.65	*	*	48.74	0.231
L32	6.239	31.6	6.05	1.131	6.503	1.763	0.316	7.722	9.091	*	1.922	47.2	8.876
L33	86.63	4.15	2.76	*	164.1	3.657	*	*	22.84	*	*	53.15	0.242
L34	53.58	1.549	*	*	256.8	3.14	5.554	*	11.66	*	0.688	93.28	0.136
L35	23.84	0.847	*	*	204.7	2.683	6.31	*	1892	*	*	288.1	0.215
L36	14.2	14.77	*	*	106.6	5.872	*	*	944	*	0.818	130.9	0.337
L37	12.21	13.64	*	*	114.3	3.031	*	*	5.7	*	*	104.9	0.502
L38	12.4	0.722	*	*	155.4	2.646	*	*	15.01	*	0.349	61.3	0.509
L39	29.89	0.506	0.391	*	111.3	2.561	0.672	*	4.151	*	*	31.53	0.218
L40	13.06	5.235	*	*	158.2	3.749	0.636	*	11.24	*	*	51.43	0.549
L41	9.382	7.449	*	*	105.7	3.137	*	*	78.15	*	*	121.9	0.373
L42	8.589	6.149	0.874	*	125.1	3.47	*	*	4.591	*	0.541	124.2	0.19
L43	20.55	12.33	*	*	131.2	4.35	14.42	*	9.173	*	*	107.3	0.495
Ulusal ve uluslararası standartlara göre sınırlar değerler													
TS266	200	10	50	2000	200	10	50	20	100	5	10	-	5
WHO	200	10	50	2000	300	10	100	20	300	3	10	700	20
EPA	200	10	100	1000	300	15	50	-	500	5	50	2000	6

\* Belirlenme limitlerinin altındadır.



Şekil 8. As eş-derişim dağılım haritası



Şekil 9. Zn eş-derişim dağılım haritası

Kurşun derişimleri L2 noktası (11.69 ppb) dışında 1-6 ppb arası değişkenlik gösterir (Tablo 4).

Çinko derişimleri Köprüören ovasındaki L10 noktasında 703 ppb, L35 noktasında ise 1892 ppb ulaşmaktadır (Tablo 4). Her iki ovada da geniş bir aralıkta dağılım sunar (Şekil 9). Sulardaki yüksek Zn derişimlerine neden olabilecek süreç olarak L10 noktası için, bu noktaya yakın yoğun opal oluşumları ile dikkat çeken hidrotermal alterasyon ürünleri ile yeraltısularının etkileşimi düşünülmektedir. Kütahya Ovasında bulunan L35 noktasındaki yüksek Zn ile ilişkilendirilebilecek doğal bir oluşum bulunmamaktadır. Bu noktanın demiryolu hattına oldukça yakın (40-45 m) mesafede bulunması Zn derişimini demiryolu ile ilişkilendirmeyi mümkün kılmaktadır. Bu nokta ve yakınındaki L34 noktasındaki demir derişimleri diğer noktalara göre oldukça yüksek olup 200 ppb'nin üzerindedir.

Ba, 30-390 ppb arası değerlerde gözlenir. Baryum konsantrasyonu en fazla Köprüören Ovasında L2, L5, L10 ve L35 noktalarında göreceli olarak yüksek konsantrasyonlarda bulunur.

### 3.6. Ulusal ve uluslararası standartlara göre suların kullanılabilirlik durumu

Doğal suların insani tüketim amaçlı olarak kullanılabilirlikleri ulusal ve uluslararası standartlarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik ölçütler için belirtilen sınırlar dahilinde değerlendirilir. Bu çalışmada analizleri yapılan numunelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, ulusal (TS-266) ve uluslararası standartlara (WHO ve EPA) göre kullanılabilirlik durumu irdelenmiştir.

Sıcaklık tüm noktalarda 25 °C'den, elektriksel iletkenlik standartlarda [1, 17] belirtilen 2500 µS/cm limit değerin altındadır. Suların pH değeri de 9.5 lik üst sınır altında olup bu fiziksel parametrelere göre tüm sular kullanıma uygundur.

Sodyum için tüm noktalar verilen limit değerin altındadır ve bu parametreye göre sular kullanıma "uygundur".

Sülfat derişimi sadece L28 noktasında standartlarda önerilen 250 mg/L'lik sınır değerleri aşmıştır

Dolayısıyla L28 noktası insani tüketim amaçlı kullanılmamalıdır.

Antimon L2 noktasında 147.7 ppb derişimi ile ulusal (5 ppb, TS266) ve uluslararası standartlardaki sınır değerlerin (20 ppb, WHO; 6 ppb, EPA) oldukça üzerindedir. Diğer noktalar ise ulusal veya uluslararası standartlara uygundur.

