



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 05.05.2022
Kabul Tarihi : 06.08.2022

Received Date : 05.05.2022
Accepted Date : 06.08.2022

ŞAPHANE (ÇORUM) DAMAR TİPİ ALTIN (Au) CEVHERLEŞMESİNDE MULTİSPEKTRAL UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK HİDROTERMAL ALTERASYON MİNERAL HARİTALAMASI VE ÇİZGİSELLİK ANALİZİ

HYDROTHERMAL ALTERATION MINERAL MAPPING AND LINEAMENT ANALYSIS USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES IN VEIN TYPE GOLD (Au) MINERALIZATION IN ŞAPHANE (ÇORUM)

Oktay CANBAZ^{1*} (ORCID: 0000-0002-8161-1326)

Esra ÜNAL ÇAKIR² (ORCID: 0000-0002-4196-4303)

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

² Yozgat Bozok Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Oktay CANBAZ, ocanbaz@cumhuriyet.edu.tr

ÖZET

Özellikle metalik madenlerin ilk arama aşamalarından biri olan hidrotermal alterasyon minerallerinin dağılımlarının daha az maliyetle ve kısa sürede haritalanması, madencilik için önemlidir. Tektonik olarak, çalışma alanı Pontidler ile Orta Anadolu kristalin Kompleksi arasında ve İzmir-Ankara-Erzincan Suture zonunun kuzeyinde yer almaktadır. Çalışma alanında, Eosen volkanizmasına ait ürünler ile hidrotermal çözeltinin neden olduğu alterasyonlar yoğun olarak gözlenmektedir. Bu yoğun alterasyonlar, yaklaşık KD-GB doğrultulu altın içeren hidrotermal damarlarla ilişkilendirilir. Altın potansiyeli yüksek olan bu saha sarp topografya ve ulaşılması güç yüzleklere sahiptir. Topoğrafik koşullara bağlı olarak bölgede arazi çalışmaları güçlüklerle gerçekleştirilmekte, yaşanan zorluk nedeni ile çalışmalar sırasında önemli birçok alan örneklenememektedir. Uzaktan algılama teknikleri litolojik özelliklerin ve minerallerin haritalanmasında, yapısal özelliklerin ortaya çıkarılmasında oldukça kullanışlı veriler sunmaktadır. Bu çalışmada, ASTER ve Landsat-8 uydu multispektral görüntülerinde bant oranlama, spektral mineral indeksi ve MTMF spektral sınıflandırmadan oluşan görüntü işleme yöntemleri uygulanarak hidrotermal alterasyon zonlarının haritalaması yapılmıştır. Ayrıca, damar tipi cevherleşmelerin tespitine yönelik ise Landsat-8 OLI uydu görüntüsünden pankeskinleştirme ile elde edilen görüntüde otomatik çizgisellik analizleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, %84,8 genel doğruluk ve 0,836 kappa katsayısına sahip olup arazi verileri ile yüksek oranda doğruluk göstermektedir. Çalışmada elde edilen haritalar, bölgedeki yeni altın ve/veya diğer değerli metalik cevherleşmeler için kullanışlı ve öncü veri niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, altın (Au), hidrotermal alterasyon, spektral sınıflandırma

ABSTRACT

It is important for mining to map the distribution of hydrothermal alteration minerals, which is one of the first exploration stages of metallic ore deposits, with less cost and in a short time. Tectonically, the study area is located between the Pontides and the Central Anatolian Crystalline Complex and to the north of the İzmir-Ankara-Erzincan Suture zone. In the study area, Eocene volcanic rocks and alterations caused by hydrothermal fluids activities are intensely observed. These intense alterations are associated with gold-bearing hydrothermal veins in approximately NE-SW direction. This area, which has a high gold potential, has a steep topography and is difficult to access. Due to the topographical conditions, field studies are difficult in the region, and many important areas cannot be sampled during the studies due to the difficulties experienced. Remote sensing techniques provide very useful data

ToCite: CANBAZ, O., & ÜNAL ÇAKIR, E. (2022). ŞAPHANE (ÇORUM) DAMAR TİPİ ALTIN (Au) CEVHERLEŞMESİNDE MULTİSPEKTRAL UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK HİDROTERMAL ALTERASYON MİNERAL HARİTALAMASI VE ÇİZGİSELLİK ANALİZİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 313-328.

for mapping lithological features and minerals, revealing structural features. In this study, mapping of hydrothermal alteration zones has been performed by applying image processing methods consisting of band ratio, spectral mineral index, and MTMF spectral classification in multispectral images of ASTER and Landsat-8 satellites. In addition, automatic lineament analyses have been applied to the image obtained by pan-sharpening from the Landsat-8 OLI satellite image for the detection of vein-type mineralizations. The results obtained have an overall accuracy of 84.8% and a kappa coefficient of 0.836, showing high accuracy with field data. The maps obtained in the study are useful and leading data for new gold and/or other precious metallic mineralizations in the region.

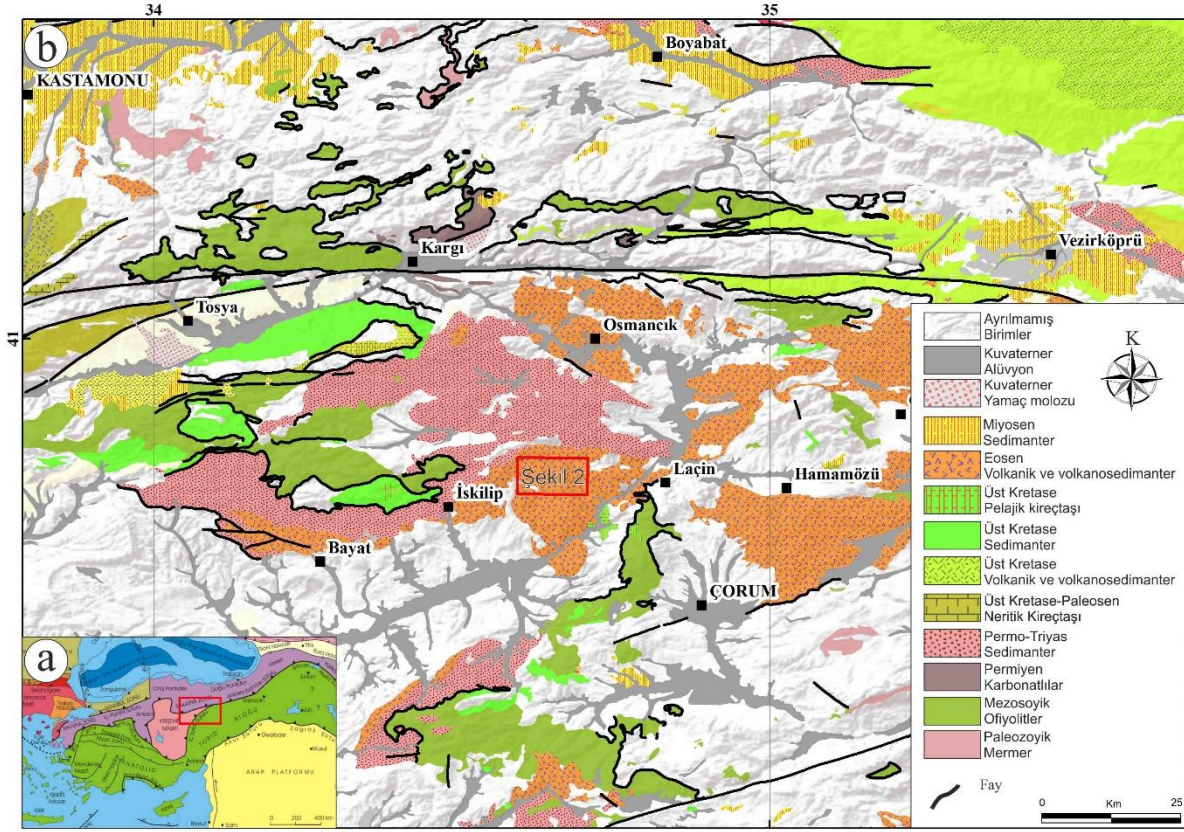
Keywords: Remote sensing, gold (Au), hydrothermal alteration, spectral classification

GİRİŞ

Sıcak sulu çözeltilerin etkisiyle yan kayaçta meydana gelen mineralojik, kimyasal ve fiziksel değişimler olarak tanımlanan hidrotermal alterasyonlar maden arama faaliyetlerinin ilk adımlarından birini oluşturmaktadır. Bu özelliklerin tespiti laboratuvar çalışmalarının yanında uzun ve maliyetli arazi çalışmaları da gerektirmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte son yıllarda multi- ve/veya hiperspektral uydu görüntülerine uygulanan görüntü işleme teknikleri ve sınıflandırma yöntemlerinin litolojik özelliklerin ve hidrotermal alterasyon minerallerinin haritalanmasına yönelik gerçekleştirilen araştırmalarda yüksek doğruluğa sahip sonuçlar elde edilmiştir (Karaman 2021; Vural vd. 2021; El-Wahed vd. 2021; Baran, 2021; Tözün & Özyavaş 2020; Traore vd. 2020; Çörtük vd. 2020; Rajendran & Nasir 2019; 2018, 2020a; Abubakar vd. 2018; Özkan vd. 2018; Yang vd. 2018; Canbaz vd. 2017, Eslami vd. 2016; Alimohammadi vd. 2015; Hosseinjani Zadeh vd. 2014; Honarmand vd. 2013; Pour & Hashim 2011; Tangestani vd. 2011; Kavak 2005; Suzen & Toprak 1998). Bu çalışmaların birçoğunda özellikle zamansal (kısa süre) ve maliyet yönüne (daha az maliyetli) vurgu yapılmıştır.

