

Avliyana Cevherleşme/Alterasyon Sahasının Kütle Değişim Özellikleri ve Asit Maden Drenaj Potansiyelinin Araştırılması

Investigation of Mass Change Characteristics and Acid Mine Drainage Potential of Avliyana Mineralization/Alteration Field

Alaaddin Vural^{1*}

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

<https://orcid.org/0000-0002-0446-828X>

*Sorumlu yazar: alaaddinvural@hotmail.com

ÖZET

Çalışmanın amacı, Avliyana (Torul, Gümüşhane/Türkiye) cevherleşme/alterasyon sahasında gelişmiş hidrotermal alterasyona bağlı jeokimyasal değişimlerin incelenmesi, bunlara bağlı kütle değişimleri, ana kaya/altere kaya element kayıp ve kazanımlarının belirlenmesi ve sülfürlü minerallerin bozuşmasından kaynaklı asit maden drenaj potansiyelinin/riskinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, kütle değişimleri ve element kazanım ve kayıplarını belirlemek için cevherleşme zonunu eksen kabul ederek cevherli zondan taze kayaya doğru bir hat boyunca sıralı örnekler alınmıştır. Ayrıca sahadaki muhtemel asit maden drenaj riski potansiyelini araştırmak için de asit maden drenaj sızıntılarının ve onların etkili olduğu noktalardan su, toprak ve dere kumu örnekleri alınarak, ilgili analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, birbiriyle pozitif yüksek korelasyon gösteren Zr-Hf çifti için oluşturulan dağılım grafiğinde ana kayaç (precursor) ve altere kayacın kökensel ilişkisi teyit edilmiştir. Zr-Hf çiftine dayalı olarak taze kayaca karşı altere kayaç için oluşturan log-log (ana oksit ve iz element konsantrasyonlarını aynı grafik üzerinde görebilmek için logaritmik grafik tercih edilmiştir) izokon grafiğinde ana oksit, iz ve nadir toprak elementler dağılım grafiği oluşturulmuştur. Elde edilen log-log izokon grafiğine göre sahadaki kayaçlarda TiO₂, Fe₂O₃, W, Cu, Al₂O₃, Ni, V, Zr elementlerince dikkat çekici bir kütle değişiminin olmadığı, Na₂O, MgO, CaO, K₂O, Th, Ta, Rb, NTE'ce kütle kaybı, Hg, Cd, Tl, Bi, Mo, Cs, Ag, As, Au, Cu, Pb, Zn ve Sb elementlerince ise kütle kazanımı olduğu tespit edilmiştir. Sülfürlü minerallerin yeraltı/sızıntı suları ile etkileşimine bağlı olarak, sahadaki kırık ve çatlaklarda asit maden drenaj sızıntılarının hem su kimyası bağlamında hem de dere kumu ve etkileşimde olduğu topraklarda asit maden drenaj etkisi gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla yapılan bu çalışma sonucunda sahanın alterasyon ve günlenmeye bağlı asit maden drenaj riskini de barındırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Avliyana cevherleşme/Alterasyon sahası, Kütle değişimi, Asit maden drenajı, Gümüşhane, Türkiye

ABSTRACT

The aim of the study is to examine the geochemical changes due to the hydrothermal alteration developed in the Avliyana (Torul, Gümüşhane/Türkiye) mineralization/alteration site, the mass changes due to these, the determination of the precursor/altere rock element losses and gains, and the investigation of the acid mine drainage potential/risk due to the

alteration of sulfide minerals. In this context, sequential samples were taken along a line from the ore zone to the fresh rock, considering the mineralization zone as the axis, in order to determine the mass changes and element gains and losses. In addition, in order to investigate the potential risk of acid mine drainage in the field, water, soil and river sand samples were taken from acid mine drainage seepages and their effective points and related analyzes were carried out. As a result of the study, the genetic relationship between the precursor and the altered rock was confirmed in the scatter graph plotted for the Zr-Hf pair, which showed a positive high correlation with each other. Based on the Zr-Hf couple, the major oxide, trace and rare earth elements scatterplots were plotted in the Log-Log isocone graph for fresh rock versus altered rock. According to the Log-Log isocone graph obtained, it was determined that there was no remarkable mass change in the rocks in the area by TiO_2 , Fe_2O_3 , W, Cu, Al_2O_3 , Ni, V, Zr elements. On the other hand, mass loss was detected by Na_2O , MgO, CaO, K_2O , Th, Ta, Rb, REE elements. Mass gain was determined by Hg, Cd, Tl, Bi, Mo, Cs, Ag, As, Au, Cu, Pb, Zn and Sb elements. Depending on the interaction of sulfide minerals with groundwater/leachate, acid mine drainage seepage in fractures and cracks in the field has been determined to have an acid mine drainage effect both in the context of water chemistry and in stream sand and soils in which it interacts. Therefore, as a result of this study, it was concluded that the site also has the risk of acid mine drainage due to alteration and weathering.

Keywords: Avliyana Mineralization/Alteration Field, Mass Change, Acid Mine Drainage, Gümüşhane, Türkiye

1. GİRİŞ

Avliyana cevherleşme/alterasyon sahası Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın Kuzey-Güney Zon geçişinde, Avliyana Köyü güneybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma sahasının da içinde bulunduğu Gümüşhane ili antik dönemden beri madencilik faaliyetlerine konu olmuş bir bölge olup (Vural vd., 2009), ev sahipliği yaptığı kurşun, çinko ve bakır yanında gümüş içerikli maden yataklarından dolayı geçmişte Argyropolis olarak adlandırılmıştır (Vural ve Erşen, 2019). Günümüzde de ülke ekonomisine madencilik sektörüyle ciddi katkı vermektedir. Bölgede keşfedilmeye bekleyen pek çok maden yatağının da olduğu tahmin edilmektedir. Bu yüzden bölgede pek çok maden arama faaliyeti yürütülmüş/yürütülmektedir (Demir, 2005; Lermi, 2003; Özdoğan, 1992; Vural ve Erdoğan, 2014; Vural ve Erşen, 2019). Madencilik faaliyetleri ülkelerin kalkınmasında önemli bir unsur olduğu kadar 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra, özellikle de 1980'lerden sonra artan çevresel kaygıların etkisiyle madencilik faaliyetlerine karşı değişik sivil toplum hareketleri de gelişmiştir (Çiftçi vd., 2021, 2020; Vural vd., 2020d, 2020a, 2020c). Madencilik ve çevre hassasiyeti dengede tutulması gereken olgulardır. Ne madencilikten vazgeçilebilir, ne de kaybettikten sonra kazanması neredeyse imkansız olan doğa/çevreden vazgeçilebilir. Dolayısıyla bu iki olgunun dengede tutulması çok önemlidir. Özellikle 20. yüzyılın sonları ve 21. yüzyıl bu iki olgunun barıştırılmasını önceleyen bir çerçeve kazanmıştır. Çünkü madencilik faaliyeti özünde doğaya yapılan bir operasyondur. Bir bölgeden maden çıkarılırken gerek coğrafya gerekse de ortamın fiziko-kimyasal özellikleri gibi pek çok parametre de bu süreçten etkilenmektedir. Önemli olan madencilik faaliyetlerini gerçekleştirirken çevre önceliklerinin ihmal edilmeden faaliyetlerin yürütülmesidir. Bununla birlikte bir maden sahası ortalama değerlere göre bazı elementlerin yatak olarak kabul edilen bölgede zenginleşmesini içerir. Haliyle bu da ister istemez bölgenin antropojenik etki dışında, doğal olarak bazı elementlerce zenginleşmesi

anlamına gelmektedir. Genellikle çevre hassasiyeti ile yapılan eylem ve söylemlerde bu durum ihmal edilmektedir. Halbuki cevherleşme alanları, cevherleşmenin en önemli parçası olan hidrotermal alterasyon alanları doğal denginin bozulup değişimlerin geliştiği alanlardır. Bu tür alanlar kütle değişimlerinin (kazanç-kayıp anlamında) yoğun şekilde gözlemlendiği sahalardır. Bahse konu süreçler özellikle de sülfürlü minerallerce zenginleşme oluşturuyorsa bu tür alanlar aynı zamanda madencilik faaliyeti yapılmamış olsa bile asit maden drenajlarının gelişebildiği alanlardır (Külekçi vd., 2018; Külekçi ve Vural, 2021). Gerek kütle değişimlerine yönelik çalışmalar, gerekse asit maden drenaj gelişimlerine yönelik çalışmalar, bir bölgedeki cevherleşme/alterasyon süreçlerinin anlaşılmasına katkı verdiği gibi, aynı zamanda element zenginleşmesine bağlı element toksitesinin araştırılmasında, asit maden drenajı gelişimiyle ortamın fiziksel ve kimyasal olarak bozulmasında ve dolayısıyla da oluşturduğu çevre risklerin araştırılmasında da önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında Avliyana cevherleşme/alterasyon sahasındaki alterasyon süreçleri, alterasyona bağlı kütle ve jeokimyasal değişimler yanında bu kimyasal değişimlere bağlı olarak gelişen asit maden drenaj potansiyeli/riskinin de araştırılması amaçlanmıştır. Böylelikle sahadaki alterasyon kaynaklı kütle değişim özellikleri belirlenerek bölgedeki cevherleşme ve alterasyon süreçlerinin anlaşılması, cevherleşme karakterinin belirlenmesi ve elde edilen verilerle bölgenin asit maden drenaj potansiyeli/riskinin de ortaya konması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Doğu Karadeniz Bölgesi ve Çalışma Sahasının Jeolojisi

