



MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

<https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/>



Alpu BCDF Sektörü (Eskişehir) Kömür Sahasının Mevcut Çevresel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Serkan PALAS^{a,*}, Mesut Gökhan GÜMRÜK^a, Ecenur BULUR^a, Özden İLERİ^a, Tunç İSLAMOĞLU^a, Yasin BALCIOĞLU^b ve Hayri Taner GÜNDÜZALP^b

^aMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Çevre Araştırmaları Dairesi Başkanlığı, Ankara

^bTurkish Petroleum International A.Ş. (TPIC), Ankara

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Alpu, Çevre jeokimyası, Hidrojeokimya, Jeokimyasal temel değer

ÖZ

Madencilik öncesindeki çevresel faktörler belirlenirken, sediman ve su verilerinin jeokimyasal sonuçlarının değerlendirilmesi önemli bir rol oynamaktadır. Alpu kömür sahası BCDF sektörleri içerisindeki alanda toprak, dere sedimanları, su ve çevresel parametrelerinin mevcut durumunu incelemek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Toprak ve dere sedimanlarında ağır metal birikiminin hangi bölgelerde etkili olduğu ve olası kirliliğe neden olan antropojenik ve jeolojik faktörler araştırılmıştır. Çalışma alanından alınan toprak/dere sedimanı örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiş ve su örneklerinin ise kalite parametreleri belirlenmiştir. Sedimanlarının metal konsantrasyonları Zenginleşme Faktörü, Jeobirikim İndeksi ve Kirlilik Yükü İndeksi değerleri dikkate alındığında As, Cd, Cr, Co, Ni, Cu, Mn ve V metalleri için yer yer mevcut olan anomaliler gerek sahanın içinde bulunduğu yüzey litolojisinden kaynaklı gerekse drenaj alanlarında bulunan litolojiden beslenimin etkisi olduğu düşünülmektedir. Pb ve Zn için ise jeolojik etkinin yanı sıra antropojenik etkiden bahsetmek mümkündür. Ağır metallerin birlikte zenginleşme eğilimi ve çökelediği materyaller arasındaki ilişkiyi anlamak için Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Zn-Pb-Co ve Ni-Co bir arada zenginleşmesi, kayaçların jeokimyasında sıkça görülen bir durumu yansıtmaktadır ve çalışma alanında bu metallerin kirliliklerinde litolojik etkinin göz ardı edilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Yüzey ve yer altı suları ağır metal içeriği bakımından I. ve II. sınıf, NO₂⁻ bakımından ise yüzey suları IV. sınıf, yeraltı suları I. sınıf olarak değerlendirilmiştir.

Gönderim Tarihi: 03.10.2023

Kabul Tarihi: 17.11.2023

Keywords:

Alpu, Environmental geochemistry, Hydrogeochemistry, Geochemical baseline

ABSTRACT

The evaluation of geochemical results of sediment and water data plays an important role in determining pre-mining environmental factors. This study was carried out to examine the current status of soil, stream sediments, water and environmental parameters in the area within the BCDF sectors of Alpu coal field. The regions where heavy metal accumulation is effective in soil and stream sediments and the anthropogenic and geological factors causing possible pollution were investigated. The results of geochemical analyses of soil and stream sediment samples from the study area were evaluated and water quality parameters were determined. Considering the Enrichment Factor, Geoaccumulation Index and Pollution Load Index values of the metal concentrations of soil and stream sediments, it is thought that the anomalies for As, Cd, Cr, Co, Ni, Cu, Mn and V metals are caused by the surface lithology in the site and the lithology in the drainage areas. For Pb and Zn, it is possible to mention anthropogenic effect as well as geological effect. Pearson correlation coefficients were calculated to understand the relationship between the co-enrichment

Received Date: 03.10.2023

Accepted Date: 17.11.2023

Atıf Bilgisi: Palas, S., Gümrük, M. G., Bulur, E., İleri, Ö., İslamoğlu, T., Balcıoğlu, Y., Gündüzalp, H. T. 2023. Alpu BCDF Sektörü (Eskişehir) Kömür Sahasının Mevcut Çevresel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi. MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi 4, 71-93.

*Başvurulacak Yazar: Serkan PALAS, serkan.palas@mta.gov.tr

tendency of heavy metals and the deposited materials. The enrichment of Zn-Pb-Co and Ni-Co together is a frequent occurrence in rock geochemistry. Hence, it is imperative to take into account the lithological effect when examining the contamination of these metals in the studied region. Surface and ground waters were evaluated as class I and II in terms of heavy metal content, and surface waters were evaluated as class IV and ground waters as class I in terms of NO₂⁻.

1. Giriş

Dünyada kirleticilerin ekosistem üzerine doğrudan ya da dolaylı olarak etkileri son yıllarda değişik ölçeklerde giderek artmış ve bu etkiler araştırmacılar tarafından sürdürülebilir bir çevre yönetimi çerçevesinde incelemek üzere ele alınmıştır. Yapılan çalışmalar, ağır metallerin gelişen sanayi faaliyetleri sebebiyle ortaya çıkan önemli kirleticiler arasında yer aldığını göstermiştir. Yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha yüksek olan metaller için ağır metal tanımı kullanılmakta ve bu metaller bileşimleri gereği yerkürede genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfürlü bileşik olarak veya silikatlar içinde korunaklı bir şekilde bulunmaktadır. Antropojenik kaynaklı faaliyetler sonucunda alıcı ortama salınan ağır metaller ise suda, toprakta, balıkların ve bitkilerin bünyesinde birikerek kirliliğe yol açmaktadır (Kahvecioğlu vd., 2003). Havaya yayılan ağır metaller ise sırasıyla toprak, bitki ve besin zinciri yoluyla doğrudan veya dolaylı olarak insan ve hayvanlara ulaşmaktadır.

Canlıların bünyesinde ağır metallerin belirli konsantrasyonlar da bulunması hayati fonksiyonları için gerekli iken, fazlası geri dönüşü olmayan ağır hasarlara yol açmaktadır. Ağır metallerin; su ve sedimanlarda zenginleşmesi, bulundukları ortamın hidrojeokimyasal özelliklerine göre sudan sedimana veya sedimandan suya olacak şekilde gerçekleşmektedir. İnsanoğlunun doğa ile etkileşimini sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi için bu tip ortamlar araştırılmalı, kaydedilmeli ve değişimler periyodik olarak takip edilmelidir.

Ülkemiz jeolojik olarak karmaşık bir yapıda olmakla beraber maden çeşitliliği açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyel değerlendirme aşamasına geçildiğinde ise çevresel faktörler ön plana çıkmakta/çıkarılmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın önemli parametresi olan madencilik faaliyetleri öncesi veri bulunmamasından dolayı çoğu zaman yersiz

ithamlara maruz kalmaktadır. Madencilik kaynaklı olduğu iddia edilen çevresel tahribat söylemleri alıcı ortamların öncel jeokimyasal ve hidrojeokimyasal değerlerinin bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla oluşan toplumsal tepkilerin kökeni işletme sırasında ya da sonrasında alınan ölçüm değerleri ile oluşmuş kimyasal kirliliğin tamamının madencilik kaynaklı olduğu algısı üzerinden ilerlemektedir.

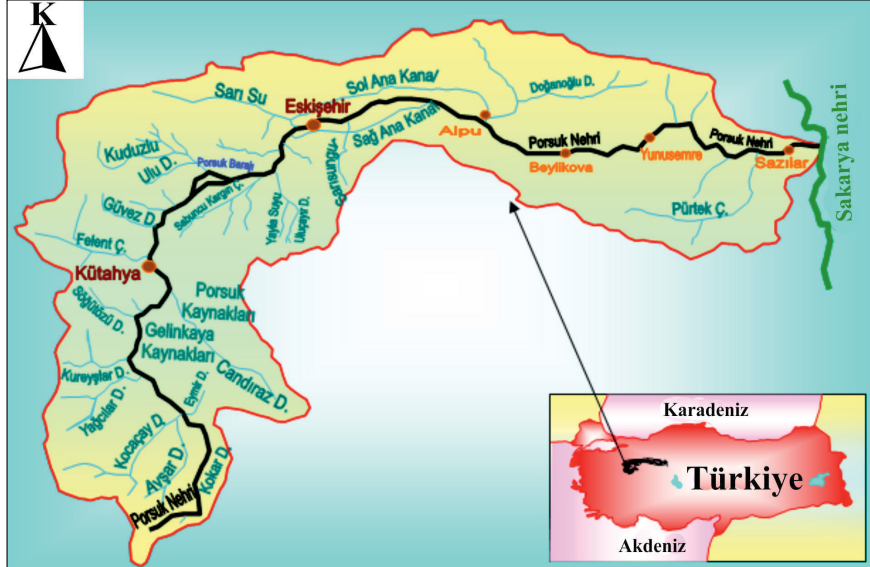
Maden sahalarının işletilmesi ile ticari fayda sağlanırken çevre kalitesi ister istemez değişime uğrar. Bu nedenle madencilik faaliyeti öncesinde tasarıma dahil edilmesi gereken faktörlerden bir tanesi de çevresel fayda ve maliyetler oranlarının ortaya çıkarılmasıdır. Çevresel maliyetler, madencilik nedeniyle mahrum kalınan ekosistem servisleri ve alıcı ortamlara salınan emisyonlara ilişkindir. Demirbugan (2019) tarafından belirtildiği üzere faydalar, madencilik ürünlerinin satışından sağlanacak ticari gelir ve erozyon kontrolü, karbon depolama, biyoçeşitlilik, vahşi doğal yaşam alanı oluşumu gibi rehabilitasyon sonrası sağlanan ekosistem servislerinin parasal değeridir. Bu süreçte ortaya çıkan değişimin fayda-maliyet analiziyle değerlendirilmesi sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında metalik, endüstriyel ve enerji hammaddeleri sahalarında madencilik öncesinde yapılacak olan çevresel jeokimya prospeksiyon çalışması ile sediman, toprak, su ve bitki örnekleri üzerinde çevresel jeokimya temel değerlerinin (background) mevcut antropojenik etkiler göz önüne alınarak çok yönlü istatistiksel hesaplarıyla belirlenmesi işletme sırasında veya sonrasında alınacak ölçümler ile karşılaştırma yapılabilecek bir veri tabanı oluşturulması amaç edinilmiştir.

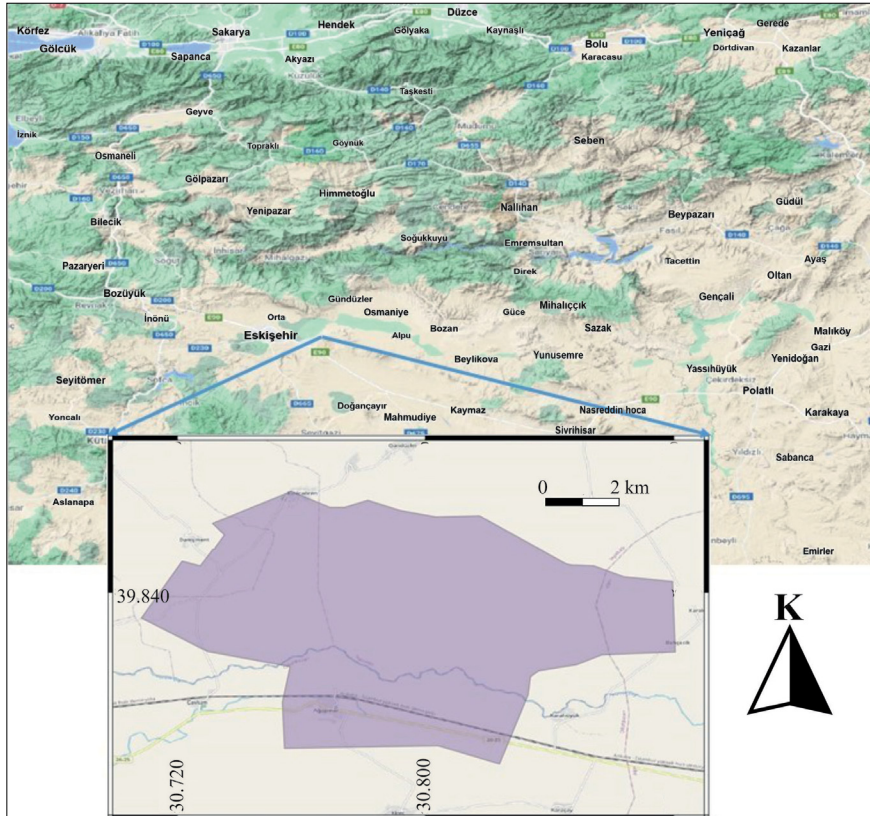
Çalışma alanı Sakarya Nehrinin alt havzası konumundaki Porsuk Nehrinin drenaj alanındaki (Şekil 1) 39.50 K/ 30.42 D, 39.50 K/ 30.52 D ve 39.52

K/30.46 D, 39.47 K/30.47 D verilen köşe koordinatları içerisinde yer almaktadır. Bölgede Ağapınar, Kızılcaören, Karahüyük, Bahçecik köyleri bulunmakta olup, Eskişehir organize sanayi bölgesi alanına 10 km

uzaklıktadır (Şekil 2). Aynı zamanda bölgede bulunan ve hala aktif olarak işletilen manganez ocağı ile saha girişimlidir. Bunun yanında civarda yoğun bir şekilde tarımsal faaliyetler de sürdürülmektedir.