Pontidler ile Orta Anadolu kristalin Kompleksi arasında kalan bölgede ve İzmir-Ankara-Erzincan Suture zonunun kuzeyinde yer alan çalışma alanında, tüf ve lavlardan oluşan bazaltik traki-andezitten andezite kadar farklı bileşime sahip Eosen volkanizması ürünleri yüzeylenmektedir (Canbaz vd. 2020b; Göçmengil vd. 2018; Keskin vd. 2008; Akçay vd. 2008; Koçbulut vd. 2001; Alpaslan 2000; Alpaslan & Terzioğlu 1998; Yılmaz vd. 1994, 1997); Tüysüz & Dellaloğlu 1992; Büyükonul 1985; Yılmaz & Tüysüz 1984). Son yıllarda bu volkanizma ürünleri içerisinde metalik madenlere yönelik tespit ve iyileştirme çalışmaları oldukça hız kazanmıştır. Çalışma alanı, Çorum iline 70 km, Oğuzlar ilçesine 20 km uzaklıkta Şaphane (Eskiköy) köyü yakınında Sakarya kıtası ile Orta Anadolu Kristalin Karmaşığı arasında geçiş bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Çankırı-Çorum havzası Üst Kretase-Üst Paleosen zaman aralığında Sakarya kıtasının aktif kıta kenarı üzerinde bir yay-önü havzası olarak gelişmiş, Üst Paleosen-Alt Eosen sırasında Kırşehir bloğu ve Sakarya kıtasının çarpışması sonucu deforme olmuştur (Görür & Şengör 1986). Çankırı-Çorum havzasında farklı iki çökel istiften biri transgresif seri ile onu izleyen regresif kırıntılı ve volkanitlerden oluşan bir istifken diğeri havzada geniş alanlar kapsayan kırıntılı ve evaporitik çökeller ile volkanik lav ve piroklastik kayalardır. İnceleme alanı yakınlarında Soğucak (İskilip-Çorum) Cu-Pb, Gökçedoğan (Kargı-Çorum) Cu-Zn, Bakırçay (Merzifon-Amasya) Porfiri Cu-Mo, Gümüşhacıköy (Amasya) Pb-Ag-Cu-Zn, Turhal (Tokat) Sb ve Başnayayla (Yozgat) Porfiri Cu-Mo, cevherleşmeleri gibi çok sayıda cevherleşme bulunmaktadır (Yalçın vd. 2022; Yalçın 2018; Demiryürek 2006; Bozkaya vd. 1996; Kuşçu & Genç 1999; Gökce & Bozkaya 1998).

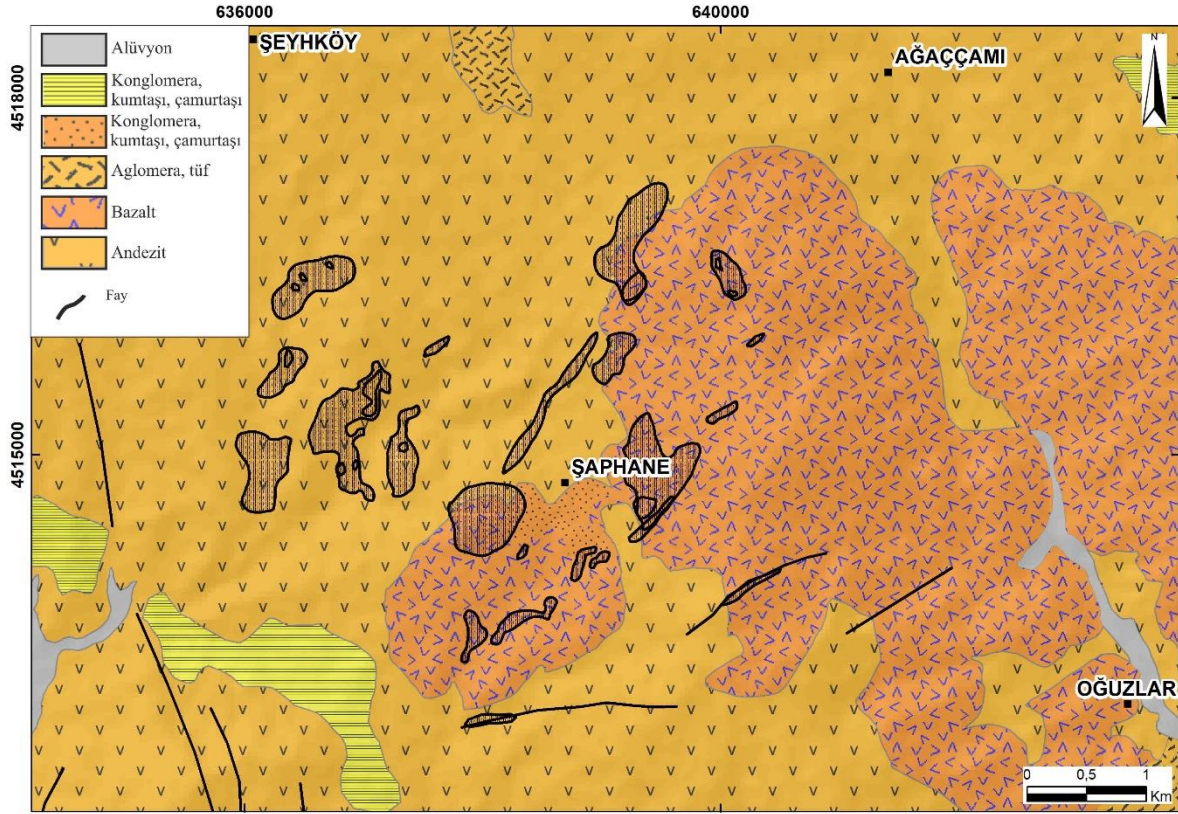
İnceleme alanı topografya olarak engebeli ve ulaşılması güç alanları kapsadığından maden arama faaliyetlerinin geleneksel yöntemlerle yürütülmesi uzun süreçler ve maliyetler gerektirmektedir. Bu nedenle çalışmada, bölgede yüzeyleyen Eosen yaşlı volkanik kayalarda gelişen alterasyon alanları, bunlarla ilişki alterasyon minerallerinin haritalanması ve çizgisellikleri ortaya çıkarılması amacıyla Gelişmiş Uydu-Bazlı Isıl Yayım ve Yansıtım Radyometre (ASTER) ve Landsat-8 OLI multispektral uydu veri setleri ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada elde edilecek sonuçlar, bölgedeki volkanik kayalar içerisinde yeni altın ve/veya diğer değerli metalik cevherleşmelerinin keşfinde oldukça önemli bilgiler sunacaktır.



Şekil 1. a) Türkiye Tektonik Haritası (Okay & Tüysüz, 1999). B) Bölgesel Jeoloji Haritası (MTA 2002'den Değiştirilmiştir).

