

AKBAŞTEPE (SÖĞÜT-BİLECİK) AU-AG CEVHERLEŞMESİNDE ALTERASYON MİNERALOGİSİNİN KARAKTERİZASYONU

Özlem TOYGAR SAĞIN^{1*}, Duru CESUR², Gökçem SAĞIN³, Selahattin KADİR⁴

^{1,2,4} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, Eskişehir

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir

¹ ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-2516-4250>

² ORCID No : <https://orcid.org/0009-0000-6188-8267>

³ ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-4784-6789>

⁴ ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-3132-090X>

Anahtar Kelimeler	Öz
Altın Alterasyon Smektit Klorit Fe-oksit	<i>Akbaştepe Au-Ag cevherleşmesi, İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Zonu'nun (İAEKZ) kuzeyinde, Söğüt (Bilecik, KB Türkiye) ilçesinin yaklaşık 6 km güneydoğusunda yer almaktadır. Bölgede hâkim litoloji, Alt Karakaya Kompleksi'ne ait Triyas yaşlı Nilüfer Formasyonu'nun yeşilist fasiyesindeki kayalardan oluşmaktadır. Cevherleşme, yaklaşık K70B doğrultulu, ortalama 5 m kalınlığa ve yaklaşık 2 km uzunluğa sahip bir damar boyunca gelişmiştir. Bu çalışmada, daha önce tanımlanmamış alterasyon zonlarının mineralojik özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, X-ışını difraksiyonu (XRD) ile taramalı elektron mikroskopu-enerji dağılımlı spektroskopisi (SEM-EDS) analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, cevherli zonun kompakt ve katmanlı yapılı, smektitçe zengin bir karakter sergilediğini; yan kayada ise düzensiz kenarlı, yığınlar halinde gelişmiş ve birbirine paralel yönelme gösteren kloritin baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Smektit ve klorit arasında genel olarak ters yönlü bir dağılım ilişkisi belirlenmiştir. Ayrıca, karbonatlaşma evresine ait dolomit, Fe-oksit fazları, vermiküler şekilli kaolinit ve yapraksı illit tanımlanmıştır. Smektit ile birlikte kuvars, feldispat, kalsit/aragonit, ankerit/dolomit, götit, hematit ve pirit mineralleri ile yer yer höylendit-klinoptilolit, analsim, amfibol ve piroksen varlığı saptanmıştır. Sonuç olarak, tanımlanan mineral toplulukları ve alterasyon tipleri, Akbaştepe Au-Ag cevherleşmesinin çok evreli bir hidrotermal akışkan-kayaç etkileşimi sürecine sahip olduğunu göstermektedir. Bu süreç; (i) erken evrede kloritik-propilitik alterasyon zonu, (ii) orta-ileri evrede smektit/kaolinit ağırlıklı arjilik alterasyon ile birlikte gelişen Fe-Mg karbonatlaşma ve silisleşme, (iii) geç/süperjen evrede ise Fe-oksitlenmenin belirginleştiği oksidasyon zonu ile temsil edilmektedir.</i>

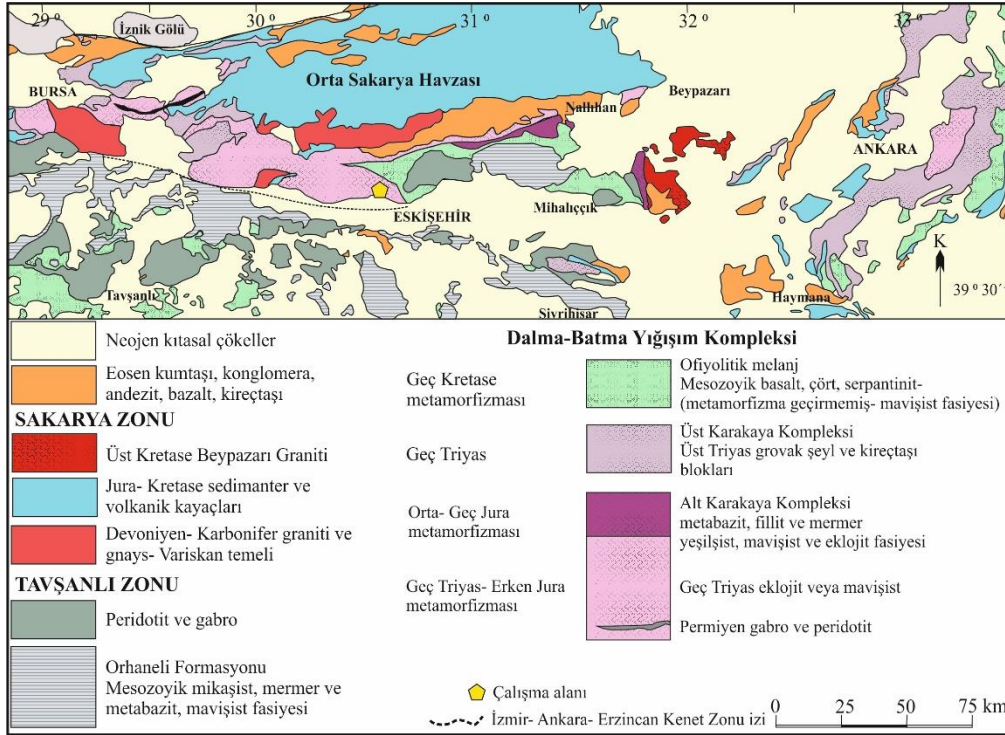
CHARACTERIZATION OF ALTERATION MINERALOGY IN THE AKBAŞTEPE (SÖĞÜT-BİLECİK) AU-AG DEPOSIT

Keywords	Abstract
Gold Alteration Smectite Chlorite Fe-oxide	<i>The Akbaştepe Au-Ag mineralization is located 6 km southeast of Söğüt (Bilecik, NW Türkiye), on the northern margin of the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (IAESZ). The lithology of the study area consists of greenschist-facies rocks of the Triassic Nilüfer Formation belonging to the Lower Karakaya Complex. The mineralization developed along a vein striking approximately N70W, with an average thickness of about 5 m and a length of nearly 2 km. This study aims to determine the mineralogical characteristics of alteration zones. For this purpose, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS) analyses were carried out. The results indicate that the ore zone is compact, well-layered, and enriched in smectite, whereas the host rock is dominated by chlorite occurring as irregular aggregates with parallel orientations. An overall inverse spatial relationship between smectite and chlorite was identified. In addition, dolomite related to the carbonatization stage, Fe-oxide phases, vermicular kaolinite, and platy illite were recognized. Smectite-associated mineral assemblages include quartz, feldspar, calcite/aragonite, ankerite/dolomite, goethite, hematite, and pyrite, as well as locally occurring heulandite-clinoptilolite, analcime, amphibole, and pyroxene. The identified mineral assemblages and alteration types indicate that the Akbaştepe Au-Ag mineralization developed through a multistage hydrothermal fluid-rock interaction process. This</i>



