



Hidrotermal Alterasyona Bağlı Element Kirliliği: Canca (Gümüşhane-Türkiye)

Alaaddin VURAL¹ 

(Alınış / Received: 20.09.2022, Kabul / Accepted: 07.12.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Hidrotermal alterasyon
Element Kirliliği/Zenginleşmesi
Jeobirikim İndeksi (I_{geo})
Zenginleşme Faktörü (EF)
Kirlilik İndeksi (PI)
Birleşik Kirlilik İndeksi (IPI)

Öz: Bu çalışma kapsamında hidrotermal alterasyon sahalarındaki muhtemel element kirliliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Canca (Gümüşhane-Türkiye) hidrotermal alterasyon sahasından toplanmış 288 adet toprak örneğinin element içerikleri kabul gören referans değerleri (background values) ile kıyaslanmış ve değişik kirlilik parametreleri ile de irdelenmiştir. Çalışma sonucunda sahaya ait major element (sodyum, magnezyum, alüminyum ve kalsiyum) konsantrasyonlarının, potasyum elementi hariç, yerel ve bölgesel ortalama değerlerine yakın olduğu, potasyum elementinin ise kabul gören ortalama değeri aştığı tespit edilmiştir. Değerlendirilmeye alınan ağır metal ve iz elementlerin ise çoğunlukla değişen oranlarda kabul edilen ortalama değerlerini aştığı tespit edilmiştir. Element konsantrasyonları ayrıca Jeobirikim İndeksi (I_{geo}), Zenginleşme Faktörü (EF), Kirlilik İndeksi (PI) gibi kirlilik parametreleri incelenmiştir. Kirlilik parametre verilerine göre, genel manada sahada iz element ve ağır metallerce değişen oranlarda element kirliliği/zenginleşmesinin varlığı tespit edilmiştir. Sahadaki örnek alım noktalarının incelenen tüm elementler açısından kirlilik derecesi ise Birleşik Kirlilik İndeksi (IPI) incelenmiştir. IPI verilerine göre de sahada örnek alım noktalarının çoğunlukla orta ve yüksek kirlilik sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular alterasyon sahalarının maden arama amaçlı çalışmalarda hedef sahalardan olmasının yanında element kirliliği/zenginleşmesi için incelenmesi gereken sahalardan olduğu teyit etmiştir.

Elemental Pollution Due to Hydrothermal Alteration: Canca (Gümüşhane-Türkiye)

Keywords

Hydrothermal alteration
Element Pollution/Enrichment
Geoaccumulation Index (I_{geo})
Enrichment Factor (EF)
Pollution Index (PI)
Integrated Pollution Index (IPI)

Abstract: In this study it is aimed to investigate possible elemental pollution in hydrothermal alteration areas. For this purpose, the element contents of 288 soil samples collected from the Canca (Gümüşhane-Turkey) hydrothermal alteration area were compared with the accepted average values (background values) and examined with different pollution parameters. As a result of the study, it was determined that the major element (sodium, magnesium, aluminium, and calcium) concentrations of the area were close to the local and regional background values, except for the potassium element, while the potassium element exceeded the accepted background value. It has been determined that the heavy metals and trace elements that are taken into consideration mostly exceed the accepted background values in varying proportions. Element concentrations were also investigated by pollution parameters such as Geoaccumulation Index (I_{geo}), Enrichment Factor (EF), and Pollution Index (PI). According to the pollution

¹ Gümüşhane University, Department of Geological Engineering, Gümüşhane/Türkiye

parameter data, the presence of element pollution/enrichment at varying rates with trace elements and heavy metals in the field, in general terms, has been determined. The Integrated Pollution Index (IPI) of the sampling points in the area for all investigated elements was also examined. According to the IPI data, it has been determined that the sampling points in the field are mostly in the medium and high pollution classes. The findings confirmed that the alteration areas are the target areas in mineral exploration studies, as well as the areas that need to be examined for elemental pollution/enrichment.

1. Giriş

İnsanın doğa ile etkileşimi varoluşu ile birlikte başlamıştır (Vural et al., 2009). Yeryüzü insana yurt olmuş, aş olmuş, yuva olmuştur. İnsan içinde yaşadığı coğrafyanın imkanları kullanmaya başlamış, yaşamını idame ettirebilmek için çok çeşitli el aletlerini yaşadığı coğrafyanın imkanlarından yararlanarak icat etmiş, bazen de keşiflerde bulunmuştur. Yaşadığı coğrafyanın sunduğu imkanların da yardımıyla hatta bazı topluluklar diğer topluluklara karşı avantaj ve üstünlük elde etmiştir (Çiftçi et al., 2021). Örneğin obsidiyenin bulunduğu bölgelerde yaşayanlar, granit gibi işlenmesi ve keskin yüzeyler vermesi güç olan bölgelerde yaşayanlara göre avantaj kazanmış ve bir manada da teknolojik olarak diğerlerine üstünlük sağlamışlardır. Özellikle örgütlü savaşların olduğu dönemlerde ise bakırdan ziyade demire daha kolay ulaşanlar, savaş aletlerinde kazandıkları avantajlarla diğer topluluklar üzerinde üstünlük kazanmışlardır (Çiftçi et al., 2021). Özellikle de sanayi devriminden sonra hammaddelerin/enerji hammaddelerinin öneminin artması ile birlikte bu madenlere sahip olan coğrafyalar önem kazanmış ancak bu durumda da siyasi ve askeri olarak güçlü olanlar daha güçlenirken, doğal kaynaklarını korumaya muktedir olmayanlar ise askeri olarak güçlü olanların sömürgeci durumuna düşmüştür (Vural et al., 2022). Doğal kaynak alanları, ortalama değerlere göre aranan materyalin/madenin/elementin referans değerlerinden (background değeri) pozitif yönde sapma gösterdiği alanlardır. Bu alanlar her zaman yüzeylenmiş olarak bulunmazlar, bazen ise gömülü olarak yer altında keşfedilmeyi beklerken yüzeyde ise bazı işaretler/emareler göstererek (yoğun hidrotermal alterasyon gibi) kendilerini belli ederler (Vural, 2020). Bu tür sahalar keşfedilerek ekonomiye kazandırılmakta, insanlığın refahı için kullanılmaktadır. Ancak bu durumda da gerek işletme, gerek işletme sonrası ve/veya işletilmiş materyallerin/madenlerin değerlendirilmesi aşamasında bazı çevresel sorunlar da kendini göstermektedir (Sungur et al., 2020). Bazı durumlarda ise ortalama değerlere göre gözlenen zenginleşme ekonomik boyutlara ulaşmamakta ancak doğal kaynaklı metal/element kirliliği ilgili coğrafya için söz konusu olabilmektedir.

Gümüşhane'de bulunan Canca hidrotermal alterasyon sahası halihazırda element zenginleşmelerine rastlanan ve ekonomik olarak da değerli metal potansiyeli taşıyan önemli bir sahadır. Sahada 1980'lerden sonra özellikle Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından değerli metal arama çalışmaları gerçekleştirilmiş ve sahada altın için MTA Genel Müdürlüğü buluculuk hakkı da kazanmıştır (Güner et al., 2005; Güner & Yazıcı, 2011; Vural, 2019a). Saha zaman zaman özel şirketlerce maden arama amaçlı ruhsatlandırılmıştır. Özellikle epitermal altın yataklarının önem kazanması ile sahada 2000'li yılların başından itibaren de çok sayıda maden arama amaçlı çalışma gerçekleştirilmiştir. Sahada hem maden aranmasına yönelik hem de doğal radyasyon içerikli çevre kirliliği açısından yapılmış çalışmalar mevcuttur (Vural, 2022). Alterasyon sahalarının çevre kirliliği riskini konu alan tıbbi jeoloji ve biojeokimya amaçlı çalışmalar da yine saha gerçekleştirilmiştir.

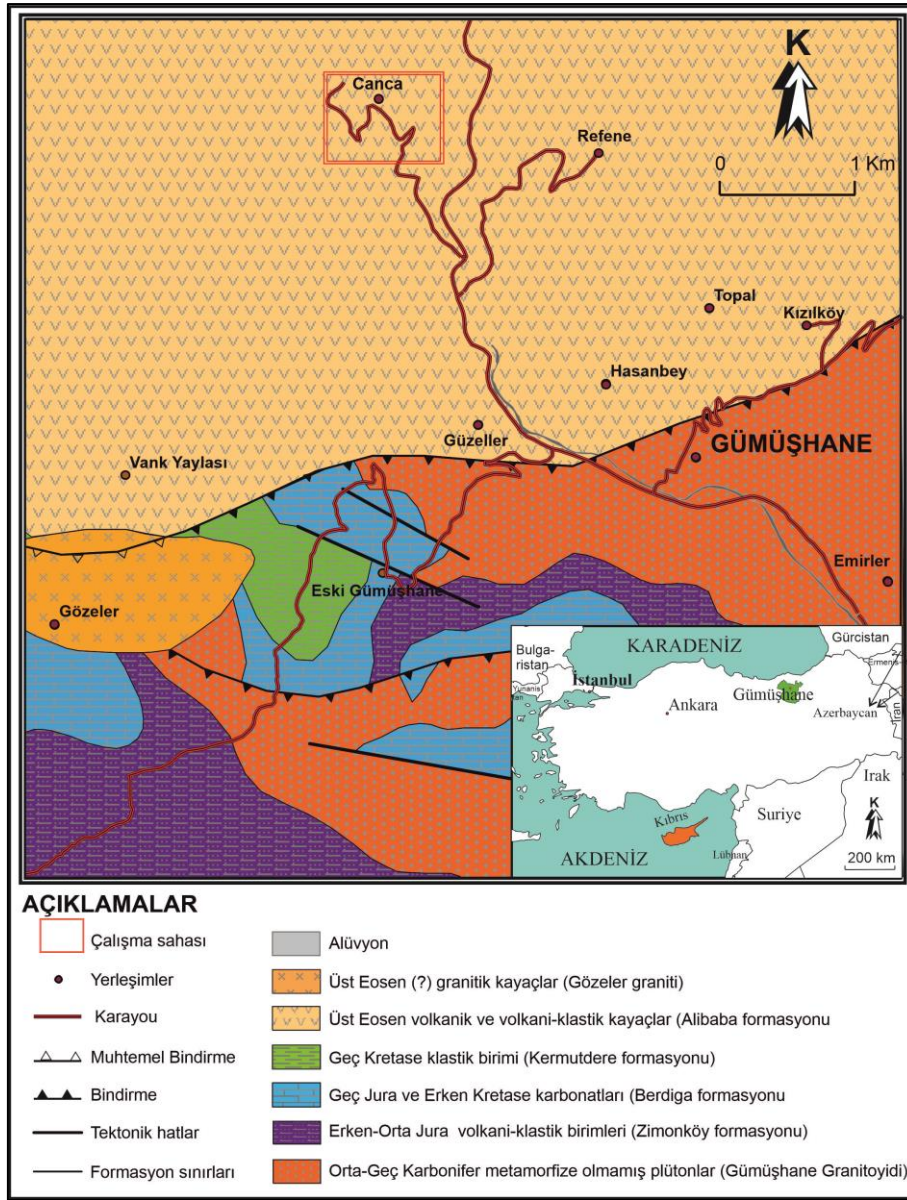
Bu çalışmanın amacı, değişik araştırmalarla element zenginleşmesinin varlığı tespit edilen Canca (Gümüşhane) hidrotermal alterasyon sahasında tespit edilen element konsantrasyonlarının yerel ve bölgesel referans değerleriyle kıyaslanması ve kirlilik parametreleriyle incelenerek kirlilik riski taşıyan elementler açısından incelenmesidir. Aynı zamanda da alterasyon sahalarının element riski potansiyellerinin ortaya konmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sahanın coğrafik özellikleri ve genel jeolojisi

Yoğun hidrotermal alterasyon gelişimin gözlemlendiği Canca sahası (Gümüşhane, Türkiye), Türkiye'nin önemli metalojeni kuşağı içinde olup, Türkiye'nin önemli tektonik kuşaklarından olan Karadeniz Tektonik Birliği'nin güney zonunda yer alır (Şekil 1). Çalışmaya konu saha yaklaşık 2 km²'lik bir alanı kapsamakta olup, Gümüşhane'nin 10 km batısındadır. Bölge, jeolojik ve jeotektonik evriminin bir sonucu olarak engebeli bir topoğrafya gösterir. Bölge denizel ve karasal iklim arasında geçişli iklimsel özellik gösterir. Buna bağlı olarak yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve ağırlıklı olarak da kar yağışlıdır. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre, kışları sıcaklıklar -5.8 ile +4.9 °C yazları ise 10.6 ile 28.5 °C arasında değişmekte olup, yıllık yağış ise ortalama 451.4 kg/m²'dir. Canca sahası engebeli bir topoğrafyaya sahip olmakla birlikte

değişen kalınlıklarda sahip toprak gelişimi gösterir. Sahadaki hidrotermal alterasyon, iklimsel özellikleri ve bitki örtüsünün de etkisi ile toprak örtüsü gri, açık kahverenkte olup, podzoliktir ve asidik-nötral karakterdedir.