JEOLOJİ

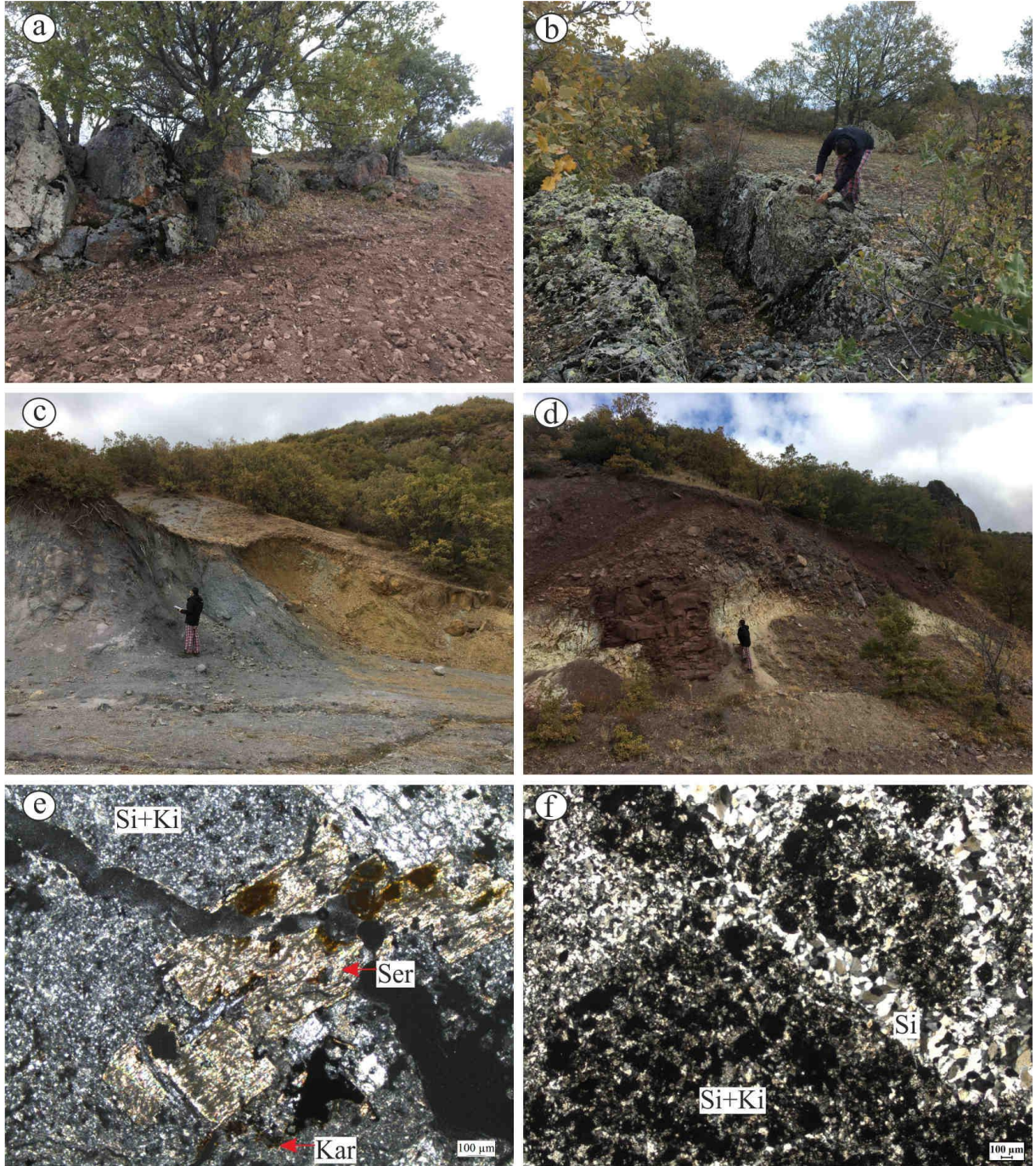
Çorum ili Türkiye'nin Kuzey-Orta kesiminde, farklı kıtasal blokların birleştiği bir bölge olan Orta-İç Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır. İnceleme alanı yakın çevresinde Triyas-Kuvaterner yaş aralığında Devecidağ Karışığı (Triyas), Artova ofiyolitli karmaşığı (Geç Kretase) ve bunların her ikisini birden örten çökel ve magmatik kayalar (Eosen-Kuvaterner) bulunur. Bölgedeki örtü birimler Eosen yaşlı Alacahöyük ve Bayat Formasyonları ile başlayıp, Miyosen yaşlı Kızılırmak, Dodurga ve Bozkır formasyonları ile devam edip Kuvaterner yaşlı alüvyon ile sona erer (Şekil 2). Çalışma alanı yakın çevresinde gözlenen Bayat Formasyonu, çakıltası ile başlayıp sığ denizel sedimanlar ile devam eder ve üst seviyelerde volkanik-volkanoklastik katmanlar içerir. Bayat volkanitleri farklı evrelerde görülmekle birlikte inceleme alanı yakın çevresinde andezit -bazalt - bazaltik trakiandezit - trakiandezit ve trakiandezit-trakit türü kayalar yaygın olarak gözlenmektedir. Miyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonu çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve kiltası tabakalarından oluşmakta olup üzerine uyumlu olarak kil, marn, silttaşı ve kumtaşıdan oluşan Dodurga Formasyonu gelmektedir. Üst Miyosen yaşlı Bozkır formasyonu jips, oolitik kireçtaşı, kiltası, kumtaşı, marn ve tuzdan oluşmaktadır. Ayrıca inceleme alanında gabro, diyorit, granitporfir, ve aplitlerden oluşan Dededağ Granitoyiti ve kuvars damarları yüzeylenmektedir. Cevherleşmenin yakınında, bu birimlerin aşırı derecede altere volkanik kayaç, andezit-bazalt-trakit ve tüflerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 2. Yerel Jeoloji Haritası (Sevin & Uğuz (2013)' den Değiştirilmiştir). Taralı Poligonlar Hidrotermal Alterasyon Alanlarını ve Damar Tipi Cevherleşmeleri Göstermektedir.

HİDROTERMAL ALTERASYON VE CEVHERLEŞME

Cevherleşmenin ilişkili olduğu silis damarları Şaphane köyünün güneydoğusunda KD-GB uzanımlı olarak yaklaşık 700 metreye kadarlık bir zonda küçük damarlar halinde yüzeyde mostra vermektedir (Kulaman 2022). Damarlar Bayat volkanitlerine ait birimlerin yüzeylediği alanlarda bulunur ve yüzeydeki kuvars damarları K20-40°D 10°K dalımlı konumdadır (Şekil 3a ve b). Kuvars damarlarına yakın bölgelerde yoğun hidrotermal alterasyonlar gözlenmektedir (Şekil 3c ve d). Altere kayalardan petrografik amaçlı hazırlanan ince kesitlerde gözlenen yoğun silisleşme, killeşme, serizitleşme ve karbonatlaşmalar ile az miktarlarda epidotlaşma ve kloritleşmeler bölgede ki hidrotermal alterasyonu temsil etmektedirler (Şekil 3e ve f). Kuşcu vd (2017) cevherleşme içeren silisli damarlar çevresinde altere kayalara ait örneklerde yaptıkları XRD analizlerinde kuvars, kaolinit, illit ve mika/illit gibi kil mineralleri tespit etmişlerdir (Kuşcu vd. 2017). Kuvars damarlarından hazırlanan parlatma bloklarında cevher minerali olarak pirit, hematit, limonit ve nabit altın gözlenirken gang minerali olarak ise kuvars ve kalsit tespit edilmiştir (Kulaman 2022).



Şekil 3. Arazi Çalışmalarından Görüntüler. A-B) Altın İçeren Silisli Damarlar, C) Volkaniklerde Kloritleşme, Karbonatlaşma, D) Silis İçeren Killeşme Zonları, E) Altere Volkanik Kayaca Ait Temsili İnce Kesit Görüntüsü, F) Silisli Damara Ait Temsili İnce Kesit Görünümü (Si: Silisleşme, Ki: Killeşme, Ser: Serizitleşme, Kar: Karbonatlaşma)

MATERYAL VE YÖNTEMLER

Görüntü

Çalışma kapsamında kullanılan 31 Ağustos 2006 tarihli bulutsuz ASTER L1T ve 3 Nisan 2017 tarihli Landsat-8 uydu görüntüleri Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları Kurumu'ndan (<http://earthexplorer.usgs.gov>) ücretsiz olarak temin edilmiştir. Bu uydu görüntülerinin tercih edilmesinin nedeni en düşük seviye de bulut içermesi ve en algındığı tarihlerde çalışma alanında insan yapıları ve madencilik faaliyetlerinin yok denecek kadar az olmasıdır.

ASTER L1T uydu görüntüleri ortorektifiye edilmiş ve L1B görüntülerinde gözlenen cross-talk hatası giderilmiş şekilde servis edilmektedir. Görüntülerin projeksiyonu, Dünya Jeodezi Sistemi 1984 verisinden Evrensel Enine Merkatör bölgesi 36N'dir.

Görüntü önileme

ASTER uydu görüntüsünün VNIR ve SWIR bantlarının radyansa değerlerine radyometrik kalibrasyonu yapılmış olup 30 m uzamsal çözünürlüğe yeniden örneklendirilmiştir. Görüntüdeki atmosferik etkiler, Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) atmosferik düzeltme algoritması ile giderilmiştir.

Pan-keskinleştirme

Çizgisellikler, faylar, kıvrımlar ve kırıklarla ilgili çizgi yapıları olarak tanımlanır. Damar tipi cevherleşmelerin tespiti için bir ipucu verebilirler. Pan-keskinleştirmenin birçok çalışmada çizgisellikleri tanımlamak, çıkarmak ve ayırmak için güçlü bir araç olduğu kanıtlanmıştır (Yousefi vd. 2018; Rahaman vd. 2017; Hung vd. 2005). Bu bağlamda, Landsat-8 OLI uydu görüntüsünün multispektral bantları Gram-Schmidt pan-keskinleştirme algoritması (Maurer 2013) ile pankromatik bantı kullanılarak pankeskinleştirilmiş, PCI Geomatica yazılımında LINE modülü ile pankeskinleştirilmiş görüntüde otomatik çizgisellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir.

Bitki Alanı Maskeleyme

Görüntülerde bitki alanlarının maskelenmesi amacıyla, bitki alanları atmosferik olarak düzeltilmiş görüntüde Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ASTER 2 ve 3N bantları kullanılarak belirlenmiş, NDVI indisinde eşik değer 0,547 olarak uygulanmıştır.