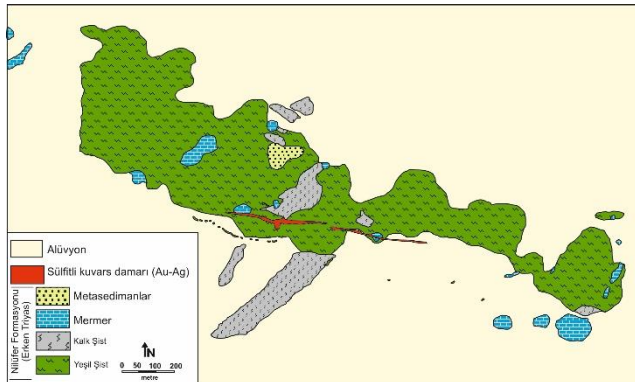
Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

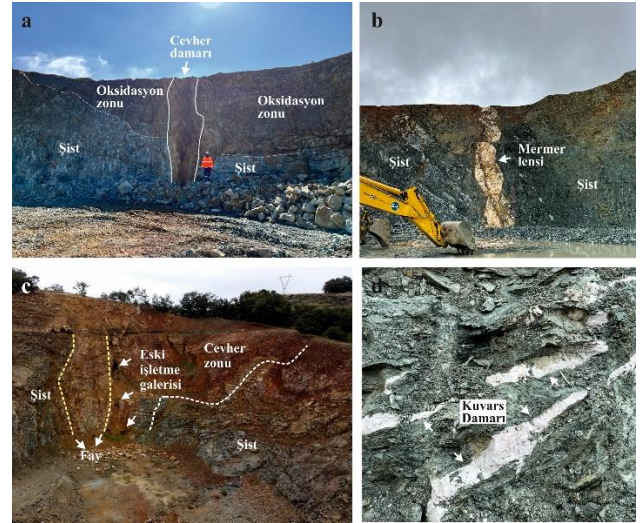


Şekil 2. Çalışma Alanını Gösteren Bölgesel Jeoloji Haritası (Okay ve diğ., 2020).

Akbaştepe cevherleşmesi, Nilüfer Formasyonu'na ait yeşilşist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış şistler içerisinde gelişmiştir. Mineralizasyon, yaklaşık K70B doğrultulu, ortalama 5 m kalınlığında ve yaklaşık 2 km uzunluğunda izlenebilen bir kuvars-damar sistemi boyunca yoğunlaşmaktadır. Damar, kayaların foliasyonunu keser nitelikte olup yaklaşık 80° kuzeye dalımlıdır (Şekil 3). Yan kayalar belirgin foliasyon yapısı sergilemekte ve yeşilimsi renk tonlarıyla ayırt edilmektedir. Yüzeyde gözlenen oksidasyon zonu, cevherli damarın kahverengi-kırmızı tonlarda görünmesine neden olmaktadır (Şekil 4a). Akbaştepe'nin doğu kesiminde, mermer lensleri budinaj yapısına benzer deformasyon özellikleri göstermektedir (Şekil 4b). Cevherli damar, yaklaşık D-B doğrultulu fay sistemleri tarafından kesilmektedir (Şekil 4c). Bu fay zonları boyunca yoğun killeşmeler gelişmiştir. Damar boyunca silisleşme yaygındır (Şekil 4d).



Şekil 3. Çalışma Alanının Jeoloji Haritası.



Şekil 4. a) Cevher Damarı Ve Oksidasyon Zonunun, b) Yan Kaya İçerisindeki Budinaj Yapısını Gösteren Mermer Lensinin, c) Damarı Sınırlayan Fayların, D) Yan Kayaçtaki Kuvars Damarlarının Saha Görüntüsü.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Türkiye'deki altın yatakları değerlendirildiğinde, Akbaştepe Au-Ag yatağına ilişkin ayrıntılı jeolojik, mineralojik ve alterasyon özelliklerini ortaya koyan akademik çalışmalar literatürde sınırlıdır. Bu bölge Türkiye'nin jeodinamik konumu açısından önemli bir tektonik kesitinde yer alır ve bu nedenle bölgedeki araştırmaların çoğunluğu bölgesel jeolojiyi araştırmaya yöneliktir. Altın oluşumunun kökenine yönelik

yürütülen sınırlı çalışmalarda cevherleşmenin Çaltı magmatitleri ile ilişkili hidrotermal çözeltilerle ilişkili olduğu öne sürülmüştür (Kayadibi, Aydal ve Kadioğlu, 1994). Bununla birlikte, cevherli zonun içinde bulunduğu litolojik birimler ve bölgesel yapısal özellikler dikkate alındığında, bölgedeki cevherleşmelerin orojenik kökenli olabileceği de değerlendirilmiştir (Yılmaz, 2003). Ayrıca, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından bölgede tanımlanan Söğüt Au-As-Sb-W yatağı da orojenik tipte sınıflandırılmıştır (MTA, 1965; 1970). Sağın (2023), Akbaştepe'nin içinde bulunduğu jeolojik ortamda altının sülfütlü kuvars damarları boyunca çökelmiş olduğunu belirtmiştir. Cevher mikroskopisi incelemelerinde altının Hg-Te (koloradoyit), Au-Te, pirit, arsenopirit ve şeelit ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Ayrıca tüm kayaç jeokimya analizlerinde altının As, Hg, W ve Sb ile yüksek korelasyon göstermesi birlikte değerlendirildiğinde, Akbaştepe mineralizasyonunun orojenik altın yatakları sınıflamasına dâhil edilebileceği öne sürülmüştür.

