





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Cevherleşme Sahasında Gelişmiş Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği

 Alaaddin VURAL^{a,*},  Bilal ÇİÇEK^b

^a Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, TÜRKİYE

^b Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: alaaddinvural@hotmail.com

DOI: [10.29130/dubited.643775](https://doi.org/10.29130/dubited.643775)

ÖZET

Cevherleşme sahalarında gelişmiş topraklardaki ağır metal kirliliğinin araştırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada Gümüşhane, Torul ilçesi sınırları içinde bulunan Gümüştüğ köyünün hemen yakınında bulunan antimonit cevherleşme sahasında gelişmiş toprakların ağır metal içeriklerinin araştırılması amacıyla toprak örnekleri alınmış ve belli başlı ağır metallerin topraktaki konsantrasyonlarını tespit etmek amacıyla analiz edilmiştir. Topraktaki kirlilik derecesi yaygın olarak kullanılan jeobirikim indeksi (I_{geo}) ve kirlilik indeksi (PI) parametreleri hesap edilerek incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, cevherleşme sahasındaki topraklarda özellikle antimon ve bakır açısından yüksek jeobirikim ve kirlilik indeksi değerleri tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışma sahasında üst kabuk ortalama değerlerine göre antimon ve bakır açısından kirlilik riski/ağır zenginleşmenin olduğu belirlenmiştir. Sahadaki antimon ve bakır kirliliği/zenginleşmesinin bölgede gelişmiş alterasyon ve cevherleşmeyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışma göstermiştir ki cevherleşme sahaları, alanda herhangi bir madencilik faaliyeti yapılmamış olsa bile ağır metal kirliliği riski barındıran sahalardır. Dolayısıyla cevherleşme sahalarında ve/veya cevherleşme için potansiyel olan alterasyon sahalarında ağır metal kirliliği/çevresel amaçlı jeokimya çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal kirliliği, Antimonit cevherleşmesi, Jeobirikim indeksi (I_{geo}), Kirlilik indeksi (PI)

Heavy Metal Contamination in Soils on Mineralization Area

ABSTRACT

In this study carried out in order to investigate the heavy metal contamination in developed soils in the mineralization fields, soil samples were collected in order to investigate the heavy metal contents of the soils developed on the antimonite mineralization area located in the vicinity of Gümüştüğ village in the Torul district of Gümüşhane and the samples analyzed to determine the concentrations of major heavy metals in the soil. The degree of pollution in the soil was investigated by calculating the commonly used geo-accumulation index (I_{geo}) and pollution index (PI) parameters. When the obtained results are taken into consideration, in the soils developed on the mineralization area, high geoaccumulation and pollution index values have been determined especially in terms of antimony and copper. Therefore, it was determined that there was pollution/enrichment in antimony and copper according to the average values of the upper crust in the study area. Antimony and copper pollution / enrichment in the area is thought to be related to alteration and mineralization developed in the

region. This study has shown that mineralization areas are areas that are at risk of heavy metal pollution even if no mining activities are carried out on the site. Therefore, it is seen that it is important to carry out heavy metal pollution / environmental geochemical studies in the mineralization fields and / or alteration sites which are potential for mineralization.

Keywords: Heavy metal contamination, Antimonite mineralization, Geoaccumulation index (Igeo), Pollution index (PI)

I. GİRİŞ

Doğal ve insan kaynaklı ağır metal kirliliği konusu sanayi ve teknolojik faaliyetlerin de baş döndürücü bir hızla gelişmesinin sonucu olarak özellikle 20. yüzyılın önemli konularından biri olmuş, 21. yüzyılın ilk çeyreği içinde de bu önemini artırarak sürdürmektedir [1-21] Ağır metal kirliliği konusunda literatürde rastlanan çalışmalar daha çok insan kaynaklı kirlilikler üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak özellikle alterasyon ve cevherleşmeye bağlı olarak doğal kaynaklı; jeolojik ve jeokimyasal süreçlerle ilişkili topraklardaki ağır metal kirliliğine yönelik çalışmalara son yıllarda yeni yeni rastlanmaya başlanmıştır [22-25].

Gümüştüğ antimonit cevherleşmesi (Torul, Gümüşhane) Kuzeydoğu Türkiye’de yer alan Doğu Karadeniz Tektonik Birliği içinde yer almaktadır. Bölge Türkiye’nin en önemli metalojenik kuşaklarından biri olup, birçok maden, endüstriyel ve enerji hammaddesine ev sahipliği yapmaktadır. Bölgedeki madencilik faaliyetleri antik dönemlere kadar gitmekle birlikte Osmanlı İmparatorluğu’nun son dönemlerinde ve cumhuriyetin ilk yıllarında işletilmiş metalik maden yatakları bilinmektedir. Bölgede zaman zaman barit, kil, mermer gibi endüstriyel hammadde, kömür gibi enerji hammadde madenciliğine yönelik faaliyetler de gerçekleştirilmiştir.

Halihazırda bölgede kurşun, çinko gibi baz metal madenciliği ve altın, gümüş gibi değerli metal madenciliği yapılan maden sahaları da bulunmaktadır. Bilinen bu madenlerin yanında, bölge potansiyel olarak yeni maden yataklarının aranması için de önemli bir hedef saha olup, maden arama çalışmaları hem kamu hem de özel sektör aracılığı ile bölgede devam etmektedir. Ülkelerin kalkınmasında madenler, endüstriyel ve enerji hammaddeleri önemli doğal kaynaklar olmakla birlikte yakın dönemde yapılan çalışmalar göstermiştir ki bu tür sahalar çevresel konular bağlamında insan kaynaklı madencilik faaliyetlerinin yanı sıra doğa kökenli çevre kirliliği riskini de içermektedir [24-29]. Özellikle cevherleşme bölgesi üzerinde gelişmiş topraklarda ağır metallerin toprak profilindeki yerel saçınımına ilave olarak ortamın jeokimyasal özelliklerinin etkisine ve topraktaki yüksek konsantrasyonlara ulaşan elementlerin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak topraklarda ve bu toprakların üzerinde yetişen bitkilerde yaygın ağır metal kirlenmelerine sebep olabilmektedirler. Ortamın drenaj ağının etkisiyle de ağır metaller buldukları ortamdaki uzaklara, tarım alanlarına kadar yayılabilmektedirler [24, 25]. Bu şekilde besin zincirine katılan elementler toksik metal konsantrasyonlarında artışlara neden olmakta ve bu toksik etkiler canlılara ve insanlara kadar etki etmektedir.