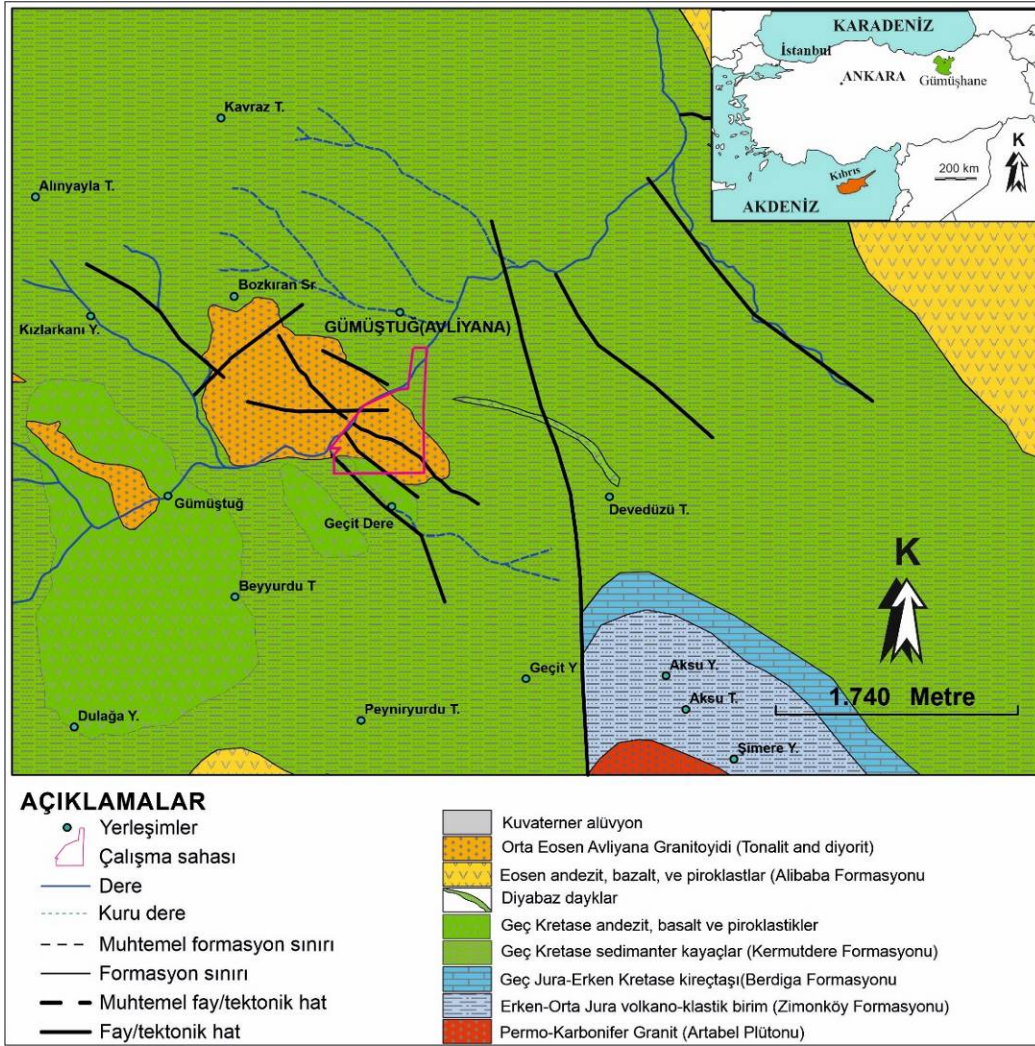
Çalışma sahası Doğu Karadeniz Tektonik Birliği (DKTB) (Doğu Pontid Tektonik Birliği) içinde yer alır (Ketin ve Canitez, 1972). Doğu Karadeniz Tektonik Birliği içindeki kayalar Geç Kretase döneminde kuzey ve güney bölgelerde farklılıklar gösterdiği için Kuzey Bölge (Kuzey Zon) ve Güney Bölge (Güney Zon) olarak iki farklı bölgeye (zona) ayrılmışlardır (Özsayar vd., 1981). Bektaş (1984) ve Bektaş ve Güven (1995) ise Doğu Karadeniz Magmatik Yayını, farklı magmatizma, tektonizma ve sedimantolojik özellikleri de dikkate alarak kuzeyden güneye doğru Kuzey Zon, Güney Zon ve Eksen Zon'u olarak başlıca üç alt sınıfa ayırmışlardır.

DKTB kayaların temeli Erken Karbonifer yaşlı metamorfik kayalardan (Topuz vd., 2004) ve Erken-Geç Karbonifer yaşlı plütonik kayalardan meydana gelir (Çoğulu, 1975; Karşı vd., 2016; Kaygusuz, 2020; Kaygusuz vd., 2021b, 2016, 2012; Topuz vd., 2010; Vural ve Kaygusuz, 2019; Yılmaz, 1972). Bu temel kayalar uyumsuz olarak Erken-Orta Jura yaşlı volkano-sedimanter kayalar tarafından üzerlenirler (Ağar, 1977; Saydam Eker, 2012) ve Orta-Geç Jura yaşlı plütonik kayalar tarafından kesilirler (Dokuz vd., 2010; Ustaömer vd., 2013). Geç Jura- Erken Kretase dönemi ise maruz kaldığı magmatik ve tektonik sakinliğin etkisiyle yaygın bir karbonat çökelim dönemiyle temsil edilmektedir (Pelin, 1977). Geç Kretase dönemi plütonik, volkanik ve sedimanter kayalarla temsil edilmektedir (Kaygusuz vd., 2021a, 2008; Köprübaşı vd., 2000; Sipahi vd., 2022, 2017; Temizel vd., 2019; Vural ve Kaygusuz, 2021a). Bölgede Senozoyik dönemi ise volkanik, plütonik ve sedimanterler birimler ile temsil edilmektedir (Aslan vd., 2014; Aydınçakır vd., 2022; Karşı vd., 2007; Kaygusuz vd., 2019, 2017, 2013; Kaygusuz ve Sahin, 2016; Temizel vd., 2020, 2012; Tokel, 1977; Topuz vd., 2011; Vural ve Çiftçi, 2021; Yücel vd., 2017). Bölgedeki en genç birimler ise traverten, yamaç moluzu, taraça ve alüvyonlardır (Vural ve Külekçi, 2021)

Çalışma sahası Kuzey-Güney Zon geçişine yakın bir bölgede yer almaktadır. Bölgede Paleozoyik'ten Tersiyer sonuna kadar farklı yaş ve litolojilerde birimler yüzeylemektedir (Güven, 1993; Vural vd., 2016; Vural ve Kaygusuz, 2016). Sahadaki en yaşlı birimler Premo-Karbonifer yaşlı plütonik kayalardan oluşur (Artabel Granitoyidi) (Vural ve Kaygusuz, 2019). Bu kayalar Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayalar (Zimonköy Formasyonu) tarafından, bir erozyonel uyumsuzluk ile üzerlenir (Eren, 1983; Güner vd., 2003; Güven, 1993). Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu ise uyumlu olarak bu birimleri örtmektedir (Pelin, 1977). Berdiga Formasyonu Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu tarafından üzerlenmektedir. Bu formasyon tabanda kumlu kireçtaşları ile başlamakta, mor renkli kireçtaşları ile devam etmekte ve volkano-tortul birimler ile sonlanmaktadır. Berdiga Formasyon aynı zamanda bazı kısımlarda Geç Kretase yaşlı andezit ve bazaltlar tarafından da üstlenmektedir (Vural ve Kaygusuz, 2022, 2021a, 2016). Andezit, bazalt ve bunlara ait piroklastlardan oluşan ve yer yer sedimanter kayalarla ardalamalı karakterdeki Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu ise uyumsuz olarak Kermutdere Formasyonunu üzerlemektedir. Tüm bu birimler ise Lütesiyen yaşlı Avliyana Granitoyidi tarafından kesilmektedirler (Eyüboğlu vd., 2017; Vural, 2017; Vural ve Kaygusuz, 2021b, 2016) (Şekil 1). Sahadaki en geç birimler ise Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç moluzu ve travertenlerdir.

2.2. Alterasyon ve Cevherleşme

Avliyana cevherleşme/alterasyon sahası Avliyana Köyü'nün 1.5-2 km güney batısında olup, sahada yerel olsa da hidrotermal alterasyon gelişimi ve bu alterasyonla ilişkili, yapısal kontrollü hidrotermal damar tiple antimonit cevherleşmeleri gelişmiştir. Cevherleşmeler çoğunlukla Avliyana Granitoyidi ile tektonik dokanakta olan ana kayada ve granitik kayaların kırık ve çatlaklarında gözlenmektedirler. Sahadaki hidrotermal alterasyon, granitoidin etkisiyle, granitik kayacın sokulum yaptığı ana kayada (host rock) ve ikisinin dokanağında gelişmiştir. Bölgede, değişik kesimlerde yaygın hidrotermal alterasyon gelişimleri gözlenmekle birlikte, cevherleşme sahasındaki hidrotermal alterasyon ise nispeten dar bir aralıkta yayılım göstermektedir. Cevherleşmeler bu alterasyon zonu içinde, K60-85B ve 70-75 D eğim yönünde bir tektonik hatta ve yine bu hat ile ilişkili ikincil kırık ve çatlaklarda gelişmiştir (Vural ve Kaygusuz, 2016). Sahada, alterasyon zonu içinde, yeraltı sularının ve yer yer yüzey sularının sülfürlü minerallerle etkileşimine işaret eden, küçük sızıntılar halinde asit maden drenaj gelişimleri de gözlenmektedir. Cevherleşme sahası ormanlık bir alan içinde olup, cevherleşme zonu üzerinde orta seviyede, yer yer iyi seviyede toprak gelişimine rastlanmaktadır.



Şekil 1. Çalışma sahası bulduru ve jeoloji haritası (Güven, (1993) ve Vural ve Kaygusuz, (2016)'dan değiştirilerek)

2.3. Saha çalışması, örnek toplanması, örneklerin analizleri

Sahada yüzeyleyen birimler ile bunların birbirleri ile ilişkilerini, yapısal ve stratigrafik özelliklerini belirlemek, alterasyon desenleri ve asit maden drenaj alanlarını tespit etmek amacıyla arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla sahadan mineralojik, petrografik ve alterasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kayaç örnekleri alınmış, ayrıca asit maden drenajlarına yönelik olarak da toprak, su ve dere kumu örnekleri toplanmıştır. Çalışma özelinde ise, alterasyona bağlı (asit maden drenaj etkisi de gözönünde tutularak) kütle değişimlerinin belirlenmesi amacıyla, cevherli ve/veya asit maden drenaj sızıntılarının geliştiği hatları da dikkate alarak ve bu hatlara dik yönde kütle değişim ve jeokimyasala değişimleri irdeleme amaçlı örnekler alınmıştır (Şekil 2). Sahadaki örnekleme çalışmaları Rose vd. (1991) tarafından detayları verilmiş örnek alma prosedürlerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kayaç örnekleri ACME Laboratuvarı (Kanada), Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı ve Bayburt Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Su, toprak ve dere kumu örnekleri ise Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı ve Bayburt Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'nda ve kısmen de ACME Laboratuvarında

gerçekleştirilmiştir. Analiz süreçleriyle ilgili detaylar Vural ve Kaygusuz (2016), Vural ve Çiçek (2021) ve Vural vd. (2020b)'de verilmiştir.

Ana oksit ve iz element analizleri İndüktif eşleşmiş Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES), nadir toprak element analizleri ise İndüktif Eşleşmiş Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde laboratuvarların rutin kullandığı standartlarla da analizlerin doğrulukları kontrol edilmiştir. Tüm analiz sonuçları rutin doğruluk test prosedürleri ile kontrol edilmiştir.

2.3.1. Asit Maden Drenaj (AMD) Amaçlı Alınan Örnekler

Sahadaki muhtemel AMD potansiyeli olan noktalardan toprak, su ve dere kumu örnekleri alınmıştır.

