



Aster Uydu Görüntüleri ile Hidrotermal Alterasyon Alanlarının Belirlenmesi: Ağmaşat Yaylası-Zara (Sivas) / Türkiye Örneği

Oktay CANBAZ^{1*}, Önder GÜRSOY², Ahmet GÖKCE¹

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, TÜRKİYE

²Cumhuriyet Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, TÜRKİYE

Received: 08.05.2017; Accepted: 20.06.2017

<http://dx.doi.org/10.17776/csj.340473>

Özet: Hidrotermal alterasyon alanlarının tespiti, maden arama faaliyetlerinin ilk aşamalarından bir tanesi olup özellikle porfiri tip zenginleşmelerin keşfinde önemli bir adımı oluşturmaktadır. Önceleri arazi çalışmaları ve gözlemlerle tespit edilebilen bu tür alanlar artık günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte uydulardan elde edilen görüntüler üzerinde yapılan işlemlerle tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada Sivas ilinin Zara ilçesinin kuzeyinde Ağmaşat Yaylası'nda belirlenen hidrotermal alterasyon alanlarının ve çevre jeolojik birimlerinin sınırları ASTER uydusu SWIR görüntüleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulanan dekorelasyon gerilmesi ve ana bileşenler dönüşümü metodları ile elde edilen veriler, arazi çalışmaları sırasında hazırlanan jeoloji haritası ile yüksek oranda örtüştüğü belirlenmiştir. Bu veriler ışığında tespit edilebilecek yeni alterasyon alanları potansiyel maden sahası olarak değerlendirilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Hidrotermal Alterasyon, Zara-Sivas, Eosen Volkanitleri, Dekorelasyon Gerilmesi, Ana Bileşenler Dönüşümü

Determination of Hydrothermal Alteration Areas by Aster Satellite Images: Ağmaşat Plato-Zara (Sivas) / Turkey Sample

Abstract: Determination of hydrothermal alteration areas is one of the first stage methods used in mineral exploration studies, particularly of porphyry type mineralizations. These studies were only possible by field investigations in the past, but now, they can be easily detected with images from satellites, in accordance with the developing technology. In this study, contacts between geological units and the border of the hydrothermal alteration zones were determined with SWIR images of ASTER in Ağmaşat Plato, located in the north of Zara district of Sivas province. Decorrelation stretching and principal component analysis were carried out on the SWIR images. The obtained results highly coincide with the geological map which was prepared during the field studies. These results will lead to the discovery of new potential fields.

Keywords: Hydrothermal Alteration, Zara-Sivas, Eocene Volcanic Rocks, Decorrelation Stretching, Principal Component Analysis