Bant Oranlama, Spektral Mineral İndeks

Görüntü zenginleştirme yöntemlerinden biri olan bant oranlama, basit matematiksel hesaplamalara dayalı bir temele sahip olup hedef nesnenin anomalisini vurgulamak için kullanılmaktadır (Abrams vd. 1983). Bant oranlama yöntemi, litolojik birimleri, hidrotermal alterasyon ve değerli mineralleri tespit etmek için nesnelerin karakteristik soğurma ve yansıtma özelliklerinin spektral kontrastını göstermek için tasarlanmıştır (Gad & Kusky 2007; Okada & Ishii 1993). Bu yöntemin temeli, alterasyon haritalamasında yaygın olarak kullanılan spesifik absorpsiyon ve yansıma spektral özellikleri arasında kontrast oluşturmaktır (Di Tommaso & Rubinstein 2007). Ayırt edici absorpsiyon bantı özelliği, bant oranı görüntülerinde araştırılan alterasyon minerallerini vurgulamak için kullanılır. Muskovit ve kaolinit (Al-OH içeren mineraller) ASTER 5 ve 6 bantlarında absorpsiyon özelliği gösterir (Di Tommaso & Rubinstein 2007). Klorit, epidot ve/veya karbonat (Mg-OH içeren mineraller), ASTER bantı 8'deki absorpsiyon özelliği ile tespit edilebilir (Di Tommaso & Rubinstein 2007). OH içeren alterasyon mineral indeksi (OHI), kaolinit indeksi (KLI) ve kalsit indeksi (CLI) aşağıdaki oranlara göre hesaplanır (Ninomiya 2003):

$$OHI = (\text{Bant7}/\text{Bant6}) \times (\text{Bant4}/\text{Bant6}) \quad (1)$$

$$KLI = (\text{Bant4}/\text{Bant5}) \times (\text{Bant8}/\text{Bant6}) \quad (2)$$

$$CLI = (\text{Bant6}/\text{Bant8}) \times (\text{Bant9}/\text{Bant8}) \quad (3)$$

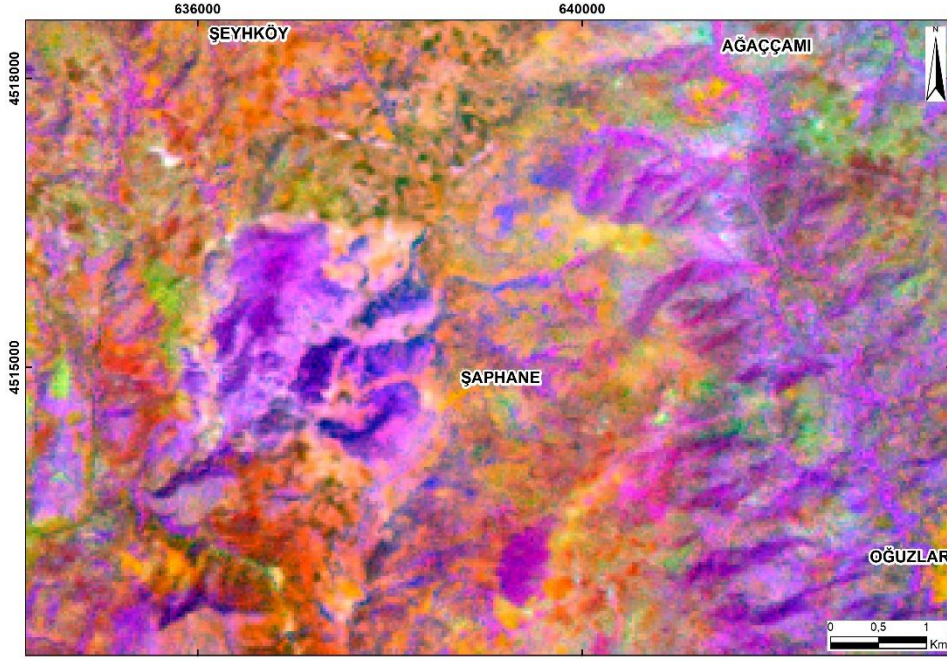
MNF Dönüşümü

MNF dönüşümü, eşleşen filtrelemeyi (MF) uygulamak için MTMF'nin bir girdi ürünüdür (Research Systems Inc ENVI Eğitimi 2003). Çok bantlı bir uydu görüntüsünde gürültüleri ayırt etmek ve sonraki işlemler için hesaplama gereksinimleri azaltmak amaçlı kullanılan bir dönüşüm aracıdır (Green vd. 1988). MNF dönüşümü iki aşamaya ayrılır. İlk aşamada, veride gürültüler ilişkilendirilemez ve yeniden ölçeklendirilir. İkinci aşamada ise temel bileşen analizi kullanılarak gürültülerle beyazlatılmış veriler türetilir. Dönüşüm sonucu verilere ait eigen değerleri (öz değer) 1'e yakın gürültü içermeyenler ve 1'den büyük gürültü içerenler olmak üzere iki grupta değerlendirilir (Green vd. 2003).

Çalışmada, MTMF analizi için gerekli olan minimum gürültü fraksiyonu (MNF) dönüşümü ASTER uydu verisinin VNIR ve SWIR olmak üzere 9 bandına uygulanmıştır. Dönüşüme ait analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. 1'e yakın eigen değerli bantlar çok fazla gürültü içerdiğinden KYM için kullanışlı görüntü elde edilemeyeceğinden eigen değeri 1'den büyük olan bantlar KYM görüntüsü üretiminde kullanılmıştır (Şekil 4).

Tablo 1. ASTER Uydu Görüntüsünün 9 Bandına Uygulanan MNF Dönüşüm Analiz Sonuçları.

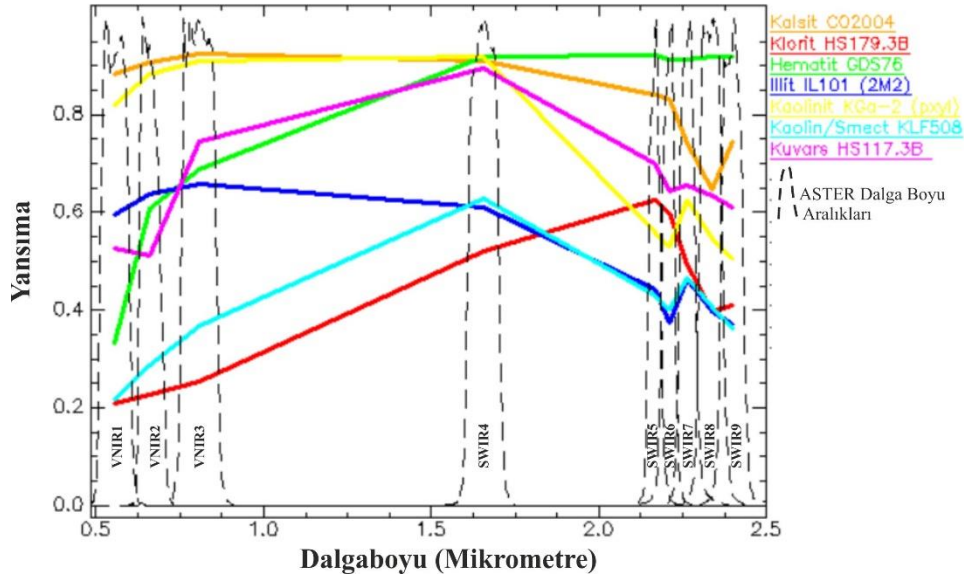
MNF	Eigen Değer	%
Bant 1	42,367	55,981
Bant 2	15,063	19,903
Bant 3	4,292	5,671
Bant 4	3,189	4,214
Bant 5	3,042	4,020
Bant 6	2,401	3,173
Bant 7	2,099	2,774
Bant 8	1,734	2,291
Bant 9	1,493	1,973



Şekil 4. MNF Bantlarından Üretilen KYM Renk Kombinasyon Görüntüsü (K:MNF 3, Y:MNF 1, M: MNF 2).

Spektral End-member Çıkarımı

Spektral sınıflandırma yönteminde end-member olarak kullanılmak üzere, jeolojik çalışmalarda hidrotermal alterasyon örnekleme noktalarının ASTER uydu görüntüsünde karşılık geldiği piksellere ait görüntü tabanlı spektral kütüphaneler elde edilmiştir. Belirlenen görüntü tabanlı spektral kütüphaneler, ENVI yazılımında yer alan spektral analiz aracı kullanılarak Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) mineral kütüphanesi ile karşılaştırılarak temsil ettikleri (kalsit, klorit, hematit, illit, kaolinit, kaolinit/smektit ve kuvars mineraller belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. ASTER Uydu Verisinden Hidrotermal Alterasyon Minerallerine Ait Elde Edilen End-Memberlar.