Şekil 1. Canca hidrotermal alterasyon sahasının bulduru ve jeoloji haritası ((Güven, 1993)'den değiştirilerek alınmıştır).

Bölgenin temelini Erken-Orta Karbonifer yaşlı metamorfik kayalar ve bu kayaları kesen Orta-Geç Karbonifer yaşlı metamorfize olmamış granitik kayalar oluşturur (Sungur et al., 2020; Topuz et al., 2010; Vural & Kaygusuz, 2019; Yılmaz, 1972), sırasıyla Kurtoğlu Metamorfitleri ve Gümüşhane Granitoidi. Bu temel kayalar uyumsuz olarak Erken-Orta Jura volkano-klastik birim tarafından üzerlenmektedirler (Zimonköy formasyonu, bazı kaynaklarda Şenköy formasyonu olarak geçmektedir) (Eren, 1983). Zimonköy formasyonu dereceli olarak Geç Jura ve Erken Kretase yaşlı, Pelin (1977) tarafından Bergida formasyonu olarak adlandırılmış karbonat kayalarına geçer. Bergida formasyonu ise uyumlu olarak Geç Kretase klastik birimler tarafından örtülmektedir (Kermutdere formasyonu) (Tokel, 1972) (Şekil 1). Kermutdere formasyonu tabanda kumlu kireçtaşı ile başlar üste doğru ise dereceli olarak kırmızı pelajik kireçtaşlarına ve sonrasında kumtaşı, silttaşı marn ve kireçtaşlarından oluşan türbiditik bir seriye geçiş gösterir. Kermutdere formasyonun eşleğini Doğu Karadeniz Tektonik Birliğinin Kuzey Zonunda volkanik kayalarla temsil edilmektedir. Gümüşhane'nin batı-güneybatısında Avliyana ve yakın çevresinde ve Gümüşhane doğu-kuzeydoğusunda Demirören ve çevresinde Geç Kretase yaşlı bu volkanik kayalar geniş alanlarda yüzlek vermektedir. Geç Kretase yaşlı Kermutdere formasyonu Canca sahası kuzeybatısında Geç Kretase intrüzyonları tarafından kesilmektedirler (Kaygusuz et al., 2008b). Geç Kretase yaşlı plütonik, volkanik ve sedimanter kayalar, Alibaba formasyonu olarak adlandırılan ve stratigrafik olarak Orta-Geç Eosen yaşlı volkanik ve volkani-klastik birimlerce üzerlenirler (Arslan & Aliyazıcıoğlu, 2001; Güven, 1993)

ve bu formasyon bölgenin değişik kesimlerinde eş yaşlı kalk-alkalin granitoyitik kayaçlarca kesilir (Kaygusuz et al., 2008a). Bölgedeki en genç birimler ise kuvaterner alüvyonlar, yamaç molozları ve güncel travertenlerdir.

Canca hidrotermal alterasyon sahası ve yakın çevresinde Orta-Geç Eosen yaşlı Alibaba formasyonu yüzeylenmektedir (Şekil 1 ve 2). Formasyon sahada bazalt ve andezitlerden meydana gelmekte olup, yer yer Eosen volkanizmasının son ürünü olan andezit-dolerit dayklarınca da kesilmektedirler. Çalışma sahasının güneyinde, sahaya yakın bir lokasyonda Üst Eosen yaşlı, monzogranitik karakterdeki granitik kayaç Alibaba formasyonunu kesmektedir. Canca sahasında gelişmiş yaygın hidrotermal alterasyonun kökeninin bu granitik kayaç olduğu düşünülmektedir. Hidrotermal alterasyon gelişiminde etkin olan akışlar bölgenin neotektonik evrimi sonucunda gelişmiş D-B yönünde baskın, hafif KB-GD doğrultulu tektonik hatları kullanarak sığ jeokimyasal ortama ulaşmış ve sahadaki andezitik kayaçları etkileyerek bu tektonik hatlara paralel olarak hidrotermal alterasyon gelişimine neden olmuşlardır (Vural, 2019a).

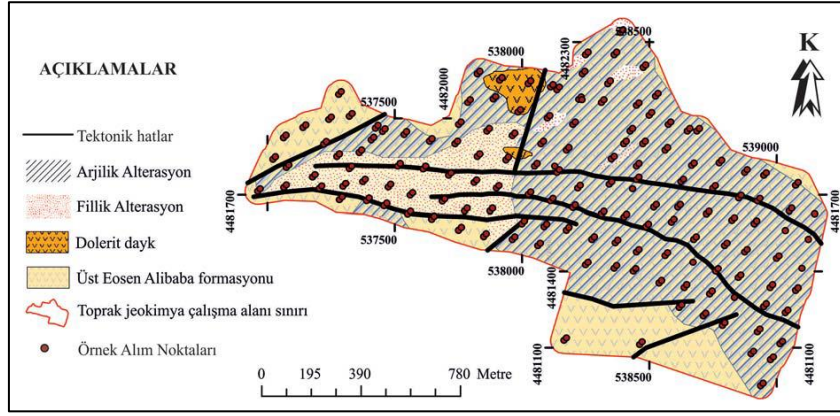
Sahadaki alterasyon türleri çoğunlukla silisleşme, killeşme, hematitleşme, limonitleşme ve piritleşmeler şeklinde olup, baskın alterasyon türü silisleşmelerin yoğun olarak geliştiği fillik alterasyondur. Silisleşmeler özellikle sahanın batı kesiminde yayılım gösterirken, diğer kesimlerde ise kaolinit, simektit ve illit oluşumları (baskın olarak arjilik alterasyon) söz konusudur. Bunlara yer yer alünit, kalsedon, jips damar/damarcıkları eşlik eder (Şekil 2).

2.2. Örnekleme ve Analiz

Canca hidrotermal alterasyon sahasında 288 noktadan toplanmış yüzey toprağı (0-25 cm) örneklerinin (Şekil 2) ana, iz element ve ağır metal konsantrasyonları sahanın element kirliliği riskinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Örnekleme ve örneklerin analize hazırlanma süreç ve prosedürleri Vural (2019a)'da detaylı olarak verilmiştir. Arazi çalışması aşamasında örneklerin toplanmasında sekonder/harici etkilenmelerin olmaması için azami hassasiyet gösterilmiştir. Örnekler naylon poşetler alınarak numaralandırılmış ve sonrasında ise ikinci bir naylon poşet ile de korumaya alınarak laboratuvara götürülmüştür. Örneklerin analize hazırlanması Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada örnekler 60°C sıcaklıkla 2 gün boyunca etüvde kurutulmuş, böylece doğal nemleri uzaklaştırılan örnekler 2 mm polietilen elekten geçirilmişler ve öğütüldükten sonra uygun tane boyutunu elde etmek için Rose et al. (1991) önerdiği şekilde 80 –mesh polietilen elekten geçirilerek, mikro-dalga fırında değişik oranda asitlerle çözüldürülmüştür. Çözüldürülmüş örnekler Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) (Agilent 7700e model ICP-MS, Agilent Technologies, Santa Clara, California, USA) ile belli başlı elementler (Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Bi, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Zn, As, Se, Sr, Mo, Sb, Cd, Ba, Hg, Sn, Th) için analiz edilmiştir. Analiz öncesinde toz haline getirilmiş örneklerden 0.20 g civarında 0.1 mg hassasiyette tartımlar alınmış, mikrodalga fırının (SINEO MDS-8G, Sineo Microwave Chemistry Technology Co., Ltd.,China) teflon beherlerine konarak, üzerlerine 4 mL NHO₃, 2 mL HF ilave edilerek, Vural (2019b)'da verilen koşullarda (I. aşama koşulları) parçalanmaya tabi tutulmuş, akabinde ise elde edilen çözeltiye 5 mL B₃OH₃ ilave edilerek yine Vural (2019b)'da verilen koşullarda (II. aşama koşulları) tekrar parçalanmaya maruz bırakılmıştır. İki aşamalı bu süreç sonrasında elde edilen beher içerikleri cam pamuğundan süzölmüş ve elde edilen berrak çözeltilere saf su ilave edilerek 50 mL'ye kantitatif olarak tamamlanmıştır. Bu süreçler sonrasında ise örneklerin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Sonuçların güvenilirliğinin kontrolü amacıyla; her bir örneğin en az 3 kez tekrarlı analizleri gerçekleştirilmiş, elde edilen konsantrasyonların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak analizin doğruluk ve kesinliği belirlenmiştir. Yine bu amaçla standart kalibrasyon grafiğı kullanımıyla birlikte örneklere standart ekleme ve iç standardı yöntemleri de kullanılmıştır. Örnek çözeltilerine ekleme/geri kazanma testleri (spiked/recovery) uygulanarak, metodun Standart Referans Maddelere (SRM) de uygulanmasıyla doğruluk testleri de tamamlanmıştır. Analiz detayları Vural (2019a)'de verildiğı için bu çalışmada ayrıca verilmemiştir.

Toprak örneklerinin pH ölçümleri yine Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. pH ölçümleri için toprak örnekleri 100 meşlik elekten geçirilmiş ve etüvde 60 °C'ta 2 gün bekletilerek doğal nemleri uzaklaştırılmış, akabinde toprak örnekleri (2:2.5; kütle(gr):hacim (mL)) oranında örnek:ultra saf su karışımıyla 50 mL'lik falcon tüplere yerleştirilmiş ve titreşim masasında 60 dakika çalkaladıktan sonra yaklaşık 10 saat kadar beklenecek sudaki asıltıların çökmesi sağlanmıştır. pH ölçümleri Hanna marka masaüstü pH metre ile yapılmıştır. Toprak örneklerinin pH'larının 3.90-7.02 arasında değiştiğı dolayısıyla sahadaki toprakların çok asidik bir miktar nötr karaktere yaklaştığı belirlenmiştir.



Şekil 2. Çalışma sahası alterasyon haritası ve örnekleme lokasyonları (Vural, 2019a'dan değiştirilmiştir)

2.3. Verilerin değerlendirilmesi

Toprak, sediment ve tozlarda metal zenginleşmesi ve kirliliğin derecesinin hesap edilmesi için pek çok değişik parametre önerilmektedir. Bunların belli başlıları jeo-birikim indeksi (I_{geo}), zenginleşme faktörü (EF), kirlilik indeksi ve birleşik kirlilik (IPI) indeksidir. Bu çalışmada bahse konu kirlilik indeksleri bir arada kullanılarak sahadaki kirlilik riski belirlenmeye çalışılmıştır.

I_{geo} Muller (1969) tarafından önerilmiş olup, aşağıdaki formül ile hesap edilir:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_i}{1,5 * B_i} \quad (1)$$

Burada, C_i incelenen örnekteki elementin konsantrasyonu, B_i ise elementin üst kabuktaki referans değeridir. Üst kabuk değerleri çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmış ve farklı referans değerler önerilmiştir. Bunlardan en güncel olanı ise Rudnick ve Gao (2010) tarafından önerilen değerlerdir. Bu çalışmada Kaygusuz (2008b)'in yayınlarda verilen ve Canca sahasını da karakterize eden kayaçların element içeriklerinin medyanları, bölgeyi daha iyi temsil edeceği düşüncesiyle, genel olarak referans değerler olarak kabul edilmiştir. I_{geo} parametresindeki 1.5 katsayısı litolojik kaynaklı etkileri bertaraf etme amacıyla önerilmiştir. Jeobirikim İndeksi verileri Muller (1969) tarafından 0-6 arasında 7 sınıfa ayrılmıştır (Tablo 1).