3. Yöntem

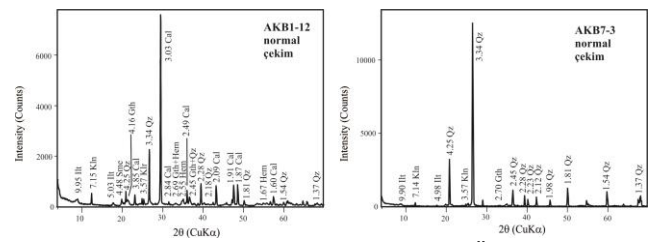
Çalışma alanında kil ve kil dışı mineral içeriğini belirlemek amacıyla 3 adet yüzey kesiti, 4 adet hendek ve sondaj numunelerinden toplam 33 adet numune alınmıştır. Alterasyondan etkilenmemiş, yarı-altere, altere yan kayaç, fay killeri ve cevherli zona ait numuneler petrografik incelemeler sonrası seçilen örneklerde X-ışını difraktometresi (XRD) analizleri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (Ankara) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Tüm kayaç örneklerinin mineralojik bileşimini saptamak üzere numuneler agat havanda pudra haline gelinceye kadar öğütülmüştür. Öğütülen numuneler, cam slaytlara yönlendirme yapılmaksızın yerleştirilmiş ve Rigaku Geigerflex (Japonya) model cihaz kullanılarak CuK α radyasyonu altında, 2°/dk tarama hızında analiz edilmiştir. Saflaştırılmış kil fraksiyonları, cam slayt üzerine yerleştirildikten sonra yaklaşık 15 dakika boyunca ultrasonik titreşim uygulanarak yönlendirilmiştir. Hazırlanan örnekler üç farklı koşulda XRD analizine tabi tutulmuştur; (i) havada kurutulmuş, (ii) 60 °C'de etilen glikol ile muamele edilmiş ve (iii) 350 °C ile 550 °C'de iki saat süreyle ısıyla koşullandırılarak hazırlanmıştır. Analiz sonuçları Brindley ve Brown (1980) standart yöntemine göre değerlendirilmiş ve kayaç yapıcı minerallerin yarı-kantitatif bollukları hesaplanmıştır. Kil minerallerinin göreceli bollukları ise Moore ve Reynolds (1989) tarafından belirtilen temel yansıma ve yoğunluk faktörleri kullanılarak belirlenmiştir. Petrografik ve XRD çalışmalarında kil bakımından zengin olduğu tespit edilen örnekler, Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde taramalı elektron mikroskopu (SEM-EDS) analizine incelenmiştir. Bu analizlerde minerallerin mikromorfolojik özellikleri ve kimyasal bileşimleri belirlenmiştir. SEM analizleri QUANTA 400F Field Emission SEM (Thermo Fisher

Scientific, Hillsboro, Oregon, USA) ile Hitachi Regulus 8230 cihazlarında, Oxford Instruments ULTRIM EXTREME EDS dedektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. Bulgular

4. 1. X Işınlı Difraktometresi (XRD) Çalışmaları

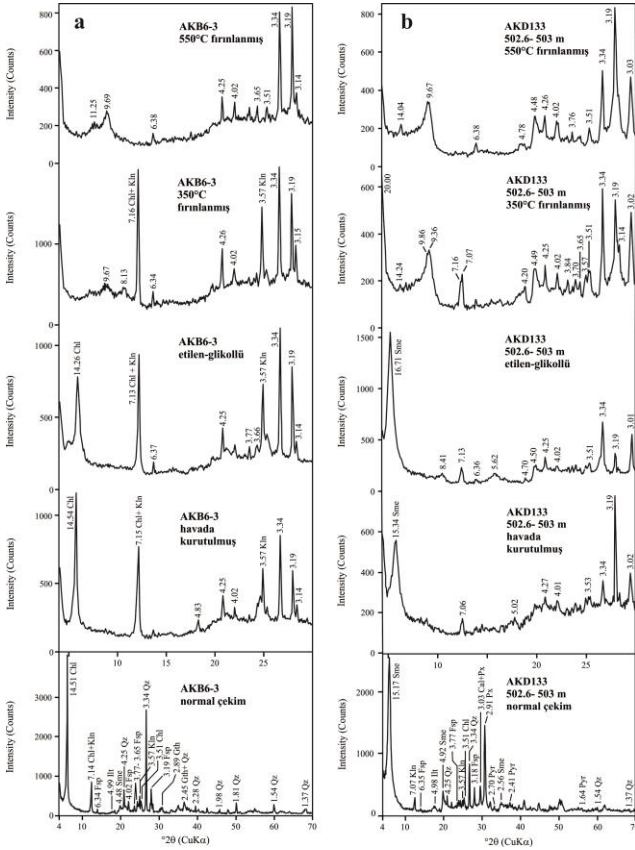
Akbaştepe cevherleşmesi yan kayaç, fay killeri ve cevherli zondan alınan örnekler üzerinde yürütülen detay kil XRD çalışmalarına göre yarı altere ve altere numunelerde farklı düzeylerde demir oksitleşme, silisleşme ve karbonatlaşma geliştiğini göstermiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Akbaştepe Cevherleşmesi Yüzey Örneklerine Ait XRD Grafikleri a) AKB1-12 No.Lu Cevherli Zon Örneği, b) AKB7-3 No.Lu Doğu Hendeği Cevherli Zon Örneği (Mineral Kısaltmaları İçin Bakınız: Ek-1).

XRD analiz sonuçlarına göre, örneklerde klorit ve smektit mineralleri arasında genel olarak bir ters ilişki gözlenmektedir. Klorit, alterasyondan etkilenmemiş yan kayaçlarda yaygın olarak izlenirken; smektit, ileri derecede altere olmuş şistlerde baskın mineral olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüleceği üzere, smektit, kaolinit ile birlikte hem fay killeri içerisinde hem de altere kayaçlarda heterojen bir dağılım sergilemektedir (Ek-1). Sondaj karotlarından alınan örneklerde smektit, özellikle yüzeye yakın seviyelerde ve yarı altere şistlerde yoğun olarak gözlenmiştir. Smektitle birlikte kuvars, feldispat, kalsit/aragonit, ankerit/dolomit, götit, hematit, pirit ve yer yer talk, höylandit-klinoptilolit, analsim, amfibol ve piroksen mineralleri tanımlanmıştır. İncelemelere göre, altın içeren örneklerde kuvars yaygın olarak gözlenmekte olup genellikle kalsit/aragonit ve daha az oranda götit/hematit mineralleriyle ilişkili olarak bulunmaktadır. Klorit, 14.12–14.62 Å, 7.08–7.20 Å, 4.72 Å ve 3.54 Å konumlarındaki karakteristik keskin piklerle tanımlanmıştır (Şekil 6). 16.42–17.12 Å civarındaki ana pik, etilen glikol muamelesi ve 350°C ile 550°C'de iki saatlik ısıl işlem sonrası değişim göstermemiştir (Şekil 6a). Smektit, tipik olarak 14.58–15.58 Å aralığındaki bazal yansımalarla tanımlanmakta ve etilen glikol uygulanmasıyla birlikte şişerek 16.42–17.12 Å civarında yeni pikler sergilemektedir. 350°C ve 550°C'de uygulanan ısıl işlem sonrasında ise bu pikler çökmekte ve yaklaşık 10 Å değerlerine gerilemektedir. Smektit minerallerinin d_{060} aralıkları 1.49–1.50 Å olarak

belirlenmiştir ve mineral dioktahedral karakter sergilemektedir (Şekil 6b; Moore ve Reynolds, 1989).