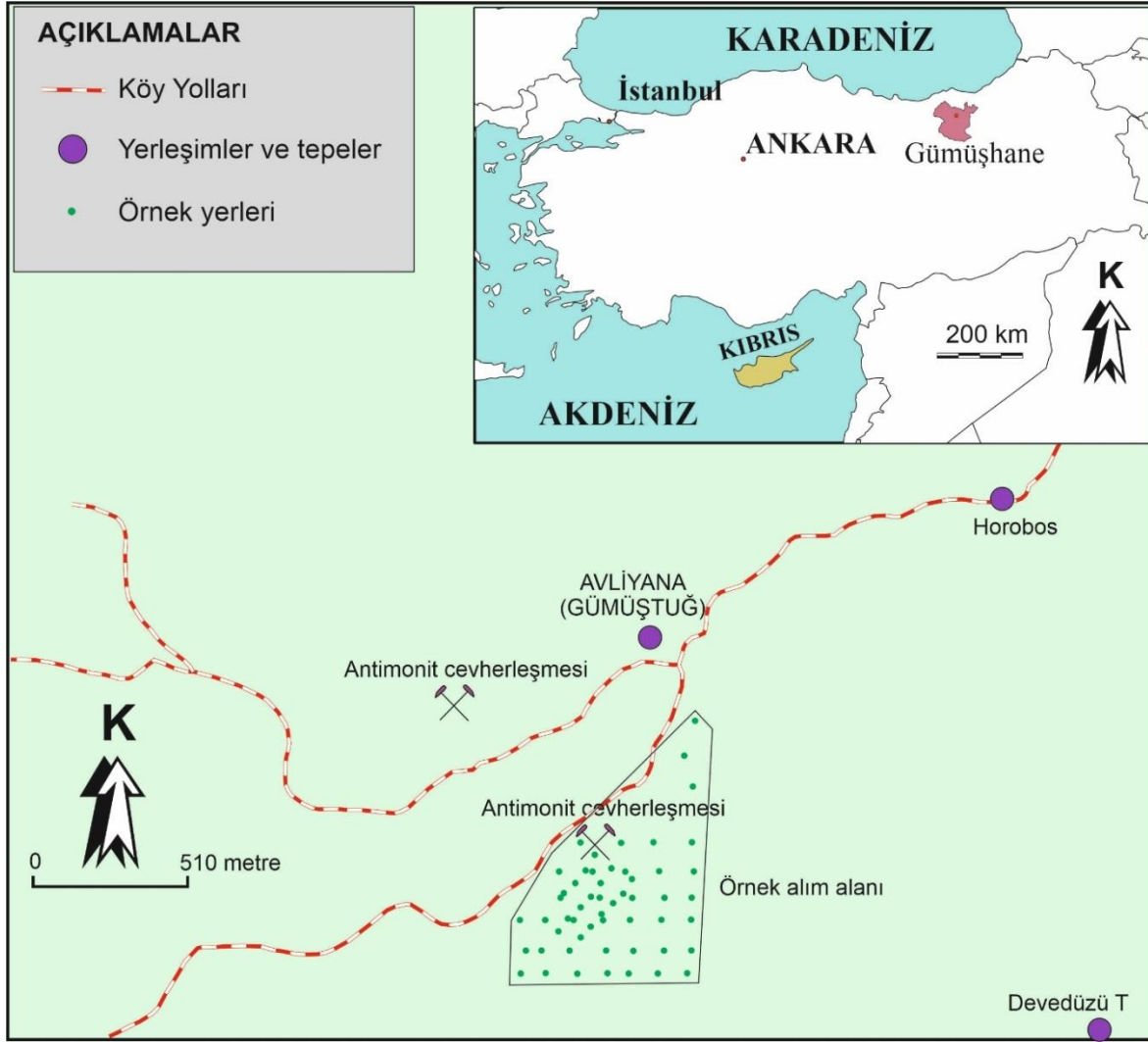
Maden sahalarının çevresel riskleri ve ağır metal kirlilikleri konusunda yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır [19, 30-33]. Bu çalışmalar özellikle geçen yüzyılın ikinci yarısından sonra büyük bir artış göstermiştir. Fakat çalışmaya konu olan Gümüştüğ antimonit cevherleşmesi gibi rezerv, tenör

yetersizliği gibi ekonomik nedenlerle işletilmeyen maden zuhurları, henüz işletilmeyen maden sahaları veya maden/cevherleşme potansiyeline sahip alterasyon sahaları konusunda yapılmış çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu tür sahaların ağır metal riskleri konusunda farkındalık oluşturmak için Gmştuğ antimonit cevherleşme sahasında bakır (Cu), kurşun (Pb), inkon (Zn), kadmiyum (Cd), kobalt (Co) ve antimon (Sb) gibi bazı ağır metallerin konsantrasyon miktarı ve yayılımını belirlemek amacıyla sahadan toprak örnekleri alınmış ve analiz edilmiştir. Cevherleşme sahasının değişik noktalarındaki toprakların element içerikleri ve yayılımları; tanımlayıcı istatistik, jeobirikim indeksi, kirlilik indeksi gibi değişik parametreler araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. ÇALIşMA SAHASININ COğRAFİK VE JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Gmştuğ antimonit cevherleşme sahası Doğu Karadeniz Bölgesi içinde yer alan Gümüşhane ili, Torul ilçesi sınırları içinde, Gmştuğ köyü 1,5-2 km güneybatısında yer almaktadır [34]. Gümüşhane Şehir merkezinden yaklaşık 55 km uzaklıktadır (Şekil 1). Bölge dağlık bir topoğrafyaya sahip olup, cevherleşme sahasının ve yakın çevresinin deniz seviyesinden yüksekliği 2000-2750 m arasında değişmektedir. Sahada akar konumda olan birkaç önemli dere mevcuttur. Bunlardan en önemlisi olan it Deresi, bölgenin en önemli akarsularından biri olan Harşit Deresi'ne Torul ilçesinde bağlanarak Tirebolu (Giresun) ilçesinden Karadeniz'e ulaşmaktadır. Cevherleşme sahası güney batısında, topoğrafik olarak yüksek kesimlerde çok sayıda buzul gl de bulunmaktadır. Bölgede Karadeniz iklimi ile Doğu Anadolu bölgesel karasal iklimi arasında geçiş karakterinde karasal iklim Őartları hkim olup, yazları ılık/sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yoğun kar yağışlıdır. Özellikle cevherleşme bölgesinde yağış yoğun olarak kar Őeklinindedir. Sonbahar ortalarında yağan kar, yaz ortalarına kadar yüksek kesimlerde kalmaktadır.



Şekil 1. Çalışma sahası ve örnekleme yerlerini gösterir harita

Çalışma sahasının da içinde bulunduğu Doğu Karadeniz Tektonik Birliği Güney Zonu'nun en yaşlı kayaçları Jura öncesine ait metamorfik kayaçlar [35] ve bu kayaçlarla kesme ilişkisine sahip metamorfizmaya uğramamış granitik plütonlardır [36-39]. Metamorfik kayaçlara çalışma sahasının yakın çevresinde rastlanmamakla birlikte plütonlar özellikle cevherleşme sahası güneyinde geniş alanlarda yüzlek vermektedir.