Şekil 1- Çalışma alanının içerisinde yer aldığı Sakarya Nehri alt havzası Porsuk Nehri drenaj ağı (Bakış vd., 2008).

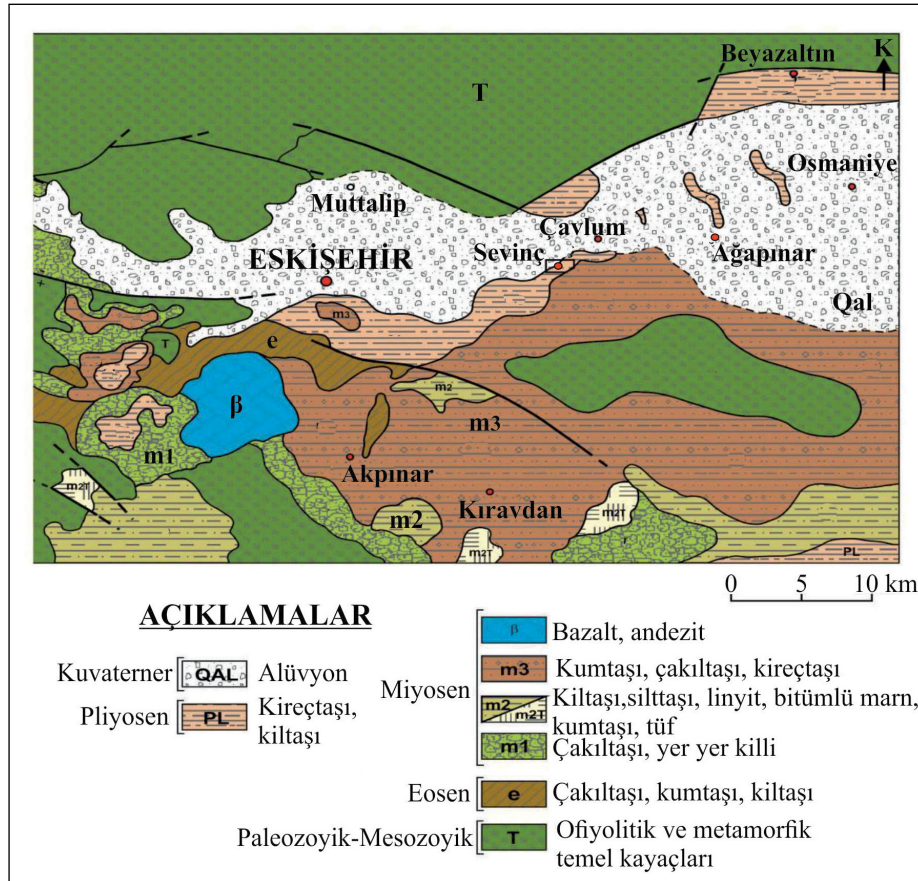


Şekil 2- Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2. Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanı (Şekil 3) Eskişehir ilinin doğusunda, Sevinç ve Çavlım mahallesi ile Ağapınar köyünün kuzeyinde yer almaktadır. Bölgede görülen Paleozoyik yaşlı metamorfikler ve Mesozoyik yaşlı ofiyolitler çalışma sahasının temel kayaçlarını oluşturmaktadır. Temel kayaçların üzerine uyumsuz olarak Miyosen yaşlı sedimanter birimler gelmektedir. Miyosen yaşlı göl ortamını temsil eden sedimanter birimler tabanda çakıltaşı, kumtaşı ve kiltasından oluşan m1 serisi ve üzerine gelen tabandan tavana doğru yer yer çakıllı, yeşil renkli kiltası, kömür, gri renkli kumtaşı, koyu gri yeşil renkli silttaşı, bitümlü marn, kiltası, kömür ve yeşil renkli kiltası, kumtaşı, ince taneli çakıltaşı ardışımından oluşan bir istif sunan m² serisinden oluşmaktadır. Daha üst seviyelerde ise yer yer gözlenen kireçtaşı ve çakıltaşından oluşan m³ serisi ile gevşek çakıltaşı, kiltası düzeylerinden

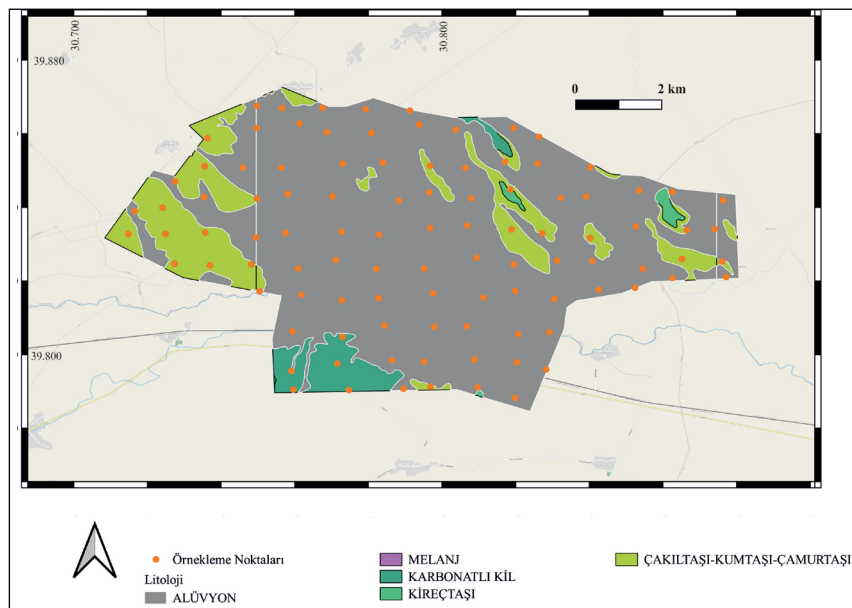
oluşan Pliyosen yaşlı çökeller yer almaktadır. Pliyosen çökelleri çalışma alanında krem, açık kahverenkli kiltası ve gevşek tutturulmuş çakıltaşı ile temsil edilmektedir. Miyosen m³ serisi üzerinde yer alan çakıltaşı düzeyleri kendisinden daha yaşlı tüm birimlerin çakıllarını içermektedir. Çakıl boyları 1-10 cm arasında değişmekte olup, birimin kalınlığı çalışma alanında 15-25 m arasında izlenmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon ise, güncel çökeller ile yamaç molozu uyumsuz olarak kendinden daha yaşlı bütün birimleri örtmektedir. Neojen yaşlı çökeller ile kaplı olan bölgedeki stratigrafik istif (Şekil 4) MTA Genel Müdürlüğü'ne ait ruhsatlarda yapılan araştırma ve rezerv belirleme sondajlarından elde edilen verilere dayanılarak tespit edilmiştir (Şengüler, 2013). Çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmaları ile ruhsat sahasının litoloji haritası üretilerek Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 3- Çalışma alanını içine alan Eskişehir ve civarının jeoloji haritası (Şengüler, 2013).

Seviç-Ağapınar (ESKİŞEHİR) Kömür Havzası Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti						Ölçeksiz
Üst Sistem	Sistem	Seri	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklamalar	
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen	5-10		Alüvyon	
		Pliyosen	15-25		Kiltaş, gevşek çakıltaş, açık renkli kahve renkli	
		Miyosen	m3 30-40		Kireçtaş, kumtaş, çakıltaş, ardalanması, yer yer yanal geçişli	
			m2 350-600		Kiltaş, kumtaş, çakıltaş, yeşil renkli Linyit (üst tabaka) (kalınlık 0.55-30 m, ortalama ısı değeri 1900 kcal/kg) Bitümlü marn, silttaş, kiltaş, şeyl (koyu yeşil-gri renkli) Kumtaş gri renkli, ince orta taneli Linyit (alt tabaka) (kalınlık 5.85-31.6 m, ortalama ısı değeri 2200 kcal/kg) Kiltaş yeşil renkli, yer yer çakıllı	
		m1	20-40		Çakıltaş, kumtaş, kiltaş gevşek tutturulmuş	
Mesozoyik	Jura-Kretase				Temel Kayalar Yeşil renkli ofiyolit	
Palaeozoyik					Metamorfitlet	

Şekil 4- Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şengüler, 2013).



Şekil 5- Çalışma alanının litojji haritası.

3. Materyal ve Metot

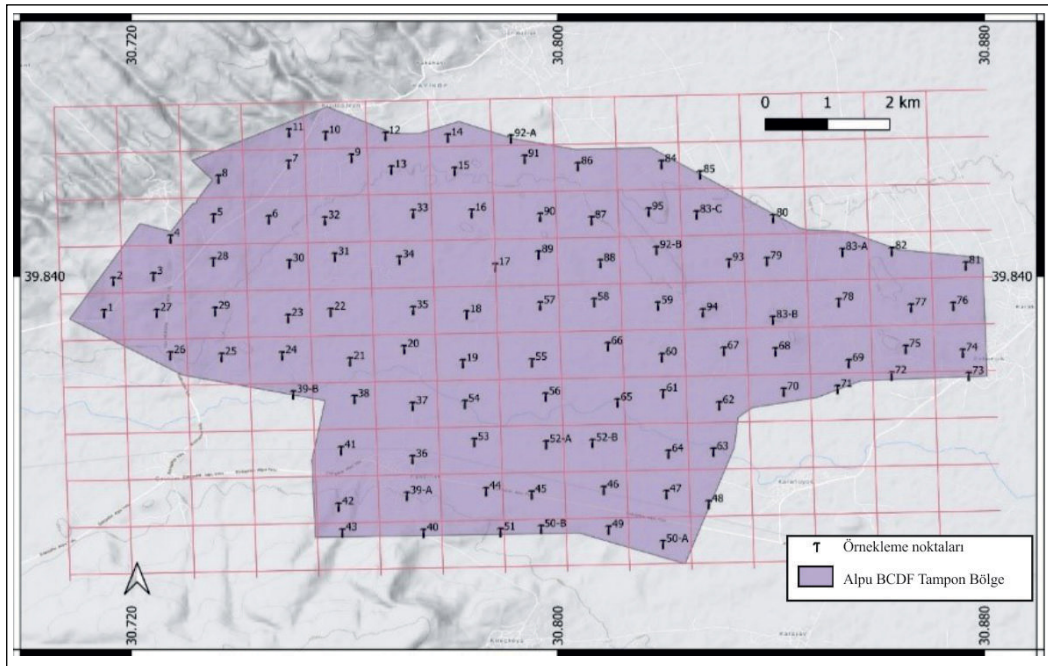
3.1. Arazi Öncesi Büro Çalışmaları

Çalışma kapsamında cevher veya enerji hammaddeleri etütleri yapılmış ve raporlaştırılan sahaların buluculuk sınırları koordinatları poligon haline getirilmiştir. Buluculuk sınırı bir maden işletmesinin (ocak) ulaşabileceği maksimum sınırlarını temsil etmektedir. Madencilik faaliyetleri sonucunda oluşma ihtimali bulunan ağır metal emisyonları maden işletmesinin sınırlarından dışarıya doğru salınım yapması beklenir. Bu olasılığa karşı işletme sınırlarını önceden genişletilip, örnekleme alanı tampon bölgeyi de kapsayacak şekilde CBS ortamında oluşturulmuştur.