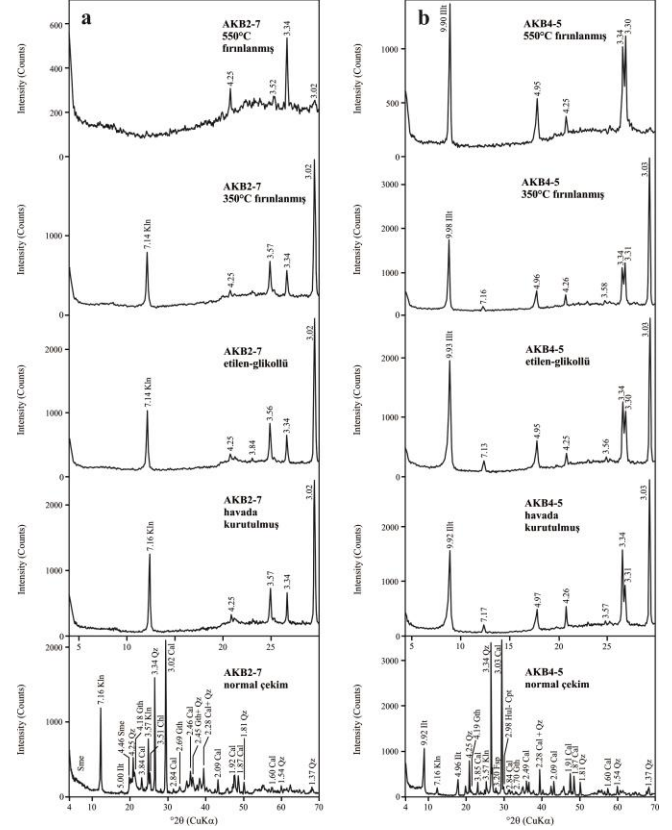
Şekil 6. Akbaştepe Cevherleşmesi Numunelerine Ait Detay Kil XRD Grafikleri, a) AKB6-3 No.Lu Doğu Hendeği Yarı Altere Yan Kayaç, b) AKD133 Olarak Adlandırılan Sondajdan Alınan Fay Kili (Mineral Kısaltmaları İçin Bakınız: Ek-1).

Kaolinit 7.16 ve 3.57 Å bazal yansımaları, illit ise 10 ve 5 Å değerlerindeki karakteristik piklerle tanımlanmıştır (Şekil 7a, b). Kaolinite ait ana pik (7.16 Å), 550°C'de uygulanan ısıl işlem sonrasında tamamen çökmektedir (Şekil 7a). Serpantin 7.63 Å değerindeki yansıma ile, amfibol 8.36 ve 3.11 Å, piroksen 2.90 ve 3.03 Å, olivin 2.80 Å, kuvars 3.34 ve 4.26 Å, feldispat ise 3.18 Å değerindeki piklerle belirlenmiştir.

4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) Çalışmaları

Akbaştepe cevherleşmesine ait altere, yarı altere ve taze yan kayaç örnekleri üzerinde SEM-EDS çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Alterasyon zonlarında klorit, smektit, kaolinit, illit ve Fe-oksit fazları yaygın olarak gözlenmiştir (Şekil 8a-p).

Klorit, otijenik oluşumlu olup yüksek basınç ve sıcaklık koşulları altında gelişmiş kompakt, düzensiz kenarlı, tabakalı ve birbirine paralel yönelimler gösteren yığın yapılarıyla tanımlanmıştır (Şekil 8a-c).



Şekil 7. Akbaştepe Cevherleşmesi Numunelerine Ait Detay Kil XRD Grafikleri, a) AKB2-7 No.Lu Yüzey Cevherli Zon Örneği, b) AKB4-5 No.Lu Doğu Hendeği Alterasyondan Etkilenmemiş Yan Kayaç Numunesi (Mineral Kısaltmaları İçin Bakınız: Ek-1).

Klorit kristalleri 10×15 µm ile 15×20 µm arasında değişen boyutlara sahiptir. EDX analizleri, bu fazın Si, Al, Mg ve Fe elementlerine ait keskin pikler gösterdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 9a).

Smektit, kompakt ve katmanlı bir doku sergilemektedir (Şekil 8d-e). EDX spektrumlarında Si, Al ve Mg pikleri gözlenmekte; ayrıca Ca ve C pikleri, smektit ile birlikte bulunan karbonat minerallerini (kalsit, dolomit vb.) işaret etmektedir (Şekil 9b).

Kaolinit, masif, vermiküler ve yüz yüze yığınlar oluşturan morfolojisiyle otijenik bir gelişim sunmaktadır. Bazı alanlarda Fe-oksit fazları ve dolomit kristallerinin kenarlarında geliştiği belirlenmiştir (Şekil 8f-j). EDX analizlerinde kaolinit, benzer yükseklikteki Si ve Al pikleriyle karakterizedir (Şekil 8c). Bu morfolojik özellik, kaolinleşme ve Fe-oksitleşme süreçlerinin hidrotermal akışkan dolaşımı ve asidik koşullar altında artan Al ve Fe zenginleşmesiyle, cevherleşmeye ait mikro çatlak zonlarında geliştiğini göstermektedir (Şekil 9d-e).