Jura öncesi bu temel kayaçların üzerine yine çalışma sahası güneyinde uyumsuz olarak erken-orta Jura yaşlı volkani-klastik karakterde Şenköy formasyonu gelmektedir [40]. Formasyon, Eren [41] tarafından Zimonköy formasyonu olarak ilk defa Kelkit (Gümüşhane) yöresinde tanımlanmıştır. Şenköy formasyonu uyumlu olarak geç Jura-erken Kretase karbonat kayaçlarına geçer. Bu kayaçlar Pelin [42] tarafından Berdiga formasyonu olarak adlandırılmışlardır. Berdiga formasyonu antimonit cevherleşmesinin güneyinde geniş alanda, doğusunda ise küçük bloklar halinde yüzlemektedir. Berdiga formasyonu üzerine ise uyumlu olarak geç Kretase yaşlı kayaçlar gelmektedir. Bölgenin genelinde geç Kretase kayaçlar; tabanda kumlu kireçtaşları ile başlayan, üste doğru ise dereceli olarak kırmızı kireçtaşlarına geçen, sonrasında ise kumtaşı, kiltası, marn ve kireçtaşlarından oluşan derin deniz türbiditik seri karakterindedir. Bu kayaçlar Tokel [43] tarafından Kermutdere formasyonu olarak adlandırılmışlardır. Kermutdere formasyonu çalışma sahasında ağırlıklı olarak andezit ve bazalt karakterindeki volkanik kayaçlardan oluşmakta, klastikler ise sınırlı alanlarda yüzlemektedir. Birim

Gümüştüğü köyü kuzey doğusunda yer yer eş yaşlı olduğu tahmin edilen diyabaz daykları tarafından kesilmektedir [34]. Tüm bu birimler çalışma sahası dışında Torul-Gümüşhane yol güzergâhı üzerinde geç Kretase intrüzyonlar tarafından kesilirler [44]. Çalışma sahasında ise geç Kretase Kermutdere formasyonu üzerine ise uyumsuzlukla Alibaba formasyonu olarak adlandırılmış Eosen volkanik ve volkani-klastik kayalar gelir [43, 45]. Alibaba formasyonu üst Eosen yaşlı granitoyitik kayalar tarafından kesilmektedir [46-49]. Bu birim özellikle cevherleşme sahası içinde ve çalışma sahası güneybatısında yüzeylemekte olup, cevherleşmenin gelişiminde de etkisi olduğu düşünülmektedir.

B. TOPRAK ÖRNEKLEMESİ VE ANALİZ

Çalışma kapsamında sahadan 56 toprak örneği alınmıştır. Örnekleme, sahada element dağılımı detaylı olarak gözlemleyebilmek için sistematik olarak ve 100 m aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Örnek alım noktalarının koordinatları el GPS'i ile tespit edilmiş ve kayıt altına alınmıştır. Çalışma sahasında toprak gelişimi iyi olup, 0,5-1 m arasında toprak gelişimi gözlenmektedir. Toprak örneklerini alımı toprak zonunun üst kesimindeki organik maddece zengin kesim temizlendikten sonra, elementlerin birikme zonu olan toprağın B profiline karşılık gelen 20-30 cm derinliklerden alınmıştır. Sahadan örneklerin alımı sırasında dış kaynaklı bir kirliliğe mahal vermemek için azami hassasiyet gösterilmiş, örneklerin alımı sırasında plastik kürekler kullanılmıştır. Toprak örnekleri naylon poşetlere alınmış, numaralandırma vb. işlemler yapıldıktan sonra analize hazırlamak için Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği'ne ait Jeokimya laboratuvarına götürülmüştür. Laboratuvar ortamında örnekler oda sıcaklığında iki hafta nemleri uzaklaştırılması için bekletilmiş, sonrasında 60°C sıcaklıkta 8 saat etüvde bekletilerek doğal nemleri tamamen uzaklaştırılmıştır. Kurutulmuş örnekler öncelikle 2 mm'lik teflon elekten geçirilmiş ve sonrasında ise analiz için ideal boyutta örnekler elde etmek için yine 80 mesh teflon elekten geçirilmiştir [50]. Örneklerin analizleri ACME Analiz Laboratuvarları'nda (Kanada) Varian Vista RL (Radial) model Endüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES) ve 7800 model Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile gerçekleştirilmiştir. Örneklerin analize hazırlanması aşamasında 1,00 g civarında 0,1 mg hassasiyette tartımlar alınarak mikrodalgı fırının (AGILENT MDS-8G) teflon beherlerine ilave edilmekte ve üzerlerine 12 mL ters kral suyu (9 mL HNO₃ ve 3 mL HCl) konularak beher içerikleri mikrodalgada parçalanmakta, işlem sonrası beher içerikleri cam pamuğundan süzöldükten sonra elde edilen berrak çözeltiler saf su ile 50 mL'ye kantitatif olarak tamamlandıktan sonra ICP-AES ve ICP-MS ile analizler gerçekleştirilmektedir. Analizler sırasında STD-SO-18 standardı kullanılmıştır.

Cihazların analize hazırlanması sürecinde her bir element için en az 5 noktadan oluşturulan kalibrasyon grafiklerinin çizilmesi, numunelerin cihazda ölçülmesi, sonuçların hesaplanması, kalibrasyon grafiklerinden yararlanarak numunelerin element içeriklerinin belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çözünürleştirilerek sulu faza alınmış toprak numuneleri ICP-AES ve ICP-MS cihazlarında direkt olarak mg L⁻¹ veya µg L⁻¹ konsantrasyonlarında tayin edilmiş ve akabinde mg kg⁻¹'a veya µg kg⁻¹'a aşağıdaki Formül 6 ile dönüştürölmüştür.

$$\text{Konsantrasyon (mg/kg veya } \mu\text{g/kg)} = \frac{C \times V \times S}{m} \quad (1)$$

- C : ICP-MS'de sulu çözeltilde ölçölen mg L⁻¹ veya µg L⁻¹ derişim değeri
V : Mikrodalgada çözünlürleştirme işleminden sonraki son hacim (mL)
m : Tartılan dere kumu veya toprak kütleşi (g)

C. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Analizlerde elde edilen element konsantrasyonları tanımlayıcı istatistik ve merkezi dağılım parametreleri hesap edilerek genel bir değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Jeostatistik çalışmalarında IBM SPSS v.21 istatistik yazılım programından yararlanılmıştır. Tanımlayıcı istatistik ve merkezi dağılım parametrelerinden yararlanılarak verilerin ideal dağılıma göre kıyaslanması, ortalamaya göre sapma dereceleri vb. örneklem özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu verilerin ışığında ortalama değerlerden sapmanın derecesi başka bir ifade ile element zenginleşmesi ve/veya kirliliği hesap edilmiştir.

Toprak, derekumu ve tozlardaki element/ağır metal zenginleşmesi ve/veya kirlilik/kirlenme derecesini ortaya koymak için pek çok hesaplama yöntemi önerilmiştir [27, 50-51]. Bu çalışma kapsamında, Gümüştüğ antimonit cevherleşme sahasında gelişmiş topraklardaki element konsantrasyonlarını araştırmak amacıyla jeobirikim indeksi (I_{geo}) ve kirlilik indeksi (PI) parametreleri kullanılmıştır.