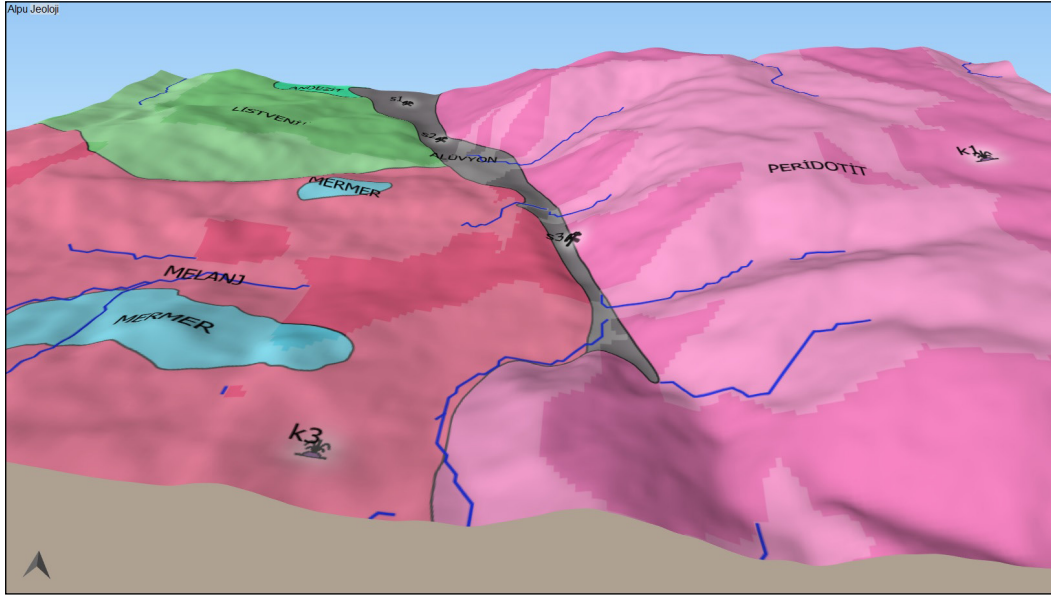
Tampon bölgenin eklenmesi ile belli olan çalışma alanına CBS ortamında 1 km²'lik gridleme yapılmıştır. Her gridin içine jeoloji, fay, alterasyon yayılımları dikkate alınarak 1 adet istasyon yerleştirilmiştir. Gridleme sistemi tematik haritalama sırasında çözünürlüğü arttırmak, boşta istasyonlardan eksik veri gelmemesi ve böylece çalışma alanının yüksek güvenilirlik katsayısı ile temsil kabiliyetinin oluşması sağlanmıştır (Şekil 6).

Çalışma alanının 30 metre çözünürlüklü DEM ya da STRM görüntü dosyaları CBS ortamında işlenerek yükseklik ve eğim bilgilerinden yararlanılarak drenaj (su toplama, dolayısıyla sediman biriktirme) alanları tespit edilmiştir. DEM dosyalarında raster işlemleri ile yükseklik ve eğime göre akaçlama kolları ve drenaj alanları oluşturulmuştur. Belirlenen drenaj alanlarının altına jeolojik yapı giydirilmiş ve her istasyon için kaynak kayalar belirlenmiştir. Kaynak kayalar sahada kontrol edilerek, her bir bölge için jeokimyasal analiz için toprak, dere sedimanı, dere yüzey suyu ve kaynak çıkış noktalarından yer altı suyu örnekleri alınmıştır (Şekil 7).

Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, CORİNE 2018 veri setleri kullanılarak inceleme alanını etkileyen tarımsal aktivitelerin türü saptanmıştır. Bu aktiviteler; sürekli sulanabilir alanlar, mera alanları, seyrek bitki alanları gibi ayrıntılı bir şekilde haritalandırılmıştır. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın ATLAS uygulamasının verileri ise çalışma alanını etkileyen endüstriyel aktivitelerin türünü belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Organize sanayi bölgelerinin çalışma alanına olan uzaklığı ve drenaj alanının varlığı, çalışma alanının öncel jeokimyasal değerlerini etkileyen organize sanayi bölgelerinin türleri tespit edilmiştir.



Şekil 6- Sahadan toprak ve dere sedimanı örnekleme için yapılan gridleme ve alım istasyonları.



Şekil 7- Drenaj alanları üzerine giydirilmiş jeolojik birimlerden çıkan su kaynakları ve örnek istasyonları.

3.2. Saha Çalışmaları

Büro çalışmalarında elde edilen öncel verilere göre belirlenen istasyonlardan toprak, dere sedimanı, dere suyu, yeraltı suyu ve bitki numuneleri alınmıştır. Şekil 6'da yer alan çalışma alanından toplam 101 adet toprak/dere sedimanı ve 22 adet yüzey/yeraltı suyu alınmıştır (Şekil 8).

Toplam 101 istasyondan alınan toprak ve dere sedimanı ilk 30 cm'yi temsil etmektedir (Şekil 9). Örnekleme işlemi yapılan istasyonlar şehir merkezleri, organize sanayi giriş çıkışları, deşarj noktaları ve jeolojik açıdan önemli yerler dikkate alınarak planlanmıştır. Çalışma alanını temsil açısından istasyonlar ortalama 1 km²'de bir seçilmeye özen gösterilmiştir.



Şekil 8- (a) Dere sedimanı ve (b) su numunesi alım işlemleri.



Şekil 9- Dere sedimanı örnekleme işlemi.

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma kapsamında alınan numuneler MTA laboratuvarlarında numune hazırlama işlemlerine tabii tutularak X-ray Fluorescence (XRF) ve Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sedimanlardaki ağır metal kirliliğinin derecesi farklı yaklaşım metodlarıyla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bunun için en yaygın olarak zenginleşme faktörü (Ef), jeobirikim indeksi (Igeo), kirlilik faktörü (Cf) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) hesaplamaları kullanılmıştır.

3.4. Dağılım Haritalarının Oluşturulması

Çalışma alanının litoloji haritasının hazırlanmasını takiben yüzey örneklerinin analiz edilmesinden elde edilen majör oksitlerin konsantrasyon değerleri ve zenginleşme faktörü parametreleri QGIS Coğrafi Bilgi Sistemi programına aktarılmıştır. Sahadan alınan örneklerin analiz sonuçlarına göre 11 ağır metal için Ef dağılım haritası, 10 adet majör oksit dağılım haritası ve 1 adet PLI dağılım haritası üretilmiştir.

3.5. İstatiksel Parametrelerin Hesaplanması

Ağır metallerin beraber çökelediği materyaller ve birbirleri ile olan ilişkisi hakkında fikir sahibi olmak için Pearson Korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Temel istatistik verilerinde yer alan ağır metal konsantrasyonlarının maksimum, minimum ve medyan değerlerini görselleştirmek ve

konsantrasyonların hangi aralıkta yığılma gösterdiğini daha iyi anlayabilmek için kutu grafikleri çizilmiştir. Toprak ve dere sediman örneklerinde benzer ağır metal içeriğine sahip lokasyonların tespiti için dendogram grafikleri oluşturulmuştur.

3.6. Su Numunelerinde Analiz Sonuçlarının İşlenmesi

Çalışma sahasından alınan 22 adet yüzey ve yeraltı suyu örneğinde NH_4^+ , NO_2^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} ve ağır metal içerikleri değerlendirilmiş ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31 Aralık 2004) sınır değerlerine göre sınıflandırma yapılmıştır. Hidrojeokimyasal açıdan su analiz sonuçları Piper, Scholler, Durov, Gibbs, Chadha, Stiff, İon Balance, ABD Tuzluluk, Wilcox diyagramları ve bazı parametrelerin mekânsal dağılımları çizilerek kökensel ve kullanım kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Kaynak yerinde (in-situ) olarak suyun asitlik/bazlık derecesini belirlemek için ölçülen Ph değerleri 7,72 ile 8,82 arasında ve mineral/tuz oranını belirlemek için ölçülen elektrik iletkenlik değerleri ise 358-1247 $\mu\text{mho/cm}$ aralıklarında değişmektedir (Çizelge 1).

4. Bulgular ve Değerlendirmeler

4.1. Toprak ve Dere Sedimanlarının Majör Oksit ve Ağır Metal İçeriklerinin Değerlendirilmesi

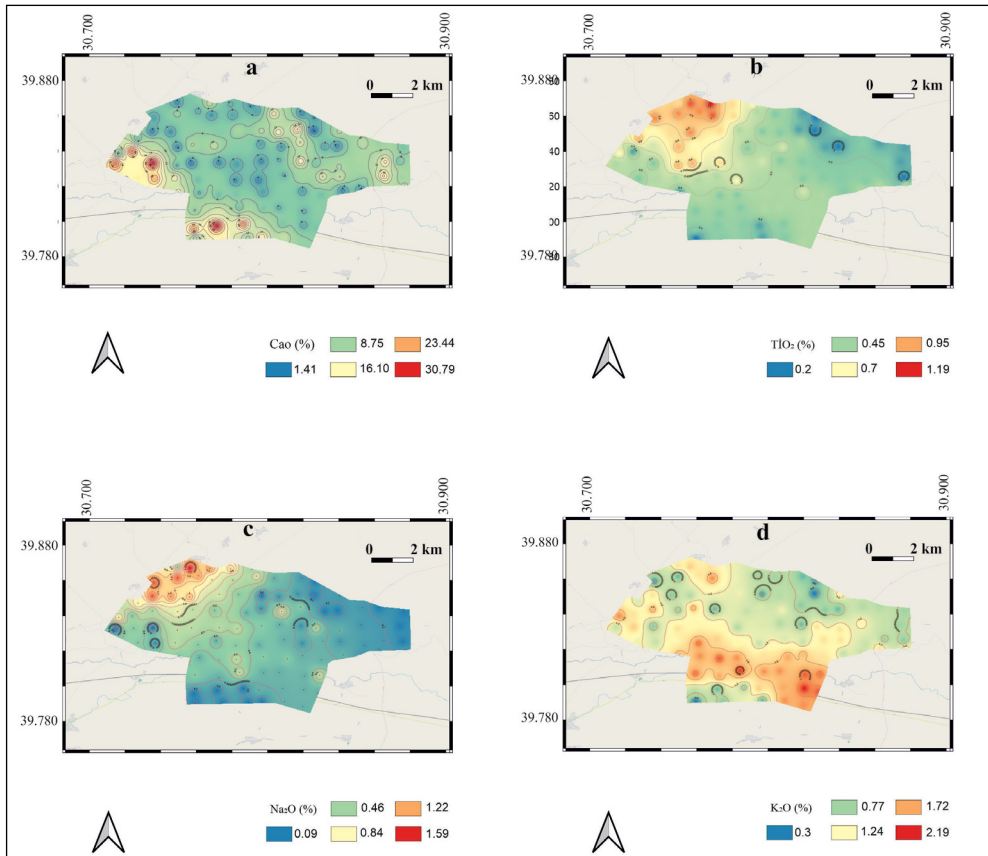
Jeokimyasal anlamda öncelikle majör oksitlerin dağılım haritaları, daha sonra bu çalışmanın ana konusunu oluşturan ağır metallerin Zenginleşme Faktörlerinin dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Çizelge 1- Su numunelerinin alındığı bölgeler ve yerinde (in-situ) ölçüm sonuçları.

