



GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE



ISSN 2146-538X

CİLT/VOLUME: 3

SAYI/NUMBER: 2

YIL/YEAR: 2013

Gümüşhane University Science and Technology Institute Bağlarbaşı Mahallesi 29100 Gümüşhane/TURKEY
gufbed@gumushane.edu.tr Tel: 0 456 233 75 36 Faks: 0 456 233 74 27

Arzular (Gümüşhane, KD-TÜRKİYE) Epitermal Altın Cevherleşme Sahasındaki Hidrotermal Alterasyonlar ve Kütle Değişim Hesaplamaları

E. AKARYALI^{1*}, N. TÜYSÜZ²

¹Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61000, Trabzon, Türkiye

Geliş tarihi/Received 04.04.2013

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 16.07.2013

Kabul tarihi/Accepted 19.07.2013

Özet

Arzular (Gümüşhane, KD Türkiye) epitermal altın cevherleşmesi, Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu içinde KD-GB doğrultulu KB'ya eğimli ve yaklaşık DB doğrultulu K'ye eğimli damarlara fay kontrollü olarak yerleşmiştir. Sahadaki asıl cevherleşmeler Kuzdağı Sırtı mevkiinde K70D doğrultulu bir kırık zonu içinde gelişmiştir. Cevherli silis damarları 0.1-0.3 m kalınlığında olup devamlılık göstermezler. Cevherleşmede yaygın olarak boşluk dolgusu ve bantlı yapı gözlenmektedir. Ana cevher minerallerini galen, sfalerit, pirit, kalkopirit ve tetrahedritle birlikte eser miktarda altın oluşturmaktadır. Kütle değişim hesaplamalarına göre cevherden yan kayaca doğru kuvars, serizit, K'lu Feldspat kaolinit, Fe Klorit, albit, Mg klorit ve epidot en yaygın gözlenen alterasyonun mineralleridir. Damara dik bir hat boyunca örneklenen profillerde hareketsiz elementler Zr, Hf, Nb, Al ve Ti'dir. Bu hareketsiz elementler ile yapılan nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişim hesaplamalarına göre; 1, 3 ve 5 nolu profillerde net kütle artışı, 2 ve 4 nolu profillerde ise net kütle kaybı söz konusudur.

Anahtar kelimeler: Arzular, Epitermal altın, Alterasyon, Kütle değişimi, Hareketsiz element

Mass Change Calculations and Hydrothermal Alterations Arzular Epithermal Gold Mineralization (Gümüşhane, NE, TURKEY)

Abstract

Arzular epithermal gold mineralization (Gümüşhane, NE Turkey) has emplaced as fault-controlled into NE-SW trending and NW dipping, and also about EW trending and North dipping fractures within the Eocene aged Alibaba Formation. The main mineralizations have developed along a N70E trending fracture zone in Kuzdağı Ridge area. Ore-bearing silica veins exhibit 0.1-0.3 m thicknesses and do not show continuity in the field. Cavity-filling and banded structures are widely observed in mineralizations. The main ore minerals consist of galena, sphalerite, pyrite, chalcopyrite and tetrahedrite, and also trace amounts of gold. According to mass change calculations; Quartz, sericite, K-Feldspar, kaoline, Fe chlorite, albite, Mg chlorite and epidote are most common alteration minerals from ore towards wall rock. Zr, Hf, Nb, Al and Ti are immobile

* Enver AKARYALI, eakaryali@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 74 25/1224

elements in the profiles that laid out along a line perpendicular to the vein. Relative (%) and net (g/100g) mass change calculations done considering these immobile elements indicated mass gains in 1, 3 and 5 numbered profiles, mass losses in 2 and 4 numbered profiles.

Key words: *Arzular, Epithermal gold, Alteration, Mass change, Immobile element*

1. Giriş

Doğu Avrupa'dan başlayıp, Orta Asya'dan Pasifik'e kadar uzanan Alp-Himalaya metalojenik kuşağının bir parçası olan Doğu Pontidler çok sayıda ve farklı tiplerde ekonomik cevherleşmeye ev sahipliği yapması nedeniyle dünyadaki sayılı bölgelerden biridir. Özellikle masif sülfid, porfiri bakır, skarn ve epitermal damar tipi Cu, Pb, Zn, Au ve Ag gibi ekonomik maden yataklarını içeren bu bölgenin jeolojisi, tektoniği ve maden yatakları bugüne kadar çok sayıda çalışmaya konu olmuştur (Gettinger, 1962; Dixon ve Pereira, 1974; Adamia, vd., 1977; Aslaner, 1977; Pejatoviç, 1979; Leitch, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yalçınalp, 1992; Kaygusuz, 1992; Bektaş ve Güven, 1995; Lermi, 1996; Sipahi, 1996; Akçay, vd., 1998; Tüysüz, 2000; Çiftçi, 2000; Lermi 2003; Saraç, 2003; Sipahi, 2005; Demir, 2005; Saraç ve Van, 2005; Eyüboğlu 2010; Akaryalı 2010; Sipahi ve Sadıklar, 2010; Sipahi, 2011; Akaryalı ve Tüysüz 2012; Karakaya vd., 2012). Çalışma konusunu oluşturan Arzular cevherleşmesi Doğu Pontid metalojenik kuşağı içerisinde bulunan, damar tipi Pb-Zn, Au ± Ag yataklarının tipik örneklerinden biridir. Bugüne kadar bu cevherleşme ile ilgili olarak, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Trabzon Bölge Müdürlüğü tarafından sadece prospeksiyon amaçlı çalışmalar yapılmıştır (Ağan, 2003, Güner ve Yazıcı, 2006-2011). Bu kapsamda, Arzular yöresinde 1998 yılındaki 1/10 000 ölçekli yarı detay çalışmalarda bir örnekte 9.8 g/ton Au ve 2001 yılındaki 1/5000 ölçekli detay çalışmalarda ise bir örnekte 13 gr/ton altının varlığı belirlenerek saha MTA'ya kazandırılmıştır (Güner ve Yazıcı, 2006). Ön prospeksiyon sırasında elde edilen yüksek Au değerleri dikkate alınarak, daha sonraki yıllarda Arzular yöresindeki çalışmalar yoğunlaştırılmış ve 2002-2006 yılları arasında toplam 19 adet sondaj yapılmıştır. Sondaj karotlarının yarılanması ile elde edilen sınırlı sayıda örneğin jeokimyasal analizleri, Arzular cevherleşmesi için 1 – 64.8 g/ton arasında değişen Au

değerlerinin varlığını göstermiştir (Güner ve Yazıcı, 2006). Bu çalışmada, Arzular (Gümüşhane) yöresinde yüzeyleyen Eosen yaşlı volkanik kayalara bağlı olarak oluşan epitermal altın cevherleşmesinin jeolojisi, mineral parajenezi, hidrotermal alterasyon türleri ve bu alterasyon zonlarında meydana gelen kütle değişimleri ortaya çıkarılmıştır.

2. Analiz Yöntemleri

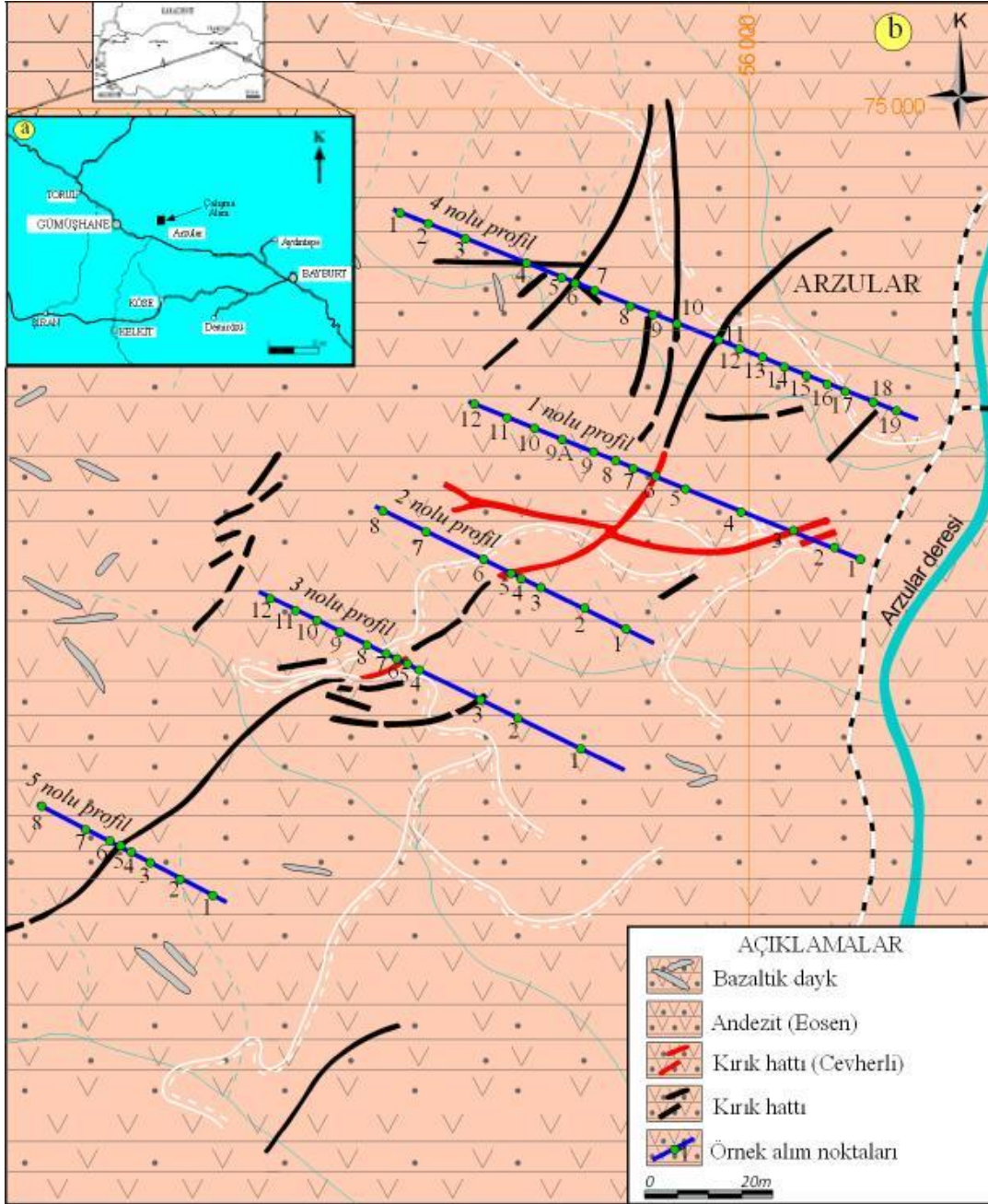
Çalışma amacına yönelik olarak, Arzular cevherleşme sahasında gözlenen kırık sistemlerine dik doğrultuda atılan 5 profil boyunca 60 adet kayaç örneği alınmış ve bu örneklerden hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskopta incelenmiştir. Ayrıca alınan tüm örneklerin ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri ACME Analitik Laboratuvarında (Kanada) yaptırılmıştır. Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümü örnek hazırlama laboratuvarında çeneli kırıcı ve halkalı öğütücü kullanılarak toz haline getirilen ve ACME Analitik Laboratuvarına gönderilen örneklerden 0.20 gramı 1.5g LiBO₂ ile karıştırılmış, %5 HNO₃ içeren bir sıvı içinde çözündürülerek ana elementler % ağırlık, iz elementler ppm olarak ICP (Inductively Coupled Plasma) analiz tekniği ile ölçülmüştür. İlaveten toz haline getirilen örneklerden 0.25 gramı ise dört farklı asit içinde çözündürülmüş ve nadir toprak elementler ppm olarak ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) analiz tekniği ile ölçülmüştür.

3. Arzular Cevherleşmesi ve Yakın Çevresinin Jeolojisi

Çalışma konusunu oluşturan cevherleşme sahası, Gümüşhane İli Arzular Beldesi'nin batısında Kuzdağı Sırtı ve civarında yer aldığından Arzular Cevherleşmesi olarak isimlendirilmiştir. Arzular Cevherleşme sahasında Eosen yaşlı andezit- bazalt ve bunların piroklastitlerinden oluşan Alibaba

Formasyonu geniş bir alanda yüzeyleme vermektedir. Cevherleşme özellikle Alibaba Formasyonu içinde yer alan andezitlere bağlı olarak gelişmiş olup (Şekil 1), bu kayalarda yer

yer yoğun alterasyon gözlenmektedir. Cevherleşmenin içine yerleştiği andezitleri ise sahada bazalt daykları kesmektedir.



Şekil 1. (a) Cevherleşme sahasının yer bulduru haritası ve (b) detay jeoloji haritası ve damara dik bir hat boyunca örnek alınan profiller (Güner ve Yazıcı 2006'dan değiştirilerek).

3.1. Arzular Cevherleşmesi

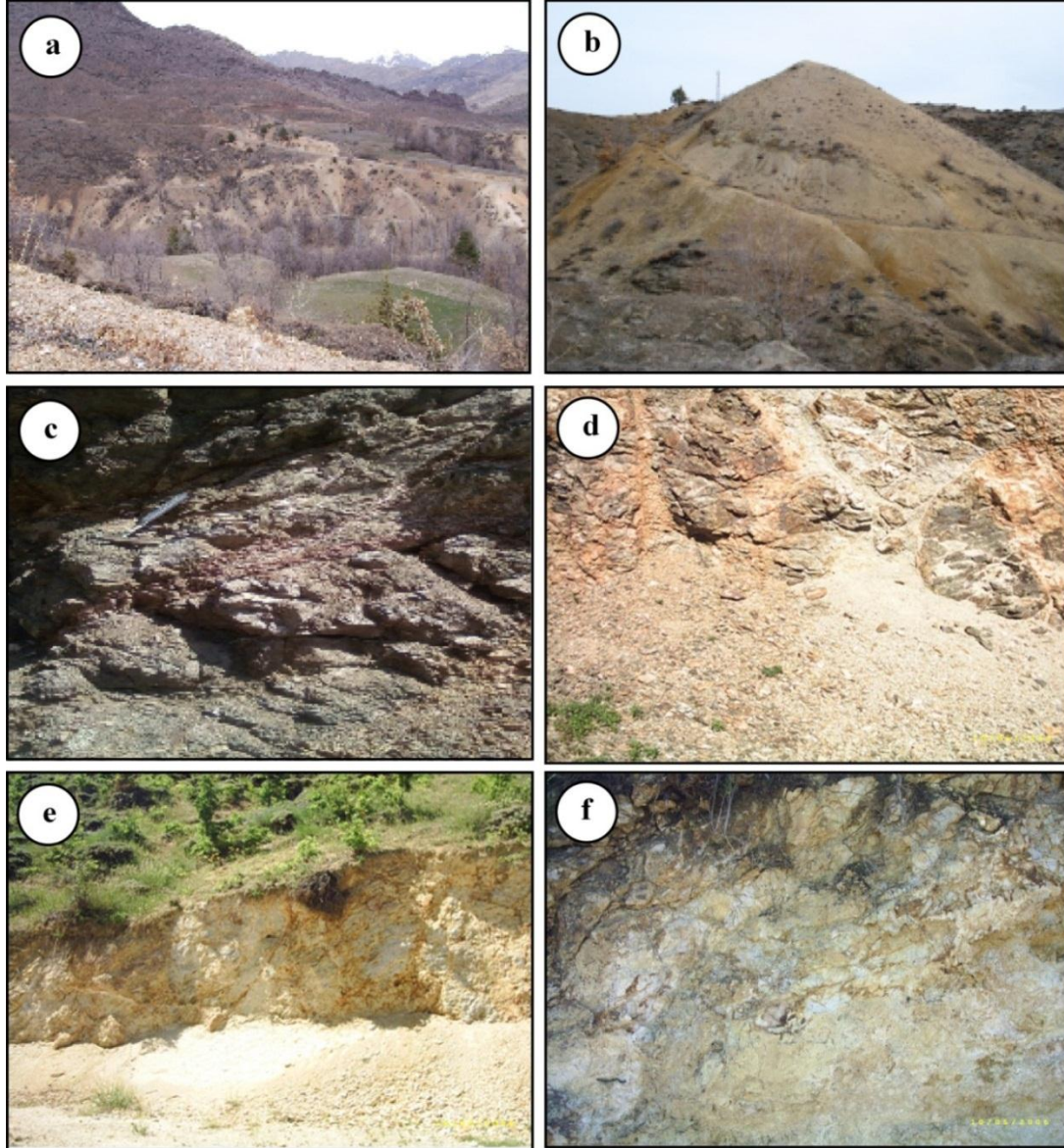
Sahada bulunan andezitler genellikle KD-GB yönlü faylardan yoğun olarak etkilenmişlerdir. Cevherleşme çalışma sahasında 1 km²'lik bir alanda Kuzdağı Sırtı ve civarında DB ve KD-GB doğrultulu fay ve kırık zonlarında

bulunmaktadır (Şekil 1). DB doğrultulu kırık zonunun uzunluğu yaklaşık 500 m kadardır. DB doğrultulu kırık hattında bu silis damarları 70° kuzeye eğimlidir. Kalınlıkları ise 10 cm ila 40 cm arasında değişmektedir. Cevherleşme sahasında KD-GB doğrultulu kırıkların uzunluğu 1500 m kadardır. Bu kırıklarda bulunun silis

damarları ve cevher mostraları K70D doğrultu ve 75° KB'ya eğilimidir. Ancak bu cevher mostraları ve silis damarları devamlılık arz etmezler. Bu mostraların kalınlıkları ise yaklaşık 20 cm ila 50 cm arasında değişmektedir.