Çalışmada kullanılan bir diğer kirlilik indeksi ise Zenginleşme Faktörü (EF)'dir. Zenginleşme faktörü ilk defa Buat-Menard ve Chesselet (1979) tarafından önerilmiştir ve aşağıdaki formülle hesap edilir:

$$EF = \frac{\left(\frac{C_i}{C_{ref}}\right)_{sample}}{\left(\frac{B_i}{B_{ref}}\right)} \quad (2)$$

Burada, $C_{i(sample)}$ incelenen elementin ve $C_{ref(sample)}$ aynı noktada referans elementin konsantrasyonuna karşılık gelir. B_i incelenen elementin referans değerine, B_{ref} ise referans elementin referans değerini temsil etmektedir. Referans element seçimi yapılırken elementin nispeten düşük konsantrasyonda olması ve aynı zamanda da mümkünse hareketsiz veya hareketliliğinin düşük olmasına dikkat edilir. Böylece bir nevi jeokimyasal ortamda kaynaklı olarak elementlerin hareketliliklerine bağlı değişimler minimize edilmeye çalışılır. EF parametresi hesabında çoğunlukla referans element olarak Al, Fe, Ti, Si, Sr, Zr, K, vb. elementler kullanılmaktadır (Feng et al., 2004; Mandal & Sengupta, 2003). Bu çalışmada, ortamın pH değeri de dikkate alınarak bu ortamda daha az hareketli olacağından referans element olarak Al seçilmiştir. Alüminyumun bölge kayaçlarındaki bolluğu medyan cinsinden % 8,8 olarak bulunmuştur. EF faktörü Sutherland (2000) tarafından 5 zenginleşme sınıfına ayrılmıştır (Tablo 1).

Canca sahası kirliliğinin araştırılmasında kullanılan bir diğer kirlilik parametresi Kirlilik İndeksi (PI) olup, aşağıdaki formül ile hesaplanır (Chen et al., 2005):

$$PI = \frac{C_i}{B_i} \quad (3)$$

Burada C_i incelenen elementin konsantrasyonu, B_i ise incelenen elementin background değerine karşılık gelir. PI değerine göre ortamın element içerikleri Düşük Kirli, Orta Kirli ve Yüksek Kirli olarak sınıflara ayrılmaktadır (Tablo 1).

Bir diğer kirlilik parametresi ise her bir örnek yeri için ölçülen elementlerin PI değerlerinin geometrik ortalamasıyla belirlenen Birleşik Kirlilik İndeksi'dir (IPI). IPI değeri de üç ayrı sınıfa ayrılmaktadır: Düşük Kirli ($IPI \leq 1$), Orta Kirli ($1 < IPI \leq 2$) ve Yüksek Kirli ($IPI > 2$) (Chen vd. 2007).

Tablo 1. Farklı Kirlilik İndekslerine ait kirlilik sınıflandırmaları

Jeobirikim İndeksi (Igeo)			Zenginleşme Faktörü (EF)			Kirlilik İndeksi (PI)		
C	Değer	Kirlilik sınıfı	C	Value	Kirlilik sınıfı	C	Value	Kirlilik sınıfı
0	$I_{geo} \leq 0$	Kirlenmemiş	1	$EF < 2$	En az zenginleşmiş	1	$PI \leq 1$	Düşük kirlenme
1	$0 < I_{geo} < 1$	Kirlenmemiş-Orta Kirli	2	$2 < EF < 5$	Orta zenginleşmiş	2	$1 < PI \leq 3$	Orta kirlenme
2	$1 < I_{geo} < 2$	Orta Kirli	3	$5 < EF < 20$	Önemli zenginleşmiş	3	$(PI > 3)$	Yüksek kirlenme
3	$2 < I_{geo} < 3$	Orta-Ağır Kirli	4	$20 < EF < 40$	Çok önemli zenginleşmiş			
4	$3 < I_{geo} < 4$	Ağır Kirli	5	$EF > 40$	Aşırı yüksek zenginleşmiş			
5	$4 < I_{geo} < 5$	Ağır-Aşırı Kirli						
6	$I_{geo} > 5$	Aşırı Kirli						

3. Bulgular

3.1. Sahadaki element konsantrasyonlarının genel değerlendirilmesi

Sahaya ait analizleri gerçekleştirilen örneklerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca elementlerinin konsantrasyonlarının kıyaslanması amacıyla Rudnick ve Gao (2010)'a ait üst kabuk değerleri ve bölgeye ait hesap edilmiş referans değerleri (background değerleri) de Tablo 2'de verilmiştir. Referans değerlerinin hesaplanmasında Materyal ve Metod Bölümü'nde de belirtildiği üzere çalışma sahasını karakterize eden kayaç verileri kullanmıştır. Bu amaçla Kaygusuz (2008b)'in verilerine ait 45 adet kayaç örneğinin element içeriklerinden yararlanılmıştır.

Tablo 2. Canca hidrotermal altersayon sahası topraklarının element konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistik bilgileri ve elementlerin referans değerleri. Tablo'da Na, Mg, Al, K, Ca, Fe ve Cr elementlerinin konsantrasyonu % cinsinden, iz elementler ise mg/kg olarak verilmiştir. Sadece Hg $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak verilmiştir.

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Medyan	Geo.Ort	Std. Sap.	Basıklık	Çarpıklık	Ref. D.*	Ref. D..
Na	142	0.040	2.600	0.993	0.980	0.772	0.552	-0.402	0.206	2.430	2.099
Mg	142	0.121	2.008	0.873	0.899	0.751	0.420	-0.287	0.280	1.496	1.78
Al	142	2.011	10.585	7.007	6.827	6.750	1.812	-0.361	-0.033	8.150	8.8
K	142	0.616	2.673	1.464	1.444	1.392	0.465	-0.076	0.552	1.163	1.34
Ca	142	0.329	2.308	0.872	0.800	0.823	0.331	4.186	1.832	2.566	4.12
Mn	269	24.000	2745.480	597.764	525.570	497.075	357.105	5.893	1.717	770.000	1084
Fe	124	1.360	11.440	4.559	4.400	4.311	1.546	2.337	0.982	3.530	4.62
Bi	40	5.000	89.000	18.275	12.000	13.362	17.723	6.433	2.392	0.160	-
Sc	124	2.710	58.740	18.642	18.435	16.322	8.503	2.867	0.670	14.000	8
V	269	3.240	352.980	120.368	112.000	108.641	51.540	1.904	1.033	97.000	187.5
Cr	121	0.008	0.054	0.016	0.015	0.014	0.009	1.310	1.099	0.009	0.015
Co	282	0.880	49.980	14.127	13.405	12.393	6.947	2.702	1.141	17.300	13.5
Ni	192	0.430	41.340	11.102	10.000	9.307	6.151	4.495	1.513	47.000	4.29
Cu	285	2.000	314.000	69.419	68.000	55.014	42.935	6.715	1.607	28.000	24.35
Pb	269	7.000	857.570	80.614	52.720	55.844	103.763	26.861	4.636	17.000	5.6
Zn	285	2.100	394.000	74.452	70.000	63.288	39.957	15.102	2.403	67.000	38
As	287	4.000	199.950	37.985	29.060	28.924	31.101	6.227	2.203	4.800	1.3
Se	100	0.060	24.010	3.398	2.025	1.978	4.066	8.874	2.719	0.090	1.35
Sr	124	79.160	2174.340	409.236	342.460	353.075	269.041	16.293	3.271	320.000	502.5
Mo	75	0.040	37.000	5.300	2.630	2.352	7.530	6.726	2.619	1.100	0.65
Sb	142	0.590	49.290	7.999	4.265	4.551	9.649	6.246	2.398	0.400	-
Cd	130	0.010	2.900	0.325	0.215	0.195	0.423	20.077	4.003	0.090	-
Ba	124	251.000	3488.510	801.209	664.950	714.146	510.569	12.814	3.347	624.000	662.5
Hg	69	1.250	91.900	23.649	21.200	19.604	15.079	8.549	2.426	0.05	-
Sn	124	0.520	16.300	1.530	1.245	1.307	1.519	73.662	7.783	2.100	1.25
Th	124	1.270	17.470	7.248	6.910	6.635	2.975	0.578	0.729	10.500	5.4

* Rudnick ve Gao 2010'a ait veri, Geo.Ort: Geometrik Ortalama, Std.Sap. Standart Sapma, Ref. D. referans değer

Major elementlerden sodyum (Na), magnezyum (Mg), alüminyum (Al) ve kalsiyum (Ca) elementlerinin konsantrasyonlarının referans değerleriyle uyumlu olduğu, potasyum (K) elementinin ise referans değerini (%1.34) aştığı tespit edilmiştir (%0,616-2,67). K elementi için sahadaki örnek alım noktalarına ait element konsantrasyonlarının Rudnick ve Gao (2010) tarafından önerilen referans değerle (%1.16) ve bölge için hesap edilen referans değerle (1.34 mg/kg) kıyaslaması yapıldığında, sahanın K elementince yer yer iki katına çıkan değerlere ulaştığı görülmüştür (Tablo 2). K elementi için medyan ve geometrik ortalamaları dikkate alındığında ise referans değerlerin bir miktar aşıldığı görülmektedir. K elementi için tespit edilen yüksek konsantrasyonların sahadaki etkin hidrotermal alterasyonla paralellik gösterdiği gözlenmiştir.

Ayrıca sahada toprak konsantrasyonlarının kıyaslaması iz element ve ağır metaller için de gerçekleştirilmiş ve her bir element için değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

Mangan (Mn) elementi litosferde rastlanan en bol elementlerdendir. Özellikle mafik kayalar yüksek konsantrasyonlarda Mn içerirler. Günlenme esnasında, Mn bileşikleri atmosferik koşullarda okside olur ve kayalardan serbestleşen Mn oksitler ortamda yeniden çökeler ve kolayca ikincil Mn minerallerini oluştururlar (Kabata-Pendias, 2011). Mn kolaylıkla hareketlenen bir elementtir. Soğuk iklimlerde günlenme zonlarından ve asidik solisyonlarla topraktan bikarbonat olarak veya organik asitlerle (bitkilerin bozulmasından türeyen) kompleksler olarak yeniden hareketlenir. Tropikal iklimlerde ve yarı tropik iklimlerde bununla birlikte Mn sıklıkla konkresyon ve nodüller şeklinde değişik formlarda konsantre olurlar. Mn, toprakta oksitler ve hidroksitler şeklinde diğer toprak tanelerini kaplamış formlarda görülmektedir. Topraktaki Mn miktarı coğrafi olarak farklılıklar göstermekle birlikte Gümüşhane coğrafyasına da yakın olan eski Sovyetler birliğinde 217 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Kabata-Pendias, 2011). Bu çalışmada ise daha yüksek referans değeri elde edilmiştir (1084 mg/kg). Canca sahası topraklarında ise Mn değerleri 24 ile 2745 mg/kg gibi oldukça geniş aralıkta bulunmaktadır. Bölgedeki kayalarda yoğun olarak rastlanan Mn sıvımları bölgedeki kayalarda yüksek Mn değerlerinin varlığına işaretler. Bununla birlikte saha topraklarına ait Mn elementinin medyan (525.57 ppm) ve geometrik ortalama (497.08 ppm) değerlerinin referans değerlerinin (770 ppm) altında kaldığı görülmüştür (Tablo 2). Bunda sahadaki günlenmenin etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Demir (Fe) elementi litosferin ana unsurlarından olup, mafik magmatik kayaların neredeyse % 5'ini oluşturmaktadır. Karasal ortamlarda demirin jeokimyası çok karmaşıktır. Davranışlarını ortamın pH'sı doğrudan etkilemektedir. Oksitler ve hidroksitler şeklinde çökelişi yaygın olup, toprakta çoğunlukla da oksit ve hidroksitler şeklinde ya parçacıklar şeklinde veya diğer minerallerin yüzeyini kaplamış olarak bulunmaktadır. Topraklardaki demir içerikleri dikkate alındığında bazı örnek alım noktalarında 11.44 % değerlere kadar ulaştığı görülmektedir. Fe için medyan ve geometrik ortalama değerlerin (sırasıyla %4.56 ve %4.40) üst kabuk değerine (%3.53) göre yüksek olduğu, dolayısıyla sahanın demir açısından bir miktar zenginleşmiş olduğu görülmüştür.