I_{geo} , Muller [51] tarafından önerilmiş olup, aşağıdaki formül ile hesap edilmektedir.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n} \quad (2)$$

Formülde C_n analiz edilen toprakta incelenen n elementinin konsantrasyonuna karşılık gelmektedir. B_n ise incelemeye konu elementin ortalama değerine karşılık gelmektedir. Ortalama değer olarak değişik kabuller söz konusudur. Elementler için bölge topraklarının ortalama element içerikleri veya değişik yazarlarca önerilen ancak bölgesel farklılıklar gösteren topraktaki ortalama element içerikleri alınabileceği gibi, üst kabuk değerleri de ortalama değer olarak kullanılmaktadır [52]. Bu çalışmada Rudnick ve Gao tarafından önerilen üst kabuk değerleri ortalama değerler olarak kullanılmıştır [53]. Formülde yeralan 1,5 katsayısı ise toprağın maruz kaldığı etkilerden kaynaklı muhtemel dalgalanmaları dikkate alarak ve bu etkileri en aza indirmek adına önerilmiş ampirik bir katsayıdır. Jeobirikim indeksi değerlerine göre 6 sınıf kirlenme/element zenginleşmesi önerilmektedir. Sıfırdan küçük değerler (<0) pratik olarak kirlenmemiş/element zenginleşmesi yok; sıfır ile bir arasındaki değerler ($0 < I_{geo} < 1$) kirlenmemiş-orta kirlilikte/zenginleşme yok-orta derecede element zenginleşmesi, bir ile iki arasındaki değerler ($1 < I_{geo} < 2$) orta derecede kirli/orta derecede element zenginleşmesi, iki ile üç arasındaki değerler ($2 < I_{geo} < 3$) orta-yüksek derecede kirli/orta yüksek element zenginleşmesi, üç ile dört ($3 < I_{geo} < 4$) arasındaki değerler yüksek kirli, dört ile beş arasındaki ($4 < I_{geo} < 5$) değerler yüksek-aşırı kirli/yüksek-aşırı element zenginleşmesi, beşten büyük I_{geo} değerleri (>5) ise aşırı kirli/aşırı element zenginleşmesi şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Kirlilik indeksi (PI), kirlilik derecesi araştırılacak elementin konsantrasyonunun, aynı elementin ortalama bolluk konsantrasyonuna oranlanması ile hesap edilmektedir [54].

$$PI = \frac{C_n}{B_n} \quad (3)$$

Burada, C_n incelenen elementin topraktaki konsantrasyonunu ifade etmekte, B_n ise incelenen elementin ortalama bolluğuna karşılık gelmektedir. PI hesaplanmasında ortalama bolluk değeri (background değeri) olarak yine Rudnick ve Gao'a ait üst kabuk element konsantrasyonlarına ait ortalama bolluk değerleri kullanılmıştır [53].

PI değerlerine göre kirlilik ve/veya element zenginleşmesi üç sınıfa ayrılmaktadır: Düşük derecede kirlilik/element zenginleşmesi ($PI \leq 1$), orta derecede kirlilik/element zenginleşmesi ($1 < PI \leq 3$) ve yüksek derece kirlilik/element zenginleşmesi ($PI > 3$).

III. BULGULAR

Gümüştüğ antimonit cevherleşme sahasındaki toprak örneklerinin tanımlayıcı istatistik parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ortalama üst kabuk değerleri ile kıyaslandığında her element için bazı örnek alım noktalarında üst kabuk değerleri aşan konsantrasyonları olduğu görülmüştür. Topraktaki elementlerin aritmetik ortalamalarının da üst kabuk değerlerini aştığı görülmektedir.

Elementlerin standart sapma değerleri dikkate alındığında Cd dışında (0,06) kalan elementlerin dikkat çekici şekilde sapmaya sahip oldukları görülmektedir. Standart sapma katsayıları ile çarpıklık ve basıklık değerleri birlikte ele alındığında ise verilerin sağa çarpık dağılıma sahip olduğu görülmekte birlikte her örnek alım noktasında aşırı uç değerlerin olmadığı da söylenebilir (Tablo 1). Sadece antimon elementinde belirgin bir aşırı değer söz konusu olup, sahanın antimonit cevherleşmesinin geliştiği bir saha olduğu dikkate alındığında yadsınacak bir sonuç olarak görülmemelidir.

Tablo 1. Cevherleşme sahası topraklarının element konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistik parametreleri

Elementler	Rudnick ve Gao [53] mg/kg	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. sapma	Çarpıklık	Basıklık
Cu	28	31,34	190,68	81,01	43,14	1,01	-0,12
Pb	17	9,38	42,41	25,46	8,56	0,23	-0,80
Zn	67	45,60	111,60	75,93	13,20	0,12	0,04
Co	17,1	14,90	55,10	28,18	11,57	0,74	-0,80
Cd	0,09	0,06	0,34	0,18	0,06	0,19	-0,27
Sb	0,4	0,40	41,02	4,41	6,67	3,57	16,18

Sahadaki toprak alım noktalarına ait her bir element için PI ve I_{geo} parametreleri hesap edilmiş ve bu verilerin kutu diyagramları ve yığılmış sütun diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 2-5). Topraktaki elementlerin PI değerleri incelendiğinde; her örnek alım noktasında Sb değerlerinin düşük derecede kirlilik/element zenginleşmesi sınıfının üstünde kirlilik/zenginleşme gösterdiği, örnek alım noktalarının sadece %25’inden az bir bölümünün düşük derecede kirlilik/element zenginleşmesi sınıfı içinde yer aldığı görülmektedir. Geri kalan kısmı ise yüksek kirlilik/element zenginleşmesi sınıfına düşmektedir (Şekil 2).

Bakır (Cu) elementi tüm örnek alım noktalarında orta derece kirlilik/element zenginleşmesi sınıfı içinde yer almaktadır. Örnek alım noktalarının neredeyse %50’ye yakını ise yüksek kirlilik/element zenginleşmesi sınıfı içinde yer almaktadır (Şekil 2).

Kurşun (Pb) ve çinko (Zn) elementleri açısından saha değerlendirildiğinde, örnek alım noktalarının %25’e yakın kesimi düşük kirlilik/element zenginleşmesi sınıfı içinde, geri kalan kısmı ise orta kirlilik/element zenginleşmesi sınıfı içindedir (Şekil 2).