1. GİRİŞ

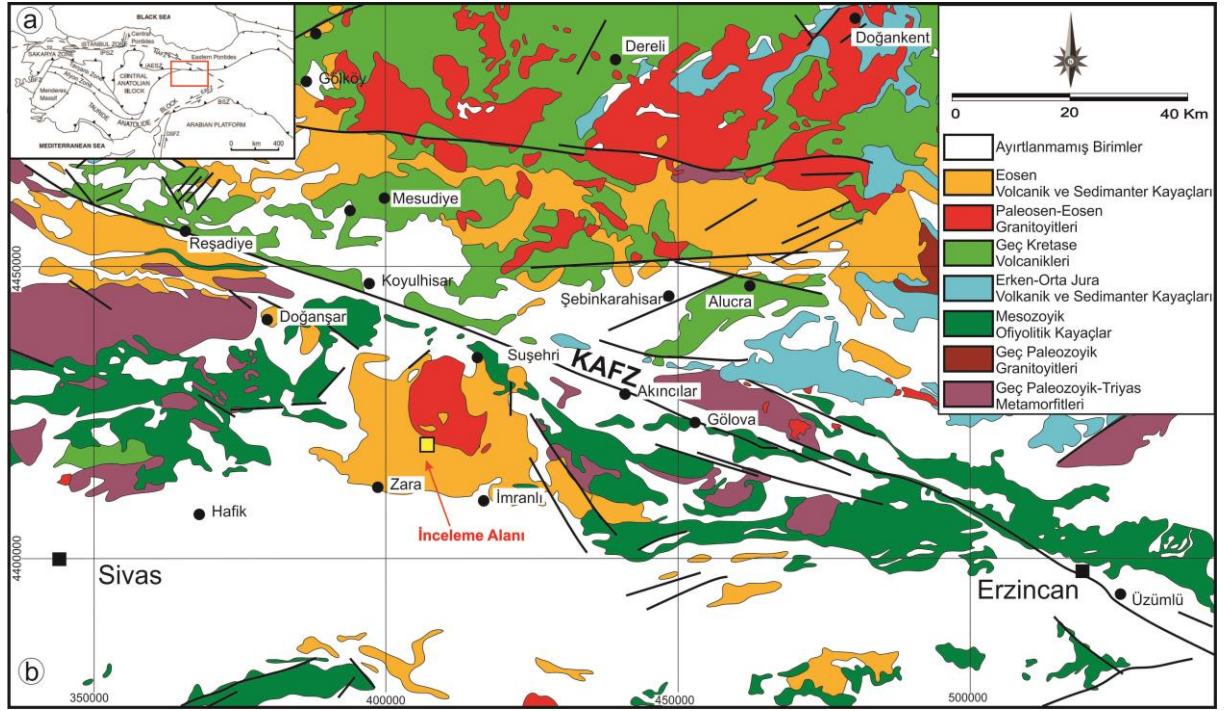
Maden arama faaliyetlerinin önemli aşamalarından bir tanesi olan hidrotermal alterasyonlar, cevher oluşturuvcu hidrotermal suların etkisiyle yan kayaçta meydana gelen mineralojik-kimyasal ve fiziksel değişimleri kapsamaktadır. Yüzeve çıkmamış cevherleşmelerin keşfinde bu tür oluşumlar araştırmacılar için en önemli ipuçlarını taşımaktadırlar. Arazi sırasında ya da uydu görüntüleri yardımıyla bu tür alanların tespiti yapılabilmektedir. Son yıllarda hidrotermal alterasyon alanlarının haritalanmasında, arazi ve laboratuvar çalışmalarının yanı sıra uzaktan algılama en önemli yöntemlerden biri haline gelmiştir. Jeologlar, özellikle porfiri yatakların keşfinde önemli bir yere sahip olan hidrotermal alterasyon minerallerinin haritalanmasında uzaktan algılama yöntemlerini kullanmaktadırlar [1-4]. Bu tür çalışmalar kapsamında uzaktan algılama yöntemlerinin uygulandığı en önemli uydu görüntülerinden bir tanesini ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) multispektral görüntüleme sensörü oluşturmaktadır. ASTER yerkürenin yüzeyinden yansıyan ve yayılan elektromanyetik enerjiyi 14 spektral bandı içerisinde kayıt eder. Bu bantlar 3 adet VNIR (Görünür bölge yakın kızılötesi radyometre), 6 adet SWIR (Yakın dalga boyu kızılötesi) ve 5 adet TIR (Termal kızılötesi radyometre) şeklindedir. Bölgesel haritalama da kullanışlı olan bu yöntem, SWIR bant aralığında Al-OH, Fe, Mg-OH, Si-O-H ve CO₃ gibi hidrotermal alterasyon minerallerinin belirlenmesi ve tanımlanması aşamasında da kullanılmaktadır [5,6,7,8,9]. Önceki çalışmalar, alunit, kaolinit, karbonat, dolomit, klorit, talk ve muskovit gibi hidrotermal alterasyon minerallerinin ASTER SWIR bantları ile belirlenebildiğini göstermektedir [10-15, 1]. Ayrıca ASTER VNIR ve TIR bantları, karbonat ve silikatların minerallerin haritalanmasında ve toprak içindeki oksit minerallerinin ve bitkilerin tanımlanmasında kullanılmaktadır [16-18].