Arsenik L1, L2, L6, L7, L11, L30, L32, L36, L37, L43 noktalarda 10 ppb'lik sınır değer (TS266, WHO, EPA) üzerindeki derişimlerdedir. Arsenik kirliliği olan bu noktalardaki suların insani tüketim amaçlı olarak kullanılması uygun değildir.

Çinko derişiminin standartların üstünde olduğu noktalar; L10, L15, L25, L29, L30, L35 ve L36'dır. Demir sadece L34 ve L35 noktasında TS-266 standardı için izin verilen maksimum 200 mg/L limit değeri aştığı görülmüştür.

Mangan sadece L9 noktasında limit değerin üzerindedir. Kurşun parametresi L2 noktası dışında diğer tüm noktalarda kullanıma "uygundur".

Kadmiyum, krom, bakır, nikel, selenyum, florür ve baryum analiz sonuçları, örneklenen tüm noktalarda standartlarda önerilen eşik değerlerinin altındadır.

### 3.7. Kirlilik indisi

Yeraltı ve yüzey sularının kirlilik (ağır metal, iyon) durumlarının incelenmesinde ölçülen parametreler ile bu parametreler için önerilen standart limitlerin karşılaştırılmasına dayalı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Uygulama aşamasında kolay ve baskın parametrelerin belirlenmesine olanak sağlayan Kirlilik İndisi ( $C_d$ ) yaklaşımı [18] bu çalışma kapsamında örneklenen noktalara uygulanmıştır.

Bu yöntemde, Kirlilik İndisi ( $C_d$ ) analiz edilen her bir su örneği için ayrı ayrı hesaplanır. İndis değeri standartlarda izin verilen limit değeri aşan parametrelerin kirlilik faktörlerinin ( $C_{fi}$ ) toplamına karşılık gelir. Elde edilen değer içme suları için tehlikeli-zararlı olduğu düşünülen parametrelerin toplam etkisini özetlemektedir. Kirlilik İndisi ( $C_d$ ) aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır [18]:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (3)$$

$$C_{fi} = \frac{C_{Ai}}{C_{Ni}} - 1 \quad (4)$$

Burada,  $C_{fi}$ , i bileşenin kirlilik faktörü,  $C_{Ai}$ , i bileşenin analiz edilen derişimi,  $C_{Ni}$ , i bileşeni için standartlarda önerilen üst derişim limitidir. Yöntemde standartlarda izin verilen derişim değerlerinin altındaki analitik değerlere sahip elementler ve iyonik türler dikkate alınmaz. Elde

edilen  $C_d$  değerine göre yeraltısuyu kirlilik durumu aşağıdaki üç kategoride gruplandırılır:

$C_d < 1$  (düşük),  $C_d = 1-3$  (orta),  $C_d > 3$  (yüksek)

Kütahya ve Köprüören ovalarında örneklenen su noktalarında sadece As, Fe, Pb, Mn, Zn ve  $SO_4^{2-}$  parametrelerinin bazı noktalarda TS-266 standardında önerilen eşik değerleri aştığı tespit edilmiştir. Bu parametrelere göre hesaplanan  $C_{fi}$  ve  $C_d$  değerleri Tablo 5'te verilmektedir.

Uygulanan bu yöntemde göre:

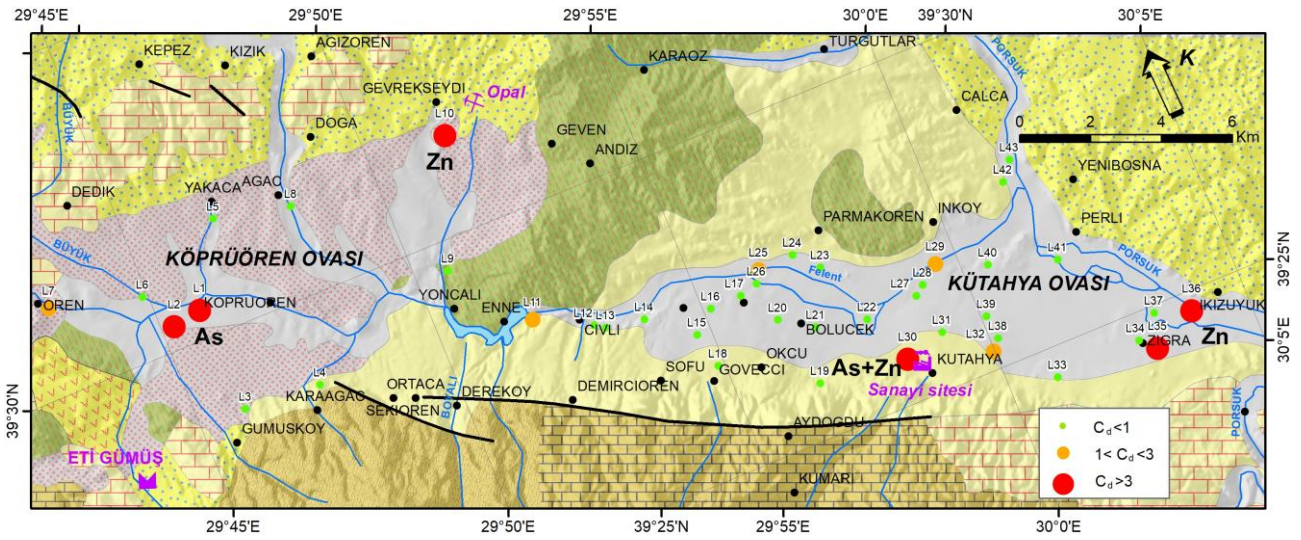
- L6, L9, L15, L34, L37 ve L43 örnekleri düşük kirlilik ( $C_d < 1$ )
- L7, L11, L25, L29 ve L32 örnekleri orta kirlilik ( $1 < C_d < 3$ )
- L1, L2, L10, L30, L35 ve L36 örnekleri yüksek kirlilik ( $C_d > 3$ )