Bu kırık zonlarının bulunduğu alanda cevherleşmeye ev sahipliği yapan andezitler,

hidrotermal alterasyona maruz kalmışlardır (Şekil 2a). Eosen yaşı bu andezitlerde gözlenen alterasyon türleri genel olarak cevherleşmeden uzak kesimlerde limonitleşme-hematitleşme (Şekil 2b, c ve d), cevherleşmeye geçiş zonlarında killeşme (Şekil 2e) cevherleşmenin yoğunlaştığı zonlarda ise silisleşme gözlenmektedir (Şekil 2f).



Şekil 2. Arzur cevherleşme sahasında gözlenen alterasyon türleri: (a) KB-GD doğrultulu kırık sisteminde gözlenen alterasyonlar, (b) killeşme ve limonitleşme, (c) hematitleşme (d) killeşme ve limonitleşme, (e) killeşme (f) silisleşme.

3.2. Cevher Yapıları, Cevherin Yerleşimi ve Mineral Parajenezi

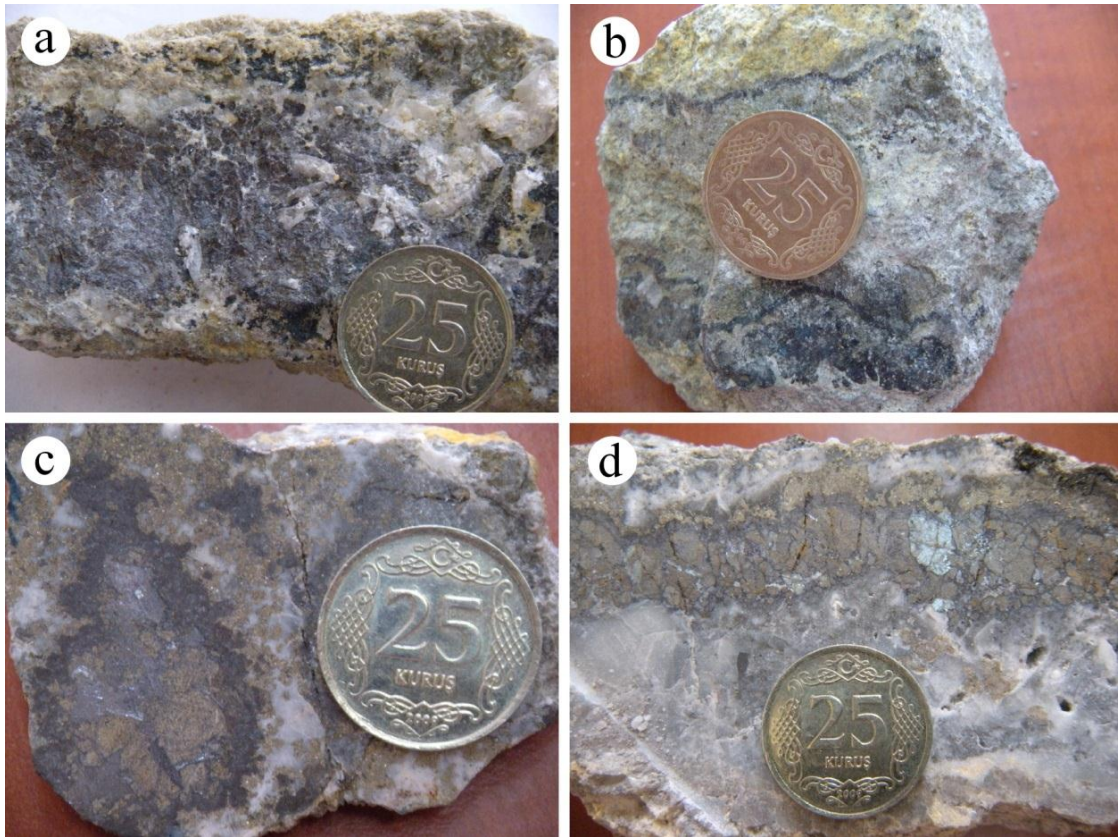
Çalışılan sahada Kuzdağı sırtı ve çevresinde, Eosen yaşı Alibaba Formasyonu içinde KD-GB

ve yaklaşık DB doğrultulu fay ve kırıklara bağlı olarak oluşan Arzur cevherleşmesinde yaygın olarak boşluk dolgusu ve bantlı yapı gözlenmektedir (Şekil 3). Sahada yapılan gözlemler neticesinde cevher içeren makro

örneklerde, sfaleritler bantlı yapılarda ve 2cm (Şekil 3a ve d), galenler ise daha ince damarlar şeklinde ve yaklaşık 0.2 cm (Şekil 3b ve c) genişliğe sahiptirler. Sahada nadiren de olsa galen, sfalerit ve piritin kuvars içinde bulunduğu breşik yapılar gözlenmiştir (Şekil 3c).

Cevherin yan kayada meydana gelen kırık ve çatlaklara boşluk dolgusu şeklinde veya onları ornatarak yerleşmesi nedeniyle sahada epijenetik bir yerleşim olduğu söylenebilir. Çalışılan sahanın dışında yüzeleme veren Dölek Graniti (Eosen) Alibaba Formasyonu'nu keserek yerleşmiştir (Karslı 2002; Çubukçu,

1998). Bu bilgidan yola çıkarak cevherin yerleşim yaşı Eosen ve sonrası olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle inceleme alanı dışında tespit edilen en genç sokulum kayacı Dölek Graniti ile cevherleşme arasında doğrudan kökensel bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Arzular cevherleşme sahasından alınan örneklerin cevher mikroskobisi incelemeleri neticesinde cevherleşme sahasının mineral parajenezi pirit, kalkopirit, sfalerit, tetrahedrit, galen ve eser miktarda altından oluştuğu belirlenmiştir. Gang minerali olarak ise çoğunlukla kuvars olmakla birlikte kalsit ve jips de bulunmaktadır.



Şekil 3. Arzular cevherleşme sahasında ornatım sonucu gelişen bantlı cevher yapıları (a) galen-sfalerit arasında bantlı yapı, (b) ince galen damarları, (c) breşik yapı, (d) kalkopirit-sfalerit arasında bantlı yapı.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Yan Kayaçlarda Görülen Hidrotermal Alterasyonlar

Arzular yöresinde, cevherleşmenin içinde yer aldığı Eosen yaşlı andezitlerde, meydana gelen alterasyon mineralojisini ve mineral parajenezi ortaya çıkarmak için, belirli hatlar boyunca

alınan sistematik örnekler mikroskopta incelenmiş, yoğun altere olan örneklerden kimyasal analiz ve XRD analizi yapılmış ve MINSQ (Herrmann ve Berry 2002) yöntemiyle alterasyon mineral yüzdesi hesaplanmıştır.

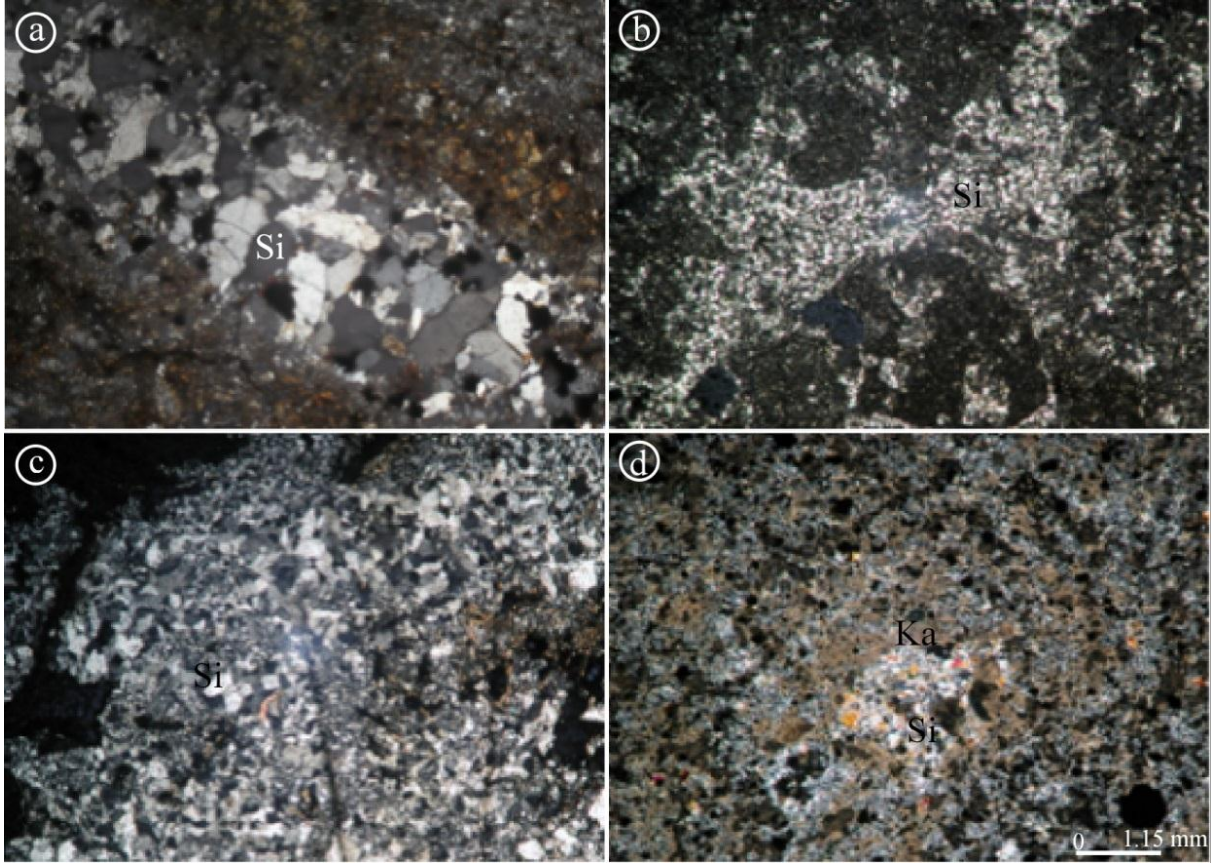
Kayaçlarda meydana gelen alterasyonun gelişiminde; farklı zaman aralıklarında bölgeye yerleşen kayaçların oluşum ortamı, tektonik

geçmişleri, volkanik aktiviteler ve çalışılan kayaçları farklı zamanlarda kesen derinlik veya yarı derinlik kayaçları gibi etkenler önemli rol oynamaktadır. Yapılan detaylı petrografik incelemeler neticesinde, Arzular cevherleşmesini içeren andezitik kayaçlarda yaygın olarak gözlenen alterasyon türlerinin, plajiyoklaslarda silisleşme serisitleşme ve karbonatlaşma, koyu renkli minerallerde ise limonitleşme, kloritleşme ve epidotlaşma olduğu tespit edilmiştir.

4.1.1. Silisleşme

İnceleme alanında yüzeyleyen volkanik kayaçlardaki alterasyon türlerinden en

önemlisini oluşturan silisleşme, yaygın olarak KD-GB ve KB-GD uzanımlı fay zonları boyunca ve kayaçlardaki plajiyoklas minerallerin ayrışması sonucu gelişmiştir. Ayrıca hamur da silisleşmiştir. Cevherli zona yakın bölgelerde, ince silis damarları ve kümelenmiş kuvars taneleri şeklinde gözlenen bu alterasyon, kırık zonlarından uzaklaştıkça azalma eğilimi gösterir ve silisleşme, serisitleşme ve kalsitleşme bir arada bulunmaktadır (Şekil 4). Bu alterasyon şeklinin oluşmasında, kırık ve çatlak zonlarından yükselen silisçe zengin çözeltilerin soğuması etkili olmuştur.



Şekil 4. Eosen yaşlı andezitlerde, ayrışma sonucu oluşan ikincil kuvarsların mikroskop altında çapraz nikeldeki görünümleri. (a) Kırık zonu boyunca kristalleşen kuvarslar (3 nolu profil 7 nolu örnek), (b) ve (c) andezitik kayacın hamur kısmında gözlenen silisleşmeler (1 nolu profil 6 nolu örnek), (d) ikincil kuvars ve kalsit birlikteliliği (3 nolu profil 5 nolu örnek)(Si: Silisleşme, Ka: Kalsit).

4.1.2. Serisitleşme

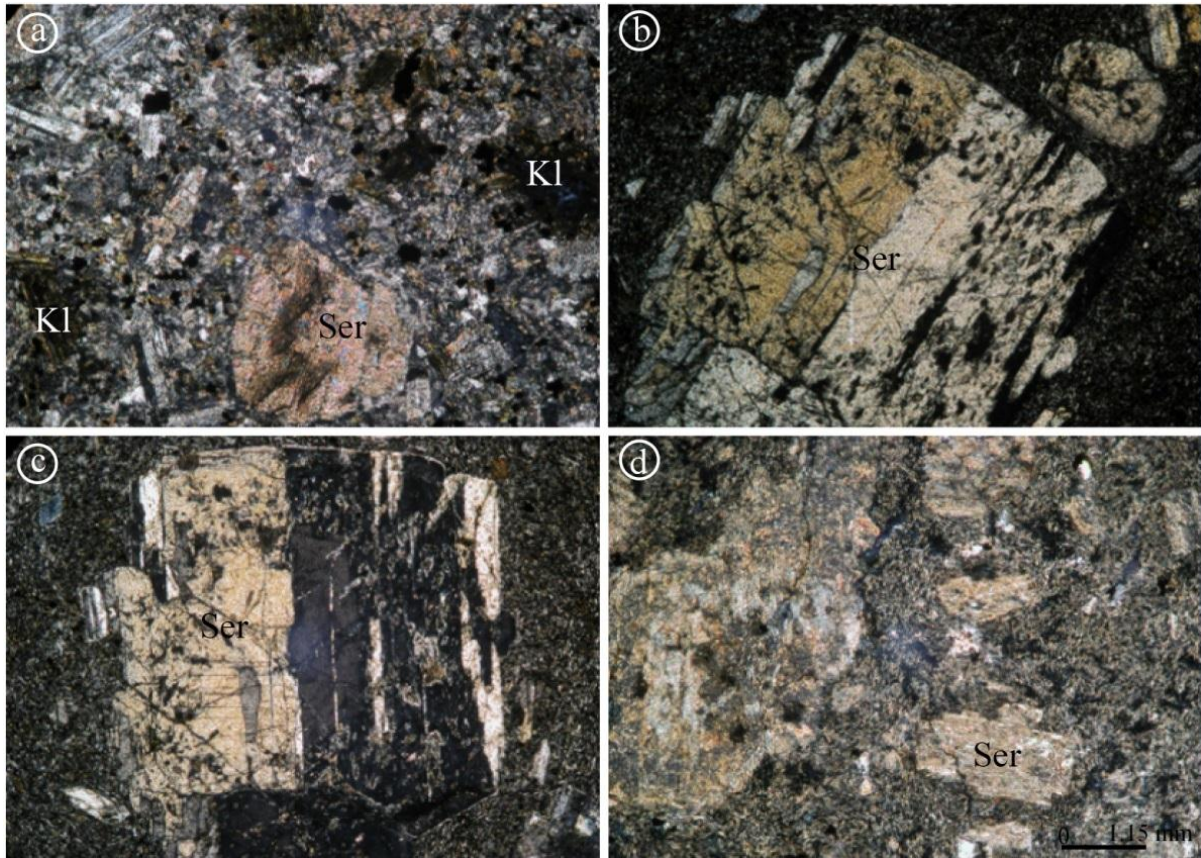
Serisitleşme, andezitlerde hem iri latalar ve hem de hamurda mikrolitler halinde bulunan plajiyoklasların en yaygın ayrışma türüdür

(Şekil 5). Genellikle zonlu yapı gösteren plajiyoklaslarda kalsiyumca zengin iç kısımlar, sodyumca zengin ve albitleşme eğilimi gösteren dış kesimlere oranla serisitleşme sürecinden daha fazla etkilenmiştir. İncelenen kesitlerin

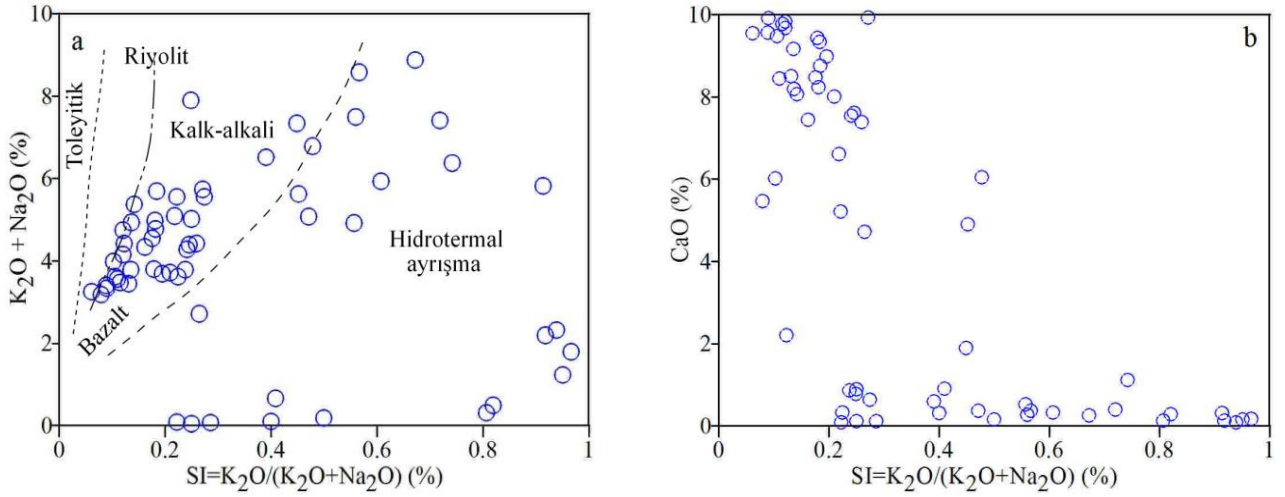
çoğunda hamurdaki şiddetli serizitleşmeye, silisleşme ve karbonatlaşmanın eşlik etmiş olduğu gözlenmiştir.