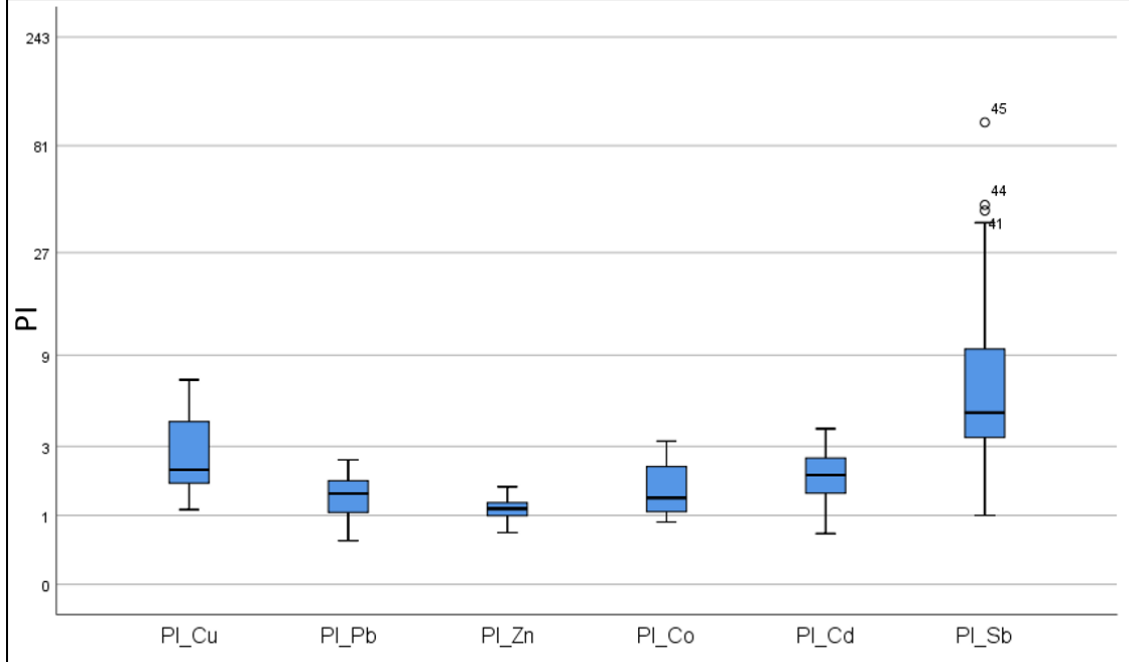
Kobalt (Co) ve kadmiyum (Cd) elementlerinin PI değerleri dikkate alındığında, sınırlı sayıda örnek alım noktası için düşük kirlilik/element zenginleşmesi söz konusu olup, yine sınırlı sayıda örnek alım noktası ise yüksek kirlilik/element zenginleşmesi sınıfındadır. Geri kalan örnek alım noktaları ise orta kirlilik/element zenginleşmesi sınıfındadır (Şekil 2).

Topraktaki elementlerin I_{geo} parametrelerine ait kutu diyagramları incelendiğinde, Sb açısından üç örnek alım noktasının kirlenmemiş sınıfında olduğu, bunun dışındaki örnek alım noktalarında ise orta-aşırı kirlenmiş/orta-aşırı element zenginleşmesi sınıfına düştüğü görülmektedir (Şekil 3).

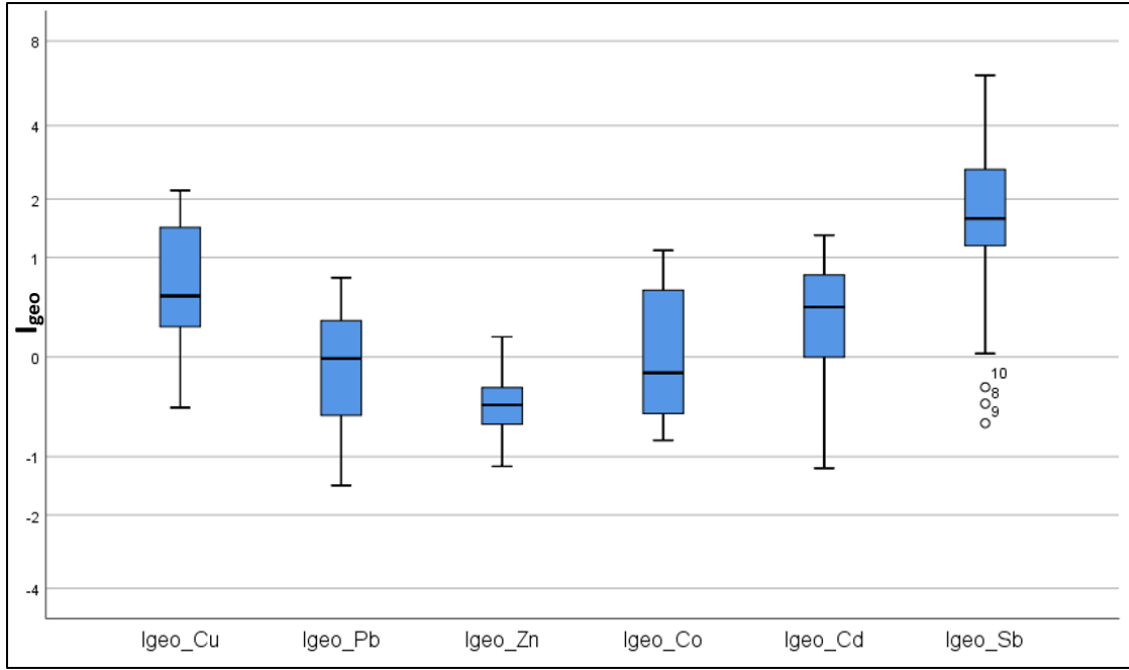
Cu elementi açısından sahadaki topraklar değerlendirildiğinde az sayıda örnek alım noktasının kirlenmemiş/element zenginleşmesi yok sınıfında olduğu, %25'lik bir bölümün orta kirlilik/element zenginleşmesi sınıfına düştüğü, az sayıda örnek alım noktasının ise Cu'ca orta-güçlü kirli/element zenginleşmesi sınıfı içinde olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Jeobirikim indeksine göre Pb elementinin toprak alım noktalarının yarısından fazlasında düşük kirlilik-kirlenmemiş/element zenginleşmesinden ziyade element fakirleşmesi karakterinde olduğu, geri kalan kısmının ise kirlenmemiş-orta kirlilikte/element zenginleşmesi sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Jeobirikim indeksine göre Zn elementinin, örnek alım noktalarının çoğunda kirlenmemiş sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Az sayıda örnek alım noktasında ise kirlenmemiş-orta kirli/düşük-orta element zenginleşmesi sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 3). Benzer durum Co ve Cd elementleri için de söz konusudur. Örnek alım noktalarının çoğunluğunda kirlenme söz konusu değildir.