sınıflarına girmektedir. Yüksek kirlilik sınıfına giren örneklerde ana kirlitici parametreler L1 ve L2 örneklerinde As; L10, L35 ve L36 da Zn; L30 ise As ve Zn olarak belirlenmiştir.

**Tablo 5.** Kütahya ve Köprüören ovalarındaki su noktalarında hesaplan  $C_d$  değerleri

	$C_{fi}$						$C_d$	Baskın Param.
	As	Fe	Pb	Mn	Zn	$SO_4$		
L1	<b>6.11</b>						<b>6.11</b>	<b>As</b>
L2	<b>11.52</b>		<b>0.19</b>				<b>11.71</b>	<b>As</b>
L6	0.41						0.41	As
L7	2.84						2.84	As
L9				0.26			0.26	Mn
L10					<b>6.03</b>		<b>6.03</b>	<b>Zn</b>
L11	2.36						2.36	As
L15					0.74		0.74	Zn
L25					1.67		1.67	Zn
L29					1.01	1.43	2.44	Zn
L30	<b>7.41</b>				<b>2.07</b>		<b>9.48</b>	<b>As+Zn</b>
L32	2.16						2.16	As
L34		0.28					0.28	Fe
L35		<b>0.02</b>			<b>17.92</b>		<b>17.94</b>	<b>Zn</b>
L36	<b>0.48</b>				<b>8.44</b>		<b>8.92</b>	<b>Zn</b>
L37	0.36						0.36	As
L43	0.23						0.23	As

Kirlilik İndisi ( $C_d$ ) değerlerinin alansal yayılımı Şekil 10'da gösterilmektedir. Arsenik kirliliğinin baskın olduğu L1 ve L2 örnekleri Köprüören ovasında, Eti Gümüş Tesislerinin mansabında yer almaktadır (Şekil 10). Bölgede bu işletmeye yakın, ancak daha yüksek kotlarda yer alan noktalarda (L3 ve L4) kirlilik belirtisi bulunmaması L1 ve L2 noktalarındaki arsenik kirliliğinin cevherleşmeye bağlı jeojenik veya işletmeden sızıntı kaynaklı olabileceğini düşündürmektedir. Benzer bir bulgu Köprüören Havzası'ndaki yüzey sularında rapor edilerek bu havzadaki yüzey ve yeraltı suları için en büyük kirlitici kaynak maden işletmesi olduğu ifade edilmiştir [2].



Şekil 10. Kirlilik indisi ( $C_d$ ) dağılım haritası

Zn kirliliğinin baskın olduğu L10 noktası Gevrekseydi köyünde dar bir alanda hidrotermal opal oluşumlarının gözlemlendiği alanın akış aşağısında bulunur (Şekil 10). Bu nokta aynı zamanda Seyitömer Linyit Havzası'nın hemen yakınında da bulunur. Linyit havzasına aynı uzaklıkta bulunan L8 ve L5 örneklerinde ağır metal kirliliğine rastlanılmaması nedeniyle L10 noktasındaki Zn kirliliğinin jeojenik kökenli olması muhtemeldir.

As ve Zn kirliliğinin birlikte bulunduğu L30 noktası Kütahya merkez sanayi bölgesinde yer alır. Bu noktadaki ağır metal kirliliğinin, sanayi atık sularının doğal sulara karışımı şeklinde açıklama mümkündür.