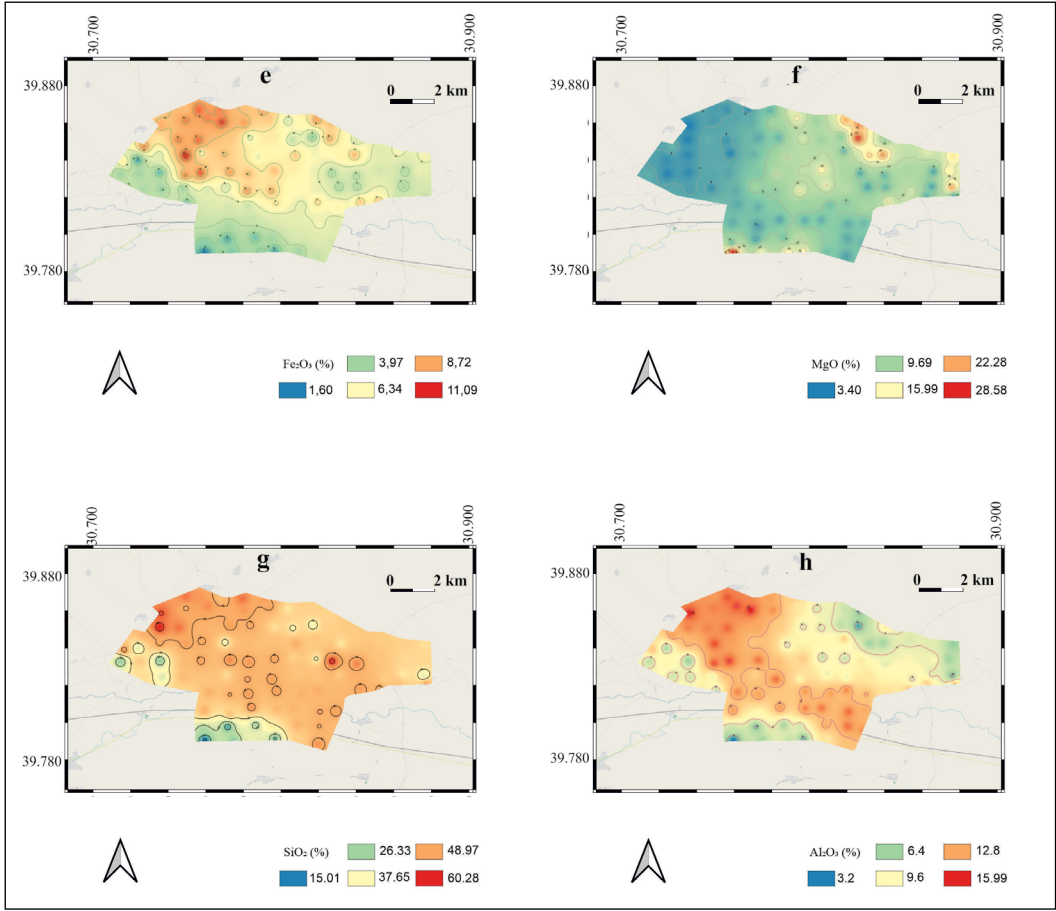
Örnekleme Noktaları	pH	Sıcaklık (°C)	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	ORP (milivolt)
ESU-1	8,13	15,8	639	448	72
ESU-2	7,72	16,7	633	443	105
ESU-3	8,3	18,7	862	608	70
ESU-4	8,22	19,2	668	467	126
ESU-5	8,14	21,2	645	449	82
ESU-6	8,16	18	628	436	117
ESU-7	8,51	18,8	622	434	65
ESU-8	7,89	18,2	763	235	59
ESU-9	7,72	24,1	1129	872	61
ESU-10	7,73	23,9	1247	884	57
ESU-11	7,83	23,4	1071	758	56
ESU-12	7,86	24,5	1103	779	55
ESU-13	8,42	20,3	607	423	75
ESU-14	8,54	21,2	615,9	427,9	60
ESU-15	8,46	22,8	606	420,4	53
ESU-16	8,82	27,1	619	424	52
ESU-17	7,7	19,4	764	533	107
ESU-18	7,78	21,3	358	242	70
ESU-19	7,77	23,7	571	391	108
ESU-20	7,83	18,4	587,4	407	74
ESU-21	8,11	22,3	558	383	102
ESU-22	8,1	22,9	368	249	105

4.1.1. Toprak ve Dere Sedimanlarında Majör Oksitlerin Değerlendirilmesi

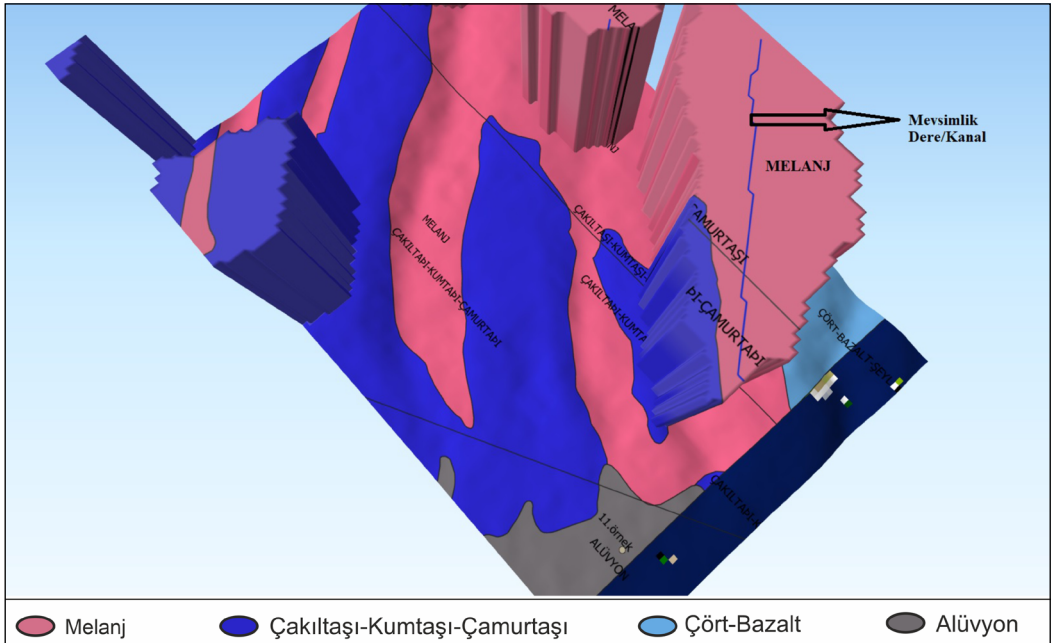
Majör oksitlerin hem jeolojik hem de antropojenik etki kapsamında değerlendirilmesinde fayda vardır. Bu kapsamda, çalışmadan elde edilen sonuçların ortalama değerleri ile dünya ortalama şeyl ve kıta kabuğu değerlerinin (Çizelge 2) (Wedepohl, 1969; 1995) karşılaştırması yapılmıştır. Toprak ve dere sedimanlarının majör oksit değerlerine bakıldığında CaO değerleri çalışma alanında %1,4 ile %30,7 arasında tespit edilmiştir (Şekil 10). Çalışma alanının batısında ve güneyinde CaO değerlerinin yüksekliği batıda çakıltı-kumtaşı-çamurtaşı, güneyde ise karbonatlı killer ile alakalıdır (Şekil 11). Toprak ve dere sedimanlardaki ortalama TiO₂ değeri çalışma alanının kuzey batısında yer alan örneklemelerde kıta kabuğu ortalamasından yüksek olduğu görülmektedir. Çalışma alanının kuzeybatı bölgesinin yüksek eğimli drenaj havzalarının etkisi altında bulunduğu ve bu nedenle karasal süreçlerin sonucunda ayrışma, yerçekimi ve



Şekil 10- Çalışma alanında toprak ve dere sedimanlarında a) CaO, b) TiO₂, c) Na₂O ve d) K₂O konsantrasyon dağılım haritaları.



Şekil 10- devamı, e) Fe_2O_3 , f) MgO , g) SiO_2 ve h) Al_2O_3 konsantrasyon dağılım haritaları.



Şekil 11- Çalışma alanını drene eden alanda yer alan ofiyolitik melanj.

Çizelge 2- Dünya ortalama şeyl ve kıta kabuğuna ait değerleri (Wedepohl, 1969; 1995).

(1) Wedepohl, 1969 (2) Wedepohl, 1995	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)
Dünya Ortalama Şeyl (1)	3,09	6,75	58,4	15,1	0,77	3,2	2,5	1,29
Kıta Kabuğu Ortalama (2)	5,5	6,28	61,5	15,1	0,68	2,4	3,7	3,2

erozyonun etkisiyle zenginleştiği düşünülmektedir. Tüm istasyonlarda ortalama Na₂O ve K₂O değerinin ise ortalama şeylden ve kıta kabuğundan (Çizelge 2) daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum farklı oluşum ortamları ve evreleri geçiren kuşaklar için ayrıca bir ortalama değer tespit edilmesi gerekliliğini işaret etmektedir. Çalışma alanında MgO konsantrasyonu tüm örneklerde, hem kıta kabuğu hem de ortalama şeyl değerlerinden oldukça yüksektir. Çalışma alanı ve etrafında yer alan manyezit ocağı yüksek MgO konsantrasyonu sebebidir. Civarda bulunan kayalar içerisindeki manyezit mineralinin kimyasında (MgCO₃) Mg bulunmaktadır. Aynı zamanda tüm çalışma alanını drene eden alanlarda kaynak kayalar olarak melanj içerisinde (Şekil 11) bulunan Peridotit ve Serpantinit grubu kayalar mevcuttur. Bu kayalarda yüksek MgO (ortalama %31) değerleri Akiska vd. (2018) tarafından rapor edilmiştir.

Çalışma alanının kuzey batısında Fe₂O₃ değerleri kıta kabuğu ortalama değerinden daha yüksek ölçülmüştür. Bu kısmı drene eden kısımlarda peridotit, serpantinit ve topoğrafik olarak daha yüksek bölümlerde gabro yer almaktadır. Fe₂O₃ değerinin yüzde %10 u geçtiği 13. ve 30. Örnek istasyonları alüvyon üzerindedir. Alüvyon serpantin, gabro ve peridotit çakılları içermektedir. Paulick vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada 20 adet değişik derecelerdeki altere peridotitlerden %5,64 ile %10,45 arasında değişen Fe₂O₃ konsantrasyonları ölçülmüştür. SiO₂ konsantrasyon değerleri için 5. ve 94. örnek istasyonlarında ortalama şeyl değerinden büyük kıta kabuğu ortalamasından küçük değerler ölçülmüştür. Diğer örnek istasyonlarında ise hem kıta kabuğu hem ortalama şeyl ortalama değerinden küçük tespit edilmiştir. 5. ve 94. örnek istasyonlarının çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı litolojisi üzerinde bulunması ve özellikle çakıltaşlarında yüksek silis olması normal bir durumdur. Bunun yanı sıra çalışma alanının hemen kuzeyinde yer alan çört ve bazaltlardan dolayı yüksek silis oranı gözlemlenebilir. Toprak ve dere sedimanlarında

Al₂O₃ konsantrasyon değerleri 8. ve 22. örnek hariç diğer tüm istasyonlarda hem şeyl hem de kıta kabuğu ortalamasının altındadır. 8. örnek için drenaj alanına kaynak kayalar olarak peridotit, serpantinit ve gabrolar bulunmakta, 22. örnek ise alüvyon üzerinde yer almaktadır. Koralay (2015) ofiyolitlerin içerisindeki gabro dayklarının bazalt malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmasında 8 adet gabro örneğinde %15,7'ye ulaşan Al₂O₃ konsantrasyonu ölçmüştür. 8. örnek istasyonunda ölçülen Al₂O₃ konsantrasyonu %15,8 değerine sahiptir ve bu sonucu drenaj alanında bulunan gabro ile ilişkilendirmek mümkündür.

4.1.2. Toprak ve Dere Sedimanlarındaki Zenginleşme Faktörleri (Ef) ve Jeobirikim İndeksi (İgeo)'ne Göre Ağır Metallerin Değişim Konsantrasyonları

Ağır metallerin biyolojik çevre üzerindeki toksik etkileri çok çeşitlidir ve kimyasal formlar ile ilgilidir. Canlı organizmalar üzerinde olumsuz etki gösteren metallerden bazıları bakır, krom, kadmiyum, kurşun, kobalt, nikel ve vanadyumdur. Bazı ağır metaller (Fe, Cu, Zn gibi) canlı vücudu için gerekli elementlerdir ancak normal konsantrasyonları aştıkları zaman potansiyel toksik madde haline gelirler (Duffus ve Howard, 1996). Endüstriyel atıksular ağır metal içeriği yönünden önemli bir kirleticidir. Hiçbir arıtılma ya da sadece ön arıtmadan sonra kanalizasyon sistemine deşarj edilmeleri büyük riskler oluşturabilmektedir. Su ortamında bulunan ve belirli bir konsantrasyonu aşan her madde canlılar için zararlıdır (Yıldız, 2004).