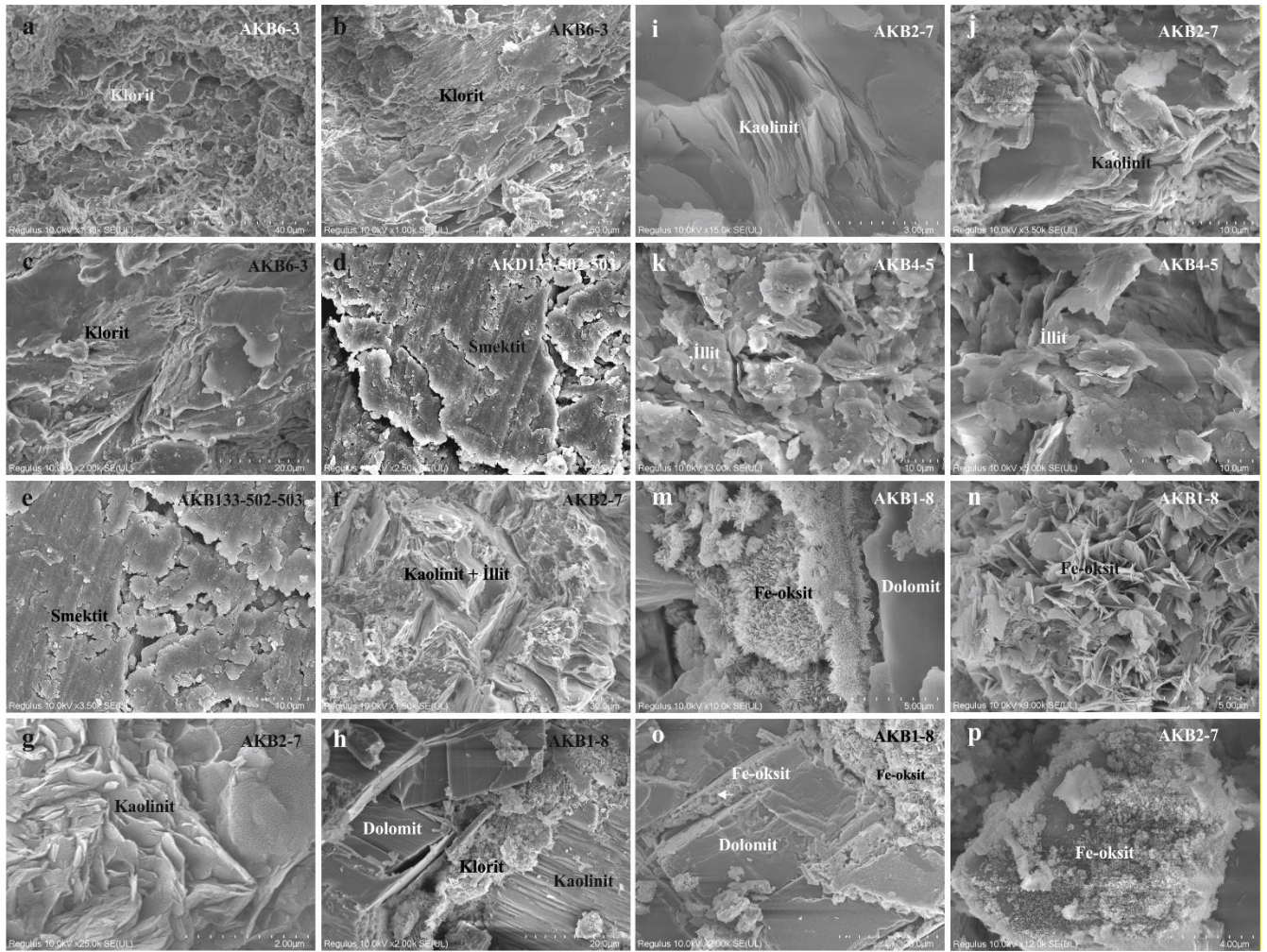
Illit, düzensiz kenarlı, pulsu yapraklanmalar halinde ve birbirine paralel dizilimli yapılarla belirgindir (Şekil 8k-l). Hem XRD hem de EDX verilerinde illit, Si, Al ve K'ya ait keskin piklerle, ayrıca komşu klorit fazından

kaynaklanan zayıf bir Mg pikiiyle ayırt edilmiştir (Şekil 9f). Kaolinit kristalleri benzer kimyasal bileşim sergilese de, illit K elementi içermemektedir.

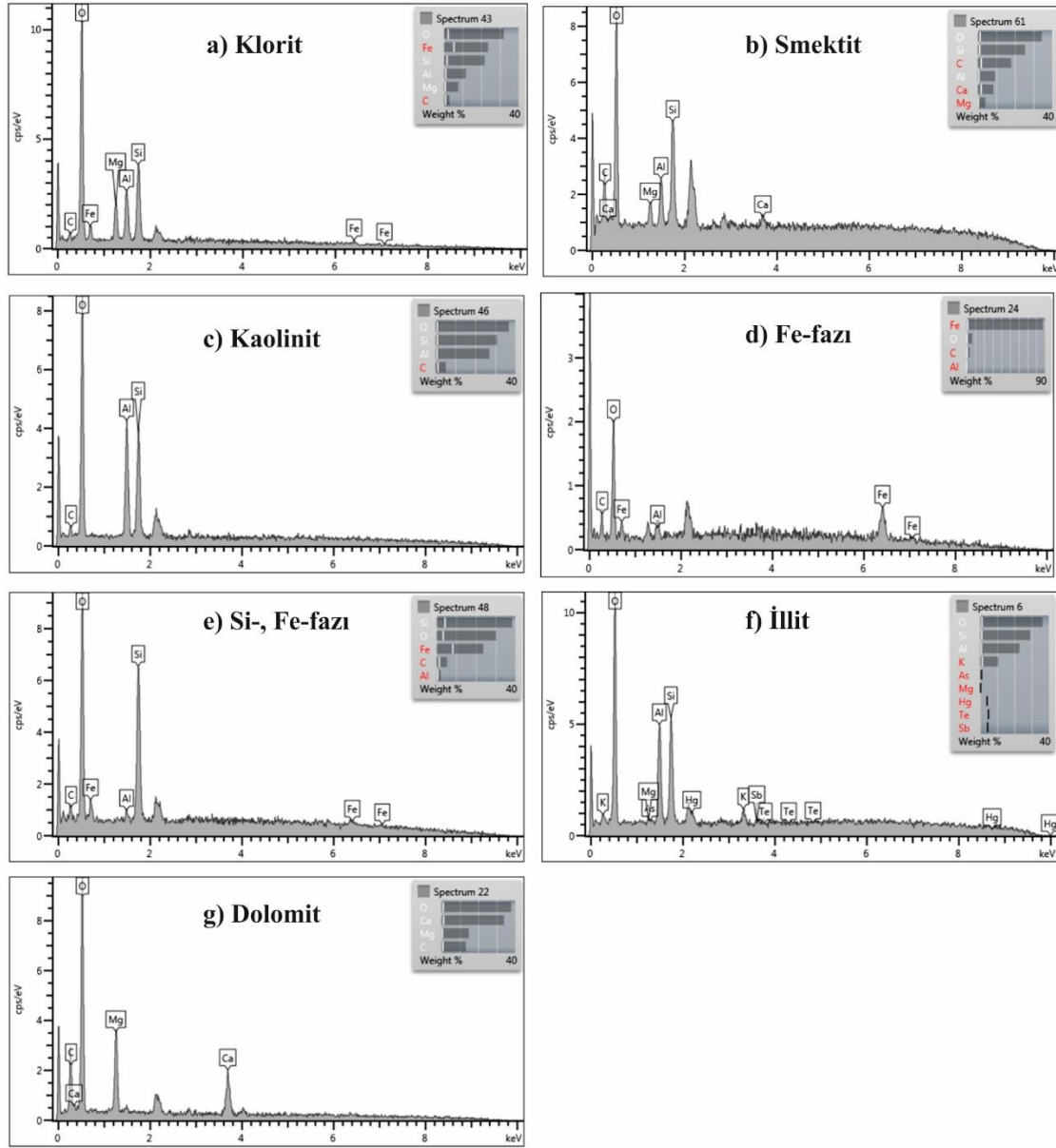
Fe-oksit fazları, disk, çubuk ve rozet biçimli hematit ve götit kristalleriyle temsil edilmektedir (Şekil 8m–p). Bu fazlar, özşekilli ve ileri derecede altere olmuş dolomit kristalleriyle dokanaklı olarak gelişmiştir. Özellikle yüzey örneklerinde belirgin biçimde gözlenen bu ilişki, süperjen Fe-oksit fazlarının karbonatlaşmadan sonra oluştuğuna işaret etmektedir (Şekil 8m, o). Hematit ve götit, mikromorfolojilerine, EDX spektrumundaki Fe

piklerine ve XRD sonuçlarına göre tanımlanmıştır (Şekil 8d–e). Fe-oksit fazlarında gözlenen keskin Si pikii, bu minerallerle ilişkili silisleşmeyi düşündürmektedir.