İnceleme alanı, Orta Anadolu kuzeydoğusunda ki Eosen yaşlı volkanitlerin içerisinde yer alan Ağmaşat Yaylası'nda (Zara-Sivas), Köseadağ Plütönu ile Karataş Volkanitleri sınırına yakın bir

alanda yoğun hidrotermal killeşme içeren bir bölgedir. Bu yoğun alterasyona uğramış sahanın inceleme alanı olarak belirlenmesinde geçmişte Pb-Zn damarlarının işletilmiş olması [19] ve günümüzde de MTA (Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü) tarafından altın arama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi etkili olmuştur. Çalışma kapsamında bu killeşme alanlarının, arazi çalışmaları ve uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır. ASTER uydu verilerine, görüntü zenginleştirme yöntemlerinden dekorelasyon gerilmesi ve ana bileşenler dönüşümü uygulanarak, uydu görüntülerinin yorumlanabilirliği artırılmıştır. Görüntü zenginleştirme işlemi uygulanmış uydu görüntü verileri analiz edilerek hidrotermal alterasyon bölgelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilecek verilerin benzer potansiyel sahaların belirlenmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

2. BÖLGESEL JEOLJİ

İnceleme alanı, Sivas'ın kuzeydoğusunda yer alan İzmir-Ankara-Erzincan (IAE) sutur zonunun kuzeyindeki Avrasya Levhası (EP) ile Toros-Anatolid platformu (TAP) arasındaki çarpışma bölgesinin çevresel bölümünde, doğu-orta pontidlerin içerisinde ki sutur zonda yer almaktadır [20]. Ayrıca bu zon Çamlıbel-Kızıldağ Ofiyolitik Melanjını içermektedir. Bu çarpışma zonunun kuzey ve kuzeybatı sınırında Sakarya Zonuna ait Tokat masifi yer alırken güney sınırında ise Kırşehir Bloğu Metamorfikleri (Orta Anadolu Kristalin Kompleksi) yer almaktadır. Ofiyolitik kayaçların, Tetis okyanusun kapanması sırasında yüzelediği ve bu okyanusun kuzey kolunda olduğu, bu dönemde, EP ve TAP çarpıştığı Tokat Masifi ve Kırşehir Bloğu'na ait premetamorfik kayaçlarının metamorfizma geçirdiği görüşü genel olarak kabul görmektedir. Köseadağ Siyeniti ve volkanik kayaçları Paleosen-Eosen döneminde bu ofiyolitik kayaçlar içerisine yerleşmişlerdir. Genç sedimanter ve volkanik kayaçlar ise bu birimleri uyumsuz olarak örtmektedirler (Şekil 1).