Çalışma alanındaki toprak ve dere sedimanı örneklerinin ağır metal konsantrasyon değerlerinden faydalanarak zenginleşme faktörü ve jeobirikim indeksleri hesaplanırken normalizasyon, alüminyum elementine göre yapılmış ve elementlerin ortalama değeri Turekian ve Wedepohl (1961)'ün küresel ölçekte referans olarak kullanılan çalışmalarından

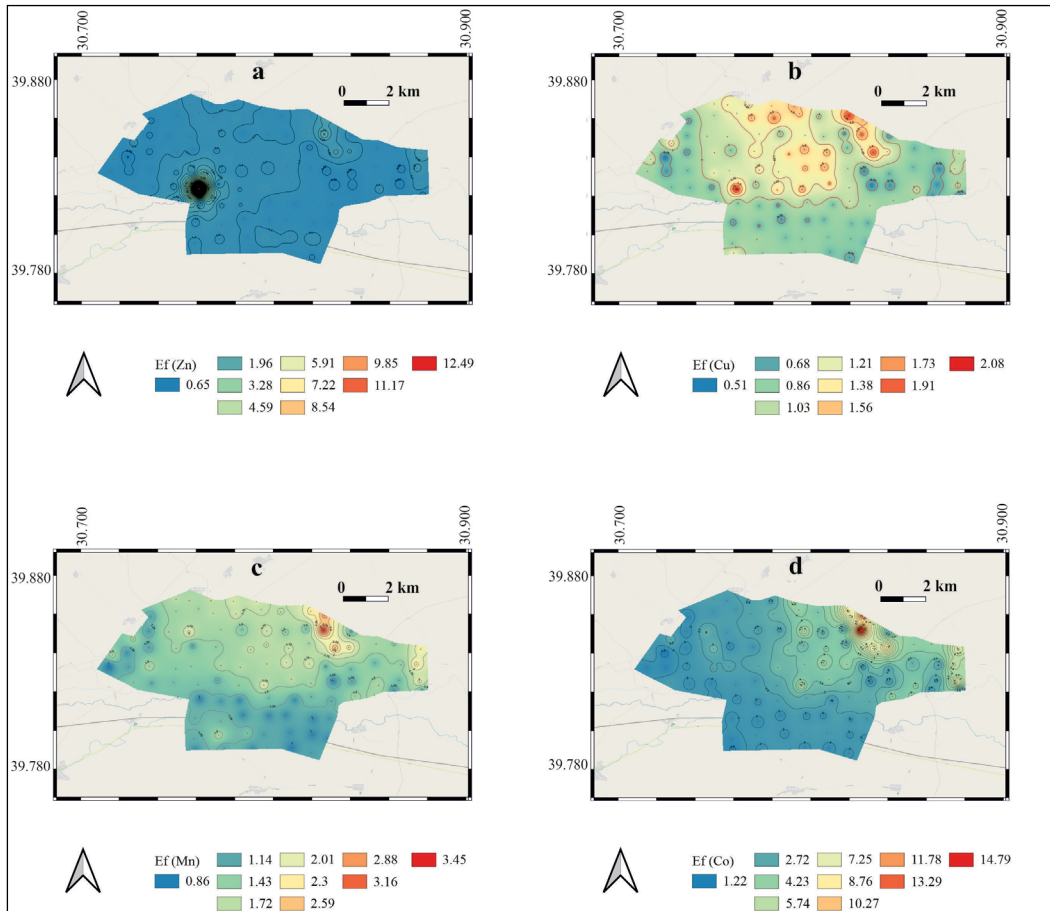
alınmıştır. Toprak ve dere sedimanları için hesaplanan Ef değerlerinin dağılım haritaları Şekil 12'de sunulmuştur.

As, 2,5 ppm ile 33 ppm arasında değişen, ortalama 15 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında arsenik 2, 41, 49 ve 52b numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar alüvyon üzerinde bulunmaktadır. İstasyonların drenaj alanında kaynak kayalar olarak peridotit, serpantinitle ve karbonatlı kilitaşı bulunmaktadır. Arsenik için ultrabazikler ve kumtaşı gibi sedimanter kayalarda ortalama şeyl değerinden daha düşük değerler alındığı bilinmektedir. Arsenik elementi magmatik kayalarda ve diyabazlarda ortalama 1.5-2 ppm civarında bulunurken fosfatlı kayalarda 21 ppm, göl çökellerinde ise ortalama 15 ppm bulunmaktadır. Jeojenik olarak yer kabuğunda 1,8 ppm, şeyllerde ise 13 ppm arsenik bulunduğu belirtilmiştir (Mason ve Moore, 1982). En yüksek As

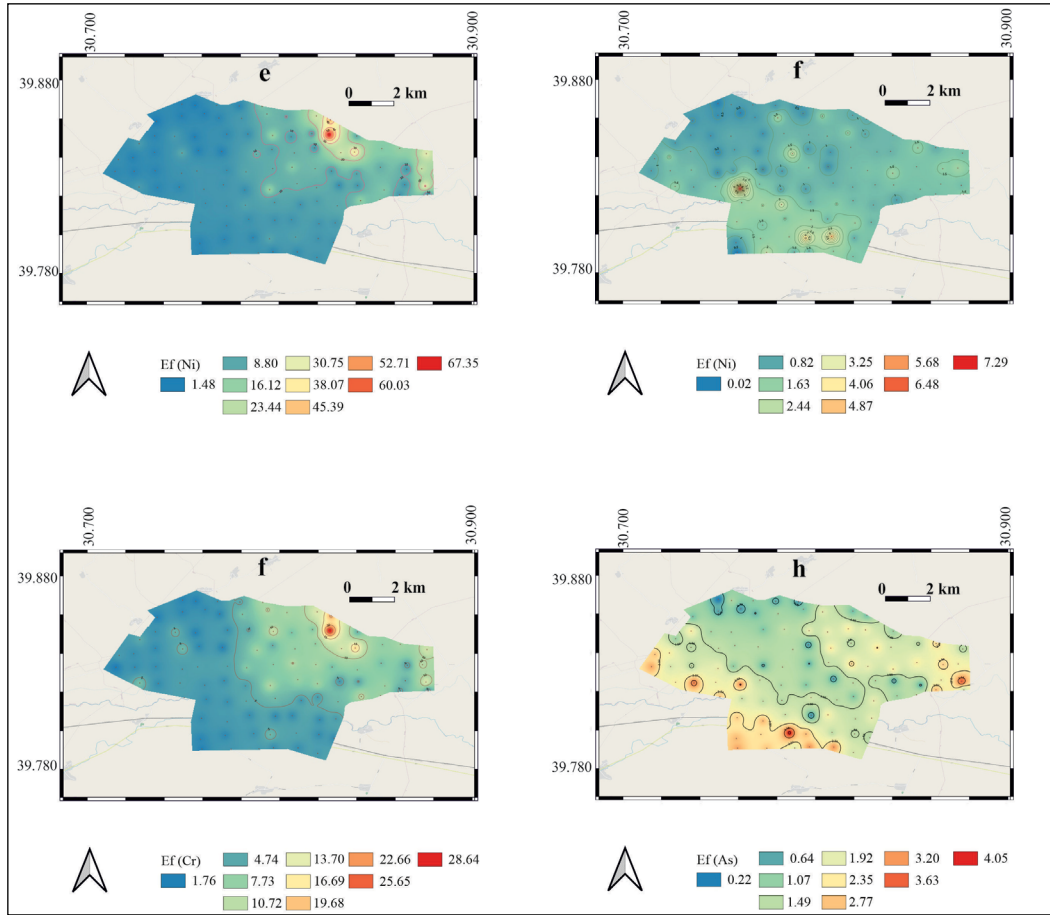
değerlerinin bulunduğu istasyonlarda kaynak kayalar olarak bulunan killi kireçtaşları etkilidir. Nitekim Ünal (2015) yaptığı çalışmada 3 adet killi kireçtaşında 60-238 ppm arasında As değeri ölçmüştür.

Pb, 0,1 ppm ile 117 ppm arasında değişen, ortalama 17 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında Pb 21, 46, 45 ve 54 numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar alüvyon üzerinde bulunmaktadır. Zenginleşme faktörünün dağılım haritası incelendiğinde kurşunun daha çok yol güzergâhlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum otoyollarda motorlu taşıtlarda kurşunlu benzinin ülkemizde 2006 yılında yasaklanmasından önceki emisyonu olarak değerlendirilmiştir.

Cr (Cr⁺³ ve Cr⁺⁶ toplamı), 39,4 ppm ile 768,9 ppm arasında değişen, ortalama 336 ppm konsantrasyon değerine sahiptir. Çalışma alanında Cr 1, 74, 23 ve 29



Şekil 12- Toprak ve dere sedimanlarında a) Zn, b) Cu, c) Mn ve (d) Co için zenginleşme faktörü dağılım haritası.



Şekil 12- devamı, e) Ni, f) Pb, g) Cr ve h) As için zenginleşme faktörü dağılım haritası.

numaralı örneklerin aldığı istasyonlarda diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Bu istasyonlar alüvyona ilaveten çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı üzerinde bulunmaktadır. İstasyonların drenaj alanında kaynak kayaç olarak peridotit, serpantinitle ve gabro bulunmaktadır. Ultrabaziklerdeki ortalama Cr konsantrasyonu bu istasyonlardaki yüksek değerleri açıklamaktadır.

Co konsantrasyonu, 5,6 ppm ile 83,9 ppm arasında değişen, ortalama 38 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında Kobalt, 83c, 85, 84 ve 79 numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar alüvyon üzerinde bulunmaktadır. İstasyonların drenaj alanında ise peridotitler bulunmaktadır. Paulick vd. (2006), tarafından 20 adet çeşitli derecelerde altere peridotitlerde 45-143 ppm arasında Co konsantrasyonu ölçülmüştür. Önemli sayılabilecek bir sanayi tesisinin olmadığı bu bölgede

Co konsantrasyon fazlalığının tamamının doğal jeolojik etkinin olduğunu söylemek mümkündür.

Ni konsantrasyonu, 38 ppm ile 1366 ppm arasında değişen, ortalama 372 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında nikel, 83c, 85, 84 ve 79 numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar alüvyon üzerinde bulunmaktadır. İstasyonların drenaj alanında ise peridotitler bulunmaktadır. Paulick vd. (2006), tarafından 20 adet çeşitli derecelerde altere peridotitlerde 124-2273 ppm arasında Ni konsantrasyonu ölçülmüştür. Önemli sayılabilecek bir sanayi tesisinin olmadığı bu bölgede Ni konsantrasyon fazlalığının tamamının doğal jeolojik etkinin olduğunu söylemek mümkündür.

Cu konsantrasyonu, 11 ppm ile 75,5 ppm arasında değişen, ortalama 32,8 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında bakır, 13, 21, 15 ve

19 numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar alüvyon üzerinde bulunmaktadır. Bu bölgede istasyonların drenaj alanında peridotitler bulunmaktadır. Paulick vd. (2006), tarafından 20 adet çeşitli derecelerde altere peridotitlerde 3-82 ppm arasında Cu konsantrasyonu ölçülmüştür.

Zn konsantrasyonu, 21,6 ppm ile 953,2 ppm arasında değişen, ortalama 76,9 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında çinko, 21, 13, 9 ve 47 numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar alüvyon üzerinde bulunmaktadır. Bu bölgede istasyonların drenaj alanında peridotitler bulunmaktadır. Paulick vd. (2006), tarafından 20 adet çeşitli derecelerde altere peridotitlerde 100 ppm'e varan Zn konsantrasyonu ölçülmüştür. Zn konsantrasyonunda jeolojik etkiyi aşan oranlar bulunması ve SO₃ ile pozitif korelasyon göstermesi, tarımsal etkiyi dolayısıyla gübrelemeyi akla getirmektedir.

Mo konsantrasyonu, 0,09 ppm ile 7,8 ppm arasında değişen, ortalama 2,41 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında molibden, 83b, 24, 94 ve 95 numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar çakıltası-kumtaşı-çamurtaşı ve alüvyon üzerinde bulunmaktadır. Bu bölgede istasyonların drenaj alanında melanj ve peridotitler bulunmaktadır. Liang vd. (2017), 10 adet ultramafik kayaçta 0,02-0,09 ppm arası Molibden ölçmüştür. Sahanın batısındaki ve kuzeyindeki görece yüksek molibden konsantrasyonlarında jeolojik etkilerin sınırlı olduğu gözükmemektedir.

Mn konsantrasyonu, 185,5 ppm ile 1661,4 ppm arasında değişen, ortalama 856 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında mangan, 32, 13, 15 ve 14 numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar alüvyon üzerinde bulunmaktadır. Bu bölgede istasyonların drenaj alanında ofiyolitik melanj ve peridotitler bulunmaktadır. Manganın ultrabazik kayaçlarda ortalama değeri yüksek istasyonlar ile uyumludur.

V konsantrasyonu, 34,4 ppm ile 209,5 ppm arasında değişen, ortalama 97,24 ppm konsantrasyon değeri almaktadır. Çalışma alanında vanadyum, 9, 10, 32, 13 ve 8 numaralı örneklerde diğer istasyonlara göre daha yüksek konsantrasyon değerleri almaktadır. Bu istasyonlar çakıltası-kumtaşı-çamurtaşı ve alüvyon üzerinde bulunmaktadır. Bu bölgedeki istasyonda drenaj alanında kaynak kayaç olarak peridotitler, serpantinler bulunmaktadır. Çiftçi (2002), Sivas Kızıldağ Ofiyolitlerinde serpantin ve Harzburjitlerde yüksek, dünitlerde düşük olmak üzere 10 ppm ve 75 ppm arasında değişen V konsantrasyonu ölçülmüştür. Yine Paulick vd. (2006), tarafından 20 adet çeşitli derecelerde altere peridotitlerde 13-40 ppm V konsantrasyonu arasında ölçülmüştür. Çalışma alanında kuzey kısmındaki görece yüksek V konsantrasyonu olan bölgelerde kayaç jeokimyası etkilidir.