Toprak örneklerinin alımı: Toprak örnekleri, su örnek alım noktalarının yakınındaki uygun olan noktalardan ve standart numune alım prosedürlerine göre yapılmıştır. Örnekler, yaklaşık 500 g ağırlıkta (genel kural olarak eleme sonrasında kalan 20-30 g örnek analizler için yeterli görülmektedir; Rose vd., 1991) ve toprağın B zonundan, üstteki organik materyaller temizlendikten sonra 20-30 cm derinlikten naylon torbalar içine alınmış ve bu torbalar örneklerin dış etkilerle kirlenmemesi için ikinci bir torba içinde korunmuştur. Toprak ve dere kumlarının pH ölçümleri laboratuvar ortamında Vural (2015a)'e göre yapılmıştır.

Su örneklerinin alımı: Su örnekleri, cevherleşme sahasında sızıntı olan kesimlerden standart numune alma prosedürlerine göre yapılmıştır (Çevre ve Orman Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz metotları Tebliği, 2009; TS EN ISO 5667-3 Mart 2007 "Su Kalitesi-Numune Alma-Bölüm 3: Su Numunelerinin Muhafaza, Taşıma ve Depolanması İçin Kılavuz). Her bir örnek alım noktası için iki ayrı örnek alınmıştır. Birinci su örneği pH<2 olacak şekilde derişik HNO₃ ile asitlendirilerek (homojenizasyon sağlamak amacıyla litresinde 1ml asit olacak şekilde) metal analizlerinde kullanılmak üzere, ikinci örnek ise anyon analizleri için asitlendirilmeden alınmıştır.

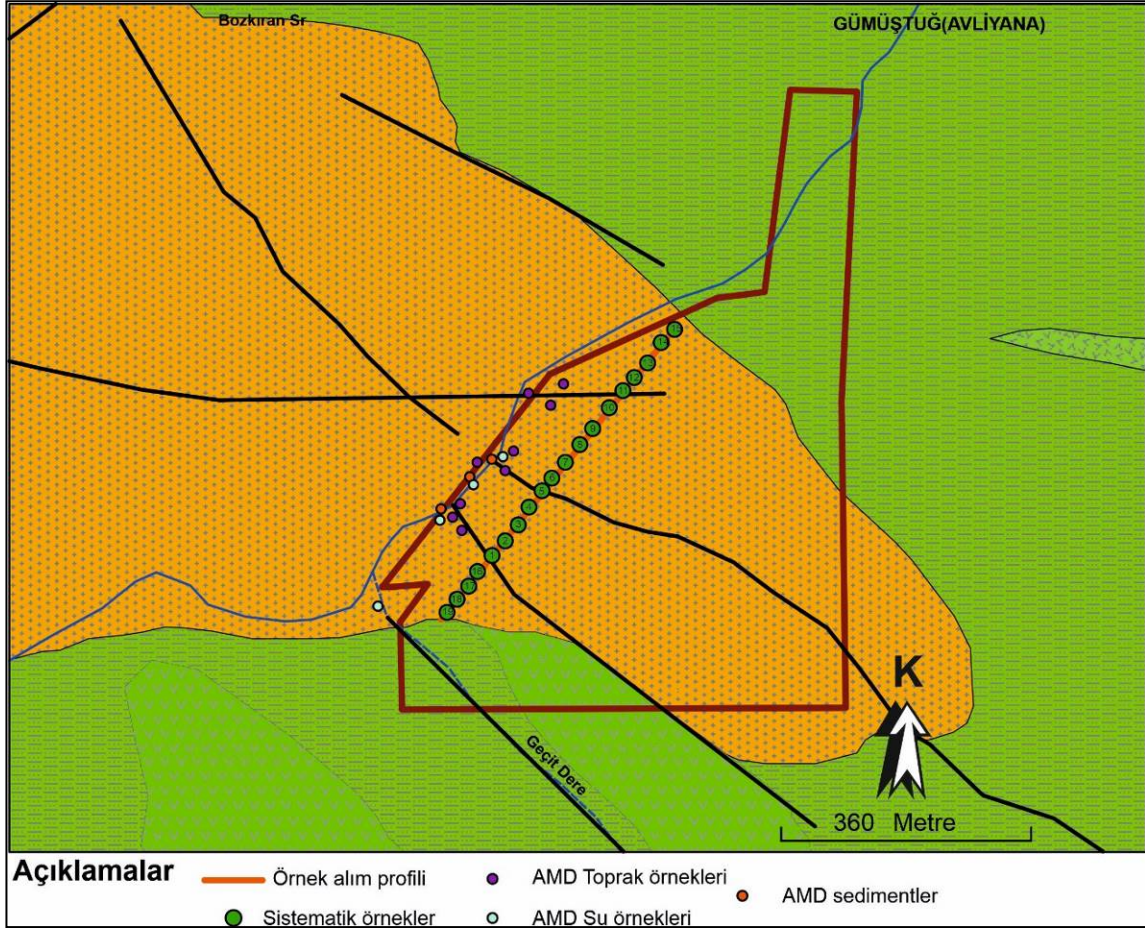
pH, iletkenlik, TDS, sıcaklık ve çözünmüş oksijen parametreleri örneğin alındığı noktada taşınabilir YSI Procomm II Instraction Manuel multiparameter cihazı ve HQD Portatif Multiparametre ölçüm cihazı vasıtasıyla, suyun sertlik alkalinite, amonyum, nitrat, nitrit, klorür ve sülfat parametreleri ise laboratuvar ortamında ölçülmüştür.

Dere kumu örneklerinin alımı: Dere kumu numuneleri, ağır metal/iz element birikimini ve asit maden drenaj (AMD) etkisini araştırmak için, su sızıntılarını olduğu kesimden ve yer yer de alım noktalarından alınmıştır. Numuneler vadi akış hızının düştüğü düşük hız (iç bükey) zonlarından 0-30 cm derinlikten standart numune alma prosedürlerine uygun şekilde (Rose vd., 1991) her bir numune alım noktasından 500 g civarında alınmıştır. Örnek alım ve örneklerin hazırlanma detayları Vural vd., (2020b)'de verilmiştir

2.4. Alterasyon ve Kütle Değişim Çalışmaları

Alterasyon-Kütle değişim özelliklerinin ortaya konması amacıyla sahada cevherleşmeye de eşlik eden kırık, çatlak ve ilişkili damarlar dikkate alınarak ve bu hatlara yaklaşık dik bir hat boyunca örnekler alınarak, sahadaki mineralojik ve elementsel kütleli değişimler araştırılmıştır (Şekil 2). Örnek hattı üzerindeki örnek alımlarında litolojik/alterasyon farklılıkları da dikkate alınarak örnek alım mesafeleri değiştirilmiştir. Özellikle cevherleşmeye yakın noktalarda bahse konu değişimleri daha net ayırt edebilmek için örnek arası mesafeleri azaltılmıştır. Bu kapsamda toplamda sahadan 19 adet örnek alınmış olup,

örneklerin ana, iz ve nadir toprak element analizleri gerçekleştirilerek bahse konu çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 2. Kütle değişim amaçlı alınan örnek lokasyonu (Harita açıklamalarının detayı Şekil 1'dedir. Örneklerin bazıları aynı noktaya yakın alındığı için haritada gösterilememiştir).

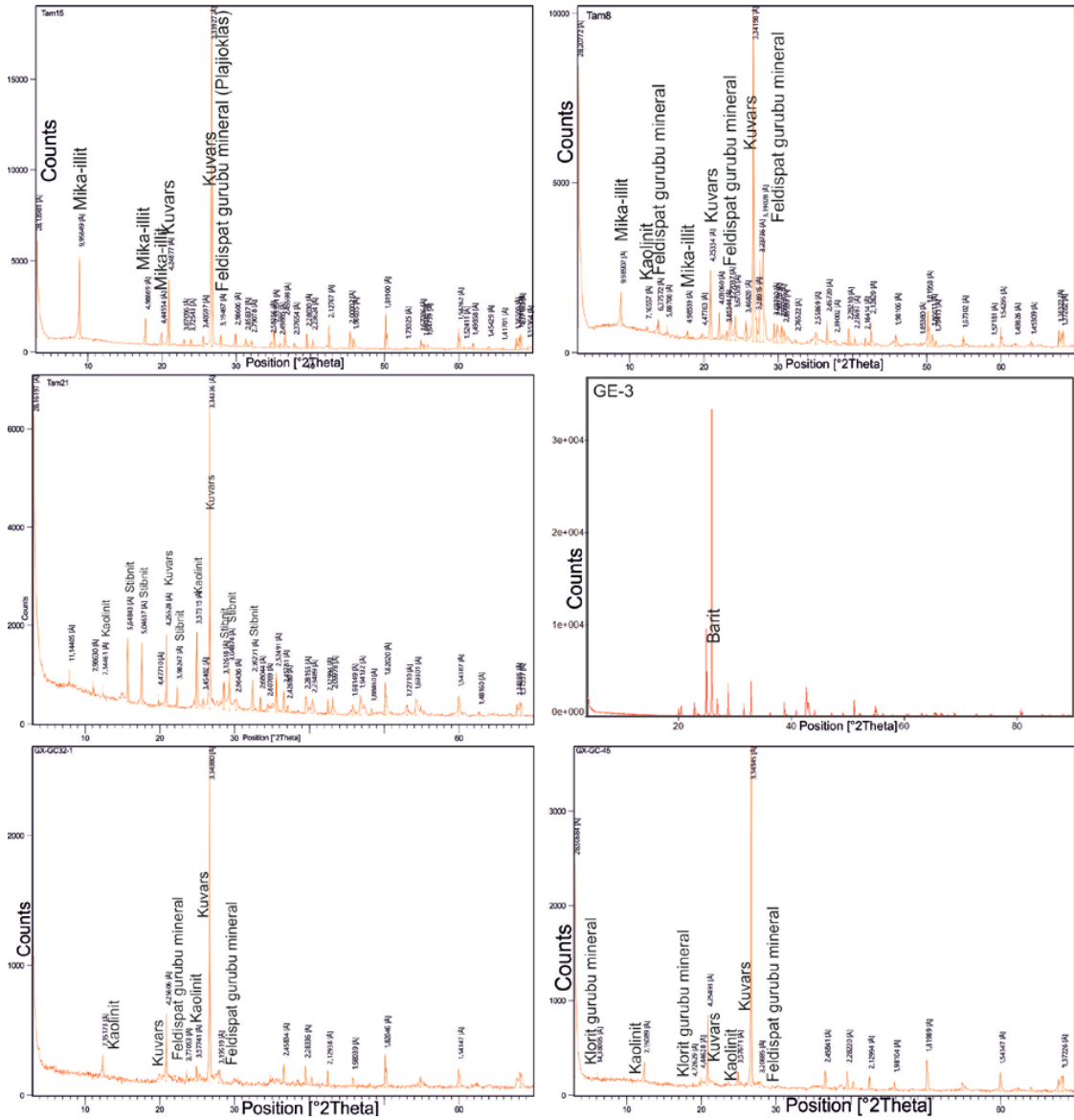
2.4.1. Mineral-Kütle Değişim

Alterasyon/cevherleşme sahalarındaki mineral-kütle değişimi ve alterasyon mineralojisinin sayısal olarak değerlendirilmesinde Bohlke (1989), Mountain ve Williams-Jones (1995) ve Herman ve Berry (2002) çalışmaları referans çalışmalardır. Hesaplamaların teorisi detaylı olarak Bohlke (1989), Mountain ve Williams-Jones (1995) ve Hanilçı (2013) bulunabilir. Herman ve Berry (2002) ise Microsoft Excel yazılımında bu hesaplamalar için hesap tablosu oluşturmuştur. Kütle değişimlerini hesaplamada iki yaygın yaklaşım vardır. Birincisi isovolumetrik yöntem (Brimhall ve Dietrich, 1987) ikincisi ise immobile element (Nesbitt, 1979; Pintos Cerda vd., 2020) yaklaşımıdır.