Bizmut (Bi) yer kabuğunda yaklaşık ortalama 0.2 mg/kg konsantrasyona sahiptir (Kabata-Pendias, 2011). Topraktaki Bi içeriğine yönelik yapılmış çalışmalar sınırlı olup, topraktaki Bi'un kaynağının ana kayac olduğu kabul edilmektedir. Canca sahasında 40 örnek alım noktasında Bi dedeksiyon limiti üstünde tespit edilmiş olup, Rudnick ve Gao (2010) üst kabuk referans değerine (0.16 ppm) göre, sahadan ölçülen konsantrasyonlar oldukça yüksek olup, Sahadaki Bi'a ait gerek medyan gerekse geometrik ortalama değerlerinin üst kabuk referans değerlerini bir hayli aşmış olması dikkat çekicidir (Tablo 2). Canca sahasında ölçülen bu yüksek Bi konsantrasyonlarının, sahanın maruz kaldığı yoğun alterasyonu sebebiyle, yerli kayaktan ayrılarak toprakta meydana getirdiği zenginleşme kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir.

Skandiyum (Sc) elementi mafik kayalarda ve killi sedimentlerde nispeten daha yüksek konsantrasyonlara sahipken, kumtaşı ve kireçtaşlarında ise daha düşük konsantrasyonlarda ölçülmektedir. Sc genellikle demirli minerallerde, özellikle de biyotitlerde birlikte bulunur. Genel olarak topraklardaki Sc 0.5 ile 45 mg/kg arasında değişmektedir (Kabata-Pendias, 2011). Granitik ve volkanik kayalardan türemiş topraklarda Sc değerleri nispeten daha yüksek çıkmaktadır (Rollinson, 2014). Sc konsantrasyonunun topraktaki 5-10 mg/kg aralığındaki ortalamaları dikkat çekicidir (Kabata-Pendias, 2011). Çalışma sahasında Sc değerlerinin 2.7 ile 58.74 gibi geniş bir aralıkta değiştiği tespit edilmiş, olup, üst kabuk referans değeri (14 ppm) dikkate alındığında bu değerlerin ciddi manada yüksek olduğu görülmektedir. Saha için Sc'a ait eşik değerin 8 ppm olarak hesaplandığı göz önünde bulundurulduğunda Sc konsantrasyonlarının sahada dikkat çekici seviyede yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Vanadyum (V) daha çok mafik kayalarda ve şeyllerde daha yüksek konsantrasyonlara ulaşmaktadır (100-250 mg/kg). Jeokimyasal davranış özellikleri oksidasyon durumuna (+2, +3, ve +5) ve ortamın asiditesine bağlıdır. Dolayısıyla pH-Eh V elementinin jeokimyasal davranışlarında belirleyicidir. Kendi minerallerinden ziyade başka mineraller içinde Fe, Ti ve Al'un yerini alarak kristal yapıları içinde iz olarak bulunmaktadır. Günlenme sürecinde V'un hareketliliği bulunduğu minerale de bağlıdır ve sonunda kayac oluşturan mineralin kalıntısında veya adsorbe olarak veya, killerin veya Fe oksitlerin mineral yapılarında birleşik olarak bulunmaktadır. V'un topraktaki davranışları çok dikkat çekmemiştir. Yüksek V konsantrasyonları mafik kayalardan türemiş topraklarda 150-460 mg/kg arasında değişirken, turba topraklarda ise 5 ile 22 mg/kg arasında değişmektedir. Örneğin Çin referans topraklarında V değerinin 37-100 mg/kg arasında değiştiği belirtilmektedir (Kabata-Pendias, 2011). Canca sahasındaki V konsantrasyonları ise 3.24-352.98 mg/kg aralığında değişmekte olup, medyan değeri 120.37 mg/kg olarak bulunmuştur (Tablo 2). Üst kabuk referans değeri 97 mg/kg olarak kabul edildiğinde (Rudnick & Gao, 2010), ortalama V konsantrasyonlarının referans değerleri aştığı görülmektedir (Tablo 2). Sahadaki andezitik ve bazaltik kayaların ferromagnezyen minerallerce zengin olduğu düşünüldüğünde, yüksek V konsantrasyonlarının bu minerallerin hidrotermal alterasyonlara bağlı olarak bozulmasından kaynaklandığı öngörülmektedir.

Krom (Cr) elementi ultramafik ve mafik kayalarda daha yüksek olup, % olarak ifade edilebilen konsantrasyonlara ulaşmaktadır. Asit magmatik ve sedimanter kayalarda ise Cr konsantrasyonunun 5-10 mg/kg aralığında olduğu rapor edilmektedir (Kabata-Pendias, 2011). En yüksek Cr değerleri killi sedimentlerde dir. Cr'un topraktaki davranışları toprak pH'sı ile ve redox potansiyeli ile doğrudan ilişkili olup, topraktaki kromun kaynağı ana kayadır. Bu yüzden mafik ve volkanik kayalardan türemiş topraklarda daha yüksek konsantrasyonlarda Cr'a rastlanır. Kabata-Pendias (Kabata-Pendias, 2011). tarafından yapılan Polonya Podzols kumlu topraklarda Cr değeri ortalama 51 mg/kg olarak rapor edilmiştir. Çalışma sahasındaki topraklardaki Cr konsantrasyonları ise üst kabuk değerlerinin 1.5 katından daha yüksek ölçülmüştür. Bu manada üst kabuğa göre sahada Cr elementince bir zenginleşme söz konusudur (Tablo 2). Sahadaki yüksek Cr'un kaynağının ana kayaçta bol miktarda bulunan mafik minerallerin bozulması olduğu düşünülmektedir.

Kobalt (Co) siderofil bir elementtir ve oksijen ve sülfür afinitesi düşüktür. Ortamda daha çok Co^{2+} ve Co^{3+} olarak görülmektedir. Bu özelliği Fe'e benzerlik gösterir. Kökensele olarak ferromagnezyon minerallerle birlikteliği yaygındır ve demiroksit ve hidroksitlerde demirin yerini alabilmektedir (Hooda, 2010). Co toprakta Fe ve Mn oksitlerce güçlü tutulur. Mineral yüzeyler ve organik madde tarafından emilimleri, çinko (Zn) ve nikel (Ni)'ne benzer şekilde pH ile azalır. Ortamın asitliği kobaltın çözünürlüğünü artırmakta diğer katyonlar gibi kolayca yıkanabilmektedir (Sposito, 2008). Kayalarda Co ortalama konsantrasyonu 25 mg/kg civarında rapor edilmiştir (Hooda, 2010). Böyle olmakla birlikte kayaç türlerine göre de değişiklik göstermektedir. Asidik kayalarda 0.1-20 mg/kg iken ultramafiklerde ise 100-200 mg/kg aralığında değişim göstermektedir. Kayalarda Co^{2+} olarak bulunmakta ve Ferrno magnezyen minerallerde Fe ve Mg elementleriyle izomorfizma göstermektedir (Kabata-Pendias, 2011). Topraklardaki kobalt konsantrasyonları ortalama 10-15 mg/kg aralığında değişmektedir. Üst kabuk konsantrasyonu 17.30 mg/kg olup (Rudnick & Gao, 2010), Canca sahasında ise 0.88 ppm ile 49.98 ppm aralığında ölçülmüştür (Tablo 2). Her ne kadar bazı örnek alım noktalarında Co yüksek konsantrasyonlara ulaşmış olsa da ortalama değerleri (13.41 ve 12.39 mg/kg, sırasıyla medyan ve geometrik ortalama) üst kabuk değerlerine göre düşük kalmıştır (Tablo 2). Saha genelindeki yüksek konsantrasyonların alterasyon şiddeti ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Nikel (Ni) elementi +1, +2, +3 ve +4 oksidasyon koşullarında bulunur. Ni (II) toprakta geniş bir pH aralığı ve redoks koşullarında rastlanmaktadır (Hooda, 2010; Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Ni'in cevher olarak ana kaynağı lateritler olmakla birlikte magmatik sülfid yataklarında ise pentlandit mineralli şekilde görülmektedir. Kayalardaki ortalama Ni konsantrasyonu 75 mg/kg'dır (Hooda, 2010; Kabata-Pendias, 2011; McGrath, 1995). Bu değer bazaltik kayalarda 140 mg/kg iken granitik kayalarda ise 8 mg/kg olarak rapor edilmiştir (Kabata-Pendias, 2011). Ni de Cr gibi mafik ve ultra mafik kayalarda yüksek konsantrasyonlarda gözlenir. Dünya topraklarındaki ortalama değeri 20-40 mg/kg olarak verilmektedir. Bu değer bulunma aralığı olarak düşünüldüğünde ise 0.2-450 mg/kg gibi geniş bir aralık sunmaktadır (Kabata-Pendias, 2011). Canca sahasında Ni değerleri üst kabuk değerlerinin altında kalmıştır (0.43 ile 41.34 mg/kg aralığında, medyan değeri 10 mg/kg olup, üst kabuk konsantrasyonu 47.00 mg/kg'dır) (Tablo 2). Ni konsantrasyonlarının granitik kayalardaki ortalamasının nispeten düşük olduğu düşünüldüğünde ve sahada yüzeyleyen kayaların andezitik ve bazaltik kayalar olması nedeniyle saha topraklarında 41.34 mg/kg'a ulaşan Ni değerlerinin ana kayalardaki ferromagnezyen minerallerin hidrotermal alterasyona bağlı bozulması ile ilişkilendirilebilir.

Bakır (Cu) doğada +1 ve +2 oksidasyon koşullarında rastlanmakla birlikte en çok iki değerlikli (+2) katyonu bulunur, ancak Cu tek değerlikli katyonlar ve kompleks anyonlar şeklinde de oluşabilmektedir (Hooda, 2010). Cu litosferde bolluk olarak 26. sıradadır (ortalama 70 mg/kg). Üst kabuktaki konsantrasyonu ise 24-55 mg/kg aralığındadır, toprakta ise 13-24 mg/kg aralığında Cu konsantrasyonları rapor edilmektedir (Hooda, 2010). Bazik kayalarda bakır içeriği 30-160 mg/kg aralığında iken asidik kayalarda ise 4-30 mg/kg aralığında rapor edilmektedir (Hooda, 2010). Bakır toprakta kil minerallerince, demir ve manganez oksitlerce ve organik materyallerce güçlü şekilde absorbe olurlar. Canca sahası topraklarında Cu konsantrasyonları 2.00-314 mg/kg gibi geniş aralıkta ölçülmüşlerdir (Tablo 2). Bu değerler Rudnick ve Gao (2010) tarafından önerilen ortalama üst kabuk Cu değeri (28 mg/kg) ile kıyaslandığında sahada bazı örnek alım noktalarında bakır değerlerinin bu değeri çok aştığı, Cu'a ait ortalama değerleriyle de kıyaslandığında ise (Tablo 2) saha için yaklaşık 2 kat yüksek Cu konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Kurşun (Pb) elementi Pb(II) ve Pb(IV) oksidasyon koşullarında stabildir. Ancak çevre jeokimyası açısından değerlendirildiğinde Pb^{2+} değerlikli olan baskındır. Pb elementi ana çevre kirleticilerindedir. Genel olarak Pb kayaç ve topraklarda iz miktarda bulunur. Yüzeysel ortamlarda kurşunun doğal kaynağı jeolojik materyallerin günlenmesinden kaynaklıdır. Bununla birlikte atmosfere yayılımı ise volkanlardan, rüzgarla savrulan tozlardan, deniz üfleçlerinden, biyojenik malzeme ve orman yangınlarından kaynaklı olmaktadır. Kayaç türlerinde de Pb konsantrasyonu farklılık göstermektedir. Ultramafik kayalarda 1 mg/kg ortalama Pb konsantrasyonu söz konusu iken bazaltik kayalarda 6 mg/kg, granitik kayalarda ise 18 mg/kg ortalama değerler rapor edilmektedir (Hooda, 2010). Çalışma sahası topraklarında Pb konsantrasyonları homojen bir dağılım

göstermemektedir (7-857.57 mg/kg) (Tablo 2). Pb ortalama değeri ise (sırasıyla medyan ve geometrik ortalama) 52.72 - 55.84 mg/kg'dır. Bu değerler üst kabuk değerini hayli aşmaktadır.