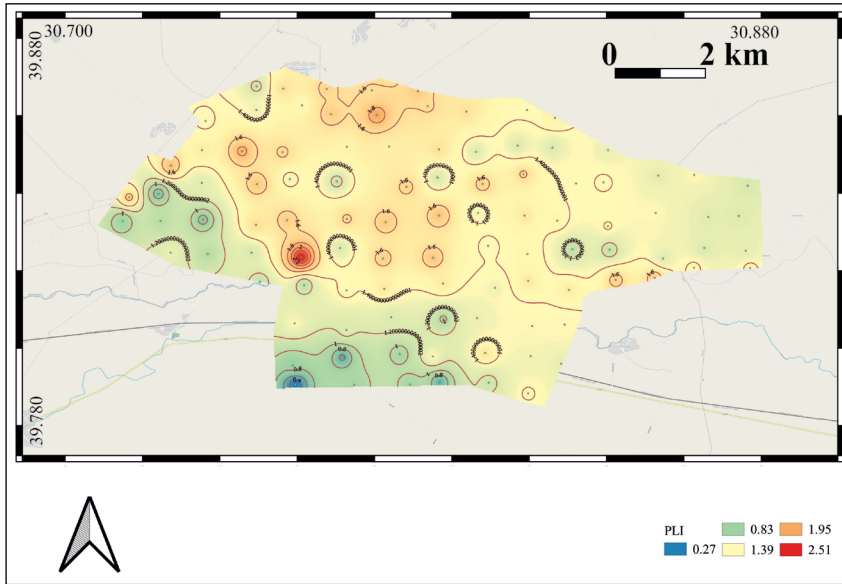
4.1.3. Kirlilik Faktörleri (Cf) ve Kirlilik Yükü İndeksleri (PLI)

Toprak ve dere sedimanları kirlilik yükü indeksi (PLI)'ne göre değerlendirildiğinde 101 adet örnek içinden 11 adet örneğin 1 değerinin altında bulunmasından dolayı tüm ağır metal içeriklerine göre kirlenmemiş nitelikte, diğer örnekler ise 1 değerinin üzerinde olduğundan kirlenmiş nitelikte olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13).

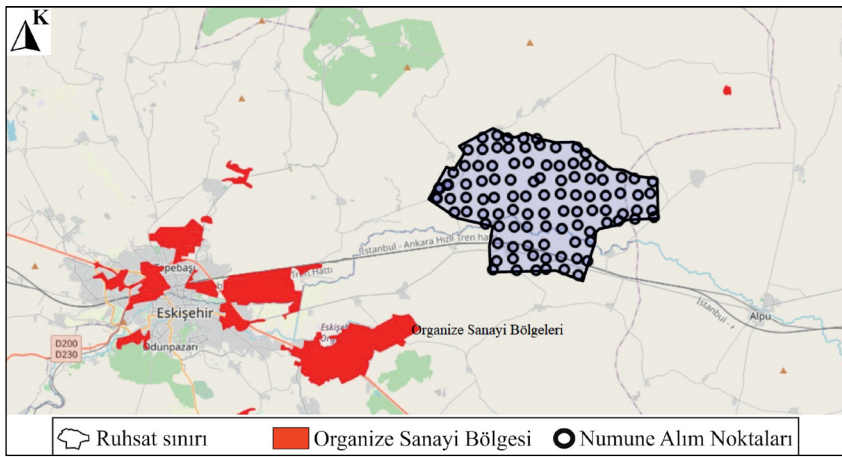
4.2. Sahanın Tarım ve Endüstri Alanları ile Mevcut Durumu ve İstatiksel Değerlendirilmesi

Çalışma alanını oluşturan Alpu BCDF Kömür sahası Eskişehir ilinin doğusunda yer almaktadır. Sahaya en yakın sanayi tesisi yaklaşık 6 km mesafede bulunmaktadır. Organize sanayide arıtma tesisi bulunmakta olup, metal, kimya ve makine ağırlıklı işletmeler mevcuttur (Şekil 14). Tarım ve Orman Bakanlığının CORİNE 2018 verilerine göre çalışma sahası poligonu içerisinde %96,53 tarım arazisi, %2,36 orman ve yarı doğal alanlar ve %1,11 yapay (insan aktiviteleri ile) alanlar bulunmaktadır (Şekil 15).

Tüm örneklerin konsantrasyon değerleri, Pearson korelasyon katsayıları, kutu (box) grafiği ve dendrogram grafiği gibi temel istatistik değerler altında irdelenmiştir.



Şekil 13- Toprak ve dere sedimanlarının PLI dağılım haritası.



Şekil 14- Sanayi bölgeleri ve sahanın mevcut durumu.



Şekil 15- Tarım ve Orman Bakanlığının CORİNE 2018 verileri ve sahanın mevcut durumu.

Temel istatistik düzeyinde tüm örneklerin metal konsantrasyonlarının minimum ve maksimum değerleri, medyan, ortalama değer ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Buna göre toprak ve dere sedimanında ortalamanın üzerinde bulunan en yüksek değer Mn elementine aittir. Ortalamanın altındaki en düşük konsantrasyon değeri ise Kadmiyuma aittir. Alınan örneklerden yapılan analizlere göre metaller bolluğu $Mn > Ni > Cr > V > Zn > Co > Cu > Pb > As > Mo > Cd$ şeklinde sıralanmaktadır. Bölgede faaliyet gösteren Manganez ocağı göz önüne alındığında Mn elementinin en yüksek konsantrasyon değerine sahip olması sonuç olarak normal bir durumdur.

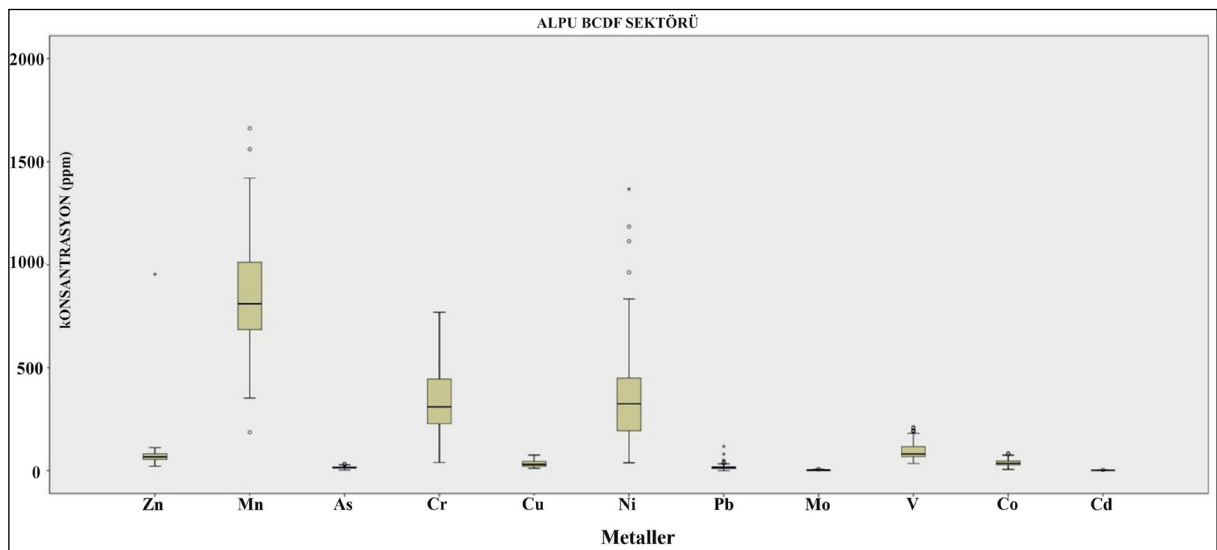
Hesaplanan Pearson korelasyon katsayılarına göre dere sedimanı ve toprakta mangan bakır ve vanadyum ile, nikel, krom ve kobalt ile, çinko kurşun ve kükürt tri oksit ile, vanadyum bakır ve kadmiyum karşılıklı en yüksek korelasyon katsayılarına sahiptir. Metallerin Zn-Pb-Co ve Ni-Co birlikte zenginleşmeleri belirli kayaçların jeokimyasında örneğine sıklıkça rastlanan bir durum olduğu için çalışma alanında bu metallere ait kirliliklerde litolojik etkinin gözardı edilmemesi gereken bir durum olduğunu görülmektedir. Çalışma alanında SO_3 ile Zn arasında korelasyon katsayısının en yüksek olması bir miktar çinkonun gübreden geldiğini işaret etmektedir. Aynı zamanda SO_3 ile As, Pb, Cu, Mo, Cd istatistiksel açıdan anlamsız fakat

pozitif değere sahip olması bu elementlerinde benzer şekilde tarımsal faaliyetlerin etkisiyle geldiği fikrini düşündürmektedir.

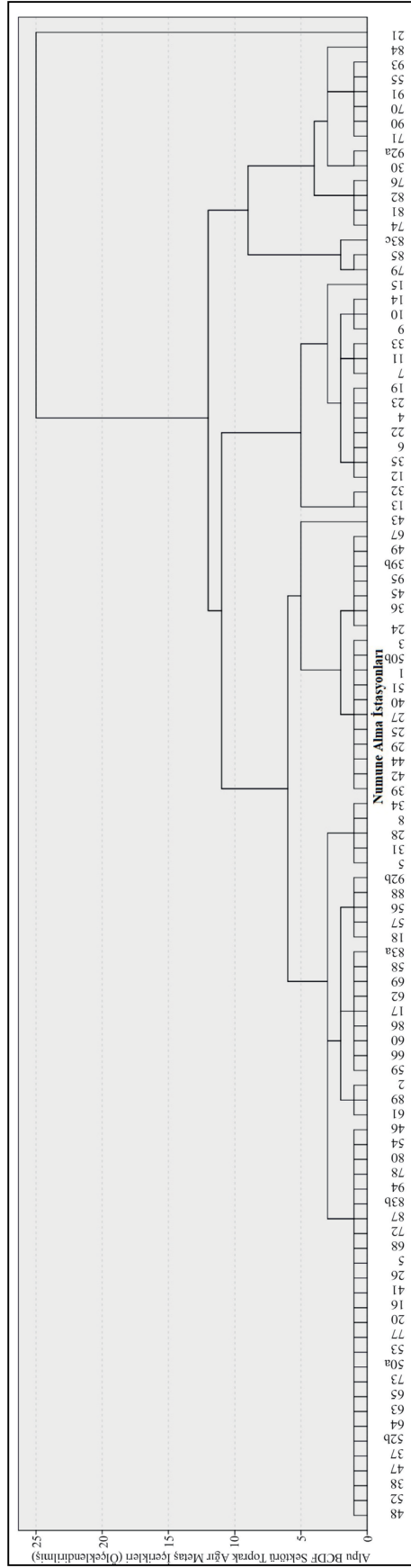
Ağır metal konsantrasyonlarının hangi aralıkta yığılma gösterdiğini daha iyi anlayabilmek için kutu (box) grafiklerine bakıldığında tüm dere sedimanları için Mn, Ni, Cr konsantrasyonlarının geniş bir aralıkta yer aldığı izlenirken, As, Co, Cu, Pb, V, Mo ve Cd konsantrasyonlarının dar bir aralıkta yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 16). Zn ve Ni metallerindeki noktasal kaçışlar ortalama değerlerden sapma anlamına gelmektedir.

İstatistik biliminde dendogram, kümeler arasındaki hiyerarşik yapıyı göstermek için kullanılan ağaç şemasıdır (Akın, 2017). Kümeler, girilen verilerin benzerlik oranına göre oluşur ve gruplanır. Bu çalışmada, dere sedimanı örneklerinde benzer ağır metal içeriğine sahip lokasyonların tespiti için dendogramlar oluşturulmuştur (Şekil 17).

Dere sedimanı örneklerinin dendogram grafiklerine bakıldığında birbirine yakın lokasyonlarda yer alan istasyonların yüksek benzerlikte içerik gösterdiği, 21. ve 15. örneğin ise toplam ağır metal yükünün en fazla olduğu örnekler olarak tekil hiyerarşik bir üstünlükte olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 16- Toprak ve dere sedimanlarında ağır metal konsantrasyonlarının kutu grafik şeklinde gösterimi.



Şekil 17- Toprak ve dere sedimanlarının tüm metal içeriğine göre benzerlik ve hiyerarşi sıralamasını gösteren dendrogram grafiği.