Bu çalışmada Herman ve Berry (2002) tarafından önerilen MINSQ hesap tablosundan yararlanılmış, Hanilçı (2013) tarafından oluşturulan Excel tablosu ile de kontrolü sağlanmıştır. Hesaplamaların sağlıklı yürütülmesi için öncelikle analizi yapılan kayaların mineralojik bileşimleri belirlenerek, minerallerin element içeriklerinin de tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kayalardaki mineraller XRD ile tespit edilmiş, kimyasal

formülleri ise Deer (2013) ve Hurlbut (1944)'dan alınmıştır. MINSQ hesaplama tablosunda kayaçların normatif mineralojileri yanında killerin cinsleri de dikkate alınmaktadır. Doğruya en yakın sonucu elde etmek için MINSQ birkaç kez denenerek artık değer ≤ 1 (residuel, $r^2 \leq 1$) yaklaştırılmıştır. $r^2 \leq 0.5$ değeri hesaplamalarda ideal değerlere yaklaştığı anlamına gelirken, $r^2 > 1$ ise hesaplama dahil edilmemiş alterasyon mineral(ler)ine işaret eder.

Çalışma kapsamında Avliyana sahasındaki cevherleşme zonu dikkate alınarak buna dik profil boyunca alınan örneklerde kütle değişim hesaplamaları yapılmıştır. Kayaçların (Taze \rightarrow Altere) mineral içeriklerinin belirlenmesinde petrografik çalışmaların yanında, ilgili kayaçların XRD verilerinden de yararlanılmıştır. Sahada, örnek profil boyunca yan kayaç-cevherleşme zonu boyunca kuvars, mika-serizit-illit, feldispat grubu mineraller (plajioklad)-K-feldispat, kaolinit, stibnit, barit, minerallerinin ağırlıklı olduğu, cevherli zondan uzaklaşmaya başladıkça ise Mg ve Fe'li klorit, simektit mineralleri tespit edilmiştir.



Şekil 3. Çalışma sahası alterasyonlar örneklerinin X-Ray Difraktogramları

Hidrotermal süreçler mineraolojik değişimin yanında, kimyasal bileşimlerde de değişikliklere neden olmaktadır. Bu tür kimyasal değişimlerin belirlenmesinde genel yaklaşım ise altere kayaçların kimyasal bileşimlerinin taze kayacın kimyasal bileşimine oranlanarak belirlenmesidir. Metodun uygulanmasında yaygın olarak tercih edilen metod Greensens (1967) tarafından önerilmiş, Grant (1986) tarafından basitleştirilerek geliştirilmiş, Huston (1993) ise hesaplama süreçlerini revize etmiştir. Bu çalışmalarda izokon yöntemi uygulanmaktadır. İzokon yönetiminde altere ve teorik olarak altere olmamış (en az altere) kayaçlardaki hareketsiz elementler arasındaki korelasyon katsayıları belirlenmekte ve hareketsiz elementler arasındaki korelasyon katsayısı en yüksek element çiftleri için (Tablo 1) izokon yöntemi ile X-Y grafiği oluşturularak regresyon denklemi $y=ax+b+\varepsilon$ yardımıyla doğrunun eğimi hesaplanmaktadır (Şekil 4). Taze kayaca göre altere olduğu düşünülen kayaçta kütle değişimi olmamışsa $m=1$, kütle artışı söz konusu ise $m<1$, kütle kaybı söz konusu ise $m>1$ olmalıdır. Kayacın kütle değişimine maruz kaldığı bu verilerden elde edilmişse o zaman da her ayrılmış kayacın göreceli kütle değişimi % olarak hesap edilmektedir. Kütle ve kimyasal değişimlerin belirlenmesinde, özellikle de hidrotermal alterasyon ve metasomotizmaya bağlı cevherleşme süreçlerinde Al, Zr, Ti, Y ve Nb gibi hareketsiz elementler tercih edilmektedir (Floyd ve Winchester, 1975; Machender vd., 2011; Rubio vd., 2000; Vural, 2020; Winchester ve Floyd, 1976). Avliyana cevherleşmesinde cevherleşmelerin olduğu damar/damarcıklı kesimlerinde ve damara dik yönde profilden alınan örneklerde yüksek pozitif korelasyon gösteren elementler Tablo 1’de verilmiştir. Yapılan çalışmada yüksek korelasyon gösteren element çifti olarak Zr-Hf bulunmuştur (Tablo 1). Zr-Hf element çifti yardımıyla elde edilen X-Y grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4). Grafik incelendiğinde örneklerin eğim doğrusunu üzerinde ve/veya yakınında konumlandığı görülmektedir. Dolayısıyla kaynak kayaç ile altere kayaç kökensel birliktelik göstermektedir. Zr-Hf grafiği yardımıyla sahadaki altere kayaçlara karşı en az altere kayaçların elementer bazda karşılaştırılmaları yapılmıştır. Sahada alterasyon gelişimi düzenli bir değişim göstermediği ve dar bir alanda gözlemlendiği için altere kayaçlar ve aynı kökene ait altere olmamış (teorik olarak taze kayaçlar) kayaçlar kendi içlerinde iki gruba ayrılmışlar ve ortalamaları alınarak log-log ölçekli izokon grafiğine aktarılmışlardır (Şekil 5). Hesaplamalarda nadir toprak elementleri (NTE) grup olarak alınmış ve toplam NTE ortalamaları hesaba katılmıştır.

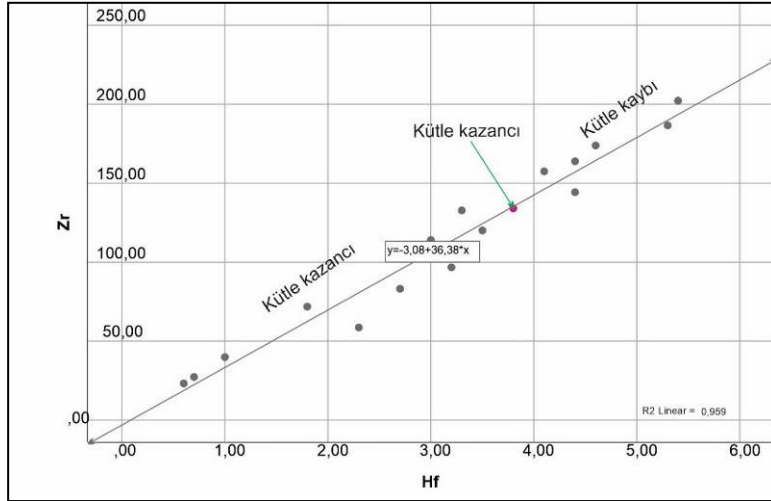
İzokon grafiği incelendiğinde (Şekil 5), TiO_2 , Fe_2O_3 , W, Cu, Al_2O_3 , Ni, V ve Zr elementlerinin izokon doğrusunun yakınına düştükleri görülmüş olup, bu elementlerce dikkat çekici bir kütle değişiminin olmadığı anlaşılmıştır. Na_2O , MgO, CaO, K_2O , Th, Ta, Rb ve NTE elementlerince ise kütle kaybı olduğu, Hg, Cd, Tl, Bi, Mo, Cs, Ag, As, Au, Cu, Pb, Zn ve Sb elementlerinde ise dikkat çekici kütle kazanımı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5).

Tablo 1. Kayaçtaki hareketsiz elementler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

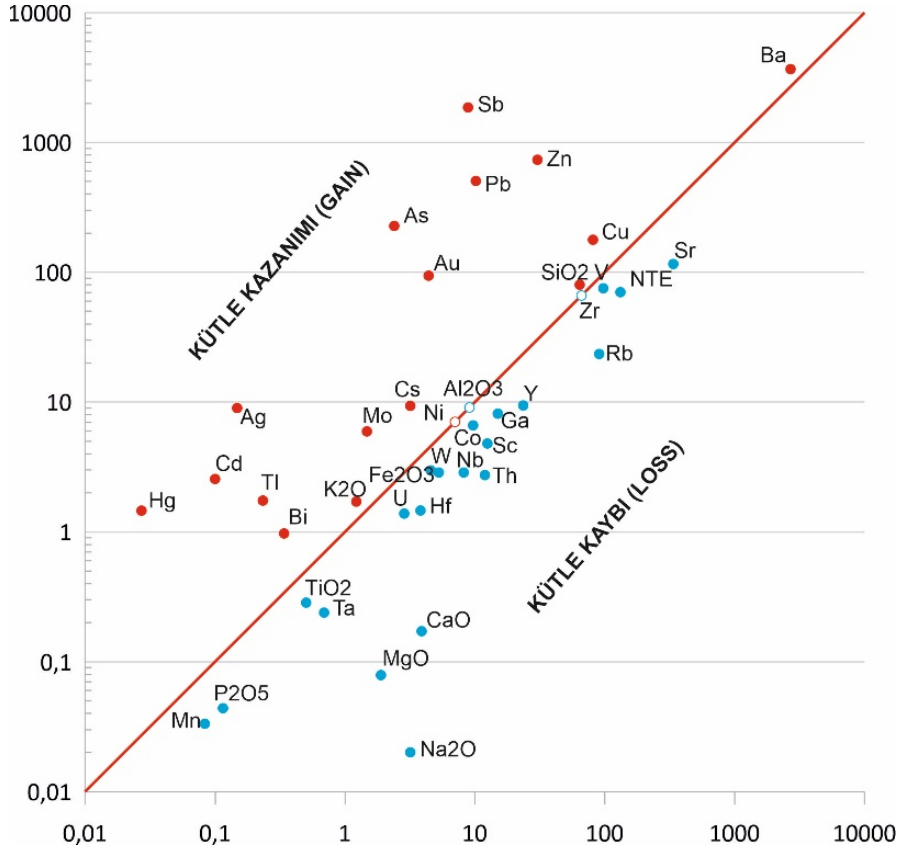
	Al_2O_3	TiO_2	Nb	Zr	Y	Hf
Al_2O_3	1					
TiO_2	0.642**	1				
Nb	0.751**	0.508*	1			
Zr	0.847**	0.784**	0.798**	1		
Y	0.804**	0.340	0.723**	.696**	1	
Hf	0.878**	0.698**	0.840**	0.979**	.784**	1

** .01 seviyesinde korelasyon önemi (2-yönlü).

* .05 seviyesinde korelasyon önemi (2-yönlü).