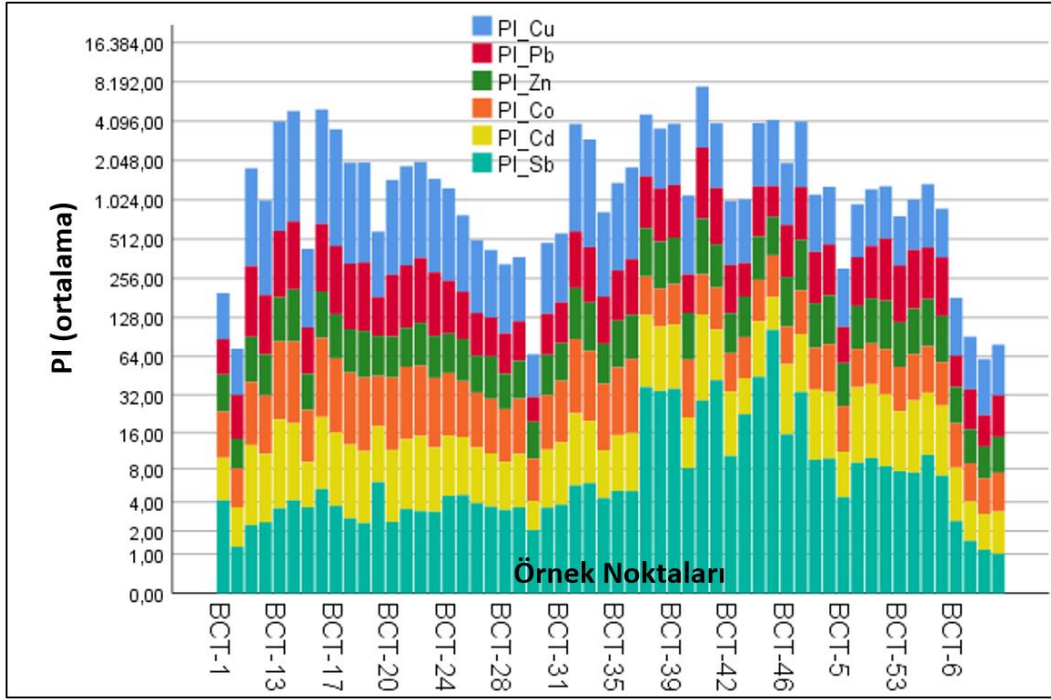


Şekil 2. Cevherleşme sahası topraklarındaki elementlerin kirlilik indeksine (PI) ait kutu diyagramı



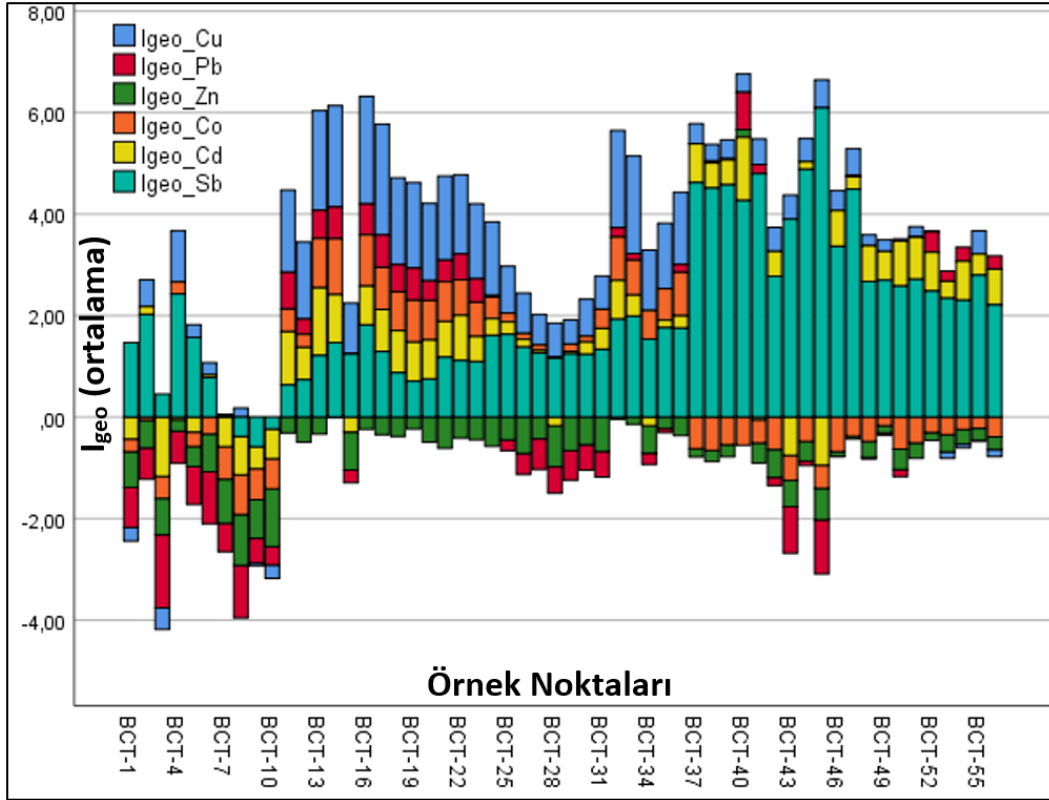
Şekil 3. Cevherleşme sahası topraklarındaki elementlerin jeobirikim indeksine (I_{geo}) ait kutu diyagramı

Normal şartlarda her bir örnek alım noktası için incelenen tüm elementlerin PI değerlerinin geometrik ortalaması alınarak her bir örnek alım noktasına ait birleşik kirlilik indeksi (IPI) [54] hesap edilebilmektedir. Birleşik kirlilik indeksinin ≤ 1 değerleri düşük kirlilik, $1 < IPI \leq 2$ değerleri orta kirlilik ve > 2 değerleri ise yük kirlilik sınıfına karşılık gelir. Bu çalışmada IPI değerleri yerine örnek alım noktaları için PI parametresine ait yığılmış sütun diyagramlarının oluşturulması yeterli görülmüştür (Şekil 4). PI değerlerine ait yığılmış sütun diyagramı incelendiğinde, her bir örnek alım noktasında Sb'na ait PI değerlerinin > 1 olduğu rahatlıkla görülmektedir. Diğer elementlerin de kirlilik indeksi parametreleri dikkate alındığında sahadaki ağır metal kirliliği riskinin araştırılmasına yönelik hem karasal, hem sucul ortam hem de bitkiler üzerinde detay çalışmaların yapılması gerektiği söylenebilir. Sb elementi ile jeokimyasal olarak davranış benzerliği dikkate alındığında sahada As ve Hg elementlerinin de araştırmaya dahil edilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.



Şekil 4. Kirlilik indeksine (PI) ait yığılmış sütun diyagramı

Cevherleşme sahasındaki örnek alım noktaları için jeobirikim indeksine göre oluşturulmuş yığılmış sütun diyagramları incelendiğinde ise (Şekil 5), neredeyse tüm örnek alım noktalarında Sb ve Cu elementi açısından kirlilik/element zenginleşmesinin söz konusu olduğu görülmektedir. BCT-1 ile BCT-6 arasındaki örnek alım noktalarında ise Sb ve Cu'ın yanısıra Cd ve Co elementlerince de bir kirlilik/element zenginleşmiş söz konusudur. BCT-11 ile BCT-56 arasındaki örnek alım noktalarında genel olarak Sb, Cd, Co, Pb ve Cu elementlerince kirlenme söz konusudur. BCT 15 numaralı örnek alım noktasında Pb, Zn, Cd ve Co elementlerince kirlenme/zenginleşme söz konusu değildir (Şekil 5).