Çinko (Zn), kadmiyum (Cd), ve civa (Hg) gibi 12. grup elementler içinde bulunur. Zn'nun ortalama kabuk içeriği 70 mg/kg rapor edilmektedir, bu değer dünya toprakları için de ortalama değer olarak önerilmektedir (Kabata-Pendias, 2011). Günlenme süreçlerinde mobildir ve kolay çözünürlüğü bileşikleri karbonatlarda kolayca çökelebilmektedir. Çinko elementi bakır ve molibden gibi bitki ve hayvanlar için temel elementlerdendir. Doğada rastlanan yaygın Zn mineralleri sfalerit, wurzit, simitsonit gibi minerallerdir (Kabata-Pendias, 2011). Topraktaki çinko içerikleri köken kayalarından ziyade diğer pedojenik faktörlerce de kontrol edilmektedir (Hooda, 2010). Silisli asidik kayalardan türeyen topraklar Zn elementince fakirken, bazik magmatik kayalar, kireçtaşları ise nispeten daha yüksek Zn içeriği gösterir. Avrupa ülkelerindeki toprakların çinko içerikleri 7-89 mg/kg aralığındadır. Canca sahası topraklarında Zn konsantrasyonları 2.1-394 mg/kg aralığında olup, sırasıyla 70 ve 63.29 mg/kg medyan ve geometrik ortalama değeri hesap edilmiştir. Sahada Zn konsantrasyonları yer yer ortalama toprak değerlerini aşmış olmakla birlikte ortalama değerler açısından üst kabuk değerinden düşük kalmaktadır. Bu değerler yine de Avrupa topraklarının ortalama üst sınırına yakın değerlerde olduğu da görülmektedir. Genel toprak özellikleri düşünüldüğünde sahadaki yüksek Zn konsantrasyonlarının andezitik ve bazik kayaların hidrotermal alterasyona bağlı bozuşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kadmium (Cd) insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri bilinen elementlerin başında gelir ve en ekotoksik elementlerdendir. Dünya kabuğundaki ortalaması 0.1 mg/kg'dır. Cd elementi Zn ve Pb elementi ile birlikteliği yaygındır. Bu manada sfalerit içinde, ayrıca biyotit ve amfibollerde de, özellikle de simitsonit mineraline rastlanır. İyonik yapısı ve elektronegativitesi Zn'ya benzediği için Zn ile ortak kimyasal özellikler sergilerler. Dünya ortalama toprak kadmiyum içeriği 0.41 mg/kg olarak tahmin edilmektedir. Canca sahasında ise kadmiyum konsantrasyonu 0.01 ile 2.90 mg/kg aralığında olup, medyan değeri 0.22, geometrik ortalaması ise 0.20 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu değerler Rudnick ve Gao (2010) üst kabuk değerlerinden 2 kattan fazla bir zenginleşmeye karşılık gelmektedir (Tablo 2).

Arsenik (As) periyodik cetvelde 15 gruba olup, kalkofil elementlerdendir. Antimon (Sb) ile de birçok benzer biyojeokimyasal özellikler göstermektedir. Toprakta ve sucul ortamlarda inorganik As çoğunlukla oksidasyon durumlarında iki halde (+3 ve +5) bulunur (Hooda, 2010). As ilksel olarak, özellikle de alkali topraklarda, oksik koşullarda anyonlar, arsenat (As(V)), indirgen koşullarda ise arsenit (As(III)) şeklinde bulunurlar (Huang & Matzner, 2007). As elementi, Fe ve Al oksitlerle çözünmeyen bileşikler oluşturabilir, kil mineralleri üzerindeki organik madde veya hidroksil gruplarına adsorbe olabilir ve bu bölgelerden de fosfatlı gübreler tarafından desorbe edilebilir (Huang & Matzner, 2007). Toprak ve su ortamlarındaki As ve Sb, yerli kaynaklardan (örneğin mineral ayrışması) ve antropojenik girdilerden kaynaklanır. Kirlenmemiş topraklardaki ortalama toplam arsenik içeriği yaklaşık 5 mg/kg olarak rapor edilmiştir (Hooda, 2010; Kabata-Pendias, 2011). Volkanik topraklarda bu miktar 20 mg/kg'a kadar çıkabilmektedir. Canca sahasında arsenik konsantrasyonu 4-199.50 mg/kg gibi geniş aralıkta değişmektedir. Saha için medyan değeri 29.06, geometrik ortalaması ise 28.92 mg/kg olarak tespit edilmiş olup, volkanik kayalardan türemiş topraklardaki ortalama değeri aşmaktadır. Arsenik için üst kabuk referans değeri dikkate alındığında ise (4.80 mg/kg), sahadaki toprakların ortalama içeriğin neredeyse 5 kat daha fazladır. Saha için hesaplanmış referans değer baz alındığında ise (1.30 mg/kg) sahadaki arsenik değerinin dikkat çekici derece yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 2). Sahanın yoğun alterasyonla bağlı olarak kil içeriklerinin ve hidroksil içeriğinin fazlalığı düşünüldüğünde As konsantrasyonlarının yüksekliği beklenen bir durum olarak görülmektedir.

Selenyum (Se) periyodik tablonun 7. grubu içindedir. Elementel olarak doğada az rastlanır. Selenyum elementinin eksiklik ve toksisite aralığı ise oldukça dardır. Kimyasal olarak tellürüyum ve sülfür elementlerine de çok benzerlik göstermektedir. Redoks koşullarına duyarlıdır ve ortamlarda değişik oksidasyon durumlarında rastlanır (-2 den +6'ya). Se topraklarda az aranda bulunur (<10 mg/kg), 1 mg/kg'dan yüksek konsantrasyonlardaki topraklar selenyumlu topraklar olarak adlandırılır. Topraktaki selenyum içerikleri ana kayaç ve ortamın su rejimi ile yakın ilişki göstermektedir. Düşük konsantrasyonlar, granit gibi magmatik kayalardan türemiş genellikle aşırı günlenmiş asidik topraklardadır. Topraklardaki Se konsantrasyonu geniş bir aralıkta rastlanmaktadır (<0.005 ile >20 mg/kg). Çoğu tarım topraklarında ise ortalama 0.2 mg/kg'dır. Yüzey topraklarında ise ortalama 0.33 mg/kg olarak rapor edilmiştir (Hooda, 2010). Canca sahasında Se değeri 0.06 ile 24.01 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Medyan ve ortalama değeri ise sırasıyla 2.03 ve 1.98 mg/kg'dır. Bu değerler dünya yüzey topraklarına yakın değerler olup, Rudnick ve Gao (2010) tarafından önerilen üst kabuk değerine göre (0.09) ve bölge referans değerine göre (1.35 mg/kg) yüksek olarak tespit edilmiştir. Yüksek değerler özellikle yoğun fillik alterasyonların olduğu kesimlere denk gelmektedir. Bu ise Se zenginleşmesinde hidrotermal alterasyon etkin olduğunu göstermektedir.

Stronsiyum (Sr) yer kabuğunda nispeten yaygın rastlanan bir elementtir. Sr kalsiyumla kimyasal ve jeokimyasal benzerlikler sunar (Hooda, 2010; Kabata-Pendias, 2011). Mg ile benzerliği Ca'a nispeten daha düşüktür. Yer kabuğundaki içeriği 260 ile 370 mg/kg aralığındadır. Çoğunlukla da mafik magmatik kayalar ve kalkerli sedimentlerde daha yüksek konsantrasyonlardadır. Killer stronsiyumu geniş bir absorbe kapasitesine sahiptir. Jeolojik Sr oluşumları çoğunlukla kalkerli kayalar ve sülfürlü maden yatakları ile ilişkilidir. Dünya topraklarındaki Sr referans değeri 130-240 mg/kg olarak rapor edilmektedir (Hooda, 2010; Kabata-Pendias, 2011). Günlenme süreçlerinde, özellikle de okside asidik ortamlarda, Sr kolayca hareketlenmektedir. Ca/Sr oranı biyosferde genellikle stabildir ve bu oran 8'den düşük ise muhtemel Sr toksisitesini gösterir. Canca hidrotermal alterasyon sahası topraklarındaki Sr konsantrasyonu 79.16 ile 2174.34 mg/kg aralığında değişmekte olup, medyan ve geometrik ortalama değerleri 342.46 ve 353.08 mg/kg'dır. Üst kabuk değerine göre (320 mg/kg) Sr değerleri yüksek olup, bölgenin referans değerine göre (502.5 mg/kg) ise düşüktür. Ancak sahanın geneli dikkate alındığında ise bazı örnek alım noktalarının Sr içeriğinin bölgenin referans değerlerini de aştığı görülmektedir (Tablo 2). Sahadaki Sr konsantrasyonunun kaynağının ana kayalardaki feldispat minerallerinin bozuşması olarak görülmüştür ki bu da Sr konsantrasyon artışında hidrotermal alterasyonun etkisine işaret etmektedir.

Molibden (Mo), gümüş (Ag), talyum (Tl) ve vanadyum (V) elementleri gibi potansiyel toksik özellik gösteren elementlerdendir. Bununla birlikte bitki ve hayvanların büyümesi ve gelişimi için de esas elementlerin içindedir. Mo baskın olarak Mo (VI) olarak bulunur fakat oksidasyon durumunda Mo (IV) olarak görülür. Molibden feldispatlarda ve ferromagnezyen minerallerde rastlanır, Fe³⁺, Ti⁴⁺ ve Al³⁺'ün yerini alması, hatta Si⁴⁺'ün yerini alması olasıdır (Hooda, 2010). Topraklardaki Mo konsantrasyonu 0.013 ile 17.0 mg/kg aralığında gözlenmekte olup, toprak ortalaması ise 1.8 mg/kg'dır (Kabata-Pendias, 2011). Çalışma sahasında Mo konsantrasyonları 0.04 ile 37.00 mg/kg aralığında olup, medyan ve geometrik ortalaması ise sırasıyla 2.63 ve 2.35 mg/kg'dır. Bu değerler üst kabuk (1.10 mg/kg) ve bölgesel referans değerini (1.35 mg/kg) hayli aşmaktadır (Tablo 2). Yüksek Mo konsantrasyonlarının bazaltik, andezitik kayalardaki feldispat ve ferromagnezyen minerallerin hidrotermal alterasyon süreçlerine ile bozuşmasına bağlanmıştır.

Antimon (Sb) kalkofil elementlerden olup, arsenik gibi periyodik tabloda 15. Grup içindedir. Düşük sıcaklıklı ortamlarda en yaygın oksidasyon durumları +5 ve +3'tür. Jeotermal ortamlarda ise antimon, altın ve sülfür ile birliktelik gösterir. Topraklardaki ortalama Sb konsantrasyonu yaklaşık 1 µg/kg rapor edilmiştir (Hooda, 2010) ancak yaygın kabul ise 0.25 ile 1.04 mg/kg aralığı çoğu topraklar için geçerli olup, ortalama konsantrasyon ise 0.67 mg/kg'dır (Kabata-Pendias, 2011). Jeolojik ortamlar için Sb'a yönelik çalışmalar çok fazla olmayıp, son zamanlarda bu tür çalışmalarda artış görülmektedir (Sungur et al., 2020; Vural et al., 2020). Yer kabuğu için verilen Sb ortalama değeri 0.2 mg/kg'dır (Kabata-Pendias, 2011). Sb arsenikle olduğu gibi Bi ile de bir miktar kimyasal davranış benzerliği gösterir. Genellikle +3 yüklü olmakla birlikte az da olsa +5 değerlikli Sb da görülmektedir ve antimon amfoterik bir davranış gösterir. Sb'un reaksiyonları günlenme süreçlerinde yeterince bilinmemekle birlikte, genellikle çözülebilir formlarda oluşurlar. Sb kolaylıkla absorbe olabilir bu yüzden de killi sedimentlerde ve sulu oksitlerde zenginleşme eğilimi yüksektir. Çalışma sahasındaki toprakların Sb konsantrasyonları ise 0.59 ile 49.29 mg/kg aralığında olup, medyan ve geometrik ortalama değerleri sırasıyla 4.27 ve 4.55 mg/kg'dır. Bu ortalama değerler üst kabuk değerine (0.4 mg/kg) göre 10 kattan fazla bir zenginleşme anlamına gelmektedir (Tablo 2). Sb elementinin genel jeokimyasal özellikleri düşünüldüğünde sahadaki yüksek Sb konsantrasyonunun doğrudan alterasyon ile ilişkili olduğu söylenebilir.