Şekil 4. Örneklerle ait Zr ve Hf arasındaki korelasyon diyagramı



Şekil 5. Avliyana cevherleşme/alterasyon sahasında, örnekleme profillerinden alınan örneklerin tüm kayacın kimyasal analiz sonuçlarının, cevherli zonda az kayaca karşı altere kayacın için hazırlanan log-log izokon diyagramı

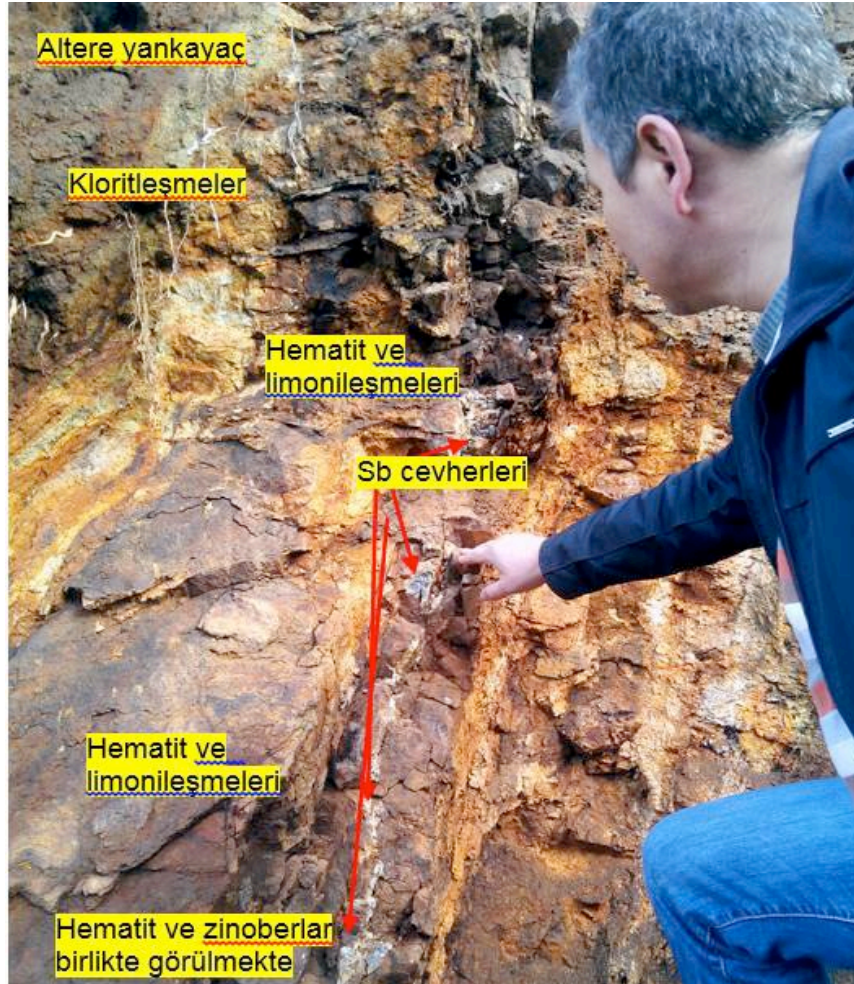
2.4.1.1. Nispi Kütle Değişimleri

Örnek profillerinde, az altere kayaca göre nispi kütle değişimleri,

$$\Delta C_i^A(\%) = 100x \left[\frac{C_i^A}{(max C_i^o)} - 1 \right] \text{ formülüyle hesap edilmiştir.}$$

burada, C_i^o taze kayadaki element konsantrasyonunu, C_i^A altere kayadaki i'nci elementin ortalama konsantrasyonunu, $\Delta C_i^o(\%)$ ise nispi kütle değişimine karşılık gelmektedir. $\Delta C_i^o(g/100g)$ ise net kütle değişime karşılık gelmektedir. Hesaplamalarda ana oksitler %, iz elementler ise (Au hariç) ppm olarak hesap edilmiştir. Altın ise ppb olarak dikkate alınmıştır.

Avliyana cevherleşme/alterasyon sahasındaki alterasyondan en az etkilenmiş (taze kay) kay ile cevherleşme/alterasyonda etkin hidrotermal süreçlerden etkilenmiş kayalarda nispi kütle artış ve azalışına neden olan elementler arasındaki ilişkiler silisleşmeyle serizitleşmenin birlikte geliştiğini, antimonit ile serizitleşme süreçleri arasında da pozitif bir ilişkinin söz konusu olduğu göstermektedir. Dolayısıyla antimonit cevherleşmesi sırasında serizitleşme de cevherleşmeye eşlik etmiştir. Cevherleşme zonundan uzaklaştıkça ise ortamda Fe ve Mg'ca artış gözlenmekte ve bu durum kloritleşme gelişimine işaret etmektedir ki, arazi gözlemleriyle de elde edilen bulgular uyumludur (Şekil 6).



Şekil 6. Cevherleşme ve alterasyon zonlanmaları (fotoğraf (Vural ve Kaygusuz, 2016)'dan alınmıştır.

2.4.1.2. Net Kütle Değişimleri

Cevherli zona dik hat boyunca alınan örneklerden net (g/100g) kütle değişimleri $\Delta C_i^A \left(\frac{g}{100g} \right) = [\Delta C_i^A (\%) / 100] \times \left[C_i^A \left(\frac{g}{100g} \right) \right]$ formülü ile cevherli ve altere zon için hesaplanmış, izokon doğrusundan elde edilen m (eğim) değerinden de yararlanarak net kütle kazanç ve kayıplar $\% \Delta M^A = 100 \times \left(\frac{1}{m} - 1 \right)$ formülü ile hesap edilmiştir. Net kütle değişim hesaplarına göre antimonit cevherleşme zonundaki örneklerin Si (98.55 g) ve K (31.09) artışı cevherleşmeye serizitleşmenin eşlik ettiğini gösterirken, aynı zonda Ca (-0.12 g) ve Na (-0.25 g) net kütle azalması ise cevher oluşum sürecinde plajioklad ayrışmasına karşılık gelmektedir. Ayrıca cevherli zonda antimon (Sb) 22350 g/100g zenginleşerek baskın cevher minerali antimoniti, Pb 350 g/100g zenginleşerek galeniti, çinko (Zn) 255 g/100 g zenginleşerek sfletti ve civa (Hg) 75 g/100 gr zenginleşerek zinobarı oluşturmuştur. Örnek profili dikkate alındığında ise kayaçların ortalama %22.56'lık bir kütle artışına sahip olduğu hesap edilmiştir.

2.5. Asit Maden Drenajı

Avliyana cevherleşme/alterasyon sahası sülfürlü mineralleri içermesi nedeniyle cevherleşme yanında asit maden riski de taşımaktadır. Sahanın değişik kesimlerinde küçük kırık ve çatlaklarda yer altı ve yüzey sularının sülfürlü minerallerle etkileşimlerinden kaynaklı olarak hematitce zengin su sızıntılarına rastlanmaktadır. Ayrıca cevherleşme sahasındaki galeri ağzında birikinti olarak rastlanan sular da görünüm, tat, renk vb benzeri parametrelerce değerlendirildiğinde su kalitesi düşük sular sınıfında olduğu gözlenmektedir (Şekil 7, Tablo 2).



Şekil 7. Cevherleşme/alterasyon sahasındaki dönemsel rastlanan potansiyel AMD su sızıntıları

Tablo 2. Sahadan alınan suların bazı kalite parametrelerine göre sınıflandırılması (Tabloda 1. sınıf sular için mavi, 2. sınıf sular için yeşil, 3. sınıf sular için sarı ve 4. sınıf sular için kırmızı renk kullanılmıştır) (Tablo 2 Vural vd. (2020b)'den alınmıştır)

PARAMETRELER	pH	Ç. Oksijen (DO)	İletkenlik	T. Fosfor (TP)	Nitrat (NO ₃)	Mangan (Mn)	Selenyum (Se)	Kadmiyum (Cd)
w-185								
w-186								
w-187								
w-188								
w-189								
w-190								
w-191								
w-192								
w-193								
w-451								

Sahadan alınmış suların element içerikleri dikkate alındığında, bazı örneklerde Li içeriklerinin beklenen değerleri aştığı saptanmış, 11.8 µg/L ile 35.9 µg/L aralığında Li tayin edilmiştir. Sularda B içeriklerinin dönemsel olarak 530.5 µg/L ile 1167.5 µg/L aralığında olduğu tespit edilmiştir. Sahada Na içeriği 22.3 mg/L kadar ulaşmaktadır. Sahadaki suların Mg içeriği 96.5 mg/L’ye kadar çıkmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Çalışma sahası sularına ait element içerikleri

Sample ID	Li					B					Na					Mg					
	µg/L					µg/L					mg/L					mg/L					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	w-185	<7,3	<7,3	<0,6	1,1	<0,6			<1,0	22,7	1,0	9,18	5,89	0,67	2,49	1,55	16,04	6,20	0,36	4,78	1,97
2	w-186	<7,3	<7,3	<0,6	0,9	<0,6			<1,0	1,7	<1,0	9,32	0,87	4,62	4,86	4,43	13,91	0,81	3,55	4,91	4,54
3	w-187	<7,3	<7,3	<0,6	1,3	0,7			2,2	32,6	12,9	4,39	2,42	1,47	3,47	2,57	9,55	2,77	2,21	12,81	7,85
4	w-188	<7,3	<7,3	<0,6	<0,6	<0,6			1,2	5,4	<1,0	4,41	1,72	1,71	2,75	2,39	9,54	7,26	1,68	3,26	2,82
5	w-189	<7,3	<7,3	<0,6	1,1	<0,6			<1,0	28,9	<1,0	4,37	1,38	1,24	3,23	1,58	9,48	1,76	0,85	6,81	1,92
6	w-190	<7,3	<7,3	<0,6	0,9	<0,6			<1,0	23,6	1,4	4,39	0,95	1,21	3,24	1,74	9,51	1,15	0,93	6,96	2,58
7	w-191	<7,3	<7,3	<0,6	0,7	<0,6			3,0	29,8	4,8	4,44	0,90	1,45	4,01	2,34	9,53	1,13	1,72	8,98	4,25
8	w-192	<7,3	<7,3	<0,6	<0,6	<0,6			<1,0	1,4	<1,0	4,62	1,26	2,58	3,06	2,37	10,03	2,39	3,46	4,56	3,55
9	w-193	<7,3	<7,3	<0,6	0,8	0,6			8,7	22,8	9,2	4,43	1,46	2,78	5,66	3,72	9,70	2,49	3,50	7,76	5,05
10	w-451				35,9	33,7														96,50	94,12

Saha sularında As değerleri 48.6 µg/L’e kadar ulaşmaktadır (Tablo 3). Arseniğin toksik özelliği de dikkate alındığında elde edilen değerin dikkat çekici olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3 (devam ediyor)