Spektral Sınıflandırma

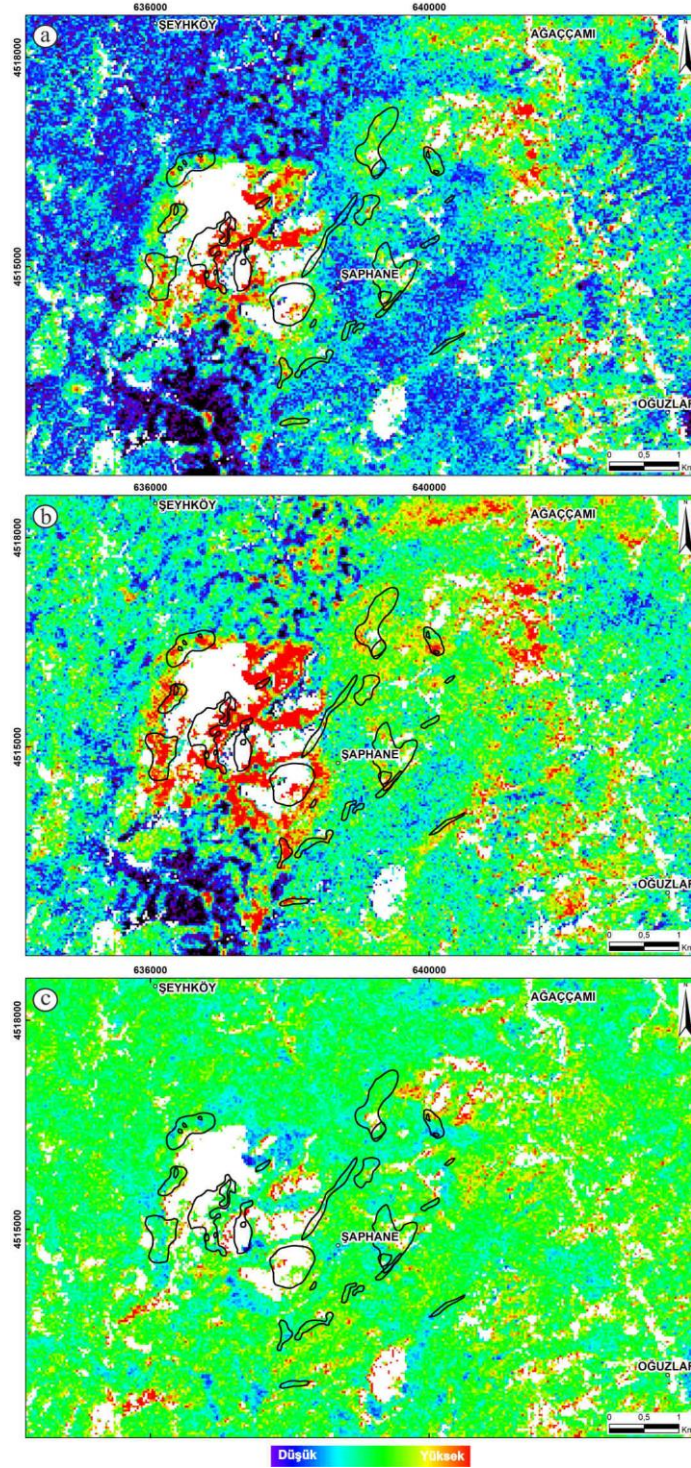
Alterasyon minerallerinin haritalanmasında MTMF'nin önemi birçok araştırmada rapor edilmiştir (Adiri vd. 2020; Hosseinjani Zadeh vd. 2014; Pour & Hashim 2012; Agar & Coulter 2007; Kruse vd. 2003; Cudahy vd. 2001). MTMF, bilinen bir end-memberın yanıtını vurgularken bilinmeyen arka planı bastıran kısmi bir alt piksel yöntemidir (Hosseinjani Zadeh vd. 2014; Research Systems Inc ENVI Eğitimi 2003). Görüntüde spektrum karşılaştırması yaparak (Adiri vd. 2020) arka planı ortadan kaldırırken belirli bir mineralin bolluğunu ise vurgular (Stocker vd. 1990; Chen & Reed 1987;). MTMF'nin önemli avantajı, hedef materyal dışında görüntüdeki diğer bileşenlerin spektral imzalarının bilgisine ihtiyaç duymamasıdır (Mitchell & Glenn 2009).

Hidrotermal alterasyon minerallerine ait elde edilen spektral end-memberların eğitim verisi olarak kullanıldığı karışım ayarlı eşleşen filtreleme (MTMF) eğitilmiş spektral sınıflandırma yöntemi ile inceleme alanı hidrotermal alterasyon mineral haritalaması gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Band Oranlama, Spektral Mineral İndeksi

Alterasyon mineral indekslerine göre uygulanan bant oranlarının sonuçları Şekil 6' da gösterilmektedir. Klorit, epidot ve/veya karbonat gibi Mg-OH içeren mineraller için önerilen OHI indeksi sonuçlarında, Kuşcu vd. (2017)' e göre belirlenen alterasyon alanlarının yanı sıra volkanikler üzerinde farklı lokasyonlarda bu alterasyon grubunun yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 6a). Kaolinit indeksi olarak tanımlanan KLI bant oranlamasına göre, killeşme alanları olarak belirlenen poligonlar ile birebir uyumlu olup yeni killeşme alanlarını da ortaya çıkarmıştır (Şekil 6b). KLI indeksi bu çalışmada, OHI indeksine ait alanları da içine aldığı için bölgenin değerlendirilmesi sırasında her iki indekste dikkate alınmalı ve bu farklı alterasyonlar birbirinden ayırılmalıdır. CLI indeksi ile OHI indeksi içindeki karbonatlı alanların epidot ve klorit grubu minerallerden ayırılmasında kullanılacak kullanışlı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır (Şekil 6c).

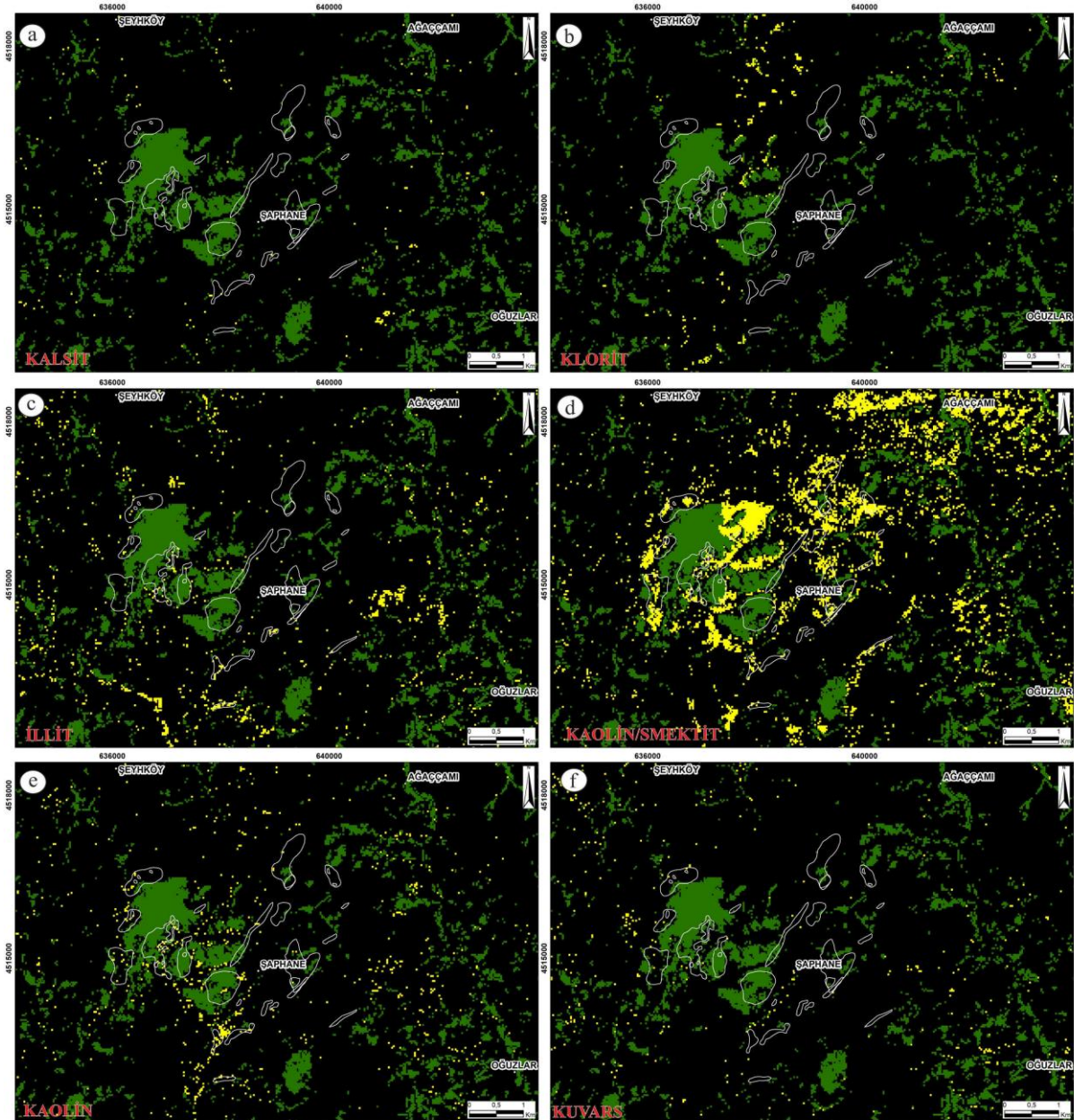


Şekil 6. Alterasyon Mineral İndeksleri. A) OH İÇEREN Alterasyon Mineral İndeksi (OHI), B) Kaolinit İndeksi (KLI) Ve C) Kalsit İndeksi (CLI). Siyah Poligonlar Alterasyonları Göstermektedir. Beyaz Pikseller Bitki Örtüsünü Göstermektedir.