Zn kirliliğinin var olduğu L35 ve L36 noktaları yakınında herhangi bir işletme bulunmamaktadır. Bu noktadaki Zn kirliliğinin demiryolu ile ilişkisi olası görülmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan inceleme sürecinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Kütahya ve Köprüören ovalarındaki sular kimyasal fasiyes olarak çoğunlukla  $\text{Ca-HCO}_3$  ile  $\text{Mg-HCO}_3$  tipi sular sınıfındadır. Suların bu fasiyes tipinde olması karbonat minerallerinin çözünmesi sonucunda gerçekleşmektedir.

Bölgedeki sular tarımsal sulama amaçlı kullanıma uygundur.

En belirgin kirlenici yük olarak arsenik öne çıkmaktadır. Arsenik derişimi her iki ovada on farklı noktada 10 ppb'den daha yüksek değerlerdedir.

Noktasal olarak jeojenik veya antropojenik Zn ve Fe kirliliği mevcuttur.

Kirlilik indisi parametresine göre dört farklı alanda iz elementler açısından yüksek kirlilik değerleri hesaplanmıştır. Yüksek kirlilik sınıfına giren

örneklerde ana kirlenici parametreler Köprüören Deresi'nde As; Gevrekseydi, Zığra ve İkizhöyük'te, Zn; Kütahya sanayi bölgesinde ise As ve Zn olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma yağışlı dönemde gerçekleştirilmiştir. Kurak dönemlerde yüze ve yeraltısularından gerçekleşecek buharlaşma kayıplarının suların majör iyon ve iz element derişimlerinde artışa neden olması olasıdır. Bu nedenle bölgedeki sularda kirlilik tespitine yönelik benzer bir çalışmanın kurak dönemlerde de gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

#### Teşekkür

Yazarlar, değerlendirme sürecine katılarak öneri ve değerli görüşleri ile bu makaleye katkı sunan hakemlere teşekkür ederler.

#### Kaynakça

- [1] World Health Organisation 2017. Guidelines for Drinking-Water Quality. Fourth edition incorporating the first addendum, World Health Organization, Geneva, 541s.
- [2] Arslan, Ş., Çelik, M., Dokuz, U.E., Berhe, B.A. 2013. Köprüören Havzasında (Kütahya) insan kaynaklı su kirliliği. 2. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, 4-6 Aralık 2013, Antalya, 213-219.
- [3] Arslan, Ş., Çelik, M., Dokuz, U.E., Berhe, B.A. 2014. Surface and Ground Water Quality in Köprüören Basin (Kütahya), Turkey. Proceedings of European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Vol. 16, EGU-2014-725.
- [4] Arslan, Ş., Nabantçılar, M.T. 2012. Gümüşköy (Kütahya) dolayındaki suların risk değerlendirilmesi. 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2-6 Nisan 2012, Ankara, 126-127.

- [5] Bozkurt, Y., Arslan, R., 2017. Kamusal hizmet sunumunda suyun yeri: Kütahya Belediyesi örneği. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(1), 201-213.
- [6] Akçakaya, A., Sümer, U. M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskiöğlü, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy, S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F. 2016. Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği-TR2015-CC. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 149s.
- [7] Özcan, M. 2018. Kütahya ve Köprüören Ovalarındaki Yüzey ve Yeraltısularındaki Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s., Kütahya.
- [8] MTA, 2002. Türkiye 1/500000 Ölçekli Jeoloji Haritası, İzmir paftası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara
- [9] MTA, 2002. Türkiye 1/500000 Ölçekli Jeoloji Haritası, Ankara paftası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara
- [10] Özbüran. M. 2009. Kütahya ve çevresinin neotektonik incelemesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 209s, Kocaeli.
- [11] Okay. A. I. 1981. Kuzeybatı Anadolu'daki Ofiyolitlerin Jeolojisi ve Mavişist Metamorfizması (Tavşanlı-Kütahya). Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 85-95.
- [12] Baş. H., 1983. Domaniç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz Yöresinin Tersiyer Jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği, 27, 11-18.
- [13] Akdeniz, N., Konak, N., 1979. Simav-Emet-Tavşanlı - Dursunbey - Demirci yörelerinin jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No:6547.
- [14] DSİ, 1981. Kütahya ve Köprüören ovaları hidrojeolojik etüt raporu. DSİ Genel Müdürlüğü. Ankara. 65s.
- [15] Parkhurst, D. L. ve Appelo C. A. J., 1999. User's guide to PHREEQC (Version 2)-a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, USGS Water Resources Investigation Report 99-4259, 312s.
- [16] Oke T. R. 1973. City size and the urban heat island. Atmospheric Environment, 7, 769-779.
- [17] TS 266, 2005. Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [18] Backman, B., Bodiš, D., Lahermo, P., Rapant, S., Tarvainen, T., 1998. Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. Environmental Geology 36(1-2), 55-64.