Sample ID	Ni					Cu					Zn					As				
	µg/L					µg/L					µg/L					µg/L				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
w-185	<10.2	<10.2	0.10	0.23	0.44	< 8.3	< 8.3	0.91	0.34	1.55	285.5	< 8.9	<0.8	4.8	<0.8	<7.0	<7.0	0.17	1.43	0.88
w-186	<10.2	<10.2	28.56	0.72	0.52	13.1	< 8.3	4.68	0.68	1.48	76.1	9.0	22.2	3.1	<0.8	<7.0	<7.0	0.48	0.29	0.51
w-187	<10.2	<10.2	20.45	0.12	0.24	< 8.3	< 8.3	1.96	0.21	1.82	81.5	< 8.9	2.2	<0.8	<0.8	48.6	<7.0	2.16	11.19	7.89
w-188	<10.2	<10.2	13.36	0.16	0.28	< 8.3	< 8.3	0.99	0.41	0.45	74.7	< 8.9	<0.8	<0.8	<0.8	13.4	<7.0	1.62	1.36	1.75
w-189	<10.2	<10.2	60.88	0.17	0.19	< 8.3	< 8.3	1.24	0.42	1.36	91.4	< 8.9	1.5	<0.8	4.4	<7.0	<7.0	0.43	2.23	0.71
w-190	<10.2	<10.2	22.10	0.18	0.42	< 8.3	< 8.3	0.73	0.29	2.35	60.9	< 8.9	<0.8	<0.8	3.0	<7.0	<7.0	0.59	2.73	1.35
w-191	<10.2	<10.2	39.44	0.19	0.24	9.4	< 8.3	1.08	0.28	1.57	83.0	< 8.9	<0.8	<0.8	9.9	7.1	<7.0	0.80	2.55	1.58
w-192	<10.2	<10.2	22.88	0.10	0.35	< 8.3	< 8.3	1.10	0.26	2.36	47.5	< 8.9	<0.8	<0.8	3.1	<7.0	<7.0	0.44	0.43	0.36
w-193	<10.2	<10.2	12.19	0.12	0.29	< 8.3	< 8.3	0.66	0.50	1.78	34.8	< 8.9	<0.8	<0.8	2.3	<7.0	<7.0	0.72	1.30	1.09
W-451				6.24	0.58				<0.05	0.75				<0.8	<0.8			14.18	15.25	

Sahadaki suların Sn içeriğinin 0.85 µg/L'e kadar ulaştığı tespit edilmiştir (Tablo 3). Ağırlıklı olarak Sb cevherleşmesinin görüldüğü sahadaki Sb içerikleri 6.92 µg/L'e kadar ulaşmıştır (Tablo 3). Bu değer suda bekleninin üstünde bir değerdir. Sahadaki sularda dikkat çekici Cs konsantrasyonları ölçülmüştür (22.5 µg/L'e kadar). Saha sularında Ba 460.9 µg/L'e kadar ölçülmüştür. Bu değer oldukça yüksek bir değer olup, sahadaki cevherleşmede barit'e rastlanılmış olması ve asidik karakterdeki suyun çevre kayalardan Ba çözerek zenginleşmesi de olağan görülmüştür.

Tablo 3 (devam ediyor)

Sample ID	Sn					Sb					Cs					Ba				
	µg/L					µg/L					µg/L					µg/L				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
w-185	<0.20	<0.20	<0.10	<0.10	<0.10	<0.6	<0.6	<0.02	<0.02	6.92	<10.2	<10.2	0.01	0.71	0.11	< 8.0	37.4	1.5	4.0	39.7
w-186	0.55	<0.20	0.46	0.41	<0.10	<0.6	<0.6	<0.02	<0.02	0.51	<10.2	<10.2	0.05	0.14	0.04	11.5	< 8.5	9.8	23.0	23.9
w-187	0.37	<0.20	0.14	0.32	<0.10	<0.6	<0.6	<0.02	1.33	0.69	<10.2	<10.2	0.31	1.83	1.18	9.1	< 8.5	4.1	19.6	12.1
w-188	0.48	<0.20	<0.10	<0.10	<0.10	<0.6	<0.6	<0.02	0.12	0.12	<10.2	<10.2	0.04	0.02	0.05	< 8.0	< 8.5	7.3	12.1	13.8
w-189	0.85	<0.20	<0.10	<0.10	<0.10	<0.6	<0.6	<0.02	0.13	0.07	<10.2	<10.2	0.06	0.58	0.16	< 8.0	< 8.5	3.8	9.3	3.1
w-190	0.65	<0.20	<0.10	0.45	<0.10	<0.6	<0.6	<0.02	0.42	1.17	<10.2	<10.2	0.06	0.51	0.47	< 8.0	< 8.5	3.2	11.5	7.5
w-191	0.49	<0.20	<0.10	<0.10	<0.10	<0.6	<0.6	0.08	0.53	0.66	<10.2	<10.2	0.04	0.12	0.08	< 8.0	9.1	5.3	16.5	10.8
w-192	0.21	<0.20	<0.10	<0.10	<0.10	<0.6	<0.6	<0.02	<0.02	0.03	<10.2	<10.2	<0.01	0.03	0.03	41.1	< 8.5	33.8	33.0	25.4
w-193	<0.20	<0.20	<0.10	<0.10	<0.10	<0.6	<0.6	0.09	0.23	1.68	<10.2	<10.2	0.02	0.08	0.04	19.2	< 8.5	17.1	28.5	27.5
W-451				<0.10	<0.10				<0.02	0.47				22.52	22.01				13.7	6.8

Sahadan AMD alanlarıyla ilişkili alınan dere kumu örneklerinin element içerikleri incelendiğinde Sc, V, Mn, Cu, As, Se, Mo, Cd, Sb, Hg ve Pb elementlerinin üst kabuk referans değerlerini aştıkları görülmüştür (Tablo 4). Elementlerle ilgili hesaplanan kirlilik indeksler (PI) incelendiğinde (Vural vd., 2020b) bahse konu elementler için sahanın bazı noktalar da özellikle de AMD sızıntısı alanı yakınlarında kirlilik riskine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Sahadan alınan dere kumu örneklerinin element içerikleri

	Adet	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma
Sc	8	11.86	26.48	18.51	5.52
V	8	132.00	266.03	180.53	43.63
Cr	8	27.98	144.72	75.24	37.92
Mn	8	865.51	2006.72	1225.76	410.87
Co	8	12.70	21.09	17.27	2.96
Ni	8	13.00	58.14	28.35	13.76
Cu	8	31.12	393.76	82.19	126.00
Zn	8	63.12	167.54	98.35	38.33
As	8	9.51	75.47	25.98	22.02

	Adet	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma
Se	6	0.19	0.42	0.29	0.08
Mo	8	0.45	6.88	1.40	2.22
Cd	8	0.11	0.80	0.31	0.22
Sb	8	0.39	3.90	1.24	1.19
Ba	8	235.20	2465.21	760.46	774.00
Hg	8	0.01	172.26	45.64	57.15
Pb	8	25.60	59.90	32.98	11.64
Th	8	4.14	7.97	6.00	1.39
U	8	1.49	3.10	2.53	0.52

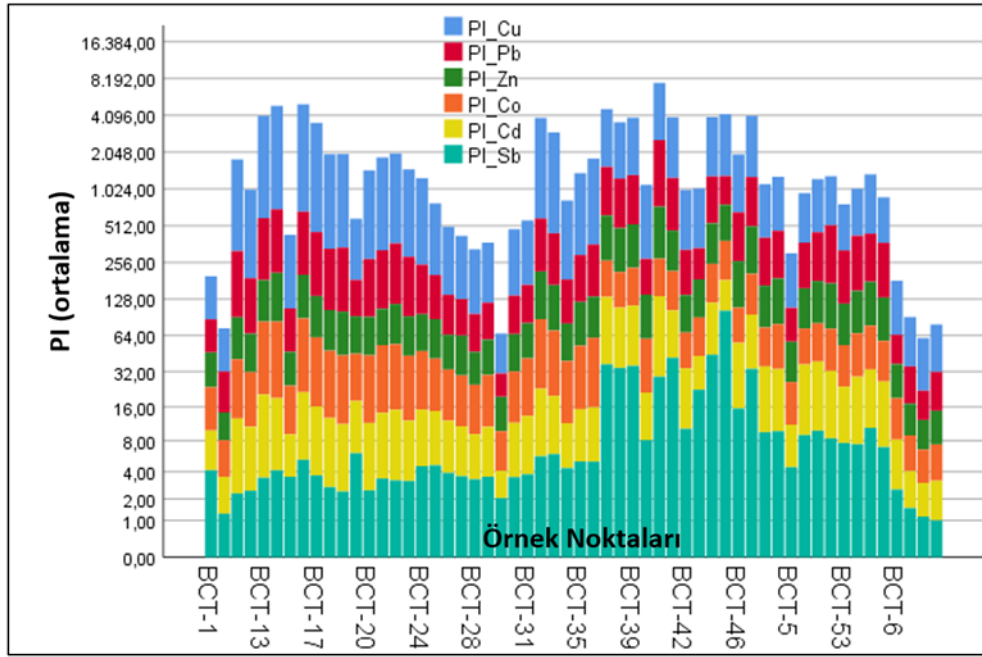
AMD sızıntılarından etkilenen topraklardan alınan örneklerde de bazı elementler için kirlilik tespit edilmiştir. Saha ve yakınıyla ilgili topraktaki doğal kaynaklı (alterasyon, asit maden drenajı vb) kirlilikleri konu alan farklı dergilerde sunulmuş ayrı çalışmalar mevcuttur (Sungur vd., 2020, 2018; Vural ve Çiçek, 2021, 2020, 2019). Bu çalışmalarda sahadaki doğal kaynaklı kirliliklere dikkat çekilmiş ve kirlenmede alterasyona bağlı asit maden drenajının etkisi de belirtilmiştir.

Avliyana sahasında AMD alanları ile ilişkili toprak örneklerinin tanımlayıcı istatistik parametreleri incelendiğinde, element konsantrasyonlarının üst kabuk değerlerini aştığı görülmektedir (Tablo 5). Bu anlamda, Cu, Zn, Co, Cd ve Sb değerleri özellikle dikkat çekicidir. Elementlerin standart sapma değerleri dikkate alındığında Cd dışında (0.06) kalan elementlerin dikkat çekici şekilde sapmaya sahip oldukları görülmektedir (Tablo 5). 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 5. Avliyana sahası topraklarının element konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistik parametreleri (Tablo 5 Vural ve Çiçek (2020)'den alınmıştır)

Elementler	Rudnick ve Gao (2010) 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

Sahadan alınan toprakların element içerikleri için PI ve I_{geo} (jeobirikim indeksi) parametreleri dikkate alındığında Sb değerlerinin kirlilik riski taşıdığı görülmektedir. Sb dışında, Cu, Pb, Zn, Co ve Cd gibi asit maden drenaj alanlarında yüksek konsantrasyonlar gösteren elementlerin de toprakta özellikle de AMD sızıntılarının olduğu kesimlerde yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir (Şekil 8)



Şekil 8. Saha topraklarının PI değerleri (3'ün üzeri değerler yüksek kirlilik riski taşıyan bölgelerdir (Şekil Vural ve Çiçek (2020)'den alınmıştır).