Cevherleşme sahasında damara dik bir hat boyunca tüm profillerden alınan örneklerin Myers ve MacLean (1983)' e göre hesaplanan SI (Serizitleşme İndeksi)'nin K_2O+Na_2O ' ya karşı değerleri diyagrama aktarıldığında (Şekil 6a), örneklerin bir kısmı hidrotermal ayrışma alanında yer aldığı, SI değeri arttıkça andezitlerde genelde K_2O+Na_2O değerinin arttığı, serizitleşme indeksine karşı CaO diyagramında ise (Şekil 6b), SI değeri arttıkça CaO değerinin azaldığı görülmektedir. SI'nin düşük CaO'su yüksek olan örneklerde karbonatlaşma baskın alterasyon türünü oluşturmaktadır.

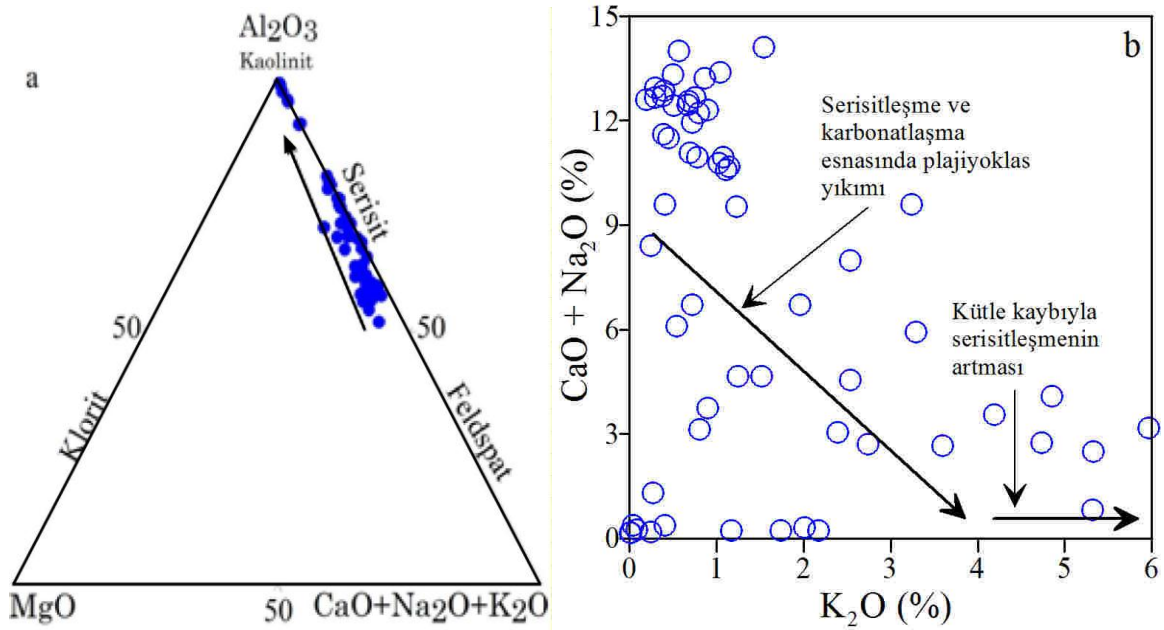
$Al_2O_3-MgO-(CaO+Na_2O+K_2O)$ üçgen ve K_2O 'ya karşı $CaO+Na_2O$ değişim diyagramı, plajiyoklazlardaki bozuşma sonucunda meydana gelen serizitleşmenin varlığını net olarak göstermektedir (Şekil 7a, b). $Al_2O_3-MgO-(CaO+Na_2O+K_2O)$ üçgen diyagramında örneklerin dağılımında feldspatlardan serizite doğru bir değişim olduğu gözlenirken, K_2O 'ya karşı $CaO+Na_2O$ grafiğinde ise $CaO+Na_2O$ değerlerinin azalmasına karşın K_2O değerlerinin artması plajiyoklazların ayrışması ile serizit oluşumu başladığını göstermektedir. Serizitleşme alkali değişimi ve hidrotermal sıvılardan K^+ ilavesi ile ilgilidir (Barrett vd., 1993). İncelenen volkanik kayalarda özellikle plajiyoklazlarda yaygın olarak görülen serizitleşmenin gelişimi sırasında, potasyumun kaynağı biyotit veya potasyumlu feldspatlar olabilir (Sipahi, 2005).



Şekil 5. Eosen yaşlı andezitlerde, plajiyoklazların ayrışması sonucu meydana gelen serizitleşmelerin mikroskop altında çapraz nikoldeki görünüşleri. (a) Serizit ve klorit birlikteliği, (1 nolu profil 12 nolu örnek) (b) ve (c) plajiyoklazların kısmen serizitleşmesi, (3 nolu profil 9 nolu örnek) (d) tamamen serizitleşmiş plajiyoklas (4 nolu profil 18 nolu örnek). (Ser: Serizitleşme, Kl: Klorit).



Şekil 6. Andezitlerin SI karşı $K_2O + Na_2O$ (a) ve CaO (b) diyagramındaki dağılımları (MacLean ve Hoy, 1991'den değiştirilerek).



Şekil 7. Andezitlerin, (a) Al_2O_3 - MgO-($CaO+Na_2O+K_2O$) üçgen diyagramındaki dağılımı (Van Gerven, 1995'ten değiştirilerek), (b) K_2O 'ya karşı $CaO+Na_2O$ diyagramındaki konumları (Barrett vd., 1993'ten değiştirilerek).

4.1.3. Kloritleşme

El örneğinde makroskobik olarak yeşilimsi rengi ile tipik olan kloritleşme, incelenen andezitik ve bazaltik volkanik kayalarda biyotit, hornblend ve klinopiroksen gibi koyu renkli minerallerin ayrışma ürünü olarak (Şekil 8) ve nadiren de onların dilinim ve kırıkları boyunca, bunlara ilaveten bazen plajiyoklasların ikiz düzlemleri ve kırıkları boyunca ve bazen de

hamuru ornatmış ve boşluklarda yeniden oluşmuş şekilde görülmektedir. Volkanik kayalardaki plajiyoklasların bozulması ile serizit ve klorit oluşumunu açıklayan Ishikawa ayrışma indeksine $[AI=100-x(\text{ana oksitler}) / (MgO+CaO+Na_2O+K_2O)]$ karşı Na_2O ve K_2O diyagramlarında (Ishikawa et al., 1976; Large vd., 2001), incelenen volkanik kayalarda AI artışına bağlı olarak Na_2O azalması ile albit-plajiyoklas kenarından serizit-klorit köşesine

doğru bir yönelme, Al azalmasına bağlı olarak K₂O artışı ile serizit ve klorit oluşumuna yönelik bir yönsemenin varlığı göze çarpmaktadır (Şekil 9a ve b).

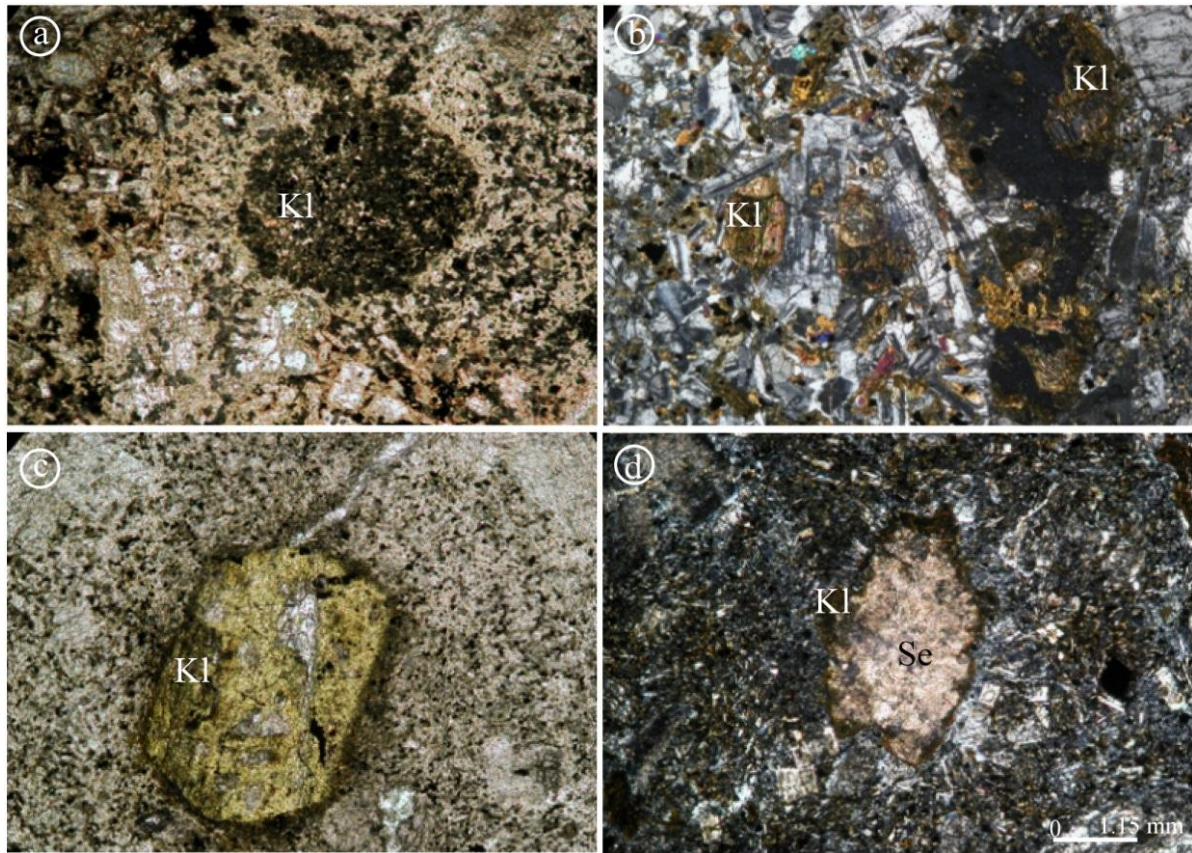
4.1.4. Epidotlaşma

Epidotlaşma incelenen volkanik kayalarda diğer alterasyon türlerine göre daha az etkili olmuş olup, yaygın alterasyon türü olan kloritleşmeden makroskobik olarak ayırt etmek oldukça güçtür. Mikroskobik olarak bakıldığında ise genellikle koyu renkli

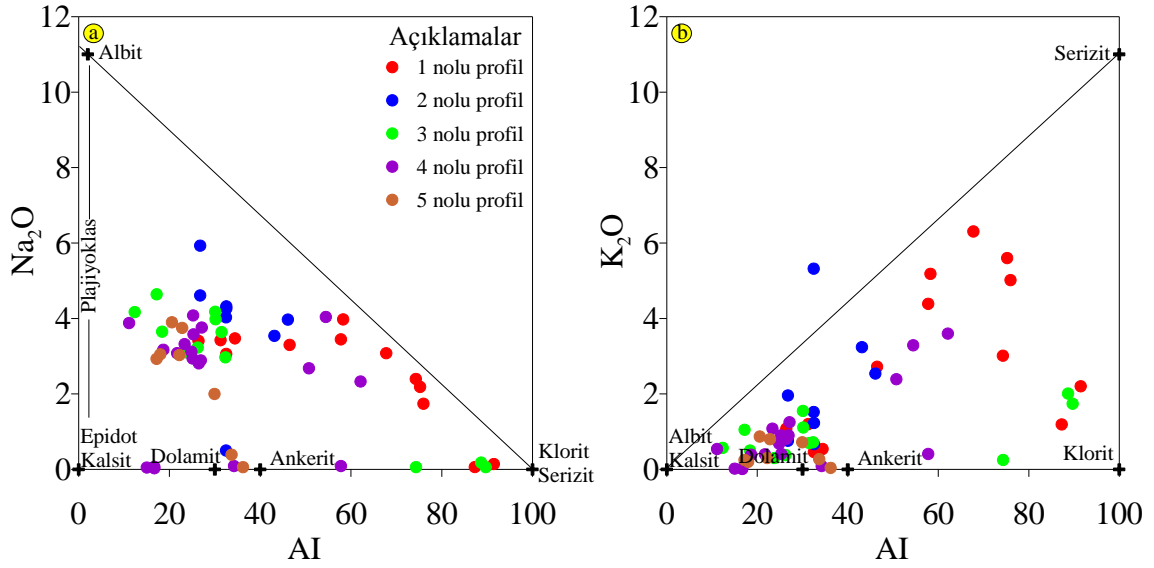
minerallerin bulunduğu kesimlerde yoğunlaşan epidotlar, bazen de matriks içinde kloritleşme ile bir arada gözlenir.

4.1.5. Karbonatlaşma

Çoğunlukla cevherleşmeden uzak kesimlerden alınan örneklerde, hidrotermal ayrışma sonucunda plajiyoklas, klinopiroksen ve amfibol minerallerinde ve özellikle de onların kırık zonları boyunca yaygın olarak gözlenen karbonatlaşma pembemsi ve beyazımsı renkleri ile karakteristiktir (Şekil 4d).



Şekil 8. Eosen yaşlı andezitlerde, mikroskopta (a) Hamurda boşluk dolgusu olarak gelişen kloritin tek nikeldeki görünümü(2 nolu profil 1 nolu örnek) (b) Çift nikelde kloritleşmiş amfibollerin görünümü(3 nolu profil 11 nolu örnek) (c) Tek nikelde kloritleşmiş klinopiroksenin görünümü (3 nolu profil 2 nolu örnek) (d) Serizit- ve klorit- birlikteliği (4 nolu profil 3 nolu örnek) (Kl: klorit, Ser: serizitleşme).

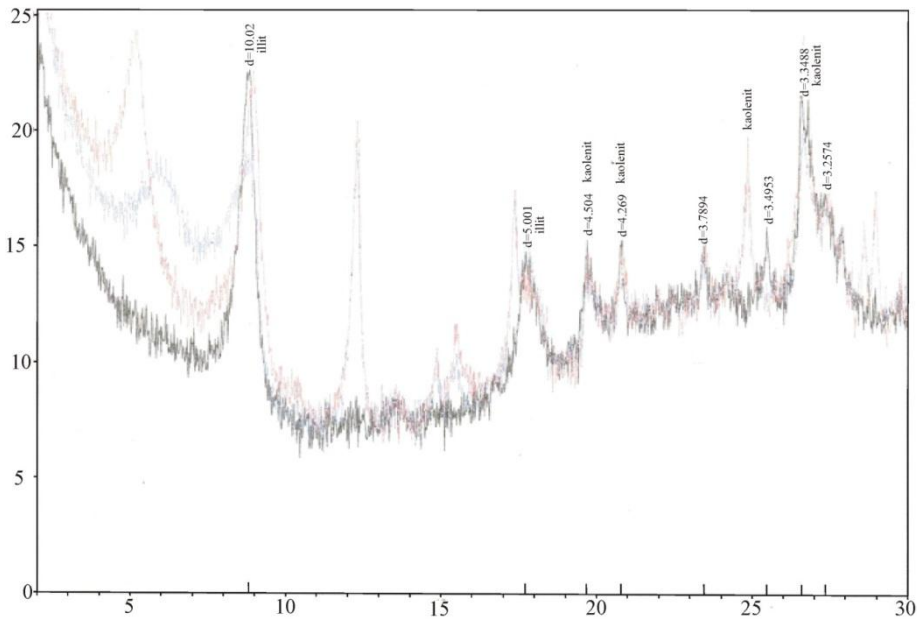


Şekil 9. Eosen yaşlı volkanitlerin AI karşı (a) Na_2O ve (b) K_2O diyagramlarındaki dağılımları (Large vd., 2001'den değiştirilerek).