Dolomit, otijenik kökenli olup özşekilli rombik kristal morfolojisi ve kısmen çözünmüş kenar yapılarıyla tanımlanmıştır. Fe-oksit fazlarıyla dokanaklı olarak gelişmiştir (Şekil 8h, m, o). EDX analizlerinde Ca, Mg ve C keskin pikleri ile tanımlanan dolomitte, Ca pikinin Mg pikine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 9g).



Şekil 8. a–c) Kompakt, Düzensiz Kenarlı, Levhamsı, Yüz Yüze Paketlenmiş Ve Paralel Yönelim Gösteren Klorit Kristalleri (AKB6-3); d–e) Paralel Yönelme Gösteren Levhamsı Smektit (AKD133 Sondajının 502–503. Metreleri); f–h) Masif Ve Vermiküler Formlu Kaolinit, Yer Yer Fe-Oksit Fazı Ve Dolomit İle Dokanaklıdır (AKB2-7, AKB1-8); i–j) Masif Ve Vermiküler Şekilli Kaolinit, Yer Yer Fe-Oksit Fazı Ve Dolomit İle Dokanaklıdır (AKB2-7); k–l) Birbirine Paralel Yönelmiş, Düzensiz Kenarlı, Yapraksı Düzlemlili İllit Kristalleri (AKB4-5); m–p) Disk, Çubuk Ve Rozet Şekli Hematit İle Götit Kristalleri Ve Özşekilli, Kısmen Çözünmüş Rombik Dolomitler.



Şekil 9. Akbaştepe Cevherleşmesine Ait EDX Analiz Sonuçları: a) Klorit, b) Smektit, c) Kaolinit, d) Fe-oksit fazı, e) Si-Fe fazı, f) İllit, g) Dolomit.

5. Tartışma

Orojenik altın yataklarının cevherleşme tipleri, genişlikleri ve alterasyon şiddetlerinin önemli ölçüde farklılık göstermesi sebebiyle bu yataklara eşlik eden alterasyon zonlarının ayrıntıları hâlâ tam olarak açıklığa kavuşmamıştır (Eilu ve Groves, 2001; Craw, Upton ve Mackenzie, 2009; White, Waters ve Robb, 2013; Simpson ve diğ., 2019). Bu tip yataklara eşlik eden bileşimi farklı kayaç türlerinin (metasedimanterler, bazaltlar, granitoidler, lamprofirler) ve farklı derecelerde gerçekleşen akışkan-kayaç etkileşimleri ile akışkan kompozisyonunun alterasyon zonlarının mineralojik çeşitliliğini belirlemede önemli rol oynadığı ortaya koyulmuştur (Wu ve diğ., 2018, Henne ve Craw,

2012, Petrella, Thebaud, Evans, LaFlamme ve Occhipinti, 2021). Akbaştepe cevherleşmesi yeşilsist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış şistler içerisinde oluşmuştur ve bu tür kayaçlar, yüksek geçirgenlikleri sayesinde hidrotermal akışkan geçişine elverişli ortamlardır. Yeşilsist fasiyesinde bulunan orojenik altın cevherleşmelerinde genel olarak üç ana alterasyon tanımlanmaktadır (Mikucki ve Ridley, 1993; Cassidy, Groves ve Mcnaughton, 1998; Eilu, Mikucki ve Groves, 1998; McCuaig ve Kerrich, 1998; Eilu ve Groves, 2001). Bu alterasyon zonlarının en dış kısmında tipik olarak klorit yaygındır (Groves ve diğ., 1998; Eilu ve Groves, 2001; Goldfarb ve Santosh, 2014). Ayrıca kuvars cevherli zonda yaygın olarak gözlenmektedir. Karbonat minerallerinde ise kalsit, dolomit ve ankerit tipiktir.

(McCuaig ve Kerrich, 1998; Groves ve diğ., 1998). Alterasyon mineral topluluklarının bileşimi, cevherleşmeye katılan akışkanların termodinamik özelliklerinin (T-P-fO₂-pH) anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir (Souza ve Vialle, 2020; Aliyari, Yousefi, Abedini ve Calagari, 2021; Barker, Barker, Wilson ve Stock, 2021). XRD analizlerinde tanımlanan klorit, smektit, illit ve kaolinit mineralleri ile SEM-EDS verilerinde gözlenen Fe-Mg karbonat, dolomit ve Fe-oksit fazları, akışkanların sıcaklık, basınç ve kimyasal bileşimlerindeki değişimlere yanıt verebilecek bir mineralojik gelişim göstermektedir.

Orojenik altın yataklarının diğer altın yatak tiplerine göre daha geniş kabuksal derinlik aralıklarında oluştuğu bilinmektedir (Groves, Goldfarb, Gebre-Mariam, Hagemann ve Robert, 1998; Wang ve diğ., 2022). Alterasyon evriminin yüksek sıcaklıklı kloritik evreden, düşük sıcaklıklı smektitik ve kaolinitik evrelere geçmesi; akışkanların derinden yüzeye ilerledikçe sıcaklık, basınç ve pH'da meydana gelen değişimlerle ilişkilidir. Cevherleşmeye katılan akışkanların CO₂ açısından zengin ve düşük sülfür-fugasiteli bir bileşime sahip olduğunu düşündürmektedir (Bottrell ve Miller, 1989; Li ve diğ., 2022). Bu süreçte kloritin kararsız hale gelmesi ve Al-Si bakımından zenginleşen ortamda smektit ve kaolinitin gelişmesi, hidrotermal akışkanın asidik bir karakter kazanmasına bağlı arjilik alterasyonun göstergesi olarak değerlendirilmiştir (Craw ve diğ., 2009).

SEM-EDS analizlerinde tanımlanan Fe-Mg karbonatlar ile hematit/götit fazları, akışkanın oksidasyon potansiyelindeki değişimlere bağlı ardışık mineral çökmesini yansıtmaktadır. Fe-Mg karbonatlar, genellikle proksimal zonlarda nötral-hafif bazik akışkan koşullarında gelişirken, Fe-oksitlerin dolomit ile dokanaklı ve yüzey örneklerinde yoğun olarak bulunması, sistemin geç evre süperjen oksidasyon sürecine geçtiğini göstermektedir. (Li ve diğ., 2022).