3. SONUÇLAR

Bu çalışma, Gümüşhane ili, Torul İlçesi Avliyana cevherleşme/alterasyon sahasının alterasyon özellikleri, alterasyona bağlı jeokimyasal değişimler ve sahadaki ilksel kayaç ile altere kayaç arasında kütle kazancı/kaybının araştırılmasına yönelik gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sahadaki sülfürlü minerallerin alterasyon süreçleri ve günlenmeye bağlı olarak bozuşmasıyla oluşmuş küçük çaplı asit drenajı sızıntılarının etkisi ve muhtemel riski de araştırılmıştır. Sahadaki litolojik farklılıklar, cevherleşme ve alterasyon kalıpları, alterasyona bağlı çevre kirliliği vb kapsamda detaylı çalışmalar bu çalışmadan bağımsız olarak farklı, prestijli dergi (SCI ve diğer dergiler) ve kongrelerde (ulusal/uluslararası) sunulmuş olmakla birlikte, sahadaki alterasyona bağlı kimyasal değişimler ve kütle değişimlerine yönelik müstakil olarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın jeokronolojik ve izotop jeokimyası gibi detayları ise ayrı bir çalışma olarak yine etki faktörü yüksek bir dergide yayınlanacaktır. Yapılan çalışma sonucunda ilksel kayaç ile altere kayacın aynı kökene ait olduğu tespit edilmiş olup, izokon grafiğine göre TiO_2 , Fe_2O_3 , W, Cu, Al_2O_3 , Ni, V ve Zr elementlerinin izokon doğrusunun üzerine ve/veya yakın civarına düştükleri dolayısıyla bu elementlerce dikkat çekici manada bir kütle kaybı veya kazancının olmadığı sonucuna varılmıştır. İzokon doğrusunun altına düşen Na_2O , MgO, CaO, K_2O , Th, Ta, Rb ve NTE elementlerinin ise kütle kaybı gösterdiği sonucuna varılmıştır. NTE'lerce olan kütle kaybının nispeten daha düşük düzey olduğu da belirlenmiştir. İzokon doğrusunun üstünde yeralan Hg, Cd, Tl, Bi, Mo, Cs, Ag, As, Au, Cu, Pb, Zn ve Sb elementlerince ise kütle kazanımının olduğu tespit edilmiştir. Sahadaki sülfürlü minerallerin, yeraltı ve sızıntı sularıyla etkileşim ve maruz kaldıkları hidrotermal alterasyon süreçleri ve günlenmeye bağlı bozuştuğu ve sızıntılar şeklinde asit maden drenajı oluşturdukları tespit edilmiştir. Asit maden drenajının geliştiği ve etkileşimde olduğu alanlardan alınan su, dere kumu ve toprak örneklerinde asit maden drenaj etkisinin gözlemlendiği, ilerleyen zaman içinde ve/veya sahada yapılacak madencilik

faaliyetlerinde bu manada asit maden drenaj riskinin de olacağının göz önünde bulundurulması yararlı olacaktır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, verileri kısmen Gümüşhane Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü (Proje No: 19.F5114.01.02) ve kısmen de TÜBİTAK Ar-Ge 1001 (Proje No:115Y146) programı ile desteklenmiştir. Arazi çalışmalarındaki katkısı nedeniyle Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ'a, labortuar ve arazi çalışmalarından dolayı Prof. Dr. Ali GÜNDOĞDU'ya teşekkür ederim. Ayrıca ilgili kuruluşlar ile bu makalenin yayınlanmasına katkılarından dolayı ilgili editör ve anonim hakemlere de teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Geology of Demirözü (Bayburt) and Köse (Kelkit). KTU, Trabzon.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ., Kaygusuz, A., 2014. K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: Implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. *Mineralogy and Petrology* 108, 245–267. <https://doi.org/10.1007/s00710-013-0294-2>
- Aydınçakır, E., Yücel, C., Ruffet, G., Gücer, M.A., Akaryalı, E., Kaygusuz, A., 2022. Petrogenesis of post-collisional Middle Eocene volcanism in the Eastern Pontides (NE, Turkey): Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd-Pb isotopes, zircon U-Pb and ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology. *Geochemistry* 125871. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2022.125871>
- Bektaş, O., 1984. Upper Cretaceous shoshonitic volcanism and its importance in the eastern Pontides. *Karadeniz Technical University, Earth Sciences Bulletin* 3, 53–62.
- Bektaş, O., Güven, İ.H., 1995. Alaskan Aphinitic Type Ultramafic and Mafic Complexes as the Root Zone of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey), içinde: *Geology of the Black Sea Region*. Ankara, Türkiye, ss. 189–196.
- Bohlke, J.K., 1989. Comparison of metasomatic reactions between a common CO₂-rich vein fluid and diverse wall rocks: intensive variables, mass transfers, and Au mineralization at Alleghany, California. *Economic Geology* 84, 291–327. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.84.2.291>
- Brimhall, G.H., Dietrich, W.E., 1987. Constitutive mass balance Differential feldspar weathering in granites 867 relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and petrogenesis between chemical composit. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51, 567–587.
- Çiftçi, A., Ural, M.N., Vural, A., 2020. Baz metallerin dünya siyasi tarihindeki önemli olaylarla bağlantısının retrospektif literatür taraması yöntemi ile araştırılması. *International Social Sciences Studies Journal* 6, 1453–1461.
- 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, 47–54. <https://doi.org/10.48121/jihsam.796465>
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize granitik plutonlarının mukayeseli petrojeolojik ve

jeokronolojik etüdü. Unpublished Dissertation Thesis, İstanbul Technical University.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 2013. An Introduction to the Rock-Forming Minerals, An Introduction to the Rock-Forming Minerals. <https://doi.org/10.1180/dhz>

Demir, Y., 2005. İstala ve Köstere (Zigana/Gümüşhane) Cu-Pb-Zn Madenleri ve Yan Kayaçlarının Mineralojisi ve Dokusal Özelliklerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Trabzon-Türkiye.

Dokuz, A., Karanlı, O., Chen, B., Uysal, I., 2010. Sources and petrogenesis of Jurassic granitoids in the Yusufeli area, Northeastern Turkey: Implications for pre- and post-collisional lithospheric thinning of the eastern Pontides. *Tectonophysics* 480, 259–279. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.10.009>

Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Thorkelson, D., Zhu, D.C., Liu, Z., Chatterjee, N., Yi, K., Santosh, M., 2017. Eocene granitoids of northern Turkey: Polybaric magmatism in an evolving arc-slab window system. *Gondwana Research* 50, 311–345.

Floyd, P.A., Winchester, J.A., 1975. Magma Type and Tectonic Setting Discrimination Using Immobil Elements (P A Floyd and J A Winchester).pdf. *Earth and Planetary Science Letters* 27, 211–218.

Grant, J.A., 1986. The Isocon Diagram a Simple Solution to Gresens Equations for Metasomatic Alteration. *Economic Geology* 81, 1976–1982.

Greesens, R.L., 1967. Composition-volume Relationships of Metasomatism. *Chemical Geology* 2, 47–65.

Güner, S., Yazıcı, E.N., Dursun, A., Yılmaz, Z., Yılmaz, H., Ağan, A., Özgüner, K.C., 2003. Gümüşhane-Bayburt-Trabzon Polimetallik Ruhsat Sahaları Jeoloji Raporu. Ankara, Türkiye.

Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin 1/100.000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Hanılçı, N., 2013. Geological and geochemical evolution of the Bolcardaği bauxite deposits, Karaman, Turkey: Transformation from shale to bauxite. *Journal of Geochemical Exploration* 133, 118–137. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.04.004>

Herrmann, W., Berry, R.F., 2002. MINSQ – a least squares spreadsheet method for calculating mineral proportions from whole rock major element analyses. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 2, 361–368. <https://doi.org/10.1144/1467-787302-010>

Hurlbut, C.S., 1944. Dana's manual of mineralogy, 5. ed. John Wiley & Sons, New Jersey. <https://doi.org/10.1038/185721d0>

Huston, D.L., 1993. The effect of alteration and metamorphism on wall rocks to the Balcooma and Dry River South volcanic-hosted massive sulfide deposits, Queensland, Australia. *Journal of Geochemical Exploration* 48, 277–307. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(93\)90008-A](https://doi.org/10.1016/0375-6742(93)90008-A)

Karlı, O., Chen, B., Aydın, F., Şen, C., 2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek Plutons, Eastern Turkey: Implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision

extensional setting. *Lithos* 98, 67–96. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.03.005>

Karlı, O., Dokuz, A., Kandemir, R., 2016. Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlik and Casurluk plutons: Insights from geochemistry, whole-rock Sr–Nd and in situ zircon Lu–Hf isotopes, and U–Pb geochronology. *Lithos* 266–267, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.10.007>

Kaygusuz, A., 2020. Geochronological age relationships of Carboniferous Plutons in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 9, 1299–1307.

Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., Ilbeyli, N., 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review* 54, 1776–1800. <https://doi.org/10.1080/00206814.2012.676371>

Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F., Temizel, İ., 2016. 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 Research* 39, 327–346.

Kaygusuz, A., Arslan, M., Temizel, İ., Yücel, C., Aydınçakır, E., 2021a. U–Pb zircon ages and petrogenesis of the Late Cretaceous I-type granitoids in arc setting, Eastern Pontides, NE Turkey. *Journal of African Earth Sciences* 174, 104040. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.104040>

Kaygusuz, A., Aydınçakır, E., Yücel, C., Atay, H.E., 2021b. Petrographic and geochemical characteristics of carboniferous plutonic rocks around Erenkaya (Gümüşhane, NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 10, 1774–1788.

Kaygusuz, A., Gucer, M.A., Yücel, C., Aydınçakır, E., Sipahi, F., 2019. Petrography and crystallization conditions of Middle Eocene volcanic rocks in the Aydıntepe-Yazyurdu (Bayburt) area, Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 8, 1205–1215.

Kaygusuz, A., Merdan Tutar, Z., Yücel, C., 2017. Mineral chemistry, crystallization conditions and petrography of Cenozoic volcanic rocks in the Bahçecik (Torul/Gumushane) area, Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 6, 641–651.

Kaygusuz, A., Sahin, K., 2016. Petrographical, geochemical and petrological characteristics of Eocene volcanic rocks in the Mescitli area, Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 5, 473–486.

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, 739–764. <https://doi.org/10.1007/s00531-007-0188-9>

Kaygusuz, A., Sipahi, F., Ilbeyli, N., Arslan, M., Chen, B., Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the late Cretaceous Turnagöl intrusion in the eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers* 4, 423–438. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.09.003>

Ketin, İ., Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İstanbul İTÜ Kütüphanesi.