4.1.6. Killeşme

Arzular cevherleşme sahasında, en yoğun olarak görülen alterasyon türlerinden biri olan killeşme, cevherleşmenin yerleştiği fay zonu boyunca ve açılan yarmalarda makroskobik olarak açık-gri beyazımsı renklerde (Şekil 2b, d ve e), mikroskobik olarak ise plajiyoklasların alterasyon ürünleri olarak izlenmektedir. Cevherleşmenin içinde bulunduğu andezitlerin ayrışması ile oluşan killerin türü ve kimyalarını

belirlemek amacıyla, Gündoğdu ve Yılmaz (1984)'nın belirttiği biçimde ayrıştırılan killerden, x-ışınları difraktogramı (doğal, etilen, glikollü ve fırınlı) ve DTA analizi yapılmıştır. Yapılan bu analizlerden elde edilen sonuçlar ve grafikler cevher sahasında yaygın olarak görülen kil türlerinin illit, simektit, klorit ve kaolen olduğunu göstermektedir (Şekil 10). Cevherli zona doğru illit ve simektit miktarı artarken yan kayaca doğru -klorit miktarının arttığı belirlenmiştir.



Şekil 10. Arzular cevherleşmesinden alınan örneğin (Örn. No:SB-14) kil fraksiyonuna ait yönlü doğal, etilen glikollü ve fırınlı çekilmiş x-ışınları difraktogramları (x eksenı 2θ açıları).

4.1.7. Limonitleşme ve Hematitleşme

Özellikle fay ve kırık zonları boyunca, cevher içeren bölgeye gelen oksijen içeren suların, piritli bölgelerde oluşturduğu limonitleşme sarımsı renklere (Şekil 2b ve d), hematitleşme ise kırmızımsı renklere gözlenmektedir (Şekil 2c). Bunun dışında hematitleşme ve limonitleşme çalışma alanında özellikle KB ve KD doğrultulu fay zonları boyunca bütün kayaçlarda yaygın olarak görülen alterasyon türlerinden biridir.

4.2. Yan Kayaçlarda Tespit Edilen Mineral, Element ve Kütle Değişimleri

Bu bölümde Arzular cevherleşmesinin geliştiği bu kırık sistemlerindeki cevher damarına dik bir hat boyunca yüzeyden sistematik olarak alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçlarını kullanarak cevherleşme sahasında meydana gelen, mineralojik, elementel ve kütleli değişimler ayrı ayrı ele alınmıştır.

Çalışma alanında cevher damarına dik bir hat boyunca yapılan örnekleme, yaklaşık 1 km uzunluğundaki kırık hattını temsil edecek şekilde 5 ayrı profil (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu profiller) üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Her bir profil üzerinde örnekleme yapılırken, örnekler arası mesafe makroskobik gözlemlere bağlı olarak, arttırılmış veya azaltılmıştır. Damara doğru yaklaştıkça kayaçlarda meydana gelebilecek, mineralojik, element ve kütleli değişimleri detay görebilmek için örnekler daha sık aralıklı alınırken, damardan uzaklaştıkça seyrek bir örnekleme tercih edilmiştir. Cevher içeren damara atılan bu 5 profilde, toplam 60 adet örnek alınmış ve bunların tamamı ana, iz ve nadir toprak elementler olmak üzere toplam 57 element için analiz edilmiştir.

4.2.1. Mineral Değişim Hesapları

Cevherleşme sahasından alınan örneklerin, ana, iz ve nadir toprak element analizleri kullanılarak, cevher oluşumu sırasında ve cevher oluşuktan sonra, yan kayaçlarda meydana gelen ayrışma mineralojisi ve damara doğru bu ayrışma minerallerinde meydana gelen değişimi hesaplamak mümkündür (Böhlke,

1989; Mountain vd., 1996 ve Herrmann ve Berry, 2002). Çalışma sahasında, cevher damarına dik bir hat boyunca, atılan 5 profilden alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları kullanılarak, Herrmann Berry (2002) tarafından geliştirilen MINSQ yöntemiyle, yan kayaçta oluşan alterasyon mineralojisi ve mineral değişim yüzdeleri hesaplanmıştır.

4.2.1.1. MINSQ Yöntemi

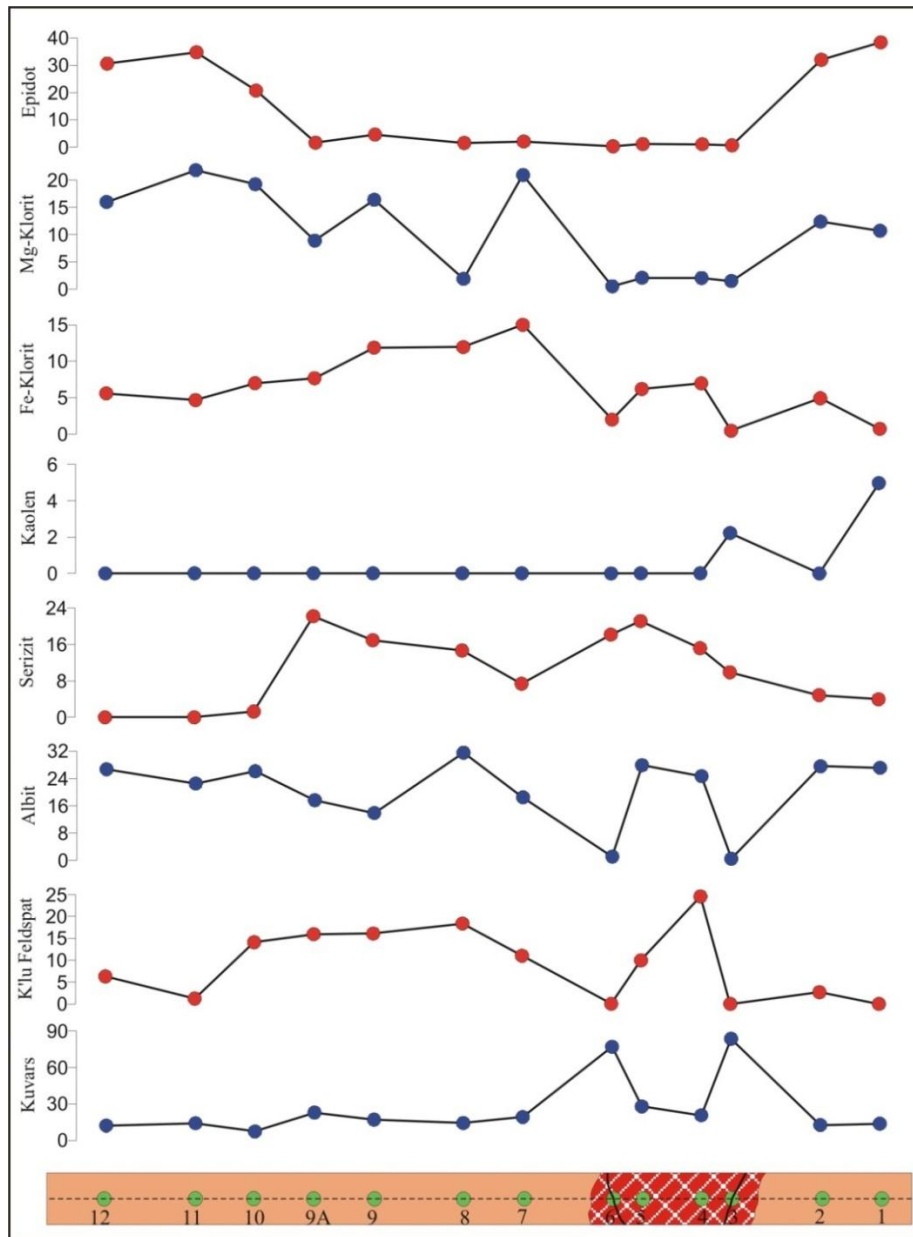
Herrmann ve Berry, (2002) tarafından geliştirilen MINSQ yöntemi, bir veri çözümleme programı olup, hesaplamalarda en küçük kareler yöntemini esas almaktadır. Program Microsoft Excel TM çözümleyicisi kullanılarak kolaylıkla çalıştırılabilmektedir. Bu veri çözümleme programı sayesinde, herhangi bir kayacın mineralojik olarak içeriğini, aynı kayacın kimyasal analizleri ile sayısal olarak hesaplamak mümkündür. Ancak, programı kullanmadan önce kayaçların mineralojik bileşimleri belirlenmeli ve o kayaç içindeki minerallerin kimyasal analizleri yapılarak bileşimleri ortaya konulmalıdır (Böhlke, 1989). Bu çalışmada yan kayaçta belirlenen minerallerin mikrokimyasal analizleri yapılamadığından, minerallerin bileşimleri (Deer vd., 1992 ve Dana, 1993)'den alınmıştır.

MINSQ veri çözümleme programının çalıştırılmasında kayaçların normatif mineralojisi ve cinsleri tespit edilen kil mineralleri daima dikkate alınmalıdır. MINSQ programına, kayaçta bolluğu tespit edilmek istenen minerallerin (1 mol) kimyasal bileşenleri (ağırlıkça %) ile aynı kimyasal bileşenler için analiz edilen kayaca ait analiz sonuçları aktarılır. Programa aktarılan mineral sayısı, kimyasal bileşen sayısından her zaman az olmalıdır. Veri çözümleme işlemi, programın birkaç kez çalıştırılması ile artık değer (residuel, r^2) 1 veya 1'den küçük değer elde edilmesine kadar yapılır. Artık değer 0.5 veya daha küçük olması yapılan hesaplamaların tatmin edici sonuç verdiğini ifade eder. Herrmann ve Berry, (2002)'ye göre, hesaplamalar neticesinde, eğer 1'den daha büyük artık değer elde edilmiş ise, kayaçta hesaplama dahil edilmeyen başka alterasyon minerallerinin olduğu düşünülmelidir.

4.2.2. Damara Dik Bir Hat Boyunca Alterasyon Mineral Değişimi

Arzular cevherleşme sahasında, yan kayaçlarda meydana gelen alterasyon mineral değişimini belirlemek amacıyla damara dik bir hat boyunca 5 farklı profildeki (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu profiller) örneklerin kimyasal analiz sonuçları, MINSQ yöntemiyle, alterasyon mineralojisi ve mineral değişim yüzdeleri ve bu mineral yüzdelerine ait temel istatistiksel parametreler tüm profiller için hesaplanmış olup örnek olarak 1 nolu profil hattı için hesaplanan veriler Tablo 1'de

verilmiştir. Belirlenen mineral yüzde sonuçlarına bakıldığında, örnekleme yapılan tüm profillerde yan kayaçtan cevhere doğru belirgin bir mineral zonlanması dikkat çekmektedir. 1 nolu örnek alım profilinde alterasyon mineralojisi olarak, cevherli zonda kuvars, K'lu feldspat, albit, serizit ± kaolen ± Fe'li klorit, cevherden uzak (propilitik) zonda ise baskın alterasyon minerali albite ilaveten epidot, Mg'lu klorit Fe'li klorit, ± serizit tespit edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. 1 nolu profilden alınan örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının MINSQ yöntemiyle (Herrmann Berry 2002) hesaplanan alterasyon minerallerin cevherli zondan yan kayaçlara doğru olan değişimi.

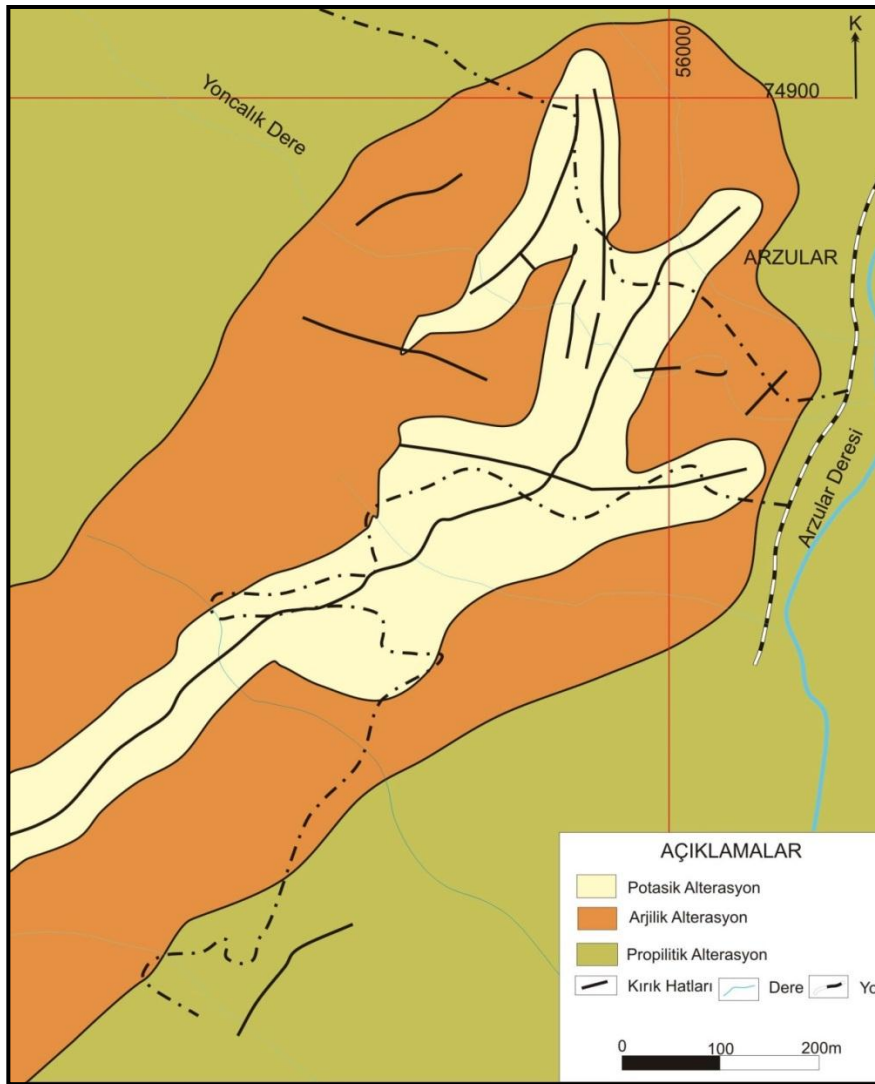
Tablo 1. Arzular cevherleşmesine dik bir hat boyunca (1 nolu profil) alınan örneklerin tüm kayaç analizlerinden MINSQ yöntemiyle (Herrmann ve Berry, 2002) hesaplanan mineralojik bileşimleri (%) ve sonuçlarına ait temel istatistik parametreler (Not: Mineral yüzdeleri Excel’de 0.000001 kesinlik, 0.1 % tolerans ve 1000 döngü şartlarında hesaplanmıştır, 3, 4, 5 ve 6 nolu örnekler cevherli zona aittir).

Mineral (Örnek)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9A	10	11	12
Kuvars	13,62	12,60	83,68	20,62	27,85	77,09	19,17	14,22	16,98	22,84	7,27	14,04	12,11
K’lu Feldspat	0,00	2,69	0,00	24,61	9,97	0,03	11,04	18,39	16,12	15,98	14,13	1,22	6,29
Albit	27,16	27,59	0,51	24,70	27,93	1,13	18,51	31,57	13,92	17,66	26,15	22,56	26,73
Serizit	3,97	4,86	9,89	15,19	21,16	18,18	7,38	14,69	16,94	22,22	1,26	0,00	0,00
Fe-Klorit	0,73	4,94	0,48	6,98	6,21	2,00	15,03	11,98	11,89	7,68	7,00	4,68	5,61
Mg-Klorit	10,70	12,38	1,50	2,04	2,09	0,52	20,91	1,89	16,38	8,89	19,23	21,80	15,98
Kalsit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,19
Epidot	38,39	32,00	0,67	1,07	1,11	0,32	2,08	1,52	4,61	1,64	20,74	34,74	30,61
Kaolen	4,96	0,00	2,22	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Barit	0,00	0,04	0,00	0,29	0,07	0,02	0,11	0,11	0,08	0,13	0,06	0,00	0,05
Pirit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04
Kalkopirit	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Galen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rutil	0,46	0,78	0,21	0,00	0,00	0,18	0,71	0,96	0,79	0,77	0,68	0,69	0,73
Toplam	100,00	98	99,18	95,51	96,47	99,50	94,95	95,35	98	98	97	100	98,36
Rezidüel (r)	0,24	0,03	0,00	0,51	0,56	0,00	0,16	0,03	0,05	0,05	0,05	0,36	0,09
Ag (ppm)	<0.1	0.1	0.8	28.9	>100.0	8	2.4	1.8	0.6	1.5	0.5	<0.1	0.1
Au (ppb)	<0.5	5.1	1177	48.4	45.1	161.9	24.7	126.9	7	31.6	4.7	6	9

2 nolu örnek alım profilinde, cevherli zonda kuvars, kaolen, Fe'li klorit, serizit, yan kayaca doğru ise albit, epidot, Mg'lu klorit \pm K'lu feldspat alterasyon mineral birlikteliliğini oluşturmaktadır. 3 nolu profilde alterasyon mineral birlikteliliği; cevherli zonda kuvars, K'lu feldspat, Fe'li klorit, kaolen \pm serizit propilitik zonda ise albit, epidot, Mg'lu klorit ve serizit olarak belirlenmiştir. Diğer bir örnek alım profili olan 4 nolu profilde cevherli kısımlarda kuvars, serizit ve kaolen, propilitik zonda ise albit, K'lu feldspat, Fe'li ve Mg'lu klorit ile epidot alterasyon mineral birlikteliliğini oluşturmaktadır. Arzular cevherleşme sahasında son örnek alım profilinde (5 nolu) alterasyon mineral birlikteliliği; cevherli zonda kuvarsa ilaveten Fe'li klorit, kaolen \pm serizit, propilitik zonda ise

albit, K'lu feldspat, Mg'lu klorit ve epidottan oluşmaktadır (Şekil 12).