6. Sonuçlar

Akbaştepe Au-Ag cevherleşmesi, orojenik altın yataklarında gözlenen alterasyon evrimine uyum göstermektedir (Craw ve diğ., 2009; Li ve diğ., 2022). Bu kapsamda orojenik altın yatakları için önerilen alterasyon modeli Akbaştepe için önerilebilir; (i) erken evrede klorit ile tanımlanan ve yüksek sıcaklıkta geliştiği düşünülen kloritik-propilitik zon, (ii) akışkan sıcaklığının azalmasıyla birlikte gelişen orta-ileri evrede smektit/kaolinit ağırlıklı arjilik zon ve eşlik eden Fe-Mg karbonatlaşma ile silisleşme, (iii) geç/süperjen evrede Fe-oksitlenmenin belirginleştiği oksidasyon zonedir. Bu model, XRD'de tespit edilen kil fazlarının dağılımı, SEM'de belirlenen morfolojiler ve EDX kimyasal bileşimleriyle desteklenmektedir. Akbaştepe cevherleşmesini oluşturan akışkanların CO₂ açısından zengin, öncelikli olarak düşük sülfür fugasitesine sahip

ve değişken redoks koşullarında evrimleşen çok evreli hidrotermal bir sistemin ürünü olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA2022-2317 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bu araştırmadaki değerli katkıları, desteği ve yönlendirmeleri için hocamız Prof. Dr. Selahattin KADİR'e gönülden teşekkür ediyoruz ve kendisini saygıyla anıyoruz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Özlem TOYGAR SAĞIN, bilimsel yayın araştırması, arazi çalışması, verilerin değerlendirilmesi, makalenin oluşturulması, Duru CESUR, bilimsel yayın araştırması, arazi çalışması, verilerin değerlendirilmesi, makalenin oluşturulması; Gökcem SAĞIN, bilimsel yayın araştırması, arazi çalışması, verilerin değerlendirilmesi, makalenin oluşturulması; Selahattin KADİR, arazi çalışması, analizlerin yürütülmesi, verilerin değerlendirilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Aliyari, F., Yousefi, T., Abedini, A., & Calagari, A.A. (2021). Primary geochemical haloes and alteration zoning applied to gold exploration in the Zarshuran Carlin-type deposit, northwestern Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 231, 106864. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106864>
- Barker, R.D., Barker, S.L., Wilson, S., & Stock, E.D. (2021). Quantitative mineral mapping of drill core surfaces I: a method for μ XRF mineral calculation and mapping of hydrothermally altered, fine-grained sedimentary rocks from a carlin-type gold deposit. *Economic Geology*, 116(4), 803-819. doi: <https://doi.org/10.5382/econgeo.4803>
- Brindley, G.W., & Brown, G. (1980). X-Ray diffraction procedures for clay mineral identification. *Mineral Society*, 305-356.
- Bottrell, S. H., & Miller, M. F. (1989). Analysis of reduced sulfur species in inclusion fluids. *Economic Geology*, 84(4), 940-945. doi: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.84.4.940>
- Cassidy, K.F., Groves, D.I. & Mcnaughton, N. J. (1998). Late-Archean granitoid-hosted lode-gold deposits, Yilgarn Craton, Western Australia: deposit characteristics, crustal architecture and implications

- for ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 13, 65–102. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00014-0)
- Craw, D., Upton, P., & MacKenzie, D.J. (2009). Hydrothermal alteration styles in ancient and modern orogenic gold deposits, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 52(1), 11-26. doi: <https://doi.org/10.1080/00288300909509874>
- Dixon, C.J., & Pereira, J. (1974). Plate tectonics and mineralization in the Tethyan region. *Mineralium Deposita*, 9, 185-198. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00203995>
- Eilu, P., Mikucki, E. J. & Groves, D. I. (1998). Wallrock alteration and primary geochemical dispersion in lode-gold exploration. *Society for Geology Applied to Mineral Deposits*, Short Course Notes.
- Eilu, P., & Groves, D.I. (2001). Primary alteration and geochemical dispersion haloes of Archaean orogenic gold deposits in the Yilgarn Craton: the pre-weathering scenario. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 1(3), 183-200. doi: <https://doi.org/10.1144/geochem.1.3.183>
- Genç, Y., & Yürür, M.T., (2018). Savcılibeyit (Kaman-Kırşehir) gold mineralization and its genetic relationship with post-collisional exhumation and extensional tectonics in central Anatolia, Turkey. *Yerbilimleri*, 39(3), 155-176. doi:
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., & Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of the crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13, 7-27. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., & Hart, C.R.J. (2003). Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research and exploration significance. *Economic Geology*, 98, 1-29. doi: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.1>
- Goldfarb, R. J., & Santosh, M. (2014). The dilemma of the Jiaodong gold deposits: Are they unique?. *Geoscience Frontiers*, 5(2), 139-153. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.11.001>
- Henne, A., & Craw, D. (2012). Synmetamorphic carbon mobility and graphite enrichment in metaturbidites as a precursor to orogenic gold mineralisation, Otago Schist, New Zealand. *Mineralium Deposita*, 47(7), 781-797. doi: <https://doi.org/10.1007/s00126-012-0399-2>
- Jankovic, S. (1997). The Carpatho-Balkanides and adjacent area: a sector of the Tethyan Eurasian metallogenic belt. *Mineralium Deposita*, 32, 426-433. doi: <https://doi.org/10.1007/s001260050110>
- Kayadibi, Ö., Aydal, D. ve Kadioğlu, Y.K. (1994). Bilecik-Söğüt altın mineralizasyonunun incelenmesi, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 9, 252-259.
- Li, H., Wang, Q., Yang, L., Dong, C., Weng, W., & Deng, J. (2022). Alterations and mineralization patterns in orogenic gold deposits: constraints from deposit observation and thermodynamic modeling. *Chemical Geology*, 607, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.121012>
- Mccuaig, T. C. & Kerrich, R. (1998). P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics. *Ore Geology Reviews*, 12, 381–453. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(98\)80002-4](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(98)80002-4).
- Mikucki, E.J., & Ridley, J.R. (1993) The hydrothermal fluid of Archean lode-gold deposits at different metamorphic grades: compositional constraints from ore and wallrock alteration assemblages. *Mineralium Deposita*, 28, 469-481. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02431603>
- Moore, D.M., & Reynolds, R.C. (1989). *Principles and techniques of quantitative analysis of clay minerals by X-Ray powder diffraction*. New York: Oxford University Press, 332-337.
- MTA (Maden Tetkik Arama Enstitüsü) (1965). Tungsten and molybdenum deposits of Turkey. MTA Publications, 128, Ankara.
- MTA (Maden Tetkik Arama Enstitüsü) (1970). Arsenic, mercury, antimony and gold deposits of Turkey. MTA Publications, 129, Ankara
- Okay, A.I., & Monié, P. (1997). Early Mesozoic subduction in the eastern Mediterranean: evidence from Triassic eclogite in northwest Turkey. *Geology*, 25, 595–598.
- Okay, A.I., & Göncüoğlu, M.C. (2004). Karakaya complex: a review of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 77–95.
- Okay, A. I., Noble, P. J., & Tekin, U. K. (2011). Devonian radiolarian ribbon cherts from the Karakaya Complex, northwest Turkey: implications for the Paleo-Tethyan evolution. *Comptes Rendus Palevol*, 10, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2010.12.002>
- Okay, A. I., & Nikishin, A. M. (2015). Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea

- region. *International Geology Review*, 57, 1051–1076. doi: <https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1010609>
- Okay, A.I., Sunal, G., Sherlock, S., Kylander-Clark, A.R.C., & Özcan, E. (2020). İzmir-Ankara suture as a Triassic to Cretaceous plate boundary- data from central Anatolia. *Tectonics*, 38, 1-21. doi: <https://doi.org/10.1029/2019TC005849>
- Petrella, L., Thébaud, N., Evans, K., LaFlamme, C., & Occhipinti, S. (2021). The role of competitive fluid-rock interaction processes in the formation of high-grade gold deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 313, 38-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.08.024>
- Pickett, E.A., & Robertson, A.H.F. (1996). Formation of the Late Palaeozoic–Early Mesozoic Karakaya Complex and related ophiolites in NW Turkey by Palaeotethyan subduction-accretion. *Journal of the Geological Society, London*, 153, 995–1009. doi: <https://doi.org/10.1144/gsjgs.153.6.0995>
- Robertson, A.H.F., & Ustaömer, T. (2012). Testing alternative tectono-stratigraphic interpretations of the Late Palaeozoic– Early Mesozoic Karakaya Complex in NW Turkey: support for an accretionary origin related to northward subduction of Palaeotethys. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 961–1007
- Sağın, G. (2023). *Akbaştepe (Söğüt, Bilecik) Au-Ag cevherleşmesinin jeolojik, mineralojik, jeokimyasal özellikleri ve kökeninin araştırılması* (Yüksek lisans tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Simpson, M.P., Gazley, M.F., Stuart, A.G., Pearce, M.A., Birchall, R., Chappell, D., Christie, A.B., & Stevens, M. R. (2019). Hydrothermal alteration at the Karangahake epithermal Au-Ag deposit, Hauraki Goldfield, New Zealand. *Economic Geology*, 114(2), 243-273. doi: <https://doi.org/10.5382/econgeo.2019.4630>
- Souza, A.E.C.M., & Vialle, S. (2020). Understanding seismic reflectivity across hydrothermal alteration zones associated with gold: Example of the Karari gold deposit, Western Australia. *Ore Geology Reviews*, 126, 103776. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joregeorev.2020.103776>
- Şengör, A.M.C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey, a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241. doi: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Tekeli, O. (1981). Subduction complex of pre-Jurassic age, northern Anatolia, Turkey. *Geology*, 9, 68–72.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M., & Schwarz, W.H. (2004). Low grade metamorphic rocks from the Pular complex, NE Turkey: implications for pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides. *International Journal of Earth Sciences*, 93, 72–91. doi: <https://doi.org/10.1007/s00531-003-0372-5>
- Topuz, T., Okay, A. I., Schwarz, W. H., Sunal, G., Altherr, R., & Kylander-Clark, A. R. C. (2018). A middle Permian ophiolite fragment in Late Triassic greenschist- to blueschist-facies rocks in NW Turkey: An earlier pulse of suprasubduction-zone ophiolite formation in the Tethyan belt. *Lithos*, 300–301, 121–135. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.12.005>
- Topuz, T., Candan, O., Okay, A. I., von Quadt, A., Othman, M., Zack, T., & Wang, J. (2020). Silurian anorogenic basic and acidic magmatism in Northwest Turkey: implications for the opening of the Paleo-Tethys. *Lithos*, 356-357. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105302>
- Toygur, Ö. (2014). *Kaymaz (Eskişehir) altın yatağının oluşumu üzerine jeokimyasal ve izotopik sınırlamalar* (Yüksek lisans tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Turan, T.İ., & Diker, C. (2022). Remote sensing of Listvenite rock for Kaymaz Gold Deposit, Eskişehir-TÜRKİYE. *Journal of Geochemical Exploration*, 243, 107110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jgexplo.2022.107110>
- Yavuz, H., Demir, Y., Kasapçı, C., Uysal, İ., & Helvacı, C. (2022). Geology and genesis of the silica-listwaenite hosted Kaymaz gold deposit, Eskişehir, NW-Turkey: implications from fluid inclusions and pyrite chemistry. *Journal of Asian Earth Sciences X*, 8, 100104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2022.100104>
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, C.Ş. & Şengör, A.M.C. (1997). Geology and tectonic evolution of the Pontides. *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Regions. American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir*, 68, 183–226.
- Yılmaz, H. (2003). Geochemical exploration for gold in western Turkey: success and failure. *Journal of Geochemical Exploration*, 80, 117-135. doi: [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(03\)00187-0](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(03)00187-0)
- Wang, Q.F., Yang, L., Zhao, H.S., Groves, D.I., Weng, W.J., Xue, S.C., ... Deng, J. (2022). Towards a universal

model for orogenic gold systems: a perspective based on Chinese examples with geodynamic, temporal, and deposit-scale structural and geochemical diversity. *Earth-Science Reviews*, 224, 103861. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103861>

Wu, Y. F., Li, J. W., Evans, K., Koenig, A. E., Li, Z. K., O'Brien, H., ... Yu, J. P. (2018). Ore-forming processes of the Daqiao epizonal orogenic gold deposit, West Qinling orogen, China: Constraints from textures, trace elements, and sulfur isotopes of pyrite and marcasite, and Raman spectroscopy of carbonaceous material. *Economic Geology*, 113(5), 1093-1132. doi: <https://doi.org/10.5382/econgeo.2018.4583>

White, A. J. R., Waters, D. J., & Robb, L. J. (2013). The application of P-T-X (CO₂) modelling in constraining metamorphism and hydrothermal alteration at the Damang gold deposit, Ghana. *Journal of Metamorphic Geology*, 31(9), 937-961. doi: <https://doi.org/10.1111/jmg.12051>