Baryum (Ba) yaygın ve oldukça bol rastlanan bir element olup, yer kabuğundaki ortalama içeriği 400 mg/kg, üst kıta kabuğunda ise 250 ila 584 mg/kg arasında değiştiği rapor edilmiştir (Hooda, 2010; Kabata-Pendias, 2011). Ba litofil yatkinliğe sahiptir ve asid magmatik ve sedimanter kayalarda bol olarak rastlanmakta olup, bunlardaki konsantrasyon aralığı 50-1200 mg/kg'dır. İyonik yarıçapının yakınlığı nedeniyle jeokimyasal süreçlerde K ile benzerlikler sunar. Günlenme esnasında mobil değildir, çünkü sülfat ve karbonatlarla kolaylıkla çökelir ve killerce kolayca absorbe edilme özelliğine sahiptir. Topraklarda 10 ile 1500 mg/kg aralığında olup, organiklerde en düşük, tınlı topraklarda ise en yüksektir. Topraklarda ortalama aralığı 362-580 mg/kg'dır (Kabata-Pendias, 2011). Canca sahasında 251 ile 3488 mg/kg aralığında değişen konsantrasyonlarda Ba'a rastlanmıştır. Ba'un medyan ve geometrik ortalamaları ise sırasıyla 664.95 ve 714.15 mg/kg'dır. Bu değerler toprak ortalamalarının üstündedir ve üst kabuk konsantrasyonunu da aşmaktadır. Medyan ve geometrik ortalama değerlerinin bölgesel referans değerini de aştığı görülmektedir.

Civa (Hg) periyodik tabloda 12. grupta Zn ve Cd ile birlikte yer alır. Hg bitki ve hayvanlar için temel elementlerden olmayıp, toksik bir elementtir. Doğal ortamlarda saf metalik Hg yanında gaz ve katı hallerde, +2 değerlikli (Hg⁺² ve Hg₂⁺² şeklinde) olarak görülmektedir. Hg aynı zamanda kayalarda iz miktarda bulunmaktadır (genellikle <0.05 mg/kg). Civanın antropojenik faaliyet kaynaklı yaygın yayılımı, civanın küresel biyojeokimyasal döngüsü üzerine eder (Mason et al., 1994). Ana civa minerali olan zinobar, yüksek oranda çözünmezdir; toprak bileşenlerini emmeye yönelik güçlü eğilim ile birlikte, bu, civanın topraklarda nispeten hareketsiz olmasına

neden olur (Kabata-Pendias, 2011). Civanın topraktaki kimyasal davranışı pH, Eh ve organik madde tarafından kontrol edilmektedir. Örneğin asidik pH ve Eh'in 0.4 V'tan büyük olduğu durumlarda stabil formda bulunur. Bununla birlikte serbest civa toprakta aşırı mobil durumdadır. Canca sahasında civa konsantrasyonları 1.25 ile 91.90 µg/kg aralığında ve sırasıyla 21.20 ve 19.60 µg/kg medyan ve geometrik ortalamaya sahiptir. Üst kabuk değeri (0.05-0.07 mg/kg) (Hooda, 2010; Kabata-Pendias, 2011) ile kıyaslandığında sahadaki Hg konsantrasyonların aşırı yüksek olduğu görülmektedir. Dünya topraklarındaki 0.58-1.8 mg/kg değerleri (ortalama 1.1 µg/kg) ((Kabata-Pendias, 2011) dikkate alındığında da sahadaki örnek alım noktalarının yüksek Hg konsantrasyonlarına sahip olduğu görülmektedir (Tablo 2).

Kalay (Sn) periyodik tabloda karbon (C), silis (Si), germanyum (Ge) ve Pb ile birlikte 14. grupta yer alır. Doğada +2 ve +4 oksidasyon durumlarında bulunur ve ikisi de stabildir. +2 değerlikli olan metalik, +4 değerlikli olan ise amfoterik özellikler göstermektedir. Sn hem bitki hem de hayvanlar için esas elementlerden değildir ve toksiktir. Minerallerde iz miktarda bulunur ve daha yüksek konsantrasyonlar belli cevher mineralleri içindedir. Silikatlarda az bulunması nedeniyle ortalama kabuk konsantrasyonu yaklaşık 2-2.5 mg/kg'dır (Hooda, 2010; Kabata-Pendias, 2011). Kayaçların bazik-asit türlerinde önemli bir konsantrasyon farklılığı görülmemektedir. Sadece killi sedimentlerde 6-10 mg/kg konsantrasyonlarda görülür ki bu da kalayın siderofil olarak kabulünü gerektirir. Hareketliliği pH'la kontrol edilmekle birlikte, günlenmeye karşı dirençlidir. Hareketsiz karakterde olduğu için toprakta zenginleşme eğilimi hakimdir, özellikle de Fe- ve Al- 'ca zengin yoğun günlenmenin olduğu topraklarda (Hooda, 2010). Topraklardaki ortalama konsantrasyonu kabuk değerlerine yakın olup, 2.5 mg/kg'dır. Canca sahasında Sn konsantrasyonları 0.52 ile 16.30 mg/kg aralığında ölçülmüş olup, sırasıyla 1.25 ve 1.31 mg/kg medyan ve geometrik ortalamaya sahiptir. Çalışma sahasında yer yer toprak ve üst kabuk değerlerini geçen konsantrasyonlarda Sn tespit edilmiş olsa da bölgedeki örnek alım noktalarındaki kalay konsantrasyonlarının ortalaması (medyan ve/veya geometrik ortalama) topraktaki ortalama değerlerin altında kalmaktadır. Bölgesel referans değerine göre ise yakın değerdedir (Tablo 2).

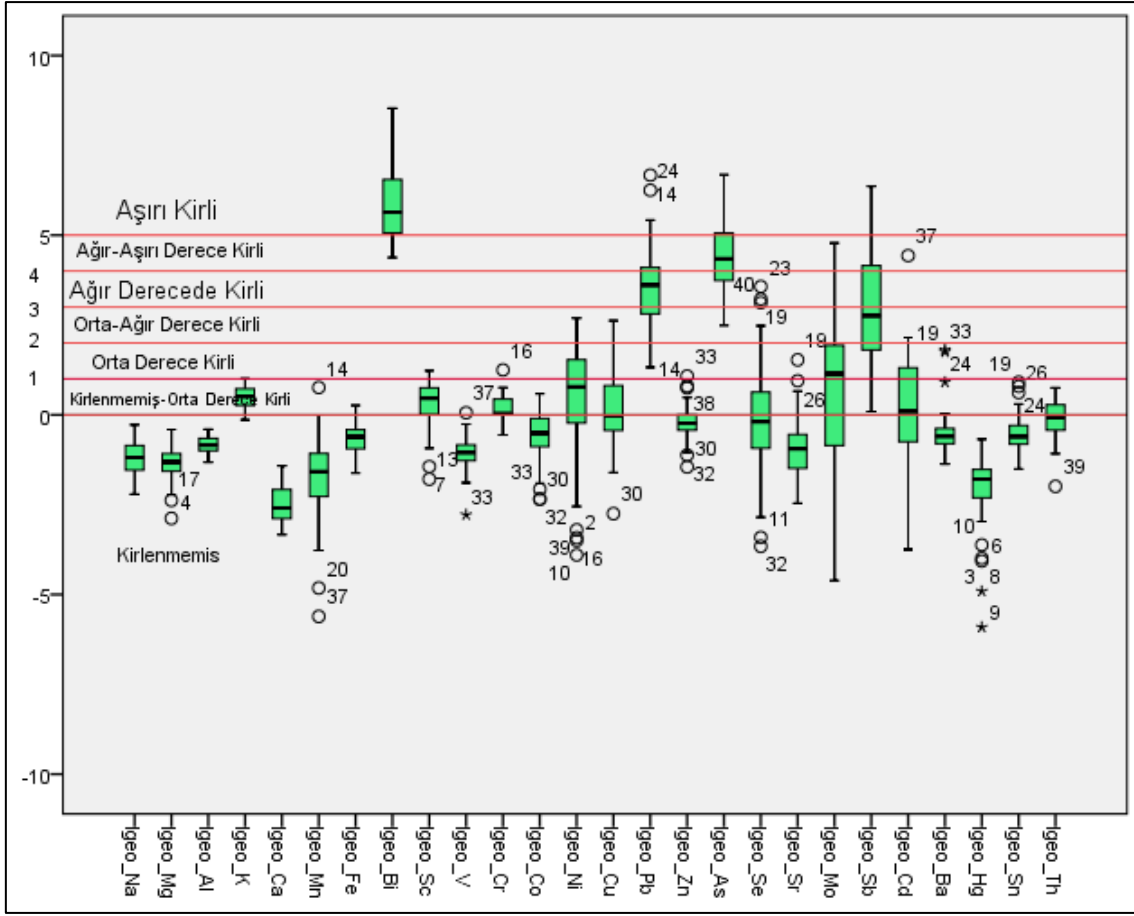
Toryum (Th) elementinin kirlenmemiş topraklardaki konsantrasyonu 8.1-11 mg/kg aralığında olarak rapor edilmiştir (Kabata-Pendias, 2011). Toryumun hareketliliği günlenme sırasında önemli oranda içinde bulunduğu minerale bağlıdır. Hareketlendiğinde çabucak hidrozilatlar olarak çökeler ve absorbe olur ve organik kompleksler ve oksitler, karbonatlar, fosfatlar, vanatlar ve arsenatlar gibi değişik stabil bileşikler oluşturur. Oksijen lijanları ile (diğer aktinidler gibi) kolayca güçlü kompleksler oluştururlar, böylece onun OH⁻, CO²⁻₃, HPO²⁻₄ gibi inorganik lijan türleri ile kolayca değişik ortam koşullarında ortaya çıkması olağandır. Th, Eh-pH sistemi tarafından güçlü şekilde kontrol edilmektedir. Canca sahası Th konsantrasyonları 1.27 ile 17.47 mg/kg aralığında değişmekte olup, medyan ve geometrik ortalama değeri sırasıyla 6.90 ve 6.64 mg/kg'dır. Üst kabuk değeri ile kıyaslandığında her ne kadar bazı örnek alım noktalarında bu değer aşılmış olsa da medyan ve ortalama değerlerinin üst kabuk değerinin altında olduğu görülmüştür. Bölgesel referans değeri ile kıyaslandığında ise medyan ve geometrik ortalama değerlerinin bölgesel referans değerini aştığı görülmektedir (Tablo 2).

3.2. Sahanın kirlilik parametreleri ile değerlendirilmesi

Canca sahası topraklarında element konsantrasyonlarına ait hesaplanan I_{geo} parametreleri dikkate alındığında Na, Mg, Al, Ca, Mn, Fe, V, Co, Zn, Sr, Ba, Hg, Sn elementlerince sahanın genelinde kirlilik olmadığı görülmektedir (I_{geo}≤0, sınıf 1) (Şekil 3). K, Sc, Cr ve Th elementlerinin I_{geo} parametresine göre, kirlenmemiş-orta derece kirli sınıfına düştüğü (I_{geo}≤0 ve 0<I_{geo}<1), sadece bazı örnek alım noktalarında ise orta kirli sınıfında olduğu (1<I_{geo}<2, sınıf 2) tespit edilmiştir. Saha elementler bazında I_{geo} parametresi açısından değerlendirildiğinde; Al'ca 38, K'ca 58, Fe'ce 27 ve Zn'ca 26 örnek alım noktasında orta derecede kirlilik olduğu, Cr açısından 74 örnek alım noktasının orta derece kirli, 4 örnek alım noktasında ise yüksek derecede kirli sınıfında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3) Mn elementi açısından saha ele alındığında ise 48 örnek alım noktasında orta derecede, 76 örnek alım noktasında yüksek derecede kirlilik olduğu görülmüştür.