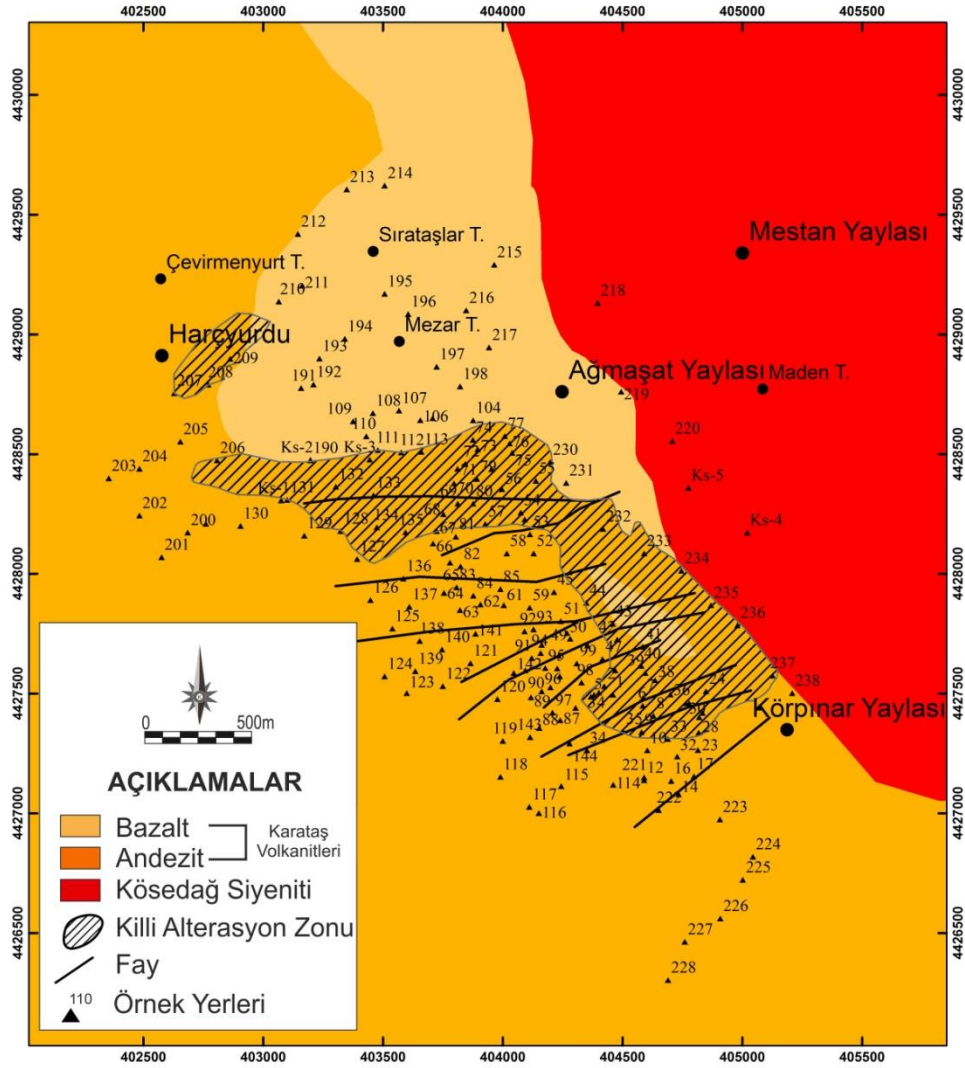
Şekil 1. a) Türkiye tektonik haritası [21]. b) İnceleme alanı bölgesel jeoloji haritası (Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğüne ait haritalardan revize edilmiştir).

Çalışma bölgesinin jeolojisi ile ilgili yapılan diğer bir görüş ise; inceleme alanı, yüksek ve düşük dereceli metamorfikler, Geç Karbonifer yaşlı metamorfizma geçirmemiş granitik intrüzyonlar, Geç Triyas-Erken Jura Alaskan tipi mafik-ultramafik intrüzyonlar [22,23], Geç Kretase şonolitik-ultrapotasyik kayaçlar [22], Geç Paleosen-Erken Eosen adakitik kayaçlar [24,25,26,27,28] ve Eosen bazaltik-andezitik volkanikler ve granitik intrüzyonlar [29] içeren Pontidlerin güney zonunda yer almaktadır.

Eosen yaşlı Köseadağ Plütonunun siyenitik ve kuvars siyenitik bileşimli olduğunu, K-Feldispat megakristalleri içeren faneritik ve porfirik dokulu olduğunu, plajiyoklaz, klinopiroksen, amfibol, biyotit ve kuvars içeren bir matrikse sahip olduğu belirtilmiştir [20]. Eosen Yaşlı Karataş Volkanitleri, bazalt, trakibazalt, trakiandezitten andezite değişen bileşime sahip olup [30] K-Feldispat ve piroksen megakristalleri içeren porfirik dokuya sahiptir. Daha genç sedimanter ve volkanik kayaçlar ise bu birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

3. HİDROTERMAL ALTERASYON

İnceleme alanı içerisinde Karataş Volkanitleri üzerinde yoğun hidrotermal alterasyon gelişmiştir (Şekil 2). İnceleme alanından toplanan temsili örneklerin petrografik incelemelerinde yoğun killeşmenin yanı sıra serizitleşme ve kloritleşme belirlenmiştir. Ayrıca alümit, kuvars ve pirit damarcıklarının yanı sıra hematit ve limonit oluşumları da gözlenmiştir. Genel olarak bu alterasyonların büyük bir kısmını hidrotermal çözeltiler oluşturmasına rağmen, yüzeyde ki örneklerin alterasyonuna atmosferik koşullarında katkı sağladığı düşünülmektedir.