4.3. Su Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Sahanın su parametreleri, çevresel açıdan kalitesinin değerlendirilmesi ve hidrojeokimyasal açıdan yapılacak yaklaşımları içermektedir. Sahadan ve çevresinden bu amaca yönelik olarak asitli ve asitsiz su örnekleme yapılmıştır. Saha Sakarya Nehri Havzasının alt havzası olan Porsuk çayının alt havzası niteliğindedir. Çalışma alanı bu havza içinde batıda Eskişehir şehir merkezi, doğuda Çukurhisar Köyü, güneyde Gökçeoğlu Köyü, kuzeyde Beyazaltın Köyü ile sınırlıdır. Çalışma alanının drenaj alanı bu havza ile sınırlıdır. Buna göre havza içerisinde yer alan kayaç toplulukları çalışma alanında en fazla 700 metre yükseklik göstermektedir (Şekil 18).

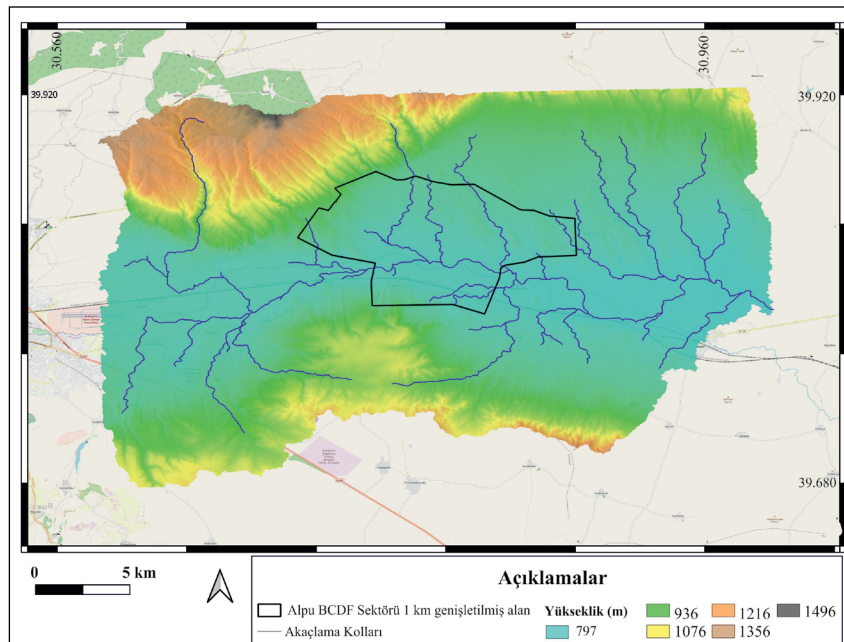
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31 Aralık 2004) sınır değerleri sınıflandırılmasına göre; ağır metal içeriği bakımından çalışma alanı içerisindeki ve etrafındaki yüzey ve yer altı suları 1. ve 2. sınıf su yani tehlikesiz sınıfta yer almaktadır. NO_3^- bakımından yüzey suları 4. sınıf, yeraltı suları ise 1. sınıftadır. NO_3^- her sınıftan su içerisinde bulunmaktadır. Bünyesinde PO_4^{3-} bulunduran yüzey suları genelde 3. sınıf, yeraltı suları ise 2. Sınıf niteliğindedir. Porsuk nehri üzerinden alınan sular NH_4^+ içeriği yönünden 4. sınıf, diğer tüm sular ise genelde 1. Sınıf niteliğindedir.

(Çizelge 3). SO_4^{2-} ve F^- yönünden ise alınan bütün sular 1. sınıfta yer almaktadır. Bilindiği üzere NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- ve PO_4^{3-} iyonlarının fazlalığı evsel ve endüstriyel kirlenmeden ya da tarımda kullanılan gübreden kaynaklanmaktadır.

4.3.1. Hidrojeokimyasal ve Su Kalitesine Yönelik Değerlendirmeler

Sahaların madencilik öncesi su kalitesine yönelik parametrelerin ortaya konulması ilerleyen dönemlerde madencilik yapılması durumunda kirlilik durumunun veya jeolojik temel değerin bilinmesi yönünden önemlidir. Su kalitesi hem akiferi oluşturan kayaçların jeokimyasından hem de insan aktivitelerinden etkilenmektedir. Bu parametrelerin kurak ve yağışlı dönemlerde ölçümü ve değerlendirilmesi insan etkisinin akifer jeokimyası ile ayırt edilmesini sağlayarak, bir ölçüde jeolojik temel değerlerin ortaya konulmasını sağlamaktadır.

Alpu BCDF sektörleri içerisinde ve çevresinden alınan sularda anyon ve katyonların iyon dengesine bakıldığında yeraltı sularının alkaline değerleri (HCO_3^-) yüzey sularına oranla daha fazla olduğu izlenmektedir. Yine yeraltı sularında yüzey sularına göre yüksek miktarda Mg iyonunun bulunması bölgede bulunan manyezit ocaklarını işaret etmektedir.



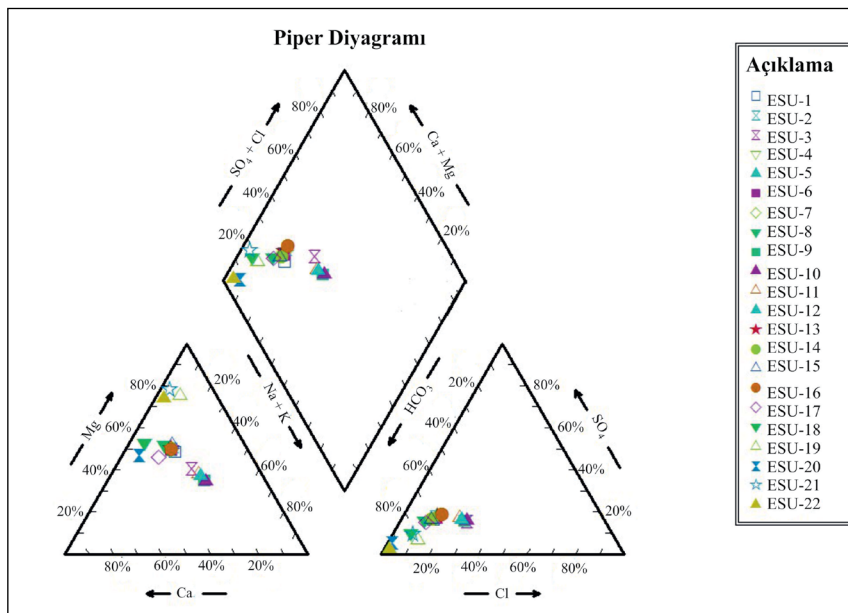
Sekil 18- Çalışma bölgesinin havza sınırları ve akaçlama kolları.

Çizelge 3- Su Kirliliği Yönetmeliğine göre sınıflandırılmış anyon, katyon ve ağır metal değerleri.

Numune İşareti	Na	NH ₄ ⁺	F ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Pb	Zn	Co	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr	Al	As
ESU-1	1	1	1	4	1	2	3	3	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1
ESU-2	1	1	1	4	1	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
ESU-3	1	2	1	4	1	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-4	1	1	1	4	1	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
ESU-5	1	1	1	4	1	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
ESU-6	1	1	1	4	1	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
ESU-7	1	1	1	4	1	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
ESU-8	1	1	1	4	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-9	1	4	1	4	1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
ESU-10	1	4	1	4	1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
ESU-11	1	4	1	4	1	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-12	1	4	1	4	1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
ESU-13	1	1	1	4	1	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-14	1	1	1	4	1	2	2	3	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1
ESU-15	1	1	1	4	1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
ESU-16	1	1	1	4	1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
ESU-17	1	1	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-18	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-19	1	1	1	1	1	1	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-20	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-21	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESU-22	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Alpu civarından alınan örneklemelerin iyon analiz sonuçlarına göre yoğunlukları ve su fasiyesleri belirlenerek Şekil 19'daki Piper diyagramında

sunulmuştur. Ayrıca Schoeller yarı logaritmik diyagramında üzerine suların bileşimi karşılaştırılmış örneklerin birbirine benzer piklere sahip olduğu



Şekil 19- Örneklemelere ait Piper diyagramı.

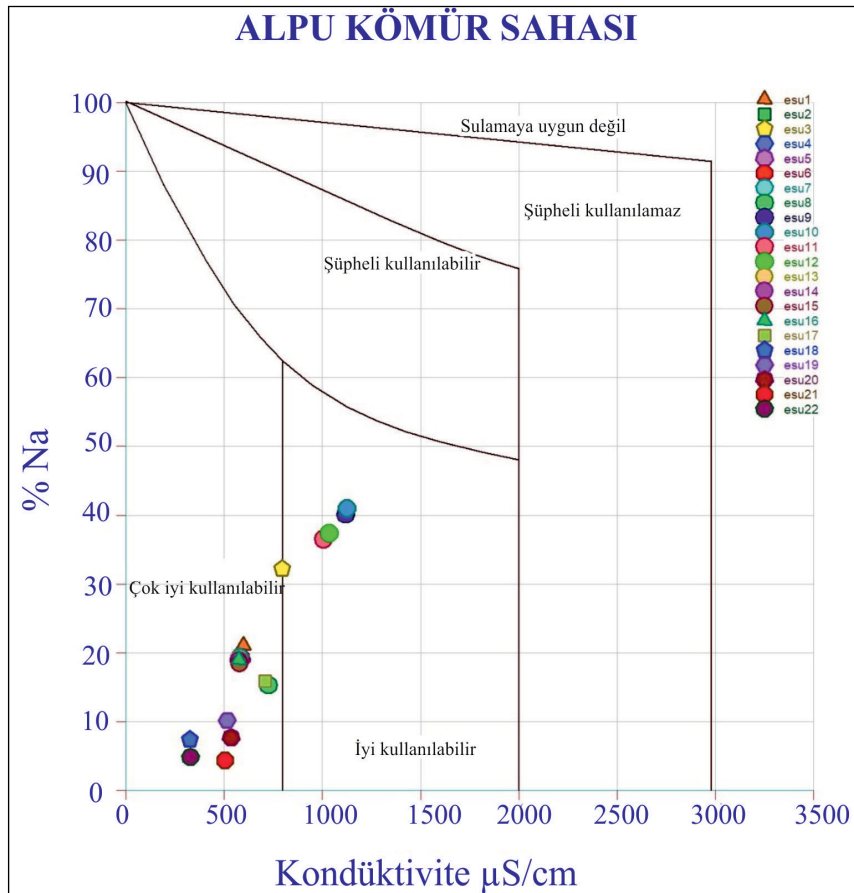
görülmüştür. ESU-9, ESU-10, ESU-12 örneklerinde baskın iyon $\text{Na-HCO}_3+\text{CO}_3$, diğer örneklerde ise $\text{Mg-HCO}_3+\text{CO}_3$ iyonları hakimdir. Yer altı sularında ise baskın iyonlar ESU-20 örneğinde $\text{Ca-HCO}_3+\text{CO}_3$ 'tür. Diğer yeraltı su örneklerinde ise $\text{Mg-HCO}_3+\text{CO}_3$ hakim iyon olarak görülmektedir. Sularının kimyasal bileşimlerinin Durov diyagramına göre değerlendirilmesinde ise benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Genel olarak yüzey suları ve yeraltı suları Mg-HCO_3 bakımından zengindir.

Suların anyon ve kation içeriğine göre sınıflandırılmasında ise Chadha diyagramı kullanılmıştır. Bu diyagrama göre yüzey suları iki grupta, yer altı suları ise tek grupta toplanmıştır. ESU 3-9-10-11-12 ve ESU 1-2-4-5-6-7-8-13-14-15-16 yüzey suları olarak, ESU 17-18-19-20-21-22 yeraltı suyu olarak gruplanmıştır. Yeraltı sularında ESU-20 Ca baskın iyonuna sahip olmasıyla diğer yeraltı sularından ayrılmaktadır. Ayrıca suların fiziksel

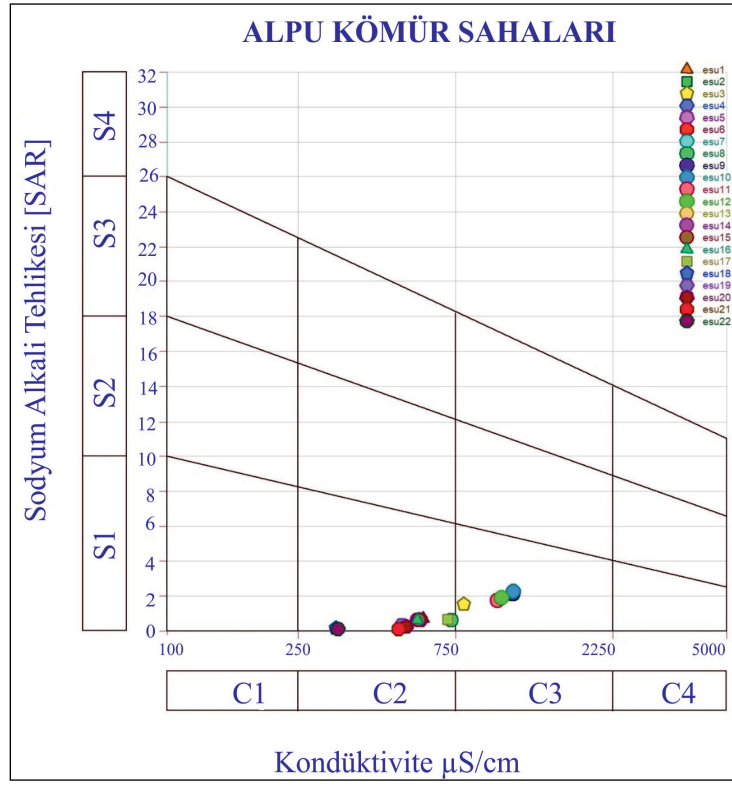
köken olarak yorumlandığında tüm sular kayaç (akifer) kökenlidir.