Arzular cevherleşme sahasında, KD-GB ve yaklaşık DB doğrultulu birbirini kesen iki kırık sisteminde gelişmiş olan cevher damarına dik bir hat boyunca atılan 5 adet profilden alınan örneklerin gerek kimyasal analiz sonuçları, gerekse de MINSQ programı ile elde edilen mineral yüzde hesaplamalarına göre, kuvars içeriklerinde altere andezitten yoğun cevher zonuna doğru belirgin bir pozitif anomali gözlenmesi, silisleşme ile cevherleşmenin beraber hareket ettiğinin açık bir göstergesi olmakla birlikte, bu örneklerin aşırı silisleşmesinde cevherleşmenin yerleştiği faya paralel olarak gelişmiş kırıklarda hareket eden hidrotermal sıvıların etkin bir rol oynadığı açıktır.



Şekil 12. Arzular cevherleşme sahasının alterasyon haritası.

4.3. Kütle Değişim Hesaplamaları

Hidrotermal ayrışma, kayaçların yapısında bulunan elementlerin miktarlarında artma ya da azalma görülmesinde önemli bir etkidir. Kütle değişim hesaplamalarına göre, kayaçlarda meydana gelen kütle ve kimyasal değişimleri belirlemek için farklı araştırmacılar (Gresens, 1967; Grant, 1986 MacLean ve Kranidiotis, 1987; MacLean, 1990; Huston, 1993; Huston ve Cozens, 1994; Barret ve MacLean, 1994) tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Kütle değişim hesapları, altere olmuş kayaçların kimyasal bileşimi, altere olmamış ya da nispeten çok az altere olmuş kayaçların bileşimleriyle kıyaslanarak yapılmaktadır. Bu hesaplamalarda, kayaçlarda hidrotermal alterasyon sonucu ortaya çıkan metazomatik olayları inceleyen Gresens (1967) yöntemi, pek çok araştırmacının başvurduğu ilk kaynaktır. Bu yöntemi Grant (1986) analitik verilerin elle kullanımını gerektirmeyecek kadar basitleştirmiş ve hem grafiksel hem de bilgisayar yardımıyla kullanılabilir hale getirmiştir. Gresens metodunun esası *değişime uğramış kayaçtaki bileşenlerin konsantrasyonu ile değişime uğramamış kayaçtaki bileşenlerin konsantrasyonu* arasındaki ilişkiye dayanır. Grant, bu lineer ilişkiyi kullanarak, Gresens eşitliklerini yeniden düzenlemiştir. Arzular cevherleşmesinde, damara dik bir hat boyunca atılan 5 profilden alınan örneklerde yapılan kütle değişim hesaplamalarında, Grant (1986)'ın izokon yönteminin Huston (1993) tarafından değiştirilmiş versiyonu kullanılmıştır.

4.3.1. İzokon Yöntemi

Huston (1993) tarafından geliştirilen izokon yönteminde, ilk olarak altere ve en az altere olmuş kayaçlarda hareketsiz elementler (Al, Ti, Y, Zr ve Nb gibi) elementler arası korelasyon katsayısından yararlanarak belirlenir, akabinde ise bu hareketsiz elementler arasında en yüksek pozitif korelasyonu veren elementler tespit edilmesiyle hazırlanan izokon yöntemi ile hazırlanan x-y grafiğinde, elde edilen bu doğrunun eğimi (m) belirlenir ve eğer ayrışmamış kayaca göre ayrışmış kayaçta kütle değişimi söz konusu değil ise $m = 1$, kütle artışı

var ise $m < 1$ ve kütle kaybı belirlenmişse $m > 1$ olacaktır. Bu bilgiler ışığı altında, ayrışmadan en az etkilenen kayaca göre her ayrışmış kayacın göreceli (nispi) kütle değişimi yüzde olarak hesaplanır.

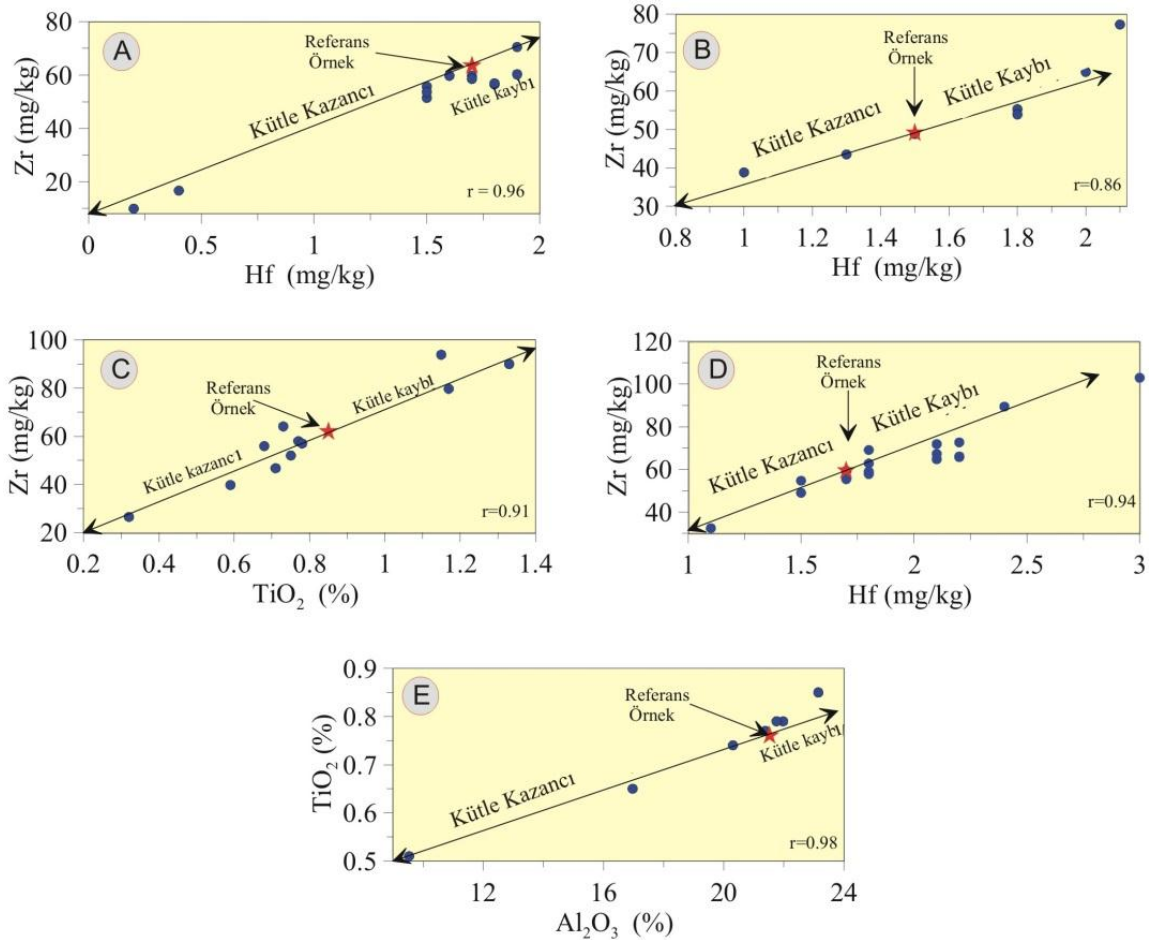
4.3.2. Yan Kayaçlarda Meydana Gelen Kütle ve Kimyasal Değişimler

Maden yataklarında, kütle ve kimyasal değişimleri hesaplamak amacıyla yapılan çalışmaların çoğunda, Al, Zr, Ti, Y ve Nb alterasyondan en az etkilenen veya hareketsiz oldukları belirlenen elementlerdir (MacLean ve Kranidiotis, 1987, MacLean 1990). Arzular cevherleşmesinde, damara dik doğrultuda, belli aralıklarla 5 adet profilden alınan sistematik örneklerin analiz sonuçlarına göre en yüksek pozitif korelasyona sahip elementler tespit edilmiştir. Nadir toprak element (NTE) analizleri, bu çalışma kapsamında, yapılan hesaplamalarda ortalama olarak kullanılmıştır. Buna göre, 1, 2, ve 4 nolu profillerde en yüksek korelasyona sahip element çifti olarak Zr-Hf, 3 nolu profilde Zr-TiO₂, 5 nolu profilde ise Al₂O₃-TiO₂ belirlenmiştir (Şekil 13). Cevher oluşum süreci boyunca, genel olarak Al, T, Zr, Hf, Y ve Nb'nin hareketsiz olarak davrandıkları benzer çalışmalarla kanıtlanmıştır (Winchester ve Floyd, 1978; Finlow-Bates ve Stumpel, 1981; Maclean ve Kranidiotis, 1987; Elliott-Meadows ve Appleyard, 1991; Huston, 1993; Kaur, vd., 2008; Yaylalı-Abanoz ve Tüysüz, 2010). Grafikler üzerinde de görüleceği üzere tüm örneklerin tek bir hat boyunca sıralanması, cevherleşmeye eşlik eden andezitlerin homojen ilksel bileşime sahip oldukları şeklinde açıklanabilir.

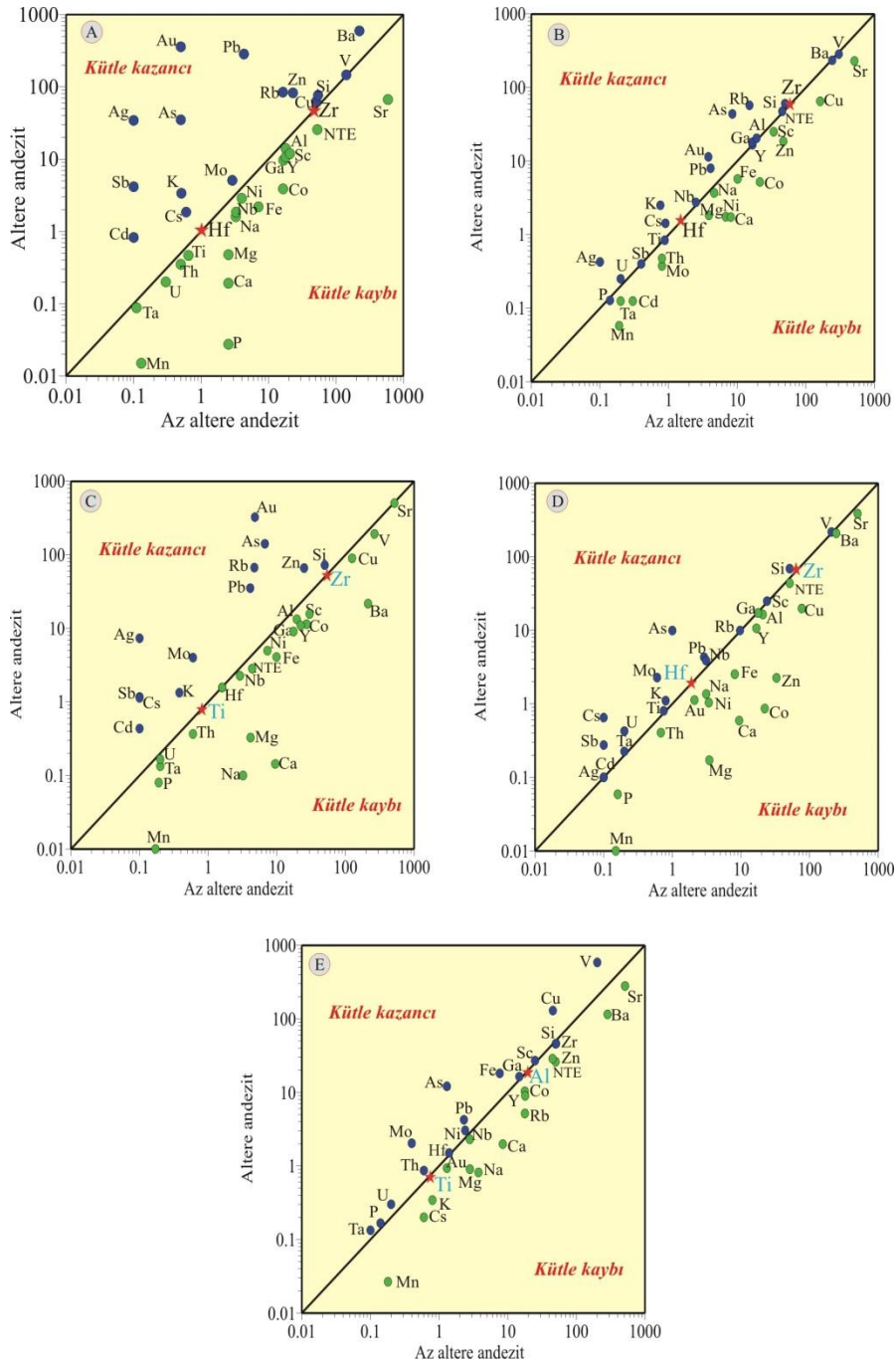
Hazırlanan izokon (log-log) diyagramlara (Şekil 14) göre; 1 nolu profilde cevherli zonda (3, 4, 5 ve 6 nolu örnekler) ana elementlerden Al ve Ti, Ta, Nb, Ni, U, V, Cu ve Th gibi iz elementlerin izokon doğrusunun yakınına düşmesi bu elementlerde hemen hemen hiç kütle değişiminin olmadığını, Mn, Ca, Na, Fe, Mg, , Ga, Y, Co, Nb, Ni, Sc, NTE ve Sr elementlerinde kütle kaybının olduğu Si, K, Pb, Zn, Au, Ag, As, Sb, Cd, Mo, ve Ba elementlerinde ise önemli miktarda kütle kazanımı olduğu (Şekil 14A), 2 nolu örnek alım

profilinden alınan örneklerin (kimyasal analiz sonuçlarına göre cevherli zonda (5 ve 6 nolu örnekler) Si az olmakla birlikte K, Cs, Ag, Au, Pb, As ve Rb elementlerinde gözlenen kütle artışına karşın Mn, Ca, Fe, Mg, Mo, Zn, Cu, Cd, Ni, Co, Ta, Th -ve Sr elementlerinde kütle kaybı gözlemlendiği, diğer elementlerde ise cevherli zonda herhangi bir değişimin söz konusu olmadığı belirlenmiştir (Şekil 14B). 3 nolu profilde cevherli zonda (4, 5, 6, ve 7 nolu örnekler)Al, Sr, Nb, Hf ve U gibi iz elementlerde hemen hemen hiç kütle değişiminin olmadığı, K, Si, Au, Ag, Sb, As, Pb, Zn, Mo, Cd, Rb ve Cs elementlerinde önemli miktarda kütle kazanımının olduğu diğer elementlerde ise kütle kaybının olduğu belirlenmiştir (Şekil 14C). 4 nolu profilde cevherli zonda (9, 10, 11, ve 12 nolu örnekler) Si, K, Pb, As, Sb., Mo, U ve Cs elementleri izokon doğrusunun üstünde yer alarak kütle kazancına, Ca, Na, Mg, Fe, Mn, Sr, Au, Zn, Cu, Ni, Co, P, Th ve Y elementleri ise

izokon doğrusun altında yer alarak kütle kaybına uğradıkları tespit edilmiştir. Diğer elementlerde ise kütle değişiminin olmadığı söz konusu elementlerin izokon doğrusunun üzerinde yer aldığından kolaylıkla anlaşılabilir (Şekil 14D). 5 nolu örnek alım profilinden elde edilen örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre; cevherli zonda (4 ve 5 nolu örnekler)Si ve P gibi ana elementlerin yanı sıra Hf, Ni, Ga, Nb, Sc ve Ta gibi iz elementler izokon doğrusu üzerinde yer alarak bu elementlerin kütlelerinde herhangi bir değişiminin olmadığı, Fe, Cu, Pb, Mo, As, Th, U ve V elementlerinin izokon doğrusu üstünde kalarak bu elementlerin kütlelerinde önemli miktarda kütle kazancı olduğu, K, Ca, Na, Mg, Mn, Zn, Au, Sr, Ba, NTE, Y, Co, Rb, Cs elementleri ise izokon doğrusu altında kalarak bu elementlerin kütlelerinde kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 14E).