Şekil 2. İnceleme alanı yakın çevresinin jeoloji haritası.

4. MATERYAL ve METOD

Arazi çalışmaları kapsamında, inceleme alanında yüzeyleyen kayalardan hem taze hem de altere kısımlarını temsil edecek şekilde, yaklaşık 15-20m derinlik ve aralıklarla sistematik olarak 450 adet sondaj ve yüzey örneği toplanmıştır. Bu örneklerin makroskopik incelemeleri saha çalışmalarında, petrografik incelemeleri ise laboratuvar ortamında üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında Maden Tetkik ve Arama Genele Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/25.000 ölçekli topografik

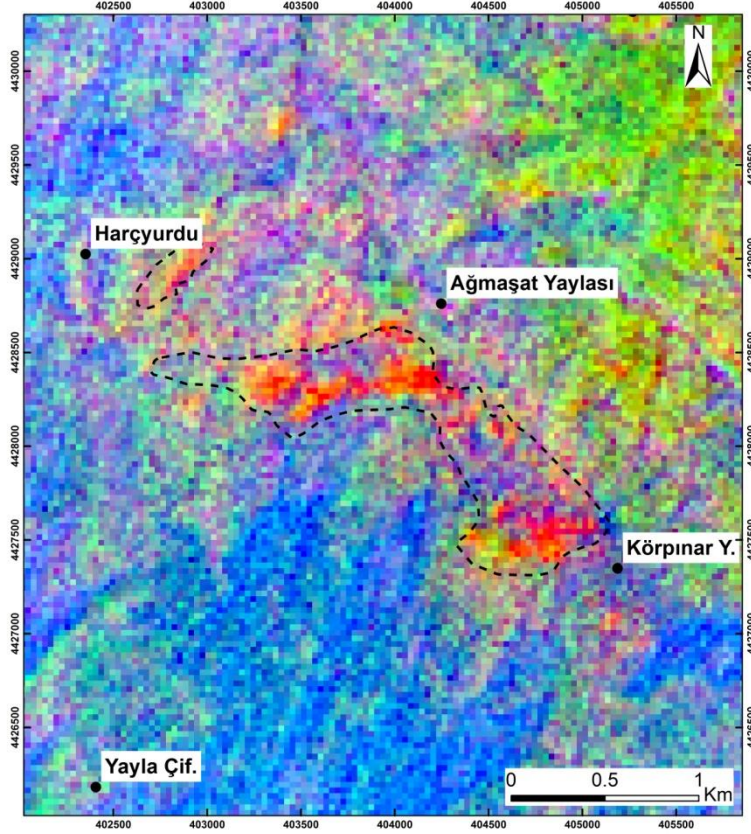
haritaları kullanılarak inceleme alanının 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2).

Bu çalışmada kullanılan ASTER SWIR uydu verilerine, görüntülerin kullanılabilirliğini artırmak için çapraz karışma (crosstalk) düzeltmesi [31], radyans kalibrasyonu ve atmosferik düzeltme ile radyansdan reflektansa dönüştürme işlemleri sırasıyla uygulanmıştır. Görüntü zenginleştirme ve korelasyon gidermede kullanılan ana bileşenler dönüşümü, ve dekorelasyon gerilmesi işlemleri litolojik farklılıkları ortaya çıkarmak için kullanılmıştır.

4.1. Ana Bileşenler Dönüşümü

Ana bileşenler dönüşümü, bantlar arasındaki yüksek korelasyonu azaltarak, görüntülerin görsel yorumlanabilirliğini artırmak için görüntüdeki toplam bilgiyi mevcut bant sayısından daha az sayıda yeni bileşende toplamaktadır [32]. Bu çalışmada 6 bant içeren SWIR görüntülerine

uygulanan dönüşüm sonrasında 1., 2. ve 3. bileşenleri kullanılarak elde edilen görüntüde, killeşme gösteren alanların kırmızımsı tonlarında, Köseadağ Siyeniti yeşil ve Karataş Volkanitlerinin mavi tonda renklerle birbirinden ayrıldığı görülmektedir (Şekil 3).