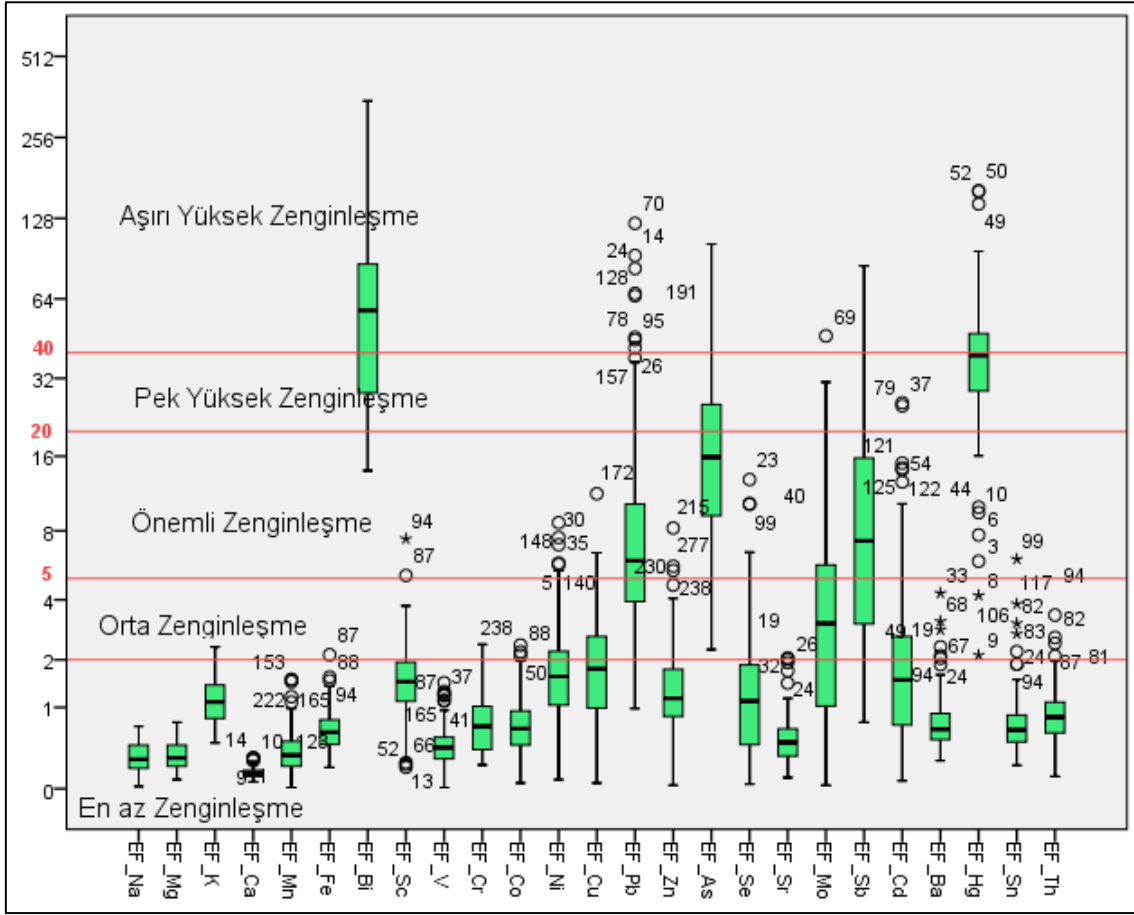
Saha Co açısından I_{geo} parametresi ile değerlendirildiğinde 66 örnek alım noktasının orta derece kirlilik sınıfında olduğu ve 12 örnek alım noktasında ise yüksek derecede kirliliğin olduğu tespit edilmiştir. Mo elementi açısından I_{geo} parametresi ile yapılan değerlendirme ise sahada 52 örnek alım noktasının orta derecede kirli, 81 örnek alım noktasının ise yüksek derecede kirli sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Cu açısından ise saha 56 örnek alım noktasında orta derecede kirli, 32 örnek alım noktasında ise yüksek derecede kirli sınıfına düşmektedir. Pb elementi için I_{geo} parametresi açısından saha değerlendirildiğinde, 37 örnek alım noktasının orta derecede kirliliğe sahip olduğu, 1 örnek alım noktasının ise yüksek derecede kirlilik sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Arsenik açısından saha değerlendirildiğinde I_{geo} parametresi ile değerlendirildiğinde 19 örnek alım noktası orta derecede kirli sınıfına düşerken, 123 örnek alım noktasının ise yüksek derecede kirliliğe sahip görülmüştür. Canca sahası Cd açısından ise 14 örnek alım noktasının orta derecede kirli, 126 örnek alım noktasının ise yüksek derecede kirli sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Bi elementlerinin I_{geo} değerleri dikkate alındığında, sahada dedeksiyon limitinin üstünde tespit edilen 40 örnek alım noktasından 6 örnek alım noktasının ağır-aşırı kirli

sınıfında yer aldığı, kalan örnek alım noktalarının ise aşırı kirli sınıfa düştüğü tespit edilmiştir. Kutu diyagramında da Bi elementinin ağır-aşırı kirli, aşırı kirli sınıfa düştüğü görülmektedir (Şekil 3).



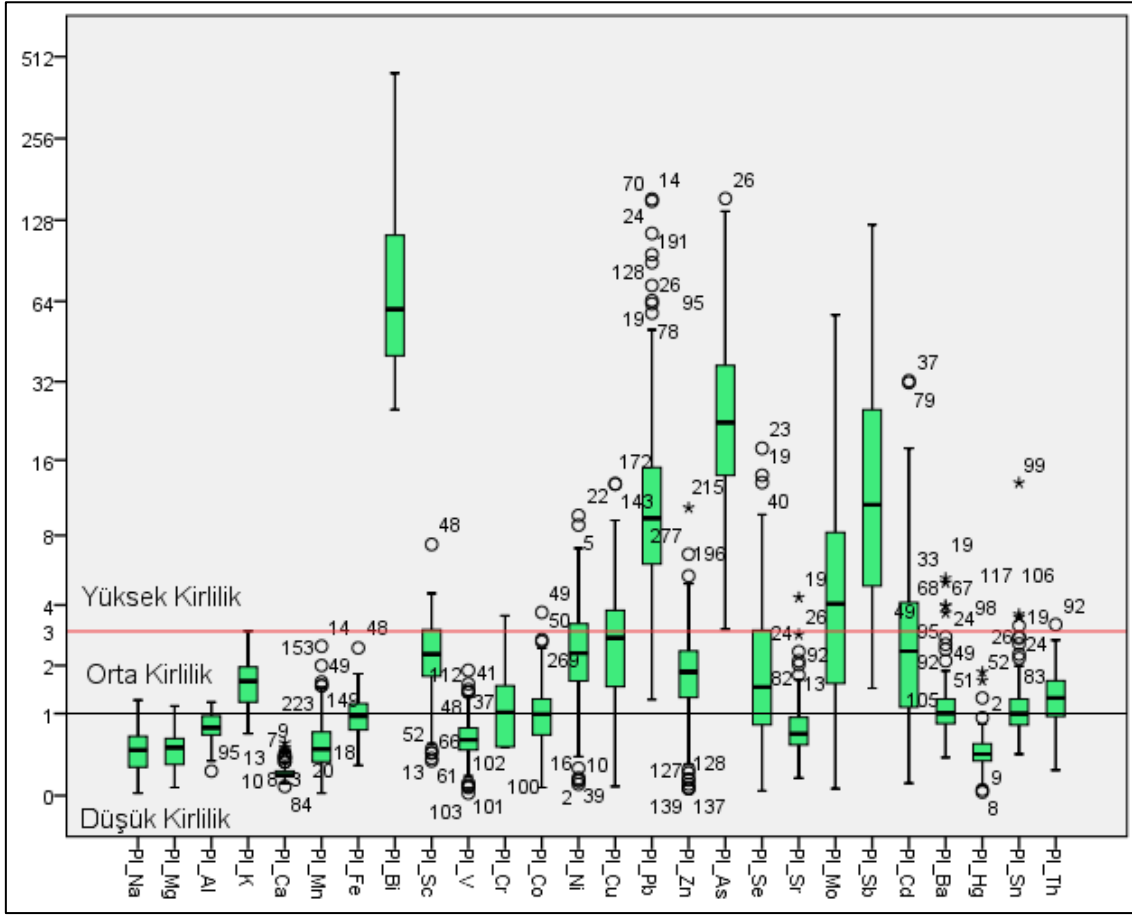
Şekil 3. İncelenen elementler için Canca sahası I_{geo} parametrelerine ait kutu diyagramları (kırmızı çizgiler kirlilik sınıflarını ayırmaktadır).

Saha Zenginleşme Faktörü (EF) açısından incelendiğinde; Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, V, Sc, Cr, Co, Zn, Sr, Ba, Sn, Th elementlerince sahada çok az bir zenginleşmenin olduğu tespit edilmiş olup, K, Fe, Sc, Cr, Co, Zn, Se, Ba, Sn, Th elementlerinin ise bazı örnek alım noktalarında Orta Zenginleşmiş sınıfa, çok çok az bir kısmının ise Önemli Zenginleşme sınıfına düştükleri tespit edilmiştir. Bi elementinin EF parametresine göre ağırlıklı olarak Aşırı Yüksek Zenginleşme Sınıfında olduğu, bir kısmının ise Pek Yüksek Zenginleşme Sınıfı içinde kaldığı görülmüştür. Ni, Cu elementinin EF'ye göre zenginleşmeleri, En Az Zenginleşme ve Önemli Zenginleşme Sınıf aralığı içinde yer aldığı görülmüştür. Pb, As ve Hg elementlerinin EF'ye göre çoğunlukla Orta Zenginleşme ile Pek Yüksek Zenginleşme Sınıf aralığı içinde olduğu, az sayıda örnek alım noktasının ise Aşırı Yüksek Zenginleşme Sınıfı içine düştüğü görülmüştür. Sb elementinin sahada EF açısından tüm sınıflara karşılık gelen örnek alım noktalarına sahip olduğu görülmüş olup, örnek alım noktalarının çoğunluğunun Orta Zenginleşme ve Önemli Zenginleşme Sınıfı içinde yer almaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. İncelenen elementler için Canca sahası EF parametrelerine ait kutu diyagramları (kırmızı çizgiler zenginleşme sınıflarını ayırmaktadır).

Saha kirlilik indeksi PI açısından değerlendirildiğinde; Na, Mg, Al, Ca, Mn, V, Sr ve Hg elementlerince çoğu örnek alım noktası için Düşük Kirlilik Sınıfı'na düştüğü, çok az örnek alım noktasında ise Orta Kirlilik Sınıfı içinde olduğu tespit edilmiştir. Hg bu manada bir değişkenlik göstermekte az sayıda da olsa bazı örnek alım noktaları Yüksek Kirlilik Sınıfı içinde yer almaktadır. Sahadaki örnek alım noktalarının çoğunluğunda K, Sc, Zn ve Th elementlerince Orta Kirlilik Sınıfı içinde yer aldığı ancak bazı örnek alım noktalarının ise Düşük ve Yüksek Kirlilik Sınıflarında olduğu tespit edilmiştir. Cr, Co, Ba ve Sn elementlerinin çoğunluklu olarak Düşük ve Orta Kirlilik Sınıfı içinde olduğu tespit edilmiştir. Sahadaki örnek alım noktaları için Ni, Cu, Mo ve Cd elementlerinin ise çoğunluklu olarak Orta ve Yüksek Kirlilik Sınıfı içinde olduğu tespit edilmiştir. Bi, Pb, As ve Sb elementlerinin ise Yüksek Kirlilik Sınıfı içinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. İncelenen elementler için Canca sahası PI parametrelerine ait kutu diyagramları (kırmızı çizgiler kirlilik sınıflarını ayırmaktadır).