Şekil 13. Arzular cevherleşme sahasında, örnekleme profillerinde hareketsiz elementler arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram (A: 1 nolu profil, B: 2 nolu profil, C: 3 nolu profil, D: 4 nolu profil, E: 5 nolu profil,).



Şekil 14. Arzular cevherleşme sahasında, örnekleme profillerinden alınan örneklerin tüm kayac kimyasal analiz sonuçlarının, cevherli zonda az altere andezite karşı altere andezit için hazırlanan log-log izokon diyagramları (A: 1 nolu profil 3, 4, 5 ve 6 nolu örnekler, B: 2 nolu profil 4, 5 ve 6 nolu örnekler, C: 3 nolu profil 4, 5, 6 ve 7 nolu örnekler, D: 4 nolu profil 9, 10, 11 ve 12 nolu örnekler, E: 5 nolu profil 4 ve 5 nolu örnekler; Grant 1986).

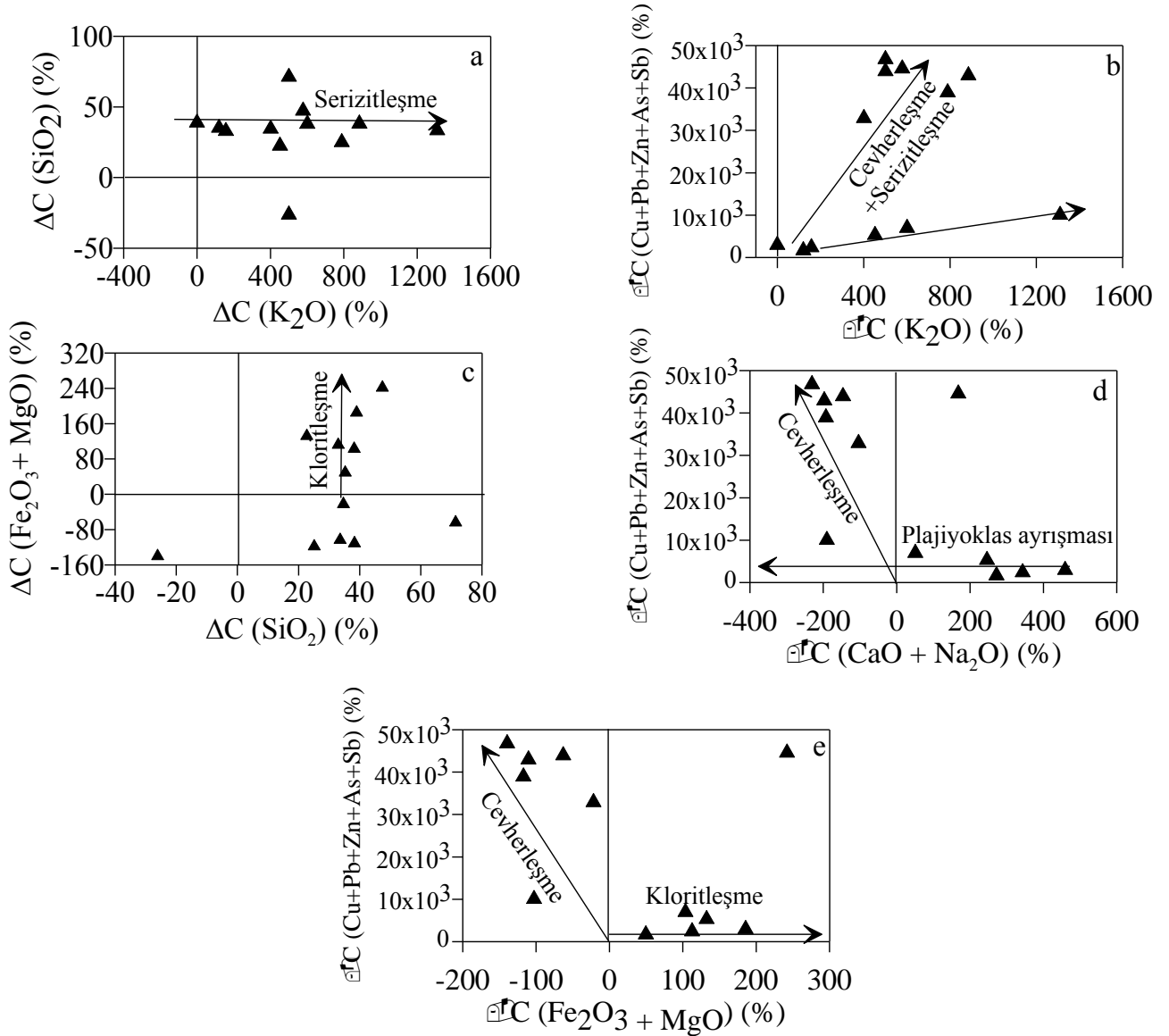
4.3.2.1. Nispi Kütle Değişim Hesaplamaları

Tüm örnekleme profilinde, az altere kayaca göre nispi kütle değişimleri ΔC_i^A (%) = $100 \times [C_i^A / (m \times C_i^O) - 1]$ formülü kullanılarak, MINSQ (Herrmann ve Berry, 2002) yönteminde açıklandığı gibi propilitik zon (1, 11 ve 12 nolu

örnekler), cevherli zon (3, 4, 5 ve 6 nolu örnekler) ve tüm hat için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara örnek olarak 1nolu profilde cevherli zon için hesaplanan nispi kütle değişim hesaplamaları Tablo 2’de verilmiştir.

Buna göre 1 nolu profilde, en az altere kayaca (1 nolu örnek) göre ayrılmış kayacın (2-12 örnekler arası) hesaplanan ve kayacın nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler incelendiğinde silisleşmiş örneklerin serizitleştiği (Şekil 15a), buna karşın cevherleşme ile serizitleşme arasında pozitif bir ilişkiye bağlı olarak cevherleşme süresince kayaların serizitleştiği

(Şekil 15b), nispi kütle hesaplamalarına bağlı olarak 1 nolu örnek alım profili boyunca ilksel olarak silisleşmiş olan örneklerin sonradan kloritleştiği (Şekil 15c), Na ve Ca azalmasına bağlı olarak plajiyoklas ayrışması gerçekleşirken cevherleşme sürecinin devam ettiği (Şekil 15d), kloritleşme ile cevherleşme herhangi bir ilişki olmadığı (Şekil 15e) belirlenmiştir.



Şekil 15. 1 nolu profilde, en az altere kayaca göre ayrılmış kayacın hesaplanan ve kayacın nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayacın oluşabilecek alterasyon minerallerini gösterir diyagramlar.

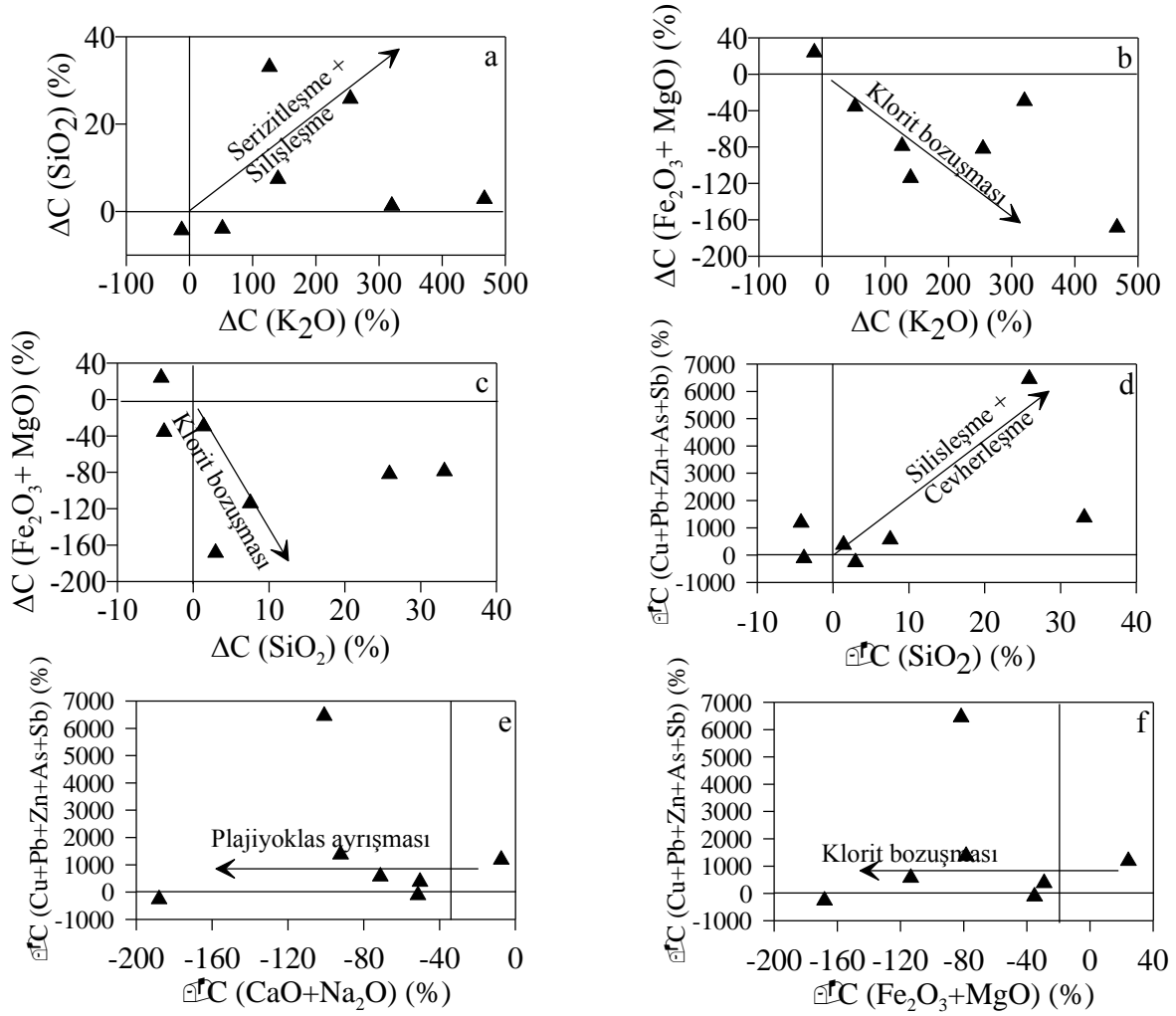
Tablo 2. Altere ve az altere kayalardaki elementlere ait analiz sonuçları ve bu sonuçlar kullanılarak hesaplanan nispi (%) ve net (g/100g) kütfe değişimi (1 nolu profil-cevher zonu, 3, 4, 5 ve 6 nolu örnekler)

Element	ni	CiO	CiA	CiS	ΔC-Nispi	ΔC-NET
Zn	1	23.00	82.50	3.59	540.53	445.94
Ag	2	0.10	34.43	688.60	61382.14	21133.87
K	3	0.51	3.37	19.82	1079.97	36.40
As	4	0.50	35.00	280.00	12400.00	4340.00
Sb	5	0.10	4.15	207.50	7310.71	303.39
Cu	6	50.80	62.53	7.39	119.80	74.91
Cd	7	0.10	0.83	58.10	1382.14	11.47
Pb	8	4.30	284.73	529.73	11724.34	33382.70
Au	9	0.50	358.18	6447.24	127821.43	457830.79
NTE	10	52.90	25.67	4.85	-13.35	-3.43
Ni	11	4.00	2.88	7.92	28.57	0.82
Na	12	3.27	1.60	5.87	-12.63	-0.20
Rb	13	16.30	84.70	67.55	827.91	701.24
Cs	14	0.60	1.85	43.17	450.60	8.34
Ba	15	222.00	594.25	40.15	378.00	2246.27
Mo	16	2.90	5.08	28.03	212.81	10.81
U	17	0.30	0.20	11.33	19.05	0.04
Co	18	16.40	3.88	4.26	-57.75	-2.24
Nb	19	3.30	1.85	10.65	0.11	0.00
Sr	20	587.30	66.83	2.28	-79.68	-53.25
Th	21	0.50	0.35	14.70	25.00	0.09
Fe	22	7.08	2.19	6.81	-44.76	-0.98
Sc	23	18.00	14.00	17.89	38.89	5.44
Si	24	54.17	76.41	33.85	151.89	116.06
P	25	2.54	0.03	0.30	-97.89	-0.03
V	26	142.00	146.50	26.82	84.23	123.40
Ga	27	16.60	9.68	15.74	4.13	0.40
Y	28	18.00	10.70	16.64	6.15	0.66
Ti	29	0.65	0.47	20.97	29.12	0.14
Ta	30	0.10	0.10	30.00	78.57	0.08
Ca	31	2.54	0.19	2.32	-86.64	-0.16
Al	32	20.75	11.92	18.38	2.58	0.31
Mn	33	0.13	0.02	5.08	-72.53	-0.01
Mg	34	2.54	0.48	6.43	-66.25	-0.32
Hf	35	1.17	0.93	27.82	41.94	0.39
Zr	36	63.50	35.50	20.13	-0.17	-0.06
Eğim (m):				0.56		

CiO az altere kayadaki element miktarı, CiA altere kayadaki i elementinin ortalama konsantrasyonu, ni elementlere verilen değerler, CiS hesaplanmış ölçeklendirme değerleri, (g/100g) elementlerin az altere kayaca göre net kütfe değişimi, NTE toplam nadir toprak elementler olarak ele alınmıştır.

2 nolu profilde cevherli zonda, K ve Si nispi artış gözlenirken, Fe, Mg, Ca ve Na elementlerinin değerlerinde, propilitik zona göre cevherli zonda nispi azalma göstermesi; serizitleşme ile silisleşme sürecinin bir arada gerçekleştiğini (Şekil 16a), cevherleşmeye ile silisleşmenin beraber geliştiğini (Şekil 16d), Fe'li ve Mg'lu klorit ise sadece propilitik zonda

yoğunluk kazandığı kloritleşmenin cevherleşmeye bağlı olarak gelişmediğini, kloritlerin cevherli zona doğru bozuştuğunu (Şekil 16b, c ve f), cevherli zonda Ca ve Na'daki nispi azalmaya bağlı olarak ise cevher oluşum süresince plajiyoklas ayrışmasının gerçekleştiğini (Şekil 16e) ifade etmektedir.



Şekil 16. En az altere kayaca göre ayrılmış kayacda hesaplanan ve kayacda nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayacda oluşabilecek alterasyon minerallerini gösterir diyagramlar (2 nolu profil).