Karışım Ayarlı Eşlenen Filtreleme (MTMF)

MNF görüntüsünde alterasyon alanları turuncu renklere ortaya çıkmaktadır. Morumsu renkli alanlar ise bitki örtüsünü göstermektedir (Şekil 7). Görüntü tabanlı end-memberlar kullanılarak MTMF spektral sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır. Spektral kütüphanelerin temsil ettiği alterasyon alanlarının belirlenmesi için MF skor görüntülerinde manuel eşikleme yöntemi uygulanarak alterasyonların karşılık geldiği pikseller belirlenmiştir. Bu çalışmada, saha gözlemlerine ve jeolojik haritaya göre en iyi doğruluk 0,036 (Kalsit), 0,040 (klorit), 0,069 (illit), 0,052 (kaolinit), 0,107 (kaolinit-smektit) ve 0,062 (kuvars) eşiklerinde ortaya çıkmıştır (Şekil 7).

MF skor görüntülerinde, 116 piksel kalsit, 185 piksel klorit, 561 piksel illit, 486 piksel kaolinit, 1986 piksel kaolinit/smektit ve 399 piksel kuvars tanımlanmıştır. Kalsit dağılımları, alterasyon alanlarında 1 veya 2 adet piksel olarak ortaya çıkmaktadır. Bunların dışında volkanik kayalar içerisinde dağılım sergilememektedirler. Bunun nedeni olarak volkanik kayaların bünyesinde yer alan fenokristal plajiyoklaz kristallerinin yüzey koşullarında kolay altere olmalarından kaynakladığı ve karbonatlaşma göstermesi nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir (Şekil 7a). Klorit pikselleri geniş bir hat boyunca alterasyon alanlarının uzun eksenleri ile aynı doğrultuda dağılım göstermektedir. Volkanik kayaların mafik mineral içeriğine bağlı olarak klorit dağılımının genele yayılması beklenir. Ancak, burada klorit piksellerinin dağılımı yaklaşık KD-GB doğrultulu (kuvars damarlarının doğrultusu) olması hidrotermal bir alterasyon sonucu geliştiği kanısını güçlendirmektedir (Şekil 7b). İllit pikselleri alterasyon alanları içerisinde görünse de geneli alterasyon sınırları dışında ortaya çıkmaktadır. Eosen volkanizması ürünleri tüflü seviyeler barındırması ve bu seviyelerin yüzeysel bozunmalara bağlı olarak kolay altere olması nedeniyle bu alanlarda illitik kil oluşumları ortaya çıkabilir. Ancak, bu durum bu alanların cevher içermeyeceği anlamına gelmemelidir. Eosen volkanizmasının tüf ürünleri çoğunlukla pirit kristalleri içerebilmektedir (Canbaz vd., 2020) (Şekil 7c). Kaolinit ve kaolinit/smektit piksel dağılımları alterasyon alanları ile uyumlu olup yeni killeşme alanları içinde kullanışlı bilgiler ortaya koymaktadır (Şekil 7d ve e). İnceleme alanında kuvars içeren alanların yüzey genişlikleri çok fazla gözlenmese de killeşme ve silisleşme gösteren alanlarda kuvars piksellerinin cevherleşmelerle aynı doğrultularda ortaya çıktığı gözlenmektedir.

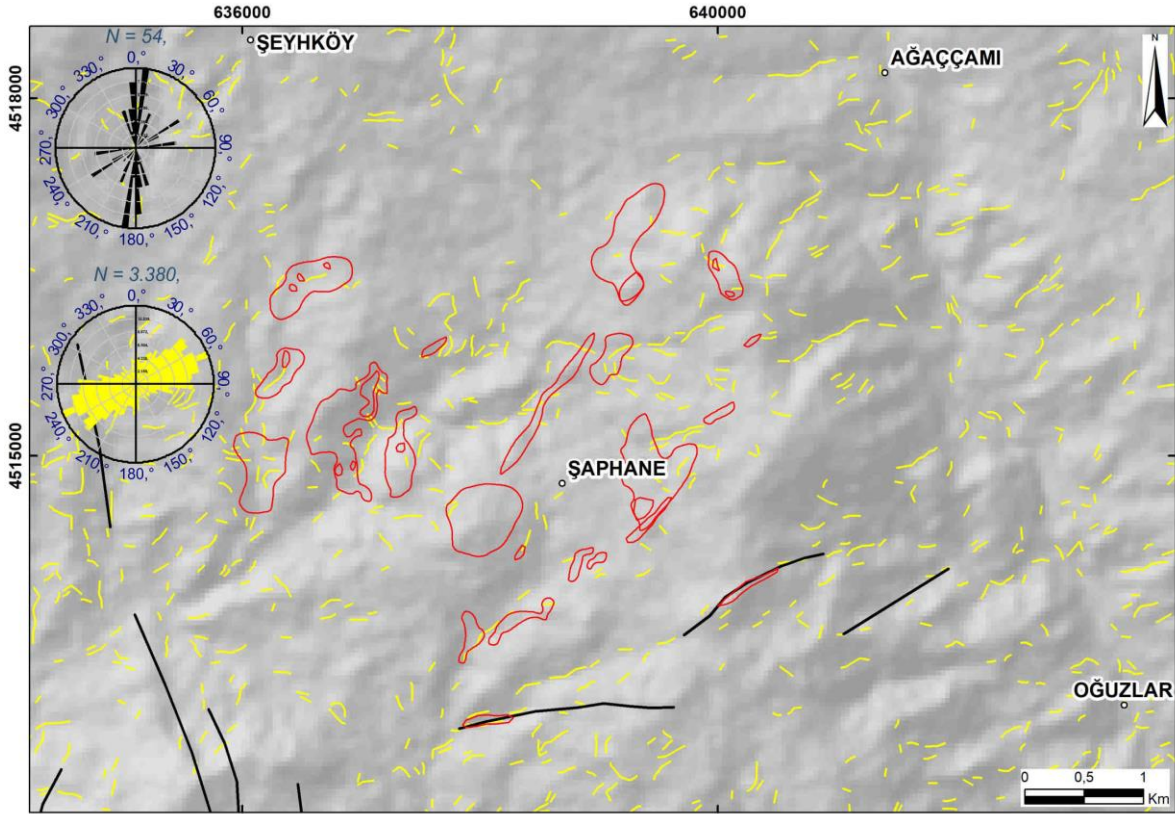


Şekil 7. MTMF Skor Görüntüleri. Yeşil Renkli Pikseller Bitki Örtüsünü Göstermektedir.

Çizgisellik Analizi

Çalışma alanında tespit edilen ve altın cevherleşmesine ev sahipliği yapan silisce zengin damarların genişlikleri genellikle uydu verisinin yersel çözünürlüğünden küçük olması nedeniyle çizgiselliklerin tespiti için yüksek çözünürlüklü (15 m) pan-keskinleştirilmiş görüntüden yararlanılmıştır. Görüntü, Landsat-8 OLI uydu verisinin yüksek çözünürlüklü pankromatik (15 m) bandı ile ASTER uydu verisinin düşük çözünürlüklü SWIR bantlarının (30 m) yazılım aracılığıyla Gram-Schmidt algoritması uygulanarak elde edilmiştir.

Çalışma alanındaki mevcut faylar jeoloji haritasından alınmıştır. Çizgisellik analizinden elde edilen veriler Şekil 8'de gösterilmektedir. Çizgisellikler KD-GB, D-B, K-G ve KB-GD olmak üzere dört doğrultuda gruplanmıştır. Sonuçlar çalışma alanına ait jeoloji haritasında belirlenmiş fayların doğrultularına uyumluluk göstermektedirler (Şekil 8). KD-GB doğrultulu çizgisellikler bölgedeki baskın doğrultuları oluşturmakta olup cevherleşme içeren silis damarlarıyla aynı doğrultulara sahiptirler.