Sahadaki her bir örnek alım noktası için tüm elementlerin kirlilik indekslerin (PI) geometrik ortalaması alınarak her bir noktanın Birleştirilmiş Kirlilik İndeksi hesaplanmaktadır. Çalışma sahası için IPI hesaplanmasında birbirine yakın örnek alım noktaları bir nokta olarak kabul edilerek hesaplama yapılmıştır. Bu şekilde toplam inceleme noktası 150 adet olarak belirlenmiş ve hesaplama bu 150 nokta için yapılmıştır.

IPI hesaplamasında her bir örnek alım noktası için major elementler dahil edilerek (Na, Mg, Al, K ve Ca) ve hariç tutularak iki ayrı IPI (sırasıyla IPI_m ve IPI_e) parametresi hesap edilmiştir. Major elementlerin dahil edildiğindeki örnek alım noktalarının IPI_m parametreleri, major elementsiz hesap edilen IPI_e 'lere göre nispeten daha düşük çıkmıştır. Major elementler dikkate alınarak hesaplanan IPI_m değerleri dikkate alındığında Canca sahasına ait örnek alım noktalarının 10 tanesinin Düşük Kirlilik Sınıfında olduğu, 106 örnek alım noktasının Orta Kirlilik Sınıfında ve 34 örnek alım noktasının ise Yüksek Kirlilik Sınıfında olduğu tespit edilmiştir. IPI_e parametresi dikkate alındığında ise sadece 3 örnek alım noktasının Düşük Kirlilik sınıfında olduğu, 69 örnek alım noktasının Orta Kirlilik Sınıfında olduğu, sahanın ekserisinin ise (79 örnek alım noktası) Yüksek Kirlilik Sınıfına düştüğü görülmüştür.

4. Sonuçlar

Yoğun hidrotermal alterasyon gelişimin olduğu Canca (Gümüşhane-Türkiye) sahası gömülü maden yatakları için potansiyel bir arama sahası olmasının yanı sıra, hidrotermal alterasyona bağlı olarak element zenginleşmesinin de olması beklenen bir sahadır. Sahayla ilgili maden arama çalışmalarının yanı sıra, bu element zenginleşmelerinin çevresel bir risk oluşturup oluşturmadığı bu çalışmayla I_{geo} , EF, PI ve IPI gibi değişik kirlilik parametreleri ile araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda genel manada değerlendirildiğinde major elementlerden Na, Mg, Al ve Ca elementlerinin konsantrasyonlarının yerel ve bölgesel referans değerlerine yakın seviye olduğu, K elementinin ise bahse konu referans değerlerini aştığı görülmüştür. Saha iz element ve ağır metaller açısından değerlendirildiğinde ise Fe, Bi, V, Cr, Cu, Pb, Cd, As, Sr, Sb, Ba, Hg ve Th elementlerinin ortalama değerlerinin referans değerlerini değişen oranlarda aştığı tespit edilmiştir. Sahaya ait element içerikleri kirlilik parametreleri açısından irdelendiğinde; Al, Th, Fe, Zn, Cr, Mn, Co, Mo, Cu, Bi ve Pb elementlerinin I_{geo} parametresine göre bazı örnek alım noktalarında Orta Derece Kirli ile Ağır Aşırı Derece Kirli sınıfları içinde değişik oranlarda kirlilik derecesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Saha EF parametresine göre değerlendirildiğinde ise K, Fe, Sc, Cr, Co,

Zn, Se, Ba, Sn ve Th elementlerince sahadaki örnek alım noktalarının ağırlıklı olarak Orta Zenginleşme ve Önemli Zenginleşme Sınıfı içinde oldukları tespit edilmiştir. Pb, As, Sb, Bi ve Hg elementlerince ise Orta Zenginleşme ile Aşırı Zenginleşme Sınıfı aralığında bir zenginleşme tespit edilmiştir. PI parametresine göre ise K ve iz elementlerin çoğunluğun değişen miktarlarda Orta ve Yüksek Kirlilik Sınıfı içine düştüğü tespit edilmiştir. Tüm bu veriler birlikte değerlendirildiğinde (IPI parametresine göre) sahanın özellikle iz ve ağır metaller açısından kirlilik riski taşıdığı tespit edilmiştir. Canca hidrotermal alterasyon sahasının konumu, yerleşim alanlarına yakınlığı ve bölgenin önemli derelerinden biri olan Harsit Çayı'na yakınlığı da dikkate alındığında sahaya ait element kirliliği riski bağlamında çevresel amaçlı detaylı çalışmaların yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Programı kapsamında desteklenmiştir (Proje No:113Y569). Yazar arazi çalışmaları sırasındaki katkılarından dolayı Sebahattin GÜNER'e (MTA Genel Müdürlüğü) ve arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasındaki yardımlarından dolayı stajyer öğrencileri Şükrü BULUT, Emre TOPÇU ve Mert KARAASLAN'a ve analizlerin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Prof.Dr. Ali GÜNDOĞDU'ya teşekkür eder. Yazar, ayrıca makalenin değerlendirilme sürecindeki katkılarından dolayı dergi editörü Canan AKSOY'a ve anonim hakemlere de teşekkür eder.

Yazar Katkı Oranları

Çalışma makalenin yazarı tarafından yürütücülüğü gerçekleştirilen Tübitak 1002 Hızlı Destek Programı kapsamında elde edilen verilerden üretilmiştir. Verilerin elde edilmesinde ve makaleye hazırlanmasında Yazar Alaaddin VURAL katkı vermiştir.

Çıkar Çatışması

Yazar(lar), bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

Kaynakça

- [1] Arslan, M., & Aliyazicioglu, I. (2001). Geochemical and petrological characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: implications for the Eocene evolution of eastern Pontide arc volcanism, northeast Turkey. *International Geology Review*, 43(7), 595-610. <https://doi.org/10.1080/0020681010946503>
- [2] Buat-Menard, P., & Chesselet, R. (1979). Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and planetary science letters*, 42(3), 399-411.
- [3] Chen, T. B., Zheng, Y. M., Lei, M., Huang, Z. C., Wu, H. T., Chen, H., ... & Tian, Q. Z. (2005). Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 60(4), 542-551. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.072>
- [4] Çiftçi, A., Vural, A., & URAL, M. N. (2021). Analysis of some concepts related to the environment and health with the N-gram method. *Journal of International Health Sciences and Management*, 7(13), 47-54. <https://doi.org/10.48121/jihsam.796465>
- [5] Eren, M. (1983). Gümüşhane-Kale arasının jeolojisi ve mikrofasiyes incelemesi. MMLS Tezi, KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [6] Feng, H., Han, X., Zhang, W., & Yu, L. (2004). A preliminary study of heavy metal contamination in Yangtze River intertidal zone due to urbanization. *Marine pollution bulletin*, 49(11-12), 910-915. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.06.014>
- [7] Güner, S., Yazıcı, E., Ağan, A., Dursun, A., Yılmaz, H., & Yılmaz, Z. (2005). Gümüşhane Yöresi Epitermal Altın Aramaları Prospeksiyon Raporu.
- [8] Güner, S., & Yazıcı, E. N. (2011). Gümüşhane – Bayburt – Trabzon Kıymetli Metal (Au – Ag) ve Baz Metal (Cu – Pb – Zn) Sahaları Envanter Raporları.
- [9] Güven, İ. H. (1993). Doğu Pontidlerin 1/100.000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Genel Müdürlüğü.

- [10] Hooda, P. S. (Ed.). (2010). Trace Elements in Soils. Wiley.
- [11] Huang, J. H., & Matzner, E. (2007). Mobile arsenic species in unpolluted and polluted soils. *Science of the total environment*, 377(2-3), 308-318. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.059>
- [12] Kabata-Pendias, A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants (4th ed.). CRC Press (Taylor & Francis).
- [13] Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. CRC Press Inc.
- [14] Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C., & Satir, M. (2008). Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97(4), 739-764. <https://doi.org/10.1007/s00531-007-0188-9>
- [15] Mandal, A., & Sengupta, D. (2003). Radioelemental study of Kolaghat, thermal power plant, West Bengal, India: possible environmental hazards. *Environmental Geology*, 44(2), 180-186. <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0744-3>
- [16] Mason, R. P., Fitzgerald, W. F., & Morel, F. M. (1994). The biogeochemical cycling of elemental mercury: anthropogenic influences. *Geochimica et cosmochimica acta*, 58(15), 3191-3198.
- [17] McGrath, S. P. (1995). Chromium and nickel. In B. J. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soil* (2nd ed., pp. 152-178). Blackie Academic & Professional, London.
- [18] Muller, G. M. M. G. M. G. M. G. P. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118.
- [19] Pelin, S. (1977). Geological study of the area southeast of Alucra (Giresun) with special reference to its petroleum potential. *Karadeniz teknik universitesi, yerbilimleri dergisi, Jeoloji*, 1, 15-20.
- [19] Rollinson, H. R. (2014). Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315845548>
- [20] Rose, A. W., Hawkes, H., & Webs, J. (1991). *Geochemistry in Mineral Exploration* (2nd ed.). Academic Press.
- [21] Rudnick, R. L., Gao, S., Holland, H. D., & Turekian, K. K. (2003). Composition of the continental crust. *The crust*, 3, 1-64.
- [22] Sposito, G. (2008). Geochemistry in soil science. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 283-289. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3995-9_243
- [23] Sungur, A., Vural, A., Gundogdu, A., & Soylak, M. (2020). Effect of antimonite mineralization area on heavy metal contents and geochemical fractions of agricultural soils in Gümüşhane Province, Turkey. *Catena*, 184(January 2019), 104255. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104255>
- [24] Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6), 611-627. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>
- [25] Tokel, S. (1972). Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region.
- [26] Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W. H., Zack, T., Hasözbek, A., Barth, M., Satir, M., & Şen, C. (2010). Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos*, 116(1-2), 92-110. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.01.003>
- [27] Vural, A. (2019). Canca (Gümüşhane, Türkiye) toprak jeokimyası verilerinin Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA) ve Krigleme enterpolasyon metotlarıyla değerlendirilmesi-ilk bulgular Evaluation of soil geochemistry data of Canca Area (Gümüşhane, Turkey) by means of Inverse Distance Weighting (IDW) and Kriging methods-preliminary findings. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, (158), 197-219.
- [28] Vural, A. (2019b). Evaluation of soil geochemistry data of Canca Area (Gümüşhane, Turkey) by means of Inverse Distance Weighting (IDW) and Kriging methods-preliminary findings. *Bulletin of the Mineral*

Research and Exploration, 158, 195–216. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.430531>

- [29] Vural, A. (2020). Investigation of the relationship between rare earth elements, trace elements, and major oxides in soil geochemistry. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2), 124. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8069-9>
- [30] Vural, A. (2022). The Risk of Exposure to Natural Radiations Induced Hydrothermal Alteration Sites: Case of Canca Site (Gümüşhane, Türkiye). *Göbeklitepe International Journal of Medical Sciences*, 5(7), 14–22. DOI: <http://dx.doi.org/10.55433/gsb.128>
- [31] Vural, A., Çiftçi, A., & Ural, M. N. (2020). Kıymetli Tařlar ve Sömürgecilik: Dijital Veri Materyallerinin Analizi Örneđiyle (Precious Stones and Colonialism: Example of Analysis of Digital Data Materials). *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(13), 122–134. <https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.404>
- [32] Vural, A., Kaya, S., Bařaran, N., & Songören, O. T. (2009). Anadolu Madenciliđinde İlk Adımlar. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA Kültür Serisi-3*.
- [33] Vural, A., & Kaygusuz, A. (2019). Petrology of the Paleozoic Plutons in Eastern Pontides: Artabel Pluton (Gümüşhane, NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 8(2), 1216–1228.
- [34] Vural, A., Ural, M. N., & Çiftçi, A. (2022). Analysis of Energy Raw Material Coal , Industrialization and Industrial Revolution Phenomena with N-gram. *Journal of Investigations on Engineering & Technology*, 5(1), 11–20.
- [35] Yılmaz, Y. (1972). Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, NE Anatolia.