Su parametrelerinin kalitesi ise Wilcox ve ABD Tuzluluk diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir. Wilcox diyagramına göre sular çok iyi kullanılabilir ve iyi kullanılabilir sınıfına düşmektedir (Şekil 20).

Son olarak Stiff diyagramında ortaya çıkan Cl^- artışı ABD tuzluluk diyagramı kullanılarak denetlenmiştir (Şekil 21). Eskişehir çıkışından Alpu, Beylikova, Yunusemre ve Kıranharması istasyonları ABD tuzluluk diyagramında orta-yüksek tuzluluk derecesini işaret eden alan içerisinde yer almaktadır. Bu tuzluluk miktarındaki değişimde jeolojik faktörlerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Sodyum alkali tehlikesinin değerlendirildiği ABD tuzluluk diyagramına göre alınan su örnekleri C2-S1 ve C3-S1 sınıfına karşılık gelmektedir. Bu iki sınıf düşük sodyum alkali tehlikesini ifade etmektedir.



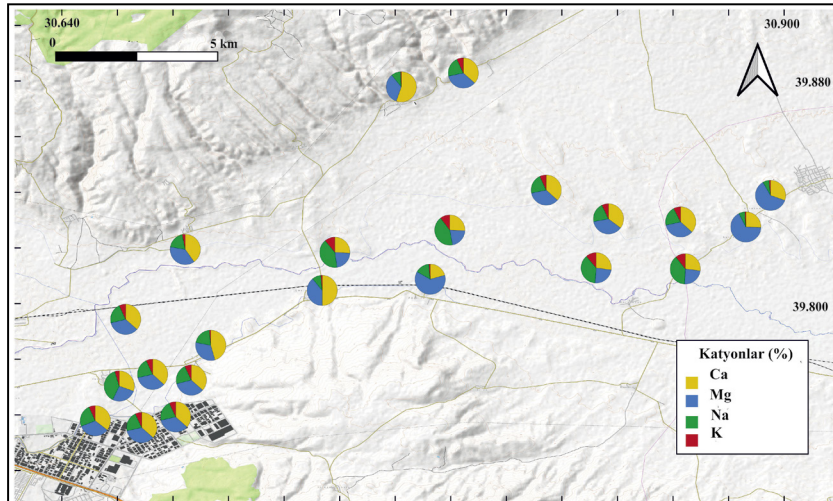
Şekil 20- Analiz sonuçlarının Wilcox diyagramında değerlendirilmesi.



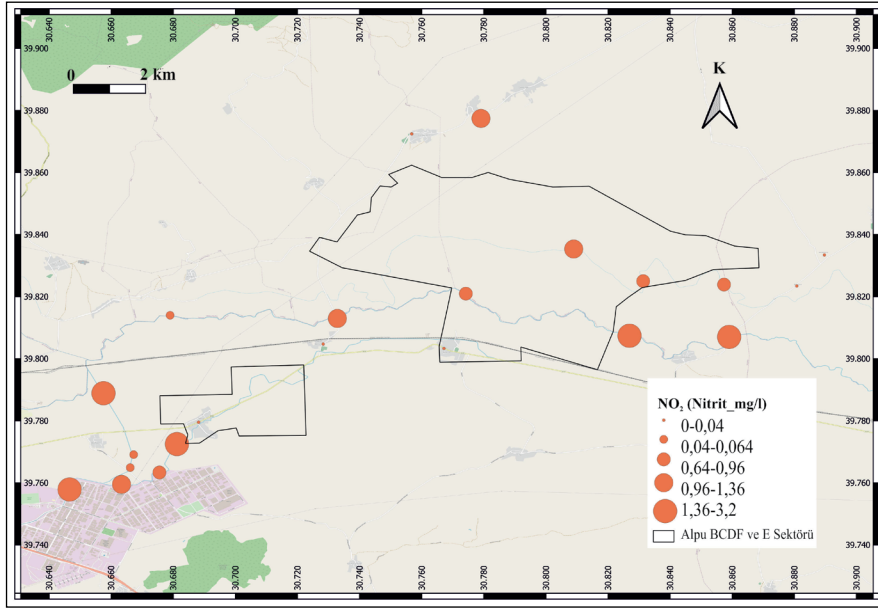
Şekil 21- Analiz sonuçlarının ABD tuzluluk diyagramında

Suların kimyasındaki değişimlerin mekânsal dağılım tekniğine göre harita üzerinde gösterilmesi çevresel ve jeolojik faktörlerin etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Pie grafiği dağılımına göre bölgenin doğusunda yer alan iki yer altı suyunda Mg iyonunda belirgin bir artışından söz etmek mümkündür (Şekil 22).

Çevresel kalite göstergelerinden olan nitrit içeriğinin mekânsal dağılımı genellikle yüzey sularında, yer altı sularına oranla daha yüksek görülmektedir (Şekil 23).



Şekil 22- Kanyonların Pie grafiklerinin mekânsal dağılımını gösteren harita.



Şekil 23- Nitrit konsantrasyonlarının Proportional Symbol yöntemi ile mekânsal dağılımlarını gösteren harita.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, Alpu BCDF kömür sahasının çevresel durumunu ağır metal birikimi ve çevresel faktörlerle bağlantılı olarak incelemiştir. Araştırmanın temel odak noktaları toprak, dere sedimanları, sular ve çevresel parametrelerin mevcut durumunun belirlenmesi, ağır metal birikiminin nedenlerinin araştırılması ve olası kirlilik derecelerinin tespit edilmesidir. Bu amaçla, sahadan ve çevresinden 101 adet toprak ve dere sedimanı ile 22 adet su örneği toplanmıştır. Toprak ve dere sedimanlarında ağır metallerin yanı sıra majör oksitler üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, toprak ve dere sedimanlarında majör oksit konsantrasyonlarında artışlar gözlenmiştir. Bu artışlar, sahanın jeolojik yapısal özellikleriyle ilişkilendirilmiştir. Özellikle peridotit, serpantin ve gabro gibi kayaların drenaj alanlarına etkisi belirgin bir şekilde saptanmıştır. Zenginleşme faktörü ve jeobirikim indeksi değerlendirmeleri, As, Cd, Cr, Co, Ni, Cu, Mn ve V metalleri için yer yer mevcut olan anomalilerin, yüzey litolojisi ve drenaj alanlarındaki litolojiden kaynaklandığını göstermektedir.

Çalışmanın dikkat çeken bir sonucu, Pb'nin özellikle yol güzergahlarında yoğunlaştığıdır. Bu

durum, ülkede kurşunlu benzinin 2006 yılında yasaklanmasından önceki döneme ait olası emisyonların bir izi olarak yorumlanmaktadır. Zn konsantrasyonlarında gözlenen yüksek oranlar ise jeolojik etkiyi aşan seviyelerdedir ve bu durumun tarımsal gübre kullanımı ile ilişkilendirilmesi gerektiğini işaret etmektedir. Korelasyon analizi sonuçları, mangan, bakır ve vanadyum ile nikel, krom ve kobalt arasında yüksek ilişkilerin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, çinko, kurşun ve kükürt tri-oksit arasında da anlamlı pozitif ilişkiler saptanmıştır. Bu bağlamda, çalışma alanında ağır metallerin birlikte zenginleştiği ve jeolojik etkinin kirliliklerde göz ardı edilmemesi gereken bir faktördür. Bu çalışma, çevresel kirliliğin nedenlerini anlamak ve çevresel sürdürülebilirlik önlemlerini geliştirmek için önemli bir katkı sunmaktadır.

Katkı Belirtme

Bu araştırma MTA Genel Müdürlüğü, 2020-38-14-01-2 ve 2021-38-14-01-1 özel kodlu “Potansiyel Maden Alanlarının Mevcut Ortam Özelliklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi” projesi kapsamında 2020-2021 yıllarında yapılan saha çalışmaları kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Değınilen Belgeler

- Akın, Ç. 2017. Yığınsal (Agglomerative) Kúmeleme, <http://cagriemreakin.com/veri-bilimi/agglomerative-clustering-4.html>, Eylül 2019.
- Akıska, S., Ünlü, T., Kırat, E., Kızılkana, C., Mutlu, H. 2018. Güneş Ofiyolitine (Divriğı, Sivas) Ait Serpantinleşmiş Peridotitlerin Jeodinamik Evrimi, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitapçığı, 729-730.
- Bakış, R., Altan, M., Gümüşlüoğlu, E., Tuncan, A., Ayday, C., Önsoy, H., Olgun, K. 2008. "Porsuk Havzasının Su Potansiyelinin Hidroelektrik Enerji Üretimi Yönünden İncelenmesi", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakóltesi Dergisi, 21, 125-162.
- Çiftçi, Y. 2002. Sivas - Kızıldag Ofiyolitlerinin (Orta Anadolu) Eser Element, Ni, PGE ve Au Jeokimyası, Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 45, Sayı 1.
- Demirbugan, A. 2019. Changes in ecosystem service benefit in Soma lignite region of Turkey, Resources Policy, Volume 64.
- Duffus, J.H., Howard G.J.W. 1996. Fundamental Toxicology For Chemists, Cambridge, UK : Royal Society of Chemistry Information Services.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. 2003. Metallerin Çevresel Etkileri-I (Environmental Effect of metals-I). Metalurji, 136. Sayı: 47-53.
- Koralay, T., Çobanoğlu, İ., Demir, M. 2015. Ofiyolitler İçerisindeki Gabro Dayklarının Balast Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğı: İnceler (Bozkurt-Denizli) Örneğı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 32.
- Liang, Y. H., Halliday, A. N., Siebert, C., Fitton, J. G., Burton, K. W., Wang, K. L., Harvey, J. 2017. Molybdenum isotope fractionation in the mantle. Geochimica et Cosmochimica Acta, 199, 91-111.
- Machender G, Dhakate R, Prasanna L, Govil P.K. 2010. Assessment Of Heavy Metal Contamination In Soils Around Balanagar Industrial Area, Hyderabad, India. Environ Earth.
- Mason, B., Moore, C. 1982. Principles of Geochemistry, Wiley&Sons, New York.
- Paulick, H., Bach, W., Godardc, M., De Hoogd, J.C.M., Suhre, G., Harve, J. 2006. Geochemistry Of Abyssal Peridotites (Mid-Atlantic Ridge, 15°20'N, ODP Leg 209): Implications For Fluid/Rock Interaction In Slow Spreading Environments, Chemical Geology 234,179-210.
- Şengüler, İ. 2013. Eskişehir-Alpu Kömür Havzasının Jeolojisi ve Stratigrafisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 16, 95-97, Ankara.
- Su Kirliliğı Kontrolü Yönetmeliğı. 31 Aralık 2004. Resmi Gazete (Sayı: 25687), <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı CORİNE 2018 Projesi, <https://corine.tarimorman.gov.tr>, Eylül 2019.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geology Society America Bulletin, 72, 175-192.
- Ünal, İ.H. 2015. Ayhan Formasyonu Kubaca Üyesi Gölsel Çökellerde Radyoaktif Element İçeren Birimlerin Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Dadağ Köyü Güneyi, Kb Nevşehir, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Wedepohl, K.H. 1969. Handbook of Geochemistry. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 578.
- Wedepohl, K.H. 1995. The composition of the continental crust, Geochimica et Cosmochimica Acta, 59, 1,217-1,239.
- Yıldız, N. 2004. Toprak ve bitki ekosistemindeki ağır metaller, ZT-531, Yüksek Lisans Ders Notları, Erzurum.