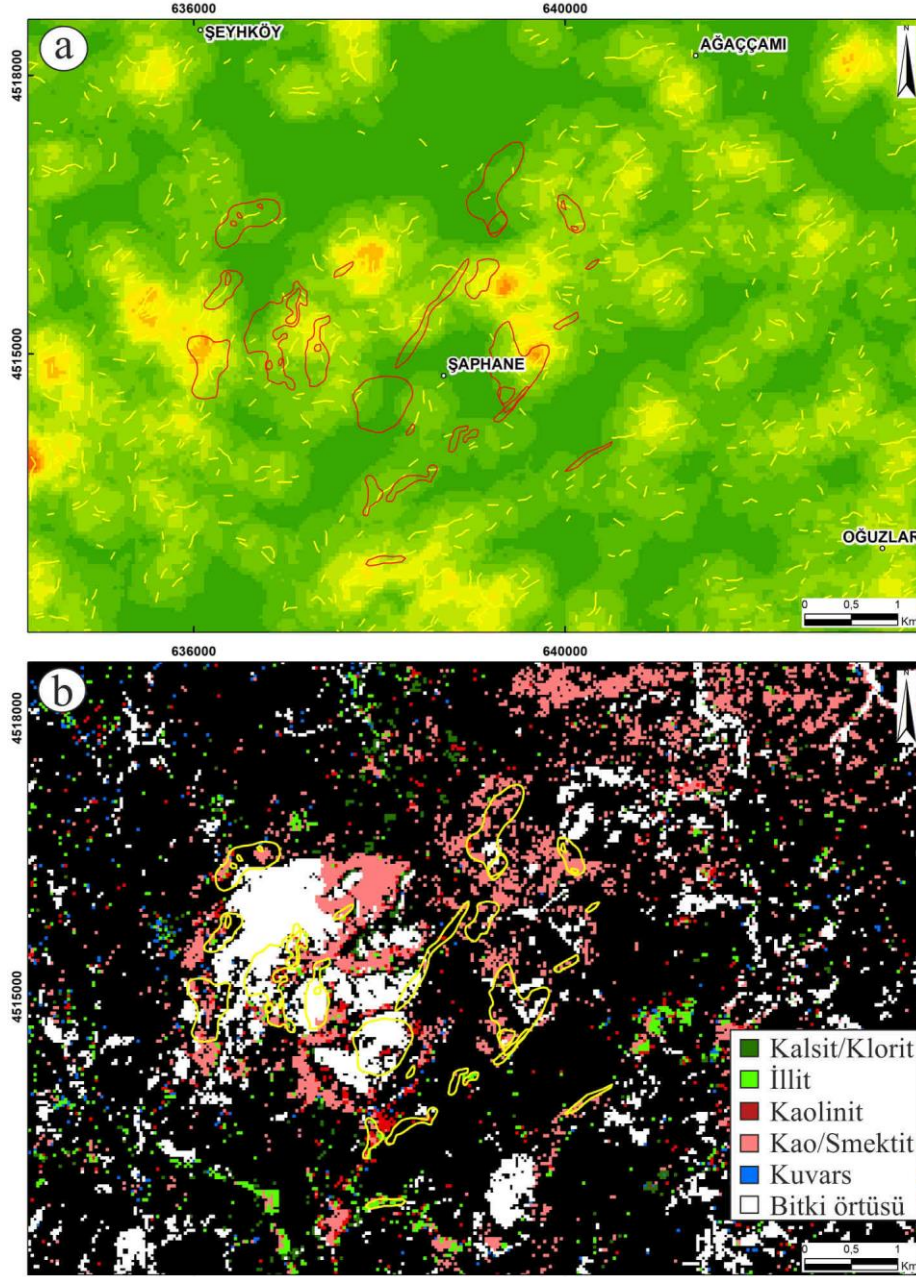


Şekil 8. İnceleme Alanına Ait Otomatik Üretilen Çizgisellikler ve Gül Diyagramları.

Alterasyon ve Çizgisellik Değerlendirme

Çizgiselliklere ait yoğunluk haritası ve spektral sınıflandırmadan elde edilen hidrotermal alterasyon mineral haritaları Şekil 9' da gösterilmektedir. Alterasyon alanlarının, çizgiselliklerin yoğunlaştığı alanlarda birlikte gözlenmesi bu bölgelerde hidrotermal çözelti faaliyetlerinin olduğuna işaret etmektedir. Bunlara ek olarak, mineral haritasında kil minerallerinden kaolinit ve kaolinit/smektit kil minerallerine ait piksellerin, hem çizgiselliklerin yoğunlaştığı hem de alterasyon alanları ile örtüşmesi çalışmanın doğruluğunu ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca, mevcut alterasyon alanları ve arazi çalışmaları ile uydu görüntülerinden elde edilen verilerin %84,8 genel doğruluk ve 0,836 kappa katsayısı ile yüksek oranda uyumlu olduğu görülmektedir.

Sahannın engebeli topografyaya ve ulaşılması zor alanlara sahip olması bölgede ki çalışmaları zorlaştırmaktadır. Buna rağmen, mevcut saha çalışmalarında belirlenen cevherleşme alanlarına ilaveten bu çalışmada yeni cevherleşmelerin tespiti için hedef alanları ortaya çıkarılmıştır. Bunun için özellikle KD-GB doğrultulu çizgiselliklerin ve kil türü minerallerin yoğunlaştığı alanları haritalar üzerinden belirlemek yeterli olacaktır.



Şekil 9. a) Çizgiselliklere Ait Yoğunluk Haritası, B) MTMF Analizi Sonucu Hidrotermal Alterasyon Mineral Haritası.

SONUÇLAR

Bu çalışma, uzaktan algılama yöntemleri ile hidrotermal bir altın sahasında meydana gelen hidrotermal alterasyonların tespiti amacıyla gerçekleştirilmiştir. Hidrotermal alterasyon sınırları içeren mevcut jeoloji haritası, arazi ve laboratuvar çalışmaları verileri ile bütünleşik ASTER ve Landsat-8 uydu görüntü işleme analizleri birlikte değerlendirilmiş olup yeni hedef sahalara için sonuçlar test edilmiştir. Çalışmada, ASTER uydu verisine ait alterasyon minerallerine yönelik bant oranları, spektral mineral indeksler ile MTMF spektral sınıflandırma yöntemi uygulanarak hidrotermal alterasyon minerallerinin dağılımları ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, Landsat-8 pankromatik ve ASTER SWIR bantlarından elde edilen 15m çözünürlüğe sahip pan-keskinleştirilmiş görüntüde otomatik çizgisellik analizi uygulanarak bölgede ki çizgiselliklerin haritası çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, mineral haritasının %84,8 genel doğruluk ve 0,836 kappa katsayısı ile yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Çalışmada elde edilen verilerin engebeli topografyaya sahip ve ulaşılması güç alanlarda yüzlek veren volkanik kayalarda altın cevherleşmelerinin tespiti için hedef sahaların belirlenmesinde kullanışlı veriler sunacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abrams, M.J., Brown, D., Lepley, L., & Sadowski, R. (1983). Remote sensing for porphyry copper deposits in southern Arizona. *Economic Geology* 78:591–604. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.78.4.591>
- Abubakar, A.J., Hashim, M., & Pour, A.B. (2018). Identification of hydrothermal alteration minerals associated with geothermal system using ASTER and Hyperion satellite data: a case study from Yankari Park, NE Nigeria. *Geocarto International*
- Adiri, Z., El Harti, A., Jellouli, A., Maacha, L., Azmi, M., Zouhair, M., & Bachaoui, E.M. (2020). Mapping copper mineralization using EO-1 Hyperion data fusion with Landsat 8 OLI and Sentinel-2A in Moroccan Anti-Atlas. *Geocarto International*. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1544287>
- Agar, B., & Coulter, D. (2007). Remote sensing for mineral exploration – a decade perspective 1997–2007. In: *Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration*. pp 109–136
- Akçay A.E, Dönmez M, Kara H., Yergök, H.F., & Esentürk, K. (2008). 1/100.000 Ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Kırşehir İ-34 paftası, No: 81. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara
- Alimohammadi, M., Alirezaei, S., & Kontak, D.J. (2015). Application of ASTER data for exploration of porphyry copper deposits: A case study of Daraloo-Sarmeshk area, southern part of the Kerman copper belt, Iran. *Ore Geology Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.04.010>
- Alpaslan, M. (2000). Pazarcık Volkanitinin (Yıldızeli - Sivas) mineralojik petrografik ve jeokimyasal özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 43:49–60
- Alpaslan. M., & Terzioğlu, N. (1998). Pontidlerde çarpışma sonrası volkanizmaya bir örnek: Sürmeli Volkaniti (Taşova-Amasya). *Cumhuriyet Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi* 15:13–20
- Bozkaya, G., Gökce, A., & Efe, A., (1996). Gümüşhacıköy (Amasya) Pb-Zn-Ag yataklarının jeolojisi. *Cumhuriyet Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi* 73–89
- Büyükonal, G., (1985). Yozgat yöresi volkanitlerinin asal ve iz elementlerinin dağılımı. *Maden Tetkik Arama Dergisi* 105:97–111
- Canbaz, O., Gökce, A., Ekici, T., & Yılmaz, H. (2020). Geochemical characteristics of the Eocene Karataş volcanics (Northeast Sivas, Turkey) in the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 162:55–74
- Canbaz, O., Gürsoy, Ö., & Gökce, A. (2018). Detecting clay minerals in hydrothermal alteration areas with integration of ASTER image and spectral data in Kösedag-Zara (Sivas), Turkey. *Journal of the Geological Society of India*. <https://doi.org/10.1007/s12594-018-0882-1>
- Canbaz, O., Gürsoy, Ö., & Gökçe, A. (2017). Determination of hydrothermal alteration areas by ASTER satellite images: Ağmaşat Plato- Zara (Sivas) / Turkey Sample. *Cumhuriyet Science Journal* 38:419–426
- Chen, J.Y., & Reed, I.S. (1987). A detection algorithm for optical targets in clutter. In: *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*
- Çörtük, R.M., Çelik, Ö.F., Alkan A, Mutlu, Ö., & Özyavaş, A. (2020). Distribution of rocks in Pınarbaşı Ophiolite from central Anatolia (Turkey) based on analysis of ASTER and Landsat-8 data. *Geological Journal*. <https://doi.org/10.1002/gj.3844>
- Cudahy, T.J., Hewson, R., Huntington, J.F., Quigley, M. A., & Barry, P. S. (2001). The performance of the satellite-borne hyperion hyperspectral VNIR-SWIR imaging system for mineral mapping at Mount Fitton, South Australia. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*
- Demiryürek, E. (2006). Soğucak (İskilip-Çorum) Cu-Pb-Zn cevherleşmeleri ve kökeni. *Yüksek Lisans Tezi*, 1-97, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Di Tommaso, I., & Rubinstein, N. (2007). Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina. *Ore Geology Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.05.004>
- El-Wahed, M.A., Zoheir, B., Pour, A.B., & Kamh, S. (2021). Shear-related gold ores in the wadi hodein shear belt, south eastern desert of Egypt: Analysis of remote sensing, field and structural data. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min11050474>