Köprübaşı, N., Şen, C., Kaygusuz, A., 2000. Doğu Pontid adayayı granitoyidlerinin karşılaştırılmalı petrografik ve kimyasal özellikleri, KD Türkiye. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi 1, 111–120.

Külekçi, G., Çullu, M., Yılmaz, M., Yılmaz, A.O., 2018. Environmental Problems to Be Created in Mining Procedures and Measures to Be Taken Example of A Quarry Dust Emission, içinde: 4th EurAsia Waste Management Symposium (EurAsia2018).

Külekçi, G., Vural, A., 2021. Analysis and Classification of Water Occuring Naturally in a Metallic Underground Mine, içinde: International Halich Congress. İstanbul, Türkiye, ss. 308–316.

Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelemesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.

Machender, G., Dhakate, R., Prasanna, L., Govil, P.K., 2011. Assessment of heavy metal contamination in soils around Balanagar industrial area, Hyderabad, India. Environmental Earth Sciences 63, 945–953. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0763-4>

Mountain, B.W., Williams-Jones, A.E., 1995. Mass Transfer and the Path of Metasomatic Reactions in Mesothermal Gold Deposits: An Example from Flambeau Lake, Ontario. Economic Geology 91, 302–321.

Nesbitt, H.W., 1979. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. Nature 279, 206–210.

Özdoğan, K., 1992. Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi-Mineralojisi-Petrografisi ve Maden Zuhurlarının Jenetik İncelenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Özsayar, T., Pelin, S., Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidlerde Kretase. KTÜ Yer Bilimleri Dergisi 1, 65–114.

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

Pintos Cerda, L., Jones, C., Kisters, A., 2020. Multi-stage alteration, rheological switches and high-grade gold mineralization at Sheba Mine, Barberton Greenstone Belt, South Africa. Ore Geology Reviews 127, 103852. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103852>

Rose, A.W., Hawkes, H., Webs, J., 1991. Geochemistry in Mineral Exploration, 2. ed. Academic Press, London, England.

Rubio, B., Nombela, M.A., Vilas, F., 2000. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ría de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. Marine pollution bulletin 40, 968–980.

Rudnick, R., Gao, S., 2010. Composition of the Continental Crust, içinde: Holland, H., Turekian, K. (Ed.), Readings of Treatise on Geochemistry. Elsevier, London, England.

Saydam Eker, Ç., 2012. Petrography and geochemistry of Eocene sandstones from eastern Pontides (NE TURKEY): Implications for source area weathering, provenance and tectonic setting. Geochemistry International 50, 683–701. <https://doi.org/10.1134/S001670291206002X>

Sipahi, F., Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ., Gücer, M.A., Vural, A., Kaygusuz, A., Aydurmuş, T., 2022. Eocene magmatism and associated Fe-Cu mineralization in northeastern Turkey: a case study of the Karadağ skarn. *International Geology Review* 64, 1530–1555. <https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1941323>

Sipahi, F., Vural, A., Akpınar, I., Saydam Eker, Ç., Kaygusuz, A., 2017. Comparison of Fluid Inclusions of Egrikar Fe-Cu, Kopuz Fe And Karadag Fe-Cu Skarns Occurrences (Gümüşhane, Turkey), 3rd International Conference on Engineering and Natural Science I(CENS 2017). ss. 561–561.

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, 104255. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104255>

Sungur, A., Vural, A., Gündoğdu, A., Soylak, M., 2018. Gümüştuğ Köyü (Torul-Gümüşhane) Tarım Topraklarında Manganın Jeokimyasal Karakterizasyonu, içinde: International Trace Analysis Congress (ITAC 2018/ES-AN 2018). Sivas, Türkiye, s. 231.

Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G., Peucat, J.J., 2012. Petrochemistry, geochronology and Sr–Nd isotopic systematics of the Tertiary collisional and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: Implications for extension-related origin and mantle source characteristics. *Lithos* 128–131, 126–147. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.10.006>

Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu Yazar, E., Kaygusuz, A., Aslan, Z., 2020. Eocene tonalite–granodiorite from the Havza (Samsun) area, northern Turkey: adakite-like melts of lithospheric mantle and crust generated in a post-collisional setting. *International Geology Review*. <https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1625077>

Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu Yazar, E., Kaygusuz, A., Aslan, Z., 2019. U–Pb geochronology, bulk-rock geochemistry and petrology of Late Cretaceous syenitic plutons in the Gökky (Ordu) area (NE Turkey): Implications for magma generation in a continental arc extension triggered by slab roll-back. *Journal of Asian Earth Sciences* 171, 305–320.

Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz bölgesinde Eosen yaşlı kalkalkalen andezitler ve jeotektonizma. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni* 20, 49–54.

Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satir, M., Werner, O., Schwarz, W.H., 2004. Aluminous granulites from the Pulur complex, NE Turkey: A case of partial melting, efficient melt extraction and crystallisation. *Lithos* 72, 183–207. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2003.10.002>

Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeke, 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, 92–110. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.01.003>

Topuz, G., Okay, A.İ., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Zack, T., Satir, M., Sen, C., 2011. Post-collisional adakite-like magmatism in the Agvanis Massif and implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos* 125, 131–150. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.02.003>

Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., Ustaömer, P.A., Gerdes, A., Peytcheva, I., 2013. Constraints on variscan and cimmerian magmatism and metamorphism in the pontides

(Yusufeli-Artvin area), NE Turkey from U-Pb dating and granite geochemistry. Geological Society Special Publication 372, 49–74. <https://doi.org/10.1144/SP372.13>

Vural, A., 2020. Demirören/Gümüşhane-Türkiye Kuvars Porfiri Kayacı ve İlişkili Skarn-Metasomatizmanın Jeokimyasal Özellikleri. Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences 7, 97–121. <https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.394>

Vural, A., 2017. 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 Physica Polonica A 132, 792–795. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.792>

Vural, A., 2015. Contamination assessment of heavy metals associated with an alteration area: Demirören Gumushane, NE Turkey. Journal of the Geological Society of India 86, 215–222. <https://doi.org/10.1007/s12594-015-0301-9>

Vural, A., Çiçek, B., 2021. Gümüştüğ Antimonit Cevherleşmesinin Toprak Jeokimyası ve Titrek Kavak (*Populus Tremula*)'nın Biyojeokimyasal Özelliklerinden Yararlanılarak Araştırılması. Gümüşhane Üniversitesi, GÜBAP, Ar-Ge1002, Proje No:19.F5114, Gümüşhane, Türkiye.

Vural, A., Çiçek, B., 2020. Cevherleşme Sahasında Gelişmiş Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 8, 1533–1547. <https://doi.org/10.29130/dubited.643775>

Vural, A., Çiçek, B., 2019. Heavy Metal Pollution in Developed Soils on Mineralization Zone, içinde: 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET). Bayburt, Türkiye.

Vural, A., Çiftçi, A., 2021. Analysis of Raw Material Supply-Demand Relationship Using N-Gram: Chrome Mine Example. Euroasia Journal of Social Sciences and Humanities 8, 1–9.

Vural, A., Çiftçi, A., Ural, M.N., 2020a. Kıymetli Taşlar ve Sömürgecilik: Dijital Veri Materyallerinin Analizi Örneğiyle (Precious Stones and Colonialism: Example of Analysis of Digital Data Materials). Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences 7, 122–134. <https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.404>

Vural, A., Erdoğan, M., 2014. Eski Gümüşhane Kırkpavli Alterasyon Sahasında Toprak Jeokimyası. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4, 1–15.

Vural, A., Erşen, F., 2019. Geology, mineralogy and geochemistry of manganese mineralization in Gumushane, Turkey. Journal of Engineering Research and Applied Science 8, 1051–1059.

Vural, A., Gündoğdu, A., Bulut, V.N., Alemdağ, S., Saka, F., Soylak, M., 2020b. Harşit Vadisinde (Gümüşhane), Bölgedeki (Terkedilmiş) Maden Sahalarından Kaynaklanan Ağır Metal/İz Element Kirliliğinin Araştırılması. Tübitak Ar-Ge 1001. Proje No:115Y146. Gümüşhane, Türkiye.

Vural, A., Kaya, S., Başaran, N., Songören, O.T., 2009. Anadolu Madenciliğinde İlk Adımlar. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA Kültür Serisi-3, Ankara, Türkiye.

Vural, A., Kaygusuz, A., 2022. Kirlilik Parametrelerine Göre Farklı Kayaçların Element İçeriklerinin Araştırılması: Avliyana (Torul-Gümüşhane/Türkiye), içinde: 2. Uluslararası Hasankeyf Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi. Batman, Türkiye, ss. 251–259.

Vural, A., Kaygusuz, A., 2021a. Petrographic and geochemical characteristics of late Cretaceous volcanic rocks in the vicinity of Avliyana (Gümüşhane , NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 10, 1796–1810.

Vural, A., Kaygusuz, A., 2021b. Geochronology, petrogenesis and tectonic importance of Eocene I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences* 14, 467. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06884-z>

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, 1216–1228.

Vural, A., Kaygusuz, A., 2016. Avliyana (Torul-Gümüşhane) Antimonit Cevherleşmesinin Jeolojisi-Mineralojisi ve Kökeninin Araştırılması. Tübitak Ar-Ge 3001, Proje No: 113Y382. Gümüşhane, Türkiye.

Vural, A., Kaygusuz, A., Dönmez, H., 2016. Avliyana Antimonit Cevherleşmesinin Duraylı İzotop ve Sıvı Kapanım Verileriyle Değerlendirilmesi, içinde: 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Ankara, Türkiye, ss. 370–373.

Vural, A., Külekçi, G., 2021. Zenginleştirilmiş Jeoturizm Güzergahı:Gümüşhane-Bahçecik Köyü (Enriched Geotourism Route: Gümüşhane-Bahçecik Village). *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences* 8, 1–23. <https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.894>

Vural, A., Ural, M.N., Çiftçi, A., 2020c. Evaluation of Historical Development of Some Concepts Related to Development and Environmental Issues with N-Gram Analysis, içinde: *International Black Sea Coastline Countries Symposium-5. Zonguldak, Türkiye*, ss. 58–59.

Vural, A., Ural, N., Çiftçi, A., 2020d. Değerli Metallerin Sosyal / Siyasal / Ekonomik Olaylarla İlişkisinin N- gram Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *Social Mentality and Researcher Thinkers Journal* 6, 247–257.

Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1976. Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth and Planetary Science Letters*. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(76\)90207-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(76)90207-7)

Yılmaz, Y., 1972. Petrology and structure of the Gümüşhane Granite and surrounding rocks, North-Eastern Anatolia. PhD Thesis, University of London 260 p.

Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu Yazar, E., Ruffet, G., 2017. Evolution of K-rich magmas derived from a net veined lithospheric mantle in an ongoing extensional setting: Geochronology and geochemistry of Eocene and Miocene volcanic rocks from Eastern Pontides (Turkey). *Gondwana Research* 45, 65–86.