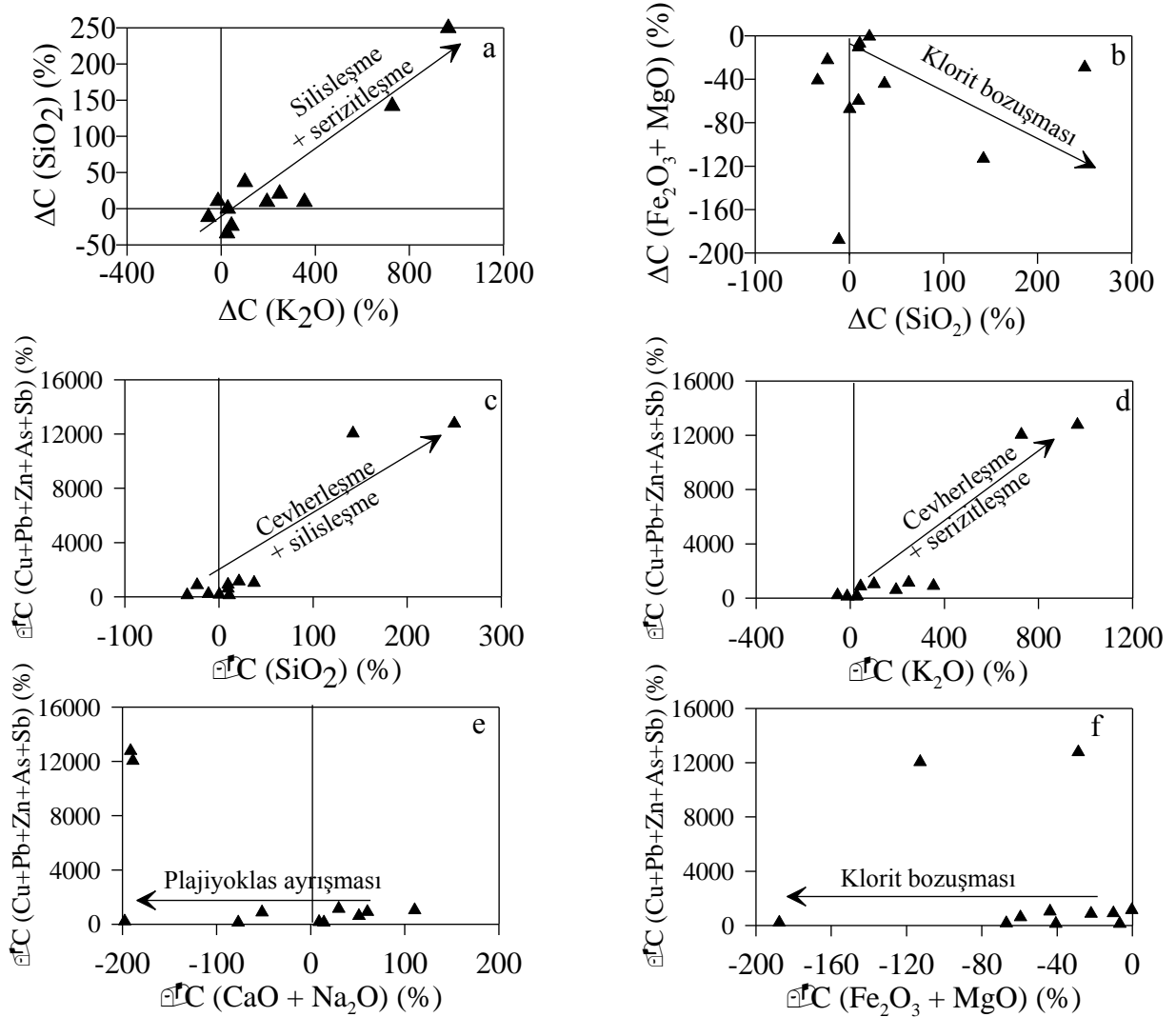
3 nolu profilde elde edilen nispi kütle değişimlerine göre, tüm zonlarda K ve Si elementinin artış göstermesi serizitleşme ve silisleşme sürecinin bir arada geliştiğini (Şekil 17a), gösterirken K ve Si'nin cevherli zonda artma göstermesi cevherleşme ile serizitleşme ve silisleşmenin bir arada geliştiğini göstermektedir (Şekil 17c, d). Propilitik zonda Fe ve Mg elementlerinde nispi azalma miktarının cevherli zonda daha fazla azalma

göstermesi klorit bozuşması ile açıklanırken (Şekil 17b), benzer şekilde Ca ve Na elementlerinde meydana nispi azalmanın propilitik zona göre cevherli zonda daha yoğun gerçekleşmesi ise cevher oluşumu sırasında plajiyoklas ayrışmasının gerçekleşmesi ile açıklanabilir (Şekil 17e). Fe ve Mg elementlerinin cevherli zona göre propilitik zonda daha yoğun zenginleşmesi, cevherleşme

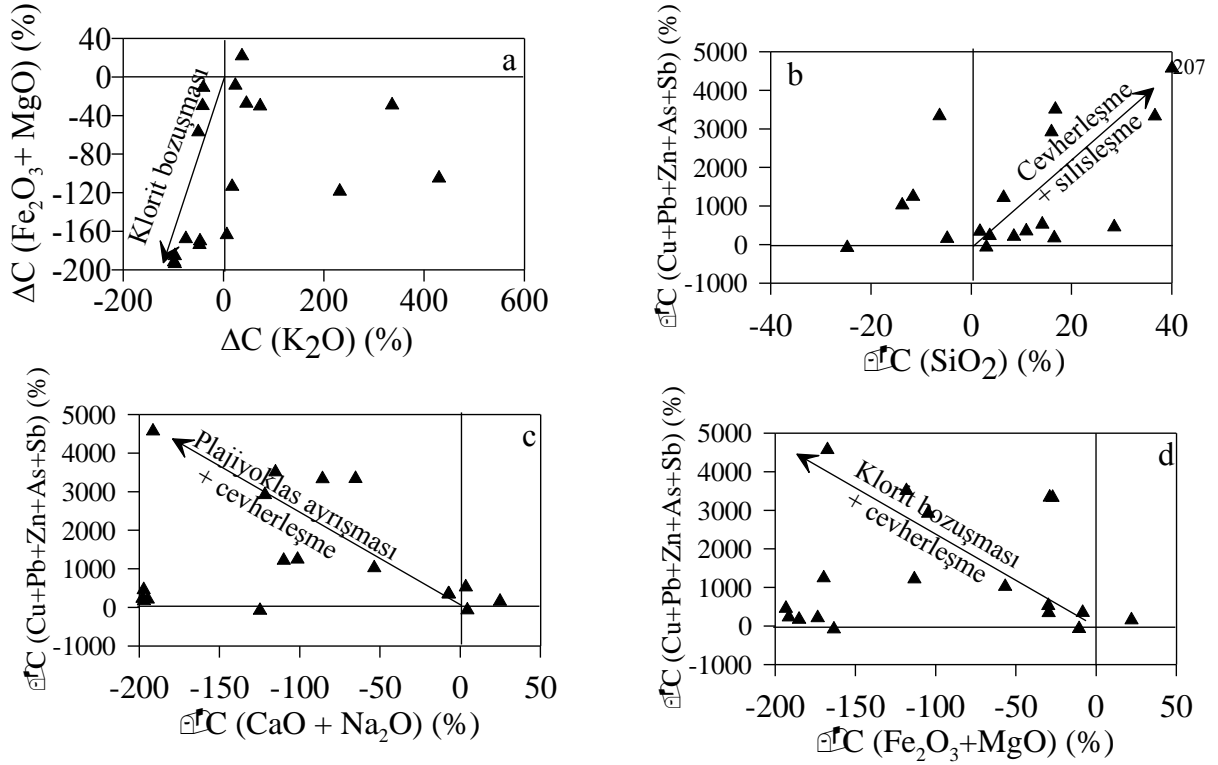
süresince klorit bozuşmasının meydana geldiğini göstermektedir (Şekil 17f).

4 nolu profildeki örneklerden hesaplanan nispi kütle değişimlerine göre; Si artışının diğer zonlara göre cevherli zonda fazla olması cevherleşme oluşumu süresince silisleşmenin de gerçekleştiği (Şekil 18b), serizitleşme gerçekleşirken kloritin bozuştığı (Şekil 18a), nispi kütle değişimlerine göre, Ca ve Na elementlerinde meydana nispi azalmanın propilitik zona göre cevherli zonda daha yoğun gerçekleşmesi cevher oluşumu sırasında plajiyoklas ayrışması (Şekil 18c), Fe ve Mg'nin cevherli zonda daha fazla nispi azalma göstermesi ise klorit bozuşması (Şekil 18d)

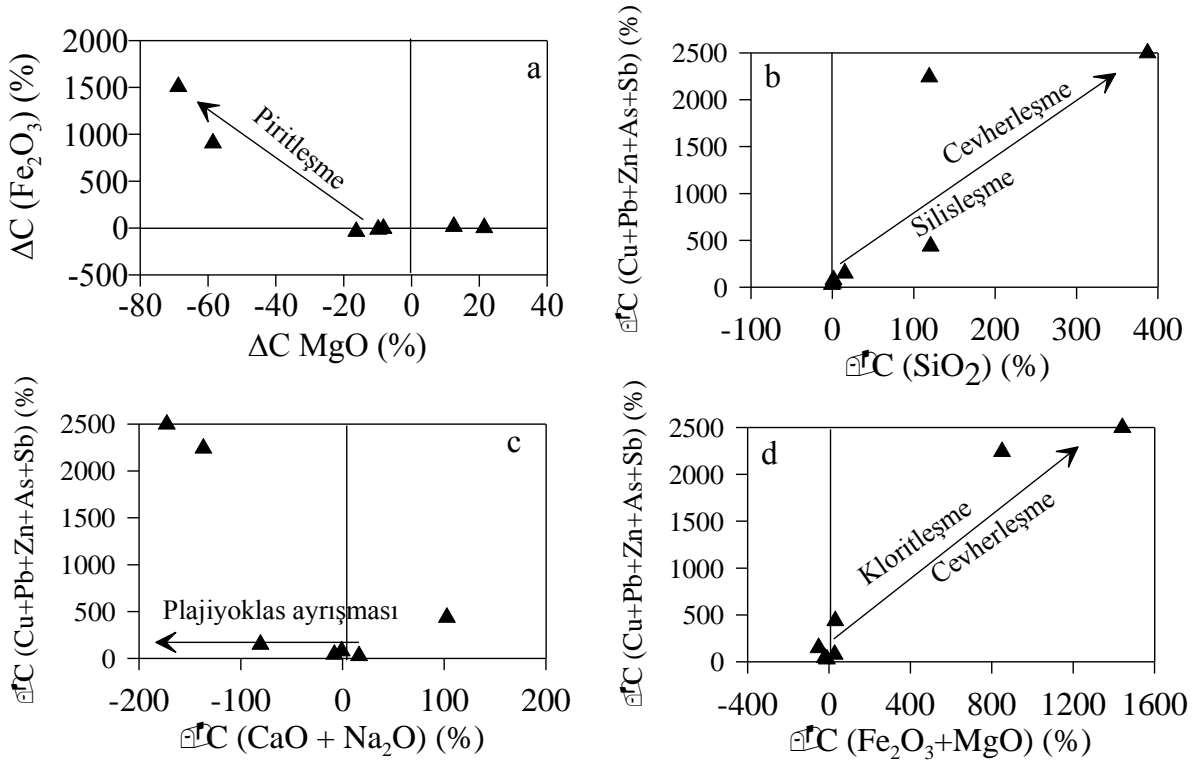
olayları ile açıklanabilir. Son olarak 5 nolu profil için elde edilen nispi kütle değişim hesaplamalarına göre, Fe'nin cevherli zonda daha fazla nispi artış göstermesi piritleşme (Şekil 19a), Ca ve Na elementlerinde meydana nispi azalmanın propilitik zona göre cevherli zonda daha yoğun gerçekleşmesi cevher oluşumu sırasında plajiyoklas ayrışması ile açıklanabilir (Şekil 19c). Si'nin cevherli zonda propilitik zona göre zenginleşmesi, cevherleşme süresince silisleşmenin gerçekleştiğini (Şekil 19b) ifade etmektedir. Cevherli zonda Fe miktarındaki nispi artışı, cevher oluşumu süresince kloritleşme sürecinin devam ettiği şeklinde açıklanabilir (Şekil 19d).



Şekil 17. En az altere kayaca göre ayrılmış kayacda hesaplanan ve kayacda nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayacda oluşabilecek alterasyon minerallerini gösterir diyagramlar (3 nolu profil).



Şekil 18. En az altere kayaca göre ayrılmış kayaçta hesaplanan ve kayaçta nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayaçta oluşabilecek alterasyon minerallerini gösterir diyagramlar (4 nolu profil).



Şekil 19. En az altere kayaca göre ayrılmış kayaçta hesaplanan ve kayaçta nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayaçta oluşabilecek alterasyon minerallerini gösterir diyagramlar (5 nolu profil).

4.3.2.2. Net Kütle Değişim Hesaplamaları

Damara dik bir hat boyunca alınan örneklerden net (g/100g) kütle değişimleri ΔC_i^A (g / 100 g) = $[\Delta C_i^A (\%) / 100] \times [C_i^A (g / 100 g)]$ formülü kullanılarak propilitik zon, cevherli zon ve tüm hat için hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara örnek olarak 1 nolu profilde cevherli zon için hesaplanan nispi kütle değişim hesaplamaları Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca bu bölümde tüm profiller için Grant (1986)’a göre izokon doğrusundan yararlanarak hesaplanan eğim (m) değerlerine göre kütle kazanç ve kayıpları ise $\% \Delta M^A = 100 \cdot (1/m - 1)$ formülünden yararlanarak kayaçların genel olarak kütlelerinde meydana gelen % olarak net kazanç ve kayıpları hesaplanmıştır.

Net kütle değişim hesaplamaları neticesinde, 1 nolu profilde cevherli zonda yer alan dört örneğin ortalamasına göre Si (111.21 g) ve K (35.09) artışı cevherleşmeye serizitleşmenin eşlik ettiğini gösterirken yine aynı zonda Ca (-0.17 g) ve Na (-0.32 g) net kütle azalması cevher oluşumu süresince plajiyoklas ayrışmasını göstermektedir (Şekil 19a). Ayrıca cevherli zonda Pb 32535 g/100g zenginleşerek baskın cevher minerali galen ve Zn 432 g/100g zenginleşerek sfalerit mineralinin oluşumunu sağlamışlardır (Şekil 20a). Arzular cevherleşme sahasında 1 nolu profilde, cevherli zonda $m < 1$ (0.56) olarak belirlenmiş ve cevherli zonda da kütle artışı olduğu tespit edilmiştir. 1 nolu profilde, tüm hat boyunca alınan örneklerde kayaçların ortalama olarak kütlelerinde % 24.26’lık bir artışın meydana geldiği belirlenmiştir.

2 nolu profilde cevherli zonda ise Si (6.65g) ve K (5.48g) artışı silisleşme ve serizitleşmenin birlikteliğini gösterirken yine aynı zonda Ca (-1.23 g) ve Na (-0.82 g) net kütle azalması cevher oluşumu süresince plajiyoklas ayrışmasını göstermektedir (Şekil 19b). Ayrıca cevherli zonda Pb 98.25 g/100g, Au 22.42 g/100g, Ag 2.65 g/100g zenginleşmişlerdir. (Şekil 20b). Arzular cevherleşme sahasında 1 nolu örnekleme profilinde olduğu gibi 2 nolu örnekleme profilinde de, Grant (1986)’a göre izokon doğrusundan yararlanarak hesaplanan eğim (m) değerine bakıldığında cevherli zonda

$m > 1$ (1.14) olarak belirlenmiş ve kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir. Kayaçların ortalama olarak kütlelerinde % 10.17’lik bir kaybın meydana geldiği hesaplanmıştır.

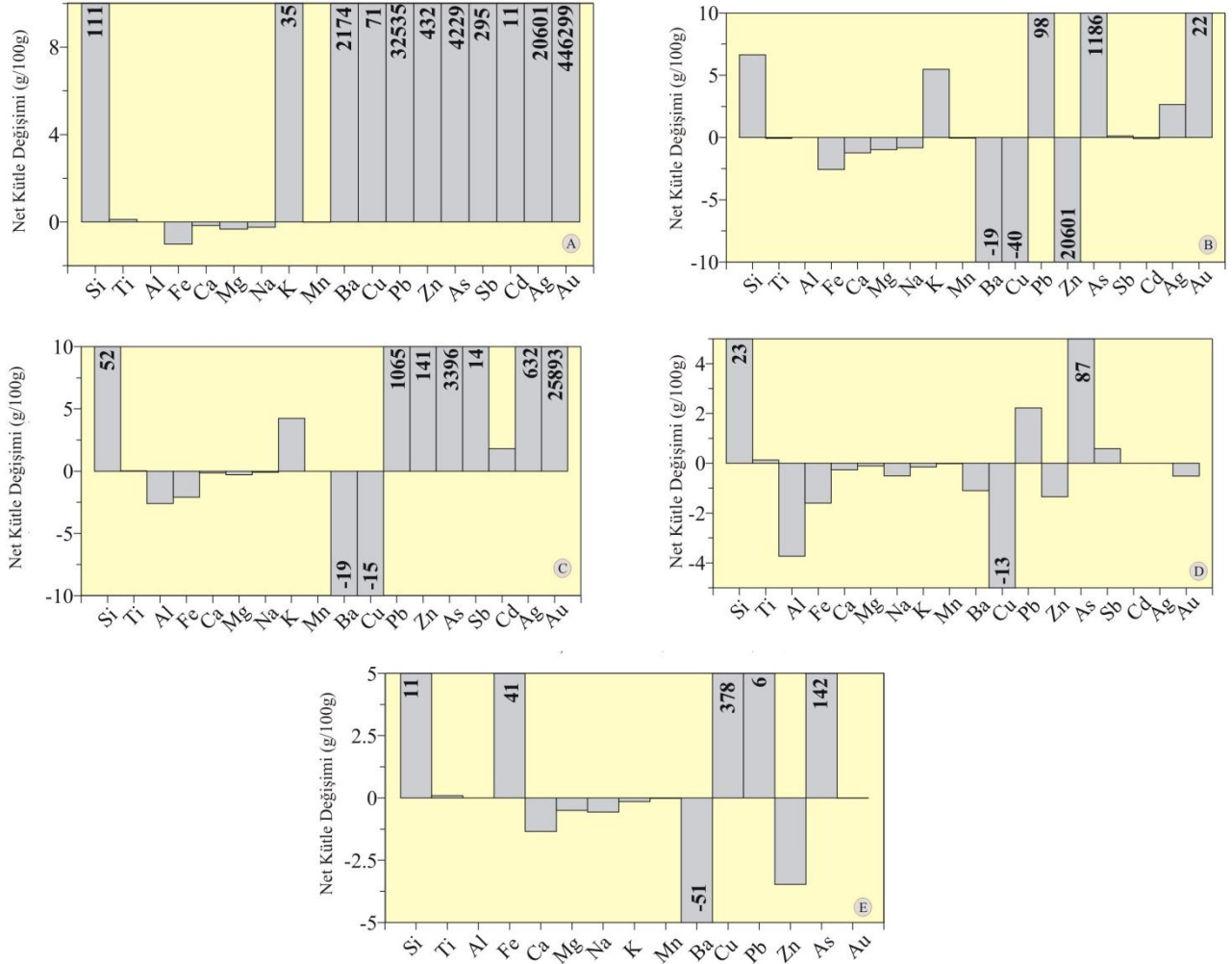
3 nolu profil boyunca alınan örneklerin net (g/100g) kütle değişimi hesapları sonucunda cevherli zonda Si (52.23g) ve K (4.24g) artışı cevherleşme süresince silisleşme ile serizitleşmenin bir arada gözlemlendiğini yine aynı zonda Ca (-0.14 g) ve Na (-0.10g) net kütle azalması cevher oluşumu süresince plajiyoklas ayrışmasını göstermektedir (Şekil 19c). Ayrıca cevherli zonda Pb 87.90 g/100g, Au 25893.04 g/100g, Ag 632.88 g/100g zenginleşmişlerdir. (Şekil 20c). Bu profilde cevherli zonda hesaplanan eğim (m) değerine bakıldığında $m < 1$ (0.84) belirlenmiş ve bu zonda kütle artışı tespit edilmiştir. 1 ve 2 nolu profillerde olduğu gibi benzer şekilde 3 nolu profilde de, tüm hat boyunca alınan örneklerde eğim (m) değerinden yararlanarak yapılan hesaplamalarda kayaçların ortalama olarak kütlelerinde % 2.64’lük bir artışın meydana geldiği tespit edilmiştir.