- Eslami, A., Ghaderi, M., Rajedran, S., Pour, A., Beiranvand., Hashim, M. (2016). Integration of ASTER and Landsat TM remote sensing data for chromite prospecting and lithological mapping in Neyriz Ophiolite Zone, South Iran. *Resource Geology* (2015) 65, 375-388. DOI: 10.1111/rge.12076. *Resource Geology*
- Gad, S., & Kusky, T. (2007) ASTER Spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian-Nubian Shield, the Neoproterozoic Wadi Kid Area, Sinai, Egypt. *Gondwana Research*. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2006.02.010>
- Göçmengil, G., Karacik, Z., Genç, C., & Billor, M.Z. (2018). 40Ar-39Ar geochronology and petrogenesis of postcollisional trachytic volcanism along the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (NE, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences* 27:1-31. <https://doi.org/10.3906/yer-1708-4>
- Gökce, A., & Bozkaya, G. (1998). Gümüşhacıköy (Amasya) Pb-Zn yatakları çevresinde derekumu örnekleri jeokimyası incelemeleri. *Geosound* 33:75-90
- Görür, N., & Şengör, A.M.C. (1986). İç Anadolu havzalarının jeolojisi, Tübitak, Türkiye Birinci Jeotravers Projesi, 1. Workshop, Gebze.
- Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., & Craig, M.D. (1988). A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/36.3001>
- Green, R.O., Pavri, B.E., Chrien, T.G. (2003). On-orbit radiometric and spectral calibration characteristics of EO-1 hyperion derived with an underflight of AVIRIS and In situ measurements at Salar de Arizaro, Argentina. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.813204>
- Honarmand, M., Ranjbar, H., & Shahabpour, J. (2013). Combined use of ASTER and ALI data for hydrothermal alteration mapping in the northwestern part of the Kerman magmatic arc, Iran. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.731540>
- Hosseinjani Zadeh, M., Tangestani, M.H., Roldan, F.V., Yusta, I. (2014). Sub-pixel mineral mapping of a porphyry copper belt using EO-1 Hyperion data. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.11.029>
- Hung, L.Q., Batelaan, O., & De Smedt, F. (2005). Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. In: *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V*
- Karaman, M. (2021). Grafit cevherleşmelerinin Sentinel-2 uydu görüntülerinden belirlenmesinde en uygun bant kombinasyonları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 25:749-757
- Kavak, K.S. (2005). Determination of palaeotectonic and neotectonic features around the Menderes Massif and the Gediz Graben (Western Turkey) using Landsat TM image. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160410001709994>
- Keskin, M., Genç, Ş.C., & Tüysüz, O. (2008). Petrology and geochemistry of post-collisional Middle Eocene volcanic units in North-Central Turkey: Evidence for magma generation by slab breakoff following the closure of the Northern Neotethys Ocean. *Lithos* 104:267-305. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.12.011>
- Koçbulut, F., Yılmaz Şahin, S., & Tatar, O. (2001). Akdağmadeni (Yozgat)- Yıldızeli (Sivas) arasındaki Kaletepe volkanitinin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi* 14:77-91
- Kruse, F.A., Boardman, J.W., & Huntington, J.F. (2003). Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.812908>
- Kulaman, Ç. (2022). Şaphane (Oğuzlar-Çorum) Au cevherleşmesinde sıvı kapanım incelemeleri. Yüksek Lisans Tezi. Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Kuşcu, E., & Genç, Y. (1999). Başnayayla (Yozgat) molibden-bakır cevherleşmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 42:115-134
- Kuşcu, E., Urkan, V., & Çelik, Y. (2017). Şaphane (Eskiköy)-Çiğdemlik (Oğuzlar-Çorum) ruhsatının maden jeolojisi. *Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni* 24:21-26
- Maurer, T. (2013). How To pan-sharpen images using the Gram-Schmidt Pan-Sharpener method – A Recipe. *The*

- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-1-w1-239-2013>
- Mitchell, J.J., & Glenn, N.F. (2009). Subpixel abundance estimates in mixture-tuned matched filtering classifications of leafy spurge (*Euphorbia esula* L.). *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160902810620>
- Ninomiya, Y. (2003). A stabilized vegetation index and several mineralogic indices defined for ASTER VNIR and SWIR Data. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*
- Okada, K., & Ishii, M. (1993). ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian–Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt. In: *International Geosciences and Remote Sensing Symposium “Better Understanding of Earth Environment”*. p Vol. 93, 126-128
- Özkan, M., Çelik, Ö.F., & Özyavaş, A. (2018). Lithological discrimination of accretionary complex (Sivas, northern Turkey) using novel hybrid color composites and field data. *Journal of African Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.11.009>
- Pour, A.B., & Hashim, M. (2012). The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits. *Ore Geology Reviews*
- Pour, A.B., & Hashim, M. (2011). Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.07.017>
- Rahaman, K.R., Hassan, Q.K., & Ahmed, M.R. (2017). Pan-sharpening of landsat-8 images and its application in calculating vegetation greenness and canopy water contents. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. <https://doi.org/10.3390/ijgi6060168>
- Rajendran, S., & Nasir, S. (2019). Mapping of hydrothermal alteration in the upper mantle-lower crust transition zone of the Tayin Massif, Sultanate of Oman using remote sensing technique. *Journal of African Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.10.001>
- Sevin, M., & Uğuz, M.F. (2013). 1/100.000 Ölçekli açınısama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Çorum G-33 Paftası, No:183 Maden Tetkik Arama, Ankara
- Stocker, A., Reed, I.S., & Yu, X. (1990). Multidimensional signal processing for electrooptical target detection. In: *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, V. p 1305
- Suzen, M.L., & Toprak, V. (1998). Filtering of satellite images in geological lineament analyses: An application to a fault zone in Central Turkey. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/014311698215621>
- Tangestani, M.H., Jaffari, L., Vincent, R.K., Sridhar, B.B.M. (2011). Spectral characterization and ASTER-based lithological mapping of an ophiolite complex: A case study from Neyriz ophiolite, SW Iran. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.023>
- Tözün, K.A., & Özyavaş, A. (2020). New logical operator algorithms for mapping of hydrothermally altered rocks using ASTER data: A case study from central Turkey. *Ore Geology Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103533>
- Traore, M., Çan T., & Tekin, S. (2020). discrimination of iron deposits using feature oriented principal component selection and band ratio methods: Eastern Taurus /Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*. <https://doi.org/10.30897/ijgeo.673143>
- Tüysüz, O., & Dellaloğlu, A.A. (1992). Çankırı havzasının tektonik birlikleri ve havzanın tektonik evrimi. In: *Proceedings of 9th Turkish Petroleum Congress Turkey, Ankara. Turkish Association of Petroleum Geologists*. pp 333–349
- Vural, A., Akpınar, İ., & Sipahi, F. (2021). Mineralogical and chemical characteristics of clay areas, Gümüşhane Region (NE Turkey), and their detection using the Crósta Technique with Landsat 7 and 8 Images. *Natural Resources Research*. <https://doi.org/10.1007/s11053-021-09912-7>
- Yalçın, C. (2018). Gökçedoğan (Kargı-Çorum) Cu Zn cevherleşmesinin jeolojisi ve oluşumu. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 301s

Yalçın, C., Hanılçı, N., Kumral, M., & Kaya, M. (2022). Formation and tectonic evolution of structural slices in Eastern Kargi Massif (Çorum, Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration (Early view)*

Yang, M., Ren, G., Han, L., Yi, H., & Gao, T. (2018). Detection of Pb – Zn mineralization zones in west Kunlun using Landsat 8 and ASTER remote sensing data. *Journal of Applied Remote Sensing* 12 (2): <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.026018>.

Yılmaz, A., Uysal, Ş., Bedi, Y., Ağan, A., Göç, D., & Aydın, N. (1997). 1/100000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, Sivas-F23 Paftası. MTA Jeolojik Etüdler Dairesi Derlemesi

Yılmaz, A., Uysal, Ş., Yusufoglu, Ağan, A. İnal, A., Aydın, N., Bedi, Y., Havzoğlu, T., Göç, D., İnal, E., & Erkan, E.N.H. (1994). Akdağmasifi (Sivas) dolayının jeolojik incelemesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

Yılmaz, Y., & Tüysüz, O. (1984). Kastamonu-Boyabat Vezirköprü-Tosya arasındaki bölgenin jeolojisi (İlgaz-Kargi-masiflerinin etüdü). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

Yousefi, T., Aliyari, F., Abedini, A., & Calagari, A.A. (2018). Integrating geologic and Landsat-8 and ASTER remote sensing data for gold exploration: a case study from Zarshuran Carlin-type gold deposit, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3822-x>