Şekil 5. Jeobirikim indeksine (I_{geo}) ait yığılmış sütun diyagramı

IV. SONUC

Bu çalışmada Gümüştüğ antimonit cevherleşme sahası üzerinde gelişmiş toprakların ağır metal kirliliği araştırılmıştır. Topraktaki ağır metal kirlilikleri başka bir ifadeyle de element zenginleşme karakterleri tanımlayıcı istatistik parametrelerinden yararlanılarak beklenen ortalama değerlerden sapmaları araştırılmış, merkezi dağılım parametreleri ile topraklardaki elementlerin dağılım karakteri irdelenmiştir. Elementlere ait elde edilen sonuçların bahse konu elementlere ait ortalama üst kabuk değerlerine göre bazı örnek alım noktalarında üst kabuk değerleri aştığı görülmüştür. Elementlerin aritmetik ortalamalarının da tüm örnek alım noktaları için ortalama üst kabuk değerlerini aştığı tespit edilmiştir. Cd dışındaki tüm elementlerin bir miktar sağa çarpık dağılım gösterdiği dolayısıyla cevherleşme sahasında jeokimyasal süreçlere bağlı olarak beklenen değerleri aşan değerlerin söz konusu olduğu görülmüştür. Cevherleşme sahasındaki kirlilik/kirlenme (pollution/contamination) PI ve Igeo gibi değişik kirlilik indeksi parametreleri ile incelenmiştir. PI ve Igeo parametreleri dikkate alındığında sahada özellikle Sb açısından dikkat çekici bir kirlilik/element zenginleşmesi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca değişik örnek alım noktalarında Cu için de kirlilik/element zenginleşmenin söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Sahada Zn, Pb, Cd ve Co elementlerinin birçok örnek alım noktasında kirlilik/element zenginleşme sınırına yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Her bir örnek alım noktası için incelemeye konu tüm elementlerin kirlilik/zenginleşme riski yığılmış sütun diyagramları yardımıyla incelendiğinde ağır metallerce kirlenme/element zenginleşme riskinin daha dikkat çekici olduğu tespit edilmiştir. Sahada özellikle Sb elementi ile benzer jeokimyasal davranışlar sergileyen arsenik (As) ve civa (Hg) gibi elementlerin de dahil edilerek karasal, sucul ortamları ve sahada yetişen bitkileri de konu alan detaylı çevre jeokimyası çalışmasının yapılmasının yararlı olacağı önerilmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje No: 19.F5114.01.02). Yazar, katkılarından dolayı ilgili editör ve anonim hakemlere teşekkür eder.

V. KAYNAKLAR

- [1] F. Bretzel, S. Benvenuti, L. Pistelli, “Metal contamination in urban street sediment in Pisa (Italy) can affect the production of antioxidant metabolites in *Taraxacum officinale* Weber,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 21, no. 3, pp. 2325–2333, 2014.
- [2] M. J. Batista, M. M. Abreu, M. S. Pinto, “Biogeochemistry in Neves Corvo mining region, Iberian Pyrite Belt, Portugal,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 92, no. 2–3, pp. 159–176, 2007.
- [3] H. M. Zakir, N. Shikazono, “Environmental mobility and geochemical partitioning of Fe, Mn, Co, Ni and Mo in sediments of an urban river,” *Environ. Chem.*, vol. 3, no. May, pp. 116–126, 2011.
- [4] P. K. S. M. D. Hossain, “Assessment of Heavy Metal Contamination and Sediment Quality in the Buriganga River, Bangladesh,” *d Int. Conf. Environ. Sci. Technol.*, vol. 6, pp. 384–388, 2011.
- [5] P. Antwi-Agyei, J. Hogarh, G. Foli, “Trace elements contamination of soils around gold mine tailings dams at Obuasi, Ghana,” *African J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 11, pp. 353–359, 2009.
- [6] A. Vural, “Contamination Assessment of Heavy Metals Associated with an Alteration Area: Demirören Gumushane, NE Turkey,” *J. Geol. Soc. India*, vol. 86, no. August, pp. 215–222, 2015.
- [7] A. Vural, “Assessment of metal pollution associated with an alteration area: Old Gümüşhane, NE Black Sea,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 22, no. 5, 2015.
- [8] Ü. Gemici, G. Tarcan, “Assessment of the pollutants in farming soils and waters around untreated abandoned Türkönü mercury mine (Turkey),” *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 79, no. 1, pp. 20–24, 2007.
- [9] W. Zglobicki, L. Lata, A. Plak, M. Reszka, W. Zglobicki, “Geochemical and statistical approach to evaluate background concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn (case study: Eastern Poland),” *Environ. Earth Sci.*, vol. 62, no. 2, pp. 347–355, 2011.
- [10] M. C. Navarro, C. Pérez-Sirvent, M. J. Martínez-Sánchez, J. Vidal, P. J. Tovar, J. Bech, “Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 96, no. 2–3, pp. 183–193, 2008.
- [11] M. Soylak, U. Divrikli, S. Saracoglu, and L. Elci, “Monitoring Trace Metal Levels in Yozgat-Turkey: Copper, Iron, Nickel, Cobalt, Lead, Cadmium, Manganese and Chromium Levels in Stream Sediments,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 11, no. 1, pp. 47–51, 2002.
- [12] B. Tavakoly Sany, A. Salleh, A. H. Sulaiman, A. Mehdinia, G. H. Monazami, “Geochemical assessment of heavy metals concentration in surface sediment of West Port, Malaysia,” *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 80, pp. 83–87, 2011.

- [13] A. Vural, A. Gundogdu, I. Akpınar, C. Baltacı, “Environmental impact of Gümüşhane City, Turkey, waste area in terms of heavy metal pollution,” *Nat. Hazards*, vol. 88, no. 2, 2017.
- [14] P. N. Ranasinghe, G. W. A. R. Fernando, C. B. Dissanayake, M. S. Rupasinghe, “Stream sediment geochemistry of the Upper Mahaweli River Basin of Sri Lanka-Geological and environmental significance,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 99, no. 1–3, pp. 1–28, 2008.
- [15] C. Waterlot, F. Douay, C. Pruvot, H. Ciesielski, “Assessment of the mobility and the phytoavailability of heavy metals in kitchen garden soils: Effect of a phosphatic amendment,” *Difpolmine Conf.*, no. december, p. 7pp, 2006.
- [16] N. Sciences, G. Delcev, G. Delcev, “Assessment of the heavy metal contamination in the surficial sediments of Lake Kalimanci (Macedonia): a preliminary study Ocena onesnaženosti recentnega sedimenta iz Kameniškega jezera (Makedonija) s težkimi kovinami – preliminarni rezultati,” vol. 56, no. 4, pp. 437–447, 2009.
- [17] S. M. Sakan, D. S. Dordević, S. S. Trifunović, “Geochemical and statistical methods in the evaluation of trace elements contamination: An application on canal sediments,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 20, no. 1, pp. 187–199, 2011.
- [18] B. Dasaram, M. Satyanarayanan, V. Sudarshan, A.K. Krishna, “Assessment of Soil Contamination in Patancheru Industrial Area, Hyderabad, Andhra Pradesh, India,” *Res. J. Environ. Earth Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 214–220, 2011.
- [19] H. Sun, J. Li, X. Mao, “Heavy Metals’ Spatial Distribution Characteristics in a Copper Mining Area of Zhejiang Province,” *J. Geogr. Inf. Syst.*, vol. 04, no. 01, pp. 46–54, 2012.
- [20] F. I. Almasoud, A. R. Usman, A. S. Al-Farraj, “Heavy metals in the soils of the Arabian Gulf coast affected by industrial activities: analysis and assessment using enrichment factor and multivariate analysis,” *Arab. J. Geosci.*, pp. 1–13, 2014.
- [21] A. Sungur, M. Soylak, H. Ozcan, “Investigation of heavy metal mobility and availability by the BCR sequential extraction procedure: Relationship between soil properties and heavy metals availability,” *Chem. Speciat. Bioavailab.*, vol. 26, no. 4, pp. 219–230, 2014.
- [22] A. Vural, “Relationship between the geological environment and element accumulation capacity of *Helichrysum arenarium*,” *Arab. J. Geosci.*, vol. 11, p. 258, 2018.
- [23] A. Vural, “Assessment of Heavy Metal Accumulation in the Roadside Soil and Plants of *Robinia pseudoacacia*, in Gumushane, Northeastern Turkey,” *Ekoloji*, vol. 10, pp. 1–10, 2013.
- [24] A. Sungur, A. Vural, A. Gundogdu, M. Soylak, “Effect of antimonite mineralization area on heavy metal contents and geochemical fractions of agricultural soils in Gümüşhane Province, Turkey,” *Catena*, vol. 184, no. January 2019, p. 104255, 2020.
- [25] A. Sungur, A. Vural, A. Gündoğdu, M. Soylak, “Gümüştüğ Köyü (Torul - Gümüşhane) Tarım Topraklarında Manganın Jeokimyasal Karakterizasyonu,” in *International Trace Analysis Congress (ITAC 2018/ES-AN 2018)*, 2018, vol. June 20-23, p. 231.