4 nolu profil boyunca alınan örneklerden elde edilen net (g/100g) kütle değişim hesaplamalarına göre cevherli zonda Si (23.50g) net kütle artışı ve K (-0.15g) net kütle azalımı göstermesi ile açıklanırken, yine aynı zonda Ca (-0.26 g) ve Na (-0.50 g) net kütle azalması cevher oluşumu süresince plajiyoklas ayrışmasının etkili olduğu şeklinde açıklanmaktadır (Şekil 19d). Ayrıca cevherli zonda Pb 2.22 g/100g, net kütle kazancı, Au -0.52 g/100g, Cu -13.66 g/100g ve Zn -1.34 g/100g oranında net kütle azalması belirlenmiştir (Şekil 20d). Cevherli zonda $m > 1$ olarak elde edilmiş (1.02) cevherli zonda kütle azalması olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer örnek alım profillerinde olduğu gibi 4 nolu profilde de, tüm hat boyunca alınan örneklerde eğim (m) değerinden yararlanarak yapılan hesaplamalarda kayaçların ortalama olarak kütlelerinde (% -7.65) azalmanın meydana geldiği görülmektedir.

Çalışılan sahada 5 nolu profil boyunca alınan örneklerden net (g/100g) kütle değişim hesaplamalarına göre cevherli zonda Cu 378.39 g/100g, net kütle kazancı, Au -0.01 g/100g, ve

Zn - 3.47 g/100g oranında net kütle azalması olduğu (Şekil 20e), izokon doğrusundan yararlanarak hesaplanan eğim (m) değerinin cevherli zonda $m < 1$ (0.72) olduğu ve eğim

değerine bağlı olarak kütle kazancı olduğu ve kayaların ortalama olarak kütlelerinde % 9.97 artışının meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 20. Arzular cevherleşmesine dik bir hat boyunca cevherli zonlarda yer alan örneklerinin ortalamasına göre hesaplanan net (g/100g) kütle değişim diyagramları (A: 1 nolu profil, B: 2 nolu profil, C: 3 nolu profil, D: 4 nolu profil, E: 5 nolu profil).

5. Sonuçlar

- Arzular cevherleşmesi, K70D doğrultulu 75° KB'ya eğimli ve DB doğrultulu 70° K'ye eğimli damarlara fay kontrollü olarak Alibaba Formasyonu içindeki andezitlerde gelişmiş ve kalınlıkları 0.1-0.3 m arasında değişen silis damarları ile ilişkidir. Cevherleşmenin ana cevher minerallerini sfalerit, galen, pirit, kalkopirit, tetrahedrit oluşturmakla birlikte parlak kesitlerde eser miktarda altın bulunmaktadır. Gang

minerali olarak ise çoğunlukla kuvars bulunmaktadır.

- Çalışılan sahada cevher damarlarına dik bir hat boyunca 5 adet profil üzerinden alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları MINSQ veri çözümü programı ile değerlendirildiğinde, cevherden yan kayaca doğru kuvars, serizit, K'lu Feldspat kaolinit, Fe Klorit, albit, Mg klorit ve epidotun cevherleşme sahasında gözlenen alterasyonların mineral parajenezini oluşturduğu belirlenmiştir.

- Kütle değişim hesaplamalarında kullanılmak üzere profillerde Zr (1, 2, 3 ve nolu), Hf (1, 2 ve 4 nolu), Al ve Ti (3 ve 5 nolu) hareketsiz element olarak belirlenmiştir.
- Tüm profillerde cevher oluşumu süresince Na ve Ca ile Fe ve Mg elementlerindeki nispi azalmaya bağlı olarak sırasıyla plajiyoklas ayrışması ve klorit bozuşması tespit edilmiştir. Cevherli zonlarda Au değerleri 1, 2 ve 3 nolu profillerde nispi artış gösterirken 4 ve 5 nolu profillerde ise nispi azalma göstermiştir.
- Çalışılan sahada 1, 3 ve 5 nolu profillerde kütle artışı söz konusu olup bu kütle artışlarının ortalama yüzdeleri sırasıyla % 24.26, % 2,64 ve % 9.97 şeklindedir. 2 ve 4 nolu profillerde ise kütle kaybı belirlenmiş olup bu profillere ait ortalama kütle kayıp yüzdeleri sırasıyla % -10.17 ve % - 7.65 şeklindedir. Ortalama olarak en fazla kütle kazancı (%24.26) 1 nolu profilde en fazla kütle kaybı (%-10.17) ise 2 nolu profilde belirlenmiştir.
- Tüm profiller boyunca yapılan mineral, kütle ve kimyasal değişimlere bakıldığında, cevher oluşturan sıvıların silisyumca nispeten zengin bileşimde olduğu, cevherin silisleşmeye ve serizitleşmeye bağlı olarak oluştuğu, cevher oluşumu süresince plajiyoklas ayrışmasının ve klorit bozuşmasının gerçekleştiği, cevherli zonda yüksek Fe içeriğinden dolayı piritleşme olduğu, cevherden uzak zonlarda Fe'li ve Mg'lu kloritlerin baskın alterasyon mineralleri olduğu, sıvıların taşıdığı cevher oluşturan elementlerin aralarındaki korelasyonların yüksek olması ve benzer zonlarda zenginleşmiş olmaları bölgedeki cevherleşmenin aynı fazda oluştuğu sonuçlarına varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma birinci yazarın doktora tezinin bir bölümü olup, Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından 2006.112.005.2 nolu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, söz konusu

çalışma süresince arazi ve büro çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisleri Hasan Basri DEMİR ile Berat Anıl YERÖZ'e teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Adamia, S., Lordkitanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S., 1977. Evolution of an Active Continental Margine as Exemplified by the Alpine History of Caucasus, *Tectonophysics*, 40, 183-189.
- Ağan, A., 2003. Sobran-Gümüşhane Sahasının Jeoloji Raporu, MTA Genel Md, Ankara.
- Akaryalı, E., Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal Ve Kökensel İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (2012), 223s.
- Akaryalı, E., ve Tüysüz, N., 2013. The genesis of the slab window-related Arzular low-sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey). *Geoscience Frontiers*, 4 pp. 409-421.
- Akçay, M., Gündüz, Ö. ve Çoban, H., 1998. A Multi-phase Intrusion Around the Gümüşhane Village (Artvin) and Associated Mineralisation Types: A Geologic and Geochemical Approach, *Geosound*, 33, 1-18.
- Aslaner, M., 1977. Türkiye Bakır-kurşun-çinko Yataklarının Jeolojik ve Bölgesel Sınıflamasıyla Plaka Tektoniği Yönünden İncelenmesi, KTÜ Yerbilimleri Fakültesi, Yayın No: 12, Trabzon.
- Barret, T.J., Cattalani, S. ve MacLean, W.H., 1993. Volcanic Lithochemistry and Alteration at the Delbridge Massive Sulfide Deposit, Noranda Quebec, *Jour. Of Geochem. Expoloration*, 48, 135-173.
- Bektaş, O. ve Güven, İ.H., 1995. Alaskan Aphinitic Type Ultramafic and Mafic Complexes as the Root Zone of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE

- Turkey), Geology of the Black Sea Region, 189-196. Ankara.
- Böhlke, 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, Econ. Geology, 84, 291-327.
- Çiftçi, E., 2000. Mineralogy, Paragenetic Sequence, Geochemistry and Genesis of the Gold and Silver Bearing Upper Cretaceous Mineral Deposits, North eastern Turkey, Ph. D Thesis, University of Missouri-Rolla, Missouri.
- Çubukçu, A., 1998. Kaletaş (Gümüşhane) Epitermal Altın Cevherleşmesinin Jeolojisi, Jeokimyası ve Mineralojisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dana, J. D., 1993. Manuel of Mineralogy, John Wiley and Sons, Inc. 21st. Eds., New York - Chichester - Brisbane - Toronto - Singapore, 681 s.
- Deer, W. A., Howie, R. A. ve Zussman, J., 1992. An Introduction to the Rock - Forming Minerals, John Wiley and Sons, Inc. 21st. Eds., New York, 696 s.
- 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., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dixon, J.C. ve Pereire, J., 1974. Plate Tectonics and Mineralization in the Tethyan Region, Min. Deposita, 9, 185-198.
- Elliot-Meadows, S. ve Appleyard, E., 1991. The Alteration Geochemistry and Petrology of the Lar Lake Cu-Zn Deposit, Lynn Lake Area, Manitoba, Canada, Econ. Geol., 86, 486-505.
- Eyüboğlu, Y., 2010. Late Cretaceous High-K Volcanism in the Eastern Pontide Orogenic Belt: Implications for the Geodynamic Evolution of NE Turkey, International Geology Review, 52, 142-186.
- Finlow-Bates, T. ve Stumppfl, E., 1981. The Behavior of the So-Called Immobile Elements in Hydrothermally Altered Rocks Associated with Volcanogenic Submarine-Exhalative Ore Deposits, Miner. Deposit, 16, 319-328.
- Gettinger, T.E., 1962. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Trabzon Paftası ve İzahnamesi, MTA Yayını, Ankara,
- Grant, J.A., 1986. The Isocon Diagram a Simple Solution to Gresens Equations for Metasomatic Alteration, Econ. Geol., 81, 1976 - 1982.
- Greesens, R.L., 1967. Composition-volume Relationships of Metasomatism, Chemical Geology, 2, 47-65.
- Gündoğdu, M. N. ve Yılmaz, O., 1984. Kil Mineralojisi Yöntemleri, I. Ulusal Kil Konferansı, Bildiriler Kitabı: 319-330.
- Güner, S. ve Yazıcı, E.N., 2006. Gümüşhane-Arzular Altın Sahası Tanıtım Raporu, MTA Raporu, Trabzon.
- Güner, S., ve Yazıcı, E.N., 2011. Gümüşhane – Bayburt – Trabzon Kıymetli Metal (Au – Ag) ve Baz Metal (Cu – Pb – Zn) Sahaları Envanter Raporları, (yayınlanmamış), Trabzon.
- Hermann, W. ve Berry, R.F., 2002. MNSQ-A Least Squares Spreadsheet Method for Calculating Mineral Proportions from Whole Rock Major Element Analyses (yayınlanmamış).
- Huston, D. L., 1993. The Effect of Alteration and Metamorphism on Wall Rocks to the Balcooma and Dry River South Volcanic-Hosted Massive Sulphide Deposits,

- Queensland, Australia, Jour. Of Geoch. Expl., 48, 277-307.
- Huston, D. L. ve Cozens, G. J., 1994. The Geochemistry and Alteration of the White Devil Porphyry Implications to Intrusion Timing. Mineral Deposita, 29, 275 - 287.
- Kaygusuz, A., 1992. Dağbaşı (Araklı-Trabzon) ve Çevresinin Mineralojik ve Petrografik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Trabzon, 63s.
- Karakaya, M.Ç., Karakaya, N., Küpeli, Ş. ve Yavuz, F., 2012. Mineralogy and Geochemical Behavior of Trace Elements of Hydrothermal Alteration Types in the Volcanogenic Massive Sulfide Deposits, NE Turkey, Ore Geology Reviews, 48, 197-224.
- Karslı, O., 2002. Granitoid kayaçlarda magma etkileşimleri için petrografik mineralojik ve kimyasal bulgular: Dölek ve Sarıçiçek Plütonları (Gümüşhane, KD-Türkiye), Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enst., Trabzon.
- Kaur, P., Chaudhri, N., Hofmann, A. W., Raczek, I., Okrusch, M., Skora, S. ve Baumgartner, L. M., 2008. Two Stage, Extreme Albitisation of A-type Granite from NE Rajasthan, India, J. of Petrol. (in press).
- Large, R. R. Gemmel, J. B. ve Paulick, H., 2001. The Alteration Box Plot: A Simple Approach to Understanding the Relationship between Alteration Mineralogy and Lithogeochemistry Associated with Volcanic - Hosted Massive Sulfide Deposits, Economic Geology. 96, 957 - 971.
- Leitch, C.H.B., 1981. Mineralogy and Textures of the Lahanos and Kızılkaya Massive Sulfide Deposits, Northeastern Turkey, and their Similarity to Kuroko Ores, Min. Deposita, 16, 241-257.
- Lermi, A., 1996. Kanköy (Yomra-Trabzon) Cevherinde Toprak-Bitki Jeokimyasının Uygulanması ve İndikatör Bitki Türü Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- MacLean, W.H. ve Kranidiotis, P., 1987. Immobile Elements as Monitors of Mass Transfer in Hydrothermal Alteration: Phelps Dogge Massive Sulfide Deposit, Matagami, Quebec, Econ. Geology, 82, 951-962.
- MacLean, W.H., 1990. Mass Change Calculations in Altered Rock Series, Mineral Deposita, 25, 44-49.
- MacLean, W.H. ve Hoy, L. D., 1991. Geochemistry of Hydrothermal Altered Rocks at the Home Mine, Noranda, Quebec. Econ. Geology., 86, 3, 506 - 528.
- Mountain, B.W. ve Anthony, E.W.J., 1996. Mass Transfer and the Path of Metasomatic reactions in Mesothermal Gold Deposits: An Exaple from Flambeau Lake, Ontario, Econ. Geology, 91, 302-321.
- Myers, R. E. ve MacLean, W. H., 1983. The Geology of the New Inscop Copper Deposit, Noranda District, Quebec, Canadian Jour. Earth. Sci., 20, 1291-1304.
- Pejatoviç, S., 1979. Pontid Tipi Masif Yataklarının Metalojeni, MTA Yayın No: 177. Ankara.
- Saraç, S., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesi Demirli Skarn yataklarının Karşılaştırılmalı Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ, FBE, Trabzon, 269s.

- Saraç, S., ve Van, A., 2005. Çambaşı (Ordu) ve Dereli (Giresun) yörelerindeki Skarn Yataklarının Karşılaştırılmalı Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri: Doğu Pontid Kuzey Zonu (KD Türkiye), Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29(2), 27-44.
- Sipahi, F., 1996. Camiboğazı ve Sarıtaş□ Yaylaları Arasındaki bölgenin Petrografisi Ve Maden Yatakları Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, FBE, Trabzon, 69s.
- Sipahi, F., 2005. Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enst., Trabzon.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B., 2011. Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 53, 2-3, 97-128.
- Sipahi, F., 2011. Formation of skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey) N. Jb. Miner. Abh. 188/2, 169–190
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tüysüz, N., 2000. Geology, Lithochemistry and Genesis of the Murgul Massive Sulfide Deposit, NE Turkey, Chem. Erde, 60, 231-250.
- Van Gerven, M., 1995. Geochemische Nebengesteinsalterationen und Erfassung Signifikanter Zonierungen im Bereich des Jade - Erzfeldes, Okinawa - Trog, Japan, Dipl. - Geol., Freie Universitate, Rohstoff - und Umweltgeologie, Berlin, 186 s.
- Winchester, J.A. ve Floyd, P.A., 1977. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Diferantation Products Using Immobile Elements, Chem. Geol., 20, 97-127.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yaylalı-Abonoz, G. ve Tüysüz., 2010. Chemical, Mineralogical, and Mass-Change Examinations Across a Gold Bearing Vein Zone in the Akoluk Area, Ordu, NE, Turkey, N.Jb.Mineral., 187/1, 11-22.