- [26] A. Vural, E. Şahin, “Gümüşhane Şehir Merkezinden Geçen Karayolunda Ağır Metal Kirliliğine Ait İlk Bulgular (in Turkish),” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 2, no. 1, pp. 21–35, 2012.
- [27] A. Vural, “Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey,” *Bull. Miner. Res. Explor.*, vol. 148, pp. 85–106, 2014.
- [28] A. Vural, “Biogeochemical characteristics of *Rosa canina* grown in hydrothermally contaminated soils of the Gümüşhane Province, Northeast Turkey,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 187, no. 8, 2015.
- [29] A. Sungur, M. Soylak, H. Ozcan, “Fractionation, Source Identification and Risk Assessments for Heavy Metals in Soils near a Small-Scale Industrial Area (Çanakkale-Turkey),” *Soil Sediment Contam.*, vol. 28, no. 2, pp. 213–227, 2019.
- [30] T. N. Nganje, C. I. Adamu, A. N. Ugbaja, E. Ebieme, G. U. Sikakwe, “Environmental contamination of trace elements in the vicinity of okpara coal mine, enugu, southeastern Nigeria,” *Arab. J. Geosci.*, vol. 4, no. 1–2, pp. 199–205, 2011.
- [31] S. M. Ghaderian, A. A. Ghotbi Ravandi, “Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 123, pp. 25–32, 2012.
- [32] J. Bech *vd.*, “Arsenic and heavy metal contamination of soil and vegetation around a copper mine in Northern Peru,” *Sci. Total Environ.*, vol. 203, no. 1, pp. 83–91, 1997.
- [33] M. M. Abreu, M. J. Matias, M. C. F. Magalhães, and M. J. Basto, “Impacts on water, soil and plants from the abandoned Miguel Vacas copper mine, Portugal,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 96, no. 2–3, pp. 161–170, 2008.
- [34] A. Vural, “Avliyana (Torul-Gümüşhane) Antimonit Cevherleşmesinin Jeolojisi-Mineralojisi ve Kökeninin Araştırılması,” Gümüşhane, 2016.
- [35] G. Topuz, R. Altherr, W. H. Schwarz, A. Dokuz, H. P. Meyer, “Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey),” *Int. J. Earth Sci.*, vol. 96, no. 5, pp. 861–873, 2007.
- [36] Y. Yılmaz, “Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, NE Anatolia,” 1972.
- [37] A. Dokuz, “A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: The Köse composite pluton,” *Gondwana Res.*, vol. 19, no. 4, pp. 926–944, Jun. 2011.
- [38] A. Vural and A. Kaygusuz, “Petrology of the Paleozoic Plutons in Eastern Pontides: Artabel Pluton (Gümüşhane, NE Turkey),” *YeriJournal Eng. Res. Appl. Sci.*, vol. 8, no. 2, 2019.
- [39] A. Kaygusuz, M. Arslan, F. Sipahin, İ. Temizel, “U-Pb zircon chronology and petrogenesis of

Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution,” *Gondwana Res.*, vol. 39, pp. 327–346, 2016.

[40] R. Kandemir, “Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu’nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları,” Trabzon, 2004.

[41] M. Eren, “Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes incelemesi,” Trabzon, 1983.

[42] S. Pelin, *Alucra (Giresun) Güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelemesi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayını, Yayın No. 87, 1977.

[43] S. Tokel, “Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region,” 1972.

[44] A. Kaygusuz, W. Siebel, C. Şen, and M. Satir, “Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: The composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey,” *Int. J. Earth Sci.*, vol. 97, no. 4, pp. 739–764, 2008.

[45] M. Arslan, I. Aliyazicioglu, “Geochemical and petrological characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: Implications for the Eocene evolution of eastern Pontide arc volcanism, northeast Turkey,” *Int. Geol. Rev.*, vol. 43, no. 7, pp. 595–610, 2001.

[46] A. Vural, “Avliyana (Torul-Gümüşhane) Antimonit Cevherleşmesinin Jeolojisi-Mineralojisi ve Kökeninin Araştırılması,” Gümüşhane, 2016.

[47] A. Vural, “K-Ar dating for determining the age of mineralization as alteration product: A case study of antimony mineralization vein type in granitic rocks of Gümüşhane area, Turkey,” *Acta Phys. Pol. A*, vol. 132, no. 3, pp. 792–795, 2017.

[48] A. Vural, A. Kaygusuz, H. Dönmez, “Geological, Geochemical and Geochronological Investigation of Avliyana Antimonite Mineralization,” in *8th Geochemistry Symposium*, 2018, pp. 123–124.

[49] A. Vural, A. Kaygusuz, H. Dönmez, C. Yücel, “Geochemistry and Geochronology of the Avliyana Granitoid (Gümüşhane/NE Turkey),” in *71. TJK Abstract Book*, 2018, pp. 391–392.

[50] A. W. Rose, H. Hawkes, and J. Webs, *Geochemistry in Mineral Exploration*, 2nd ed. London, England: Academic Press, 1991.

[51] G. Muller, “Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River.,” *Geol. J.*, vol. 2, pp. 108–118, 1969.

[52] A. Vural, M. Erdoğan, “Eski Gümüşhane Kırkpavli Alterasyon Sahasında Toprak Jeokimyası,” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2014.

[53] R. Rudnick, S. Gao, “Composition of the Continental Crust,” in *Readings of Treatise on Geochemistry*, 2nd ed., H. Holland and K. Turekian, Eds. London, England: Elsevier, 2010.

[54] T. B. Chen, Y. M. Zheng, H. Chen, G. D. Zheng, “Background concentrations of soil heavy metals in Beijing,” *Chinese J. Environ. Sci. (in Chinese)*, vol. 25, pp. 117–122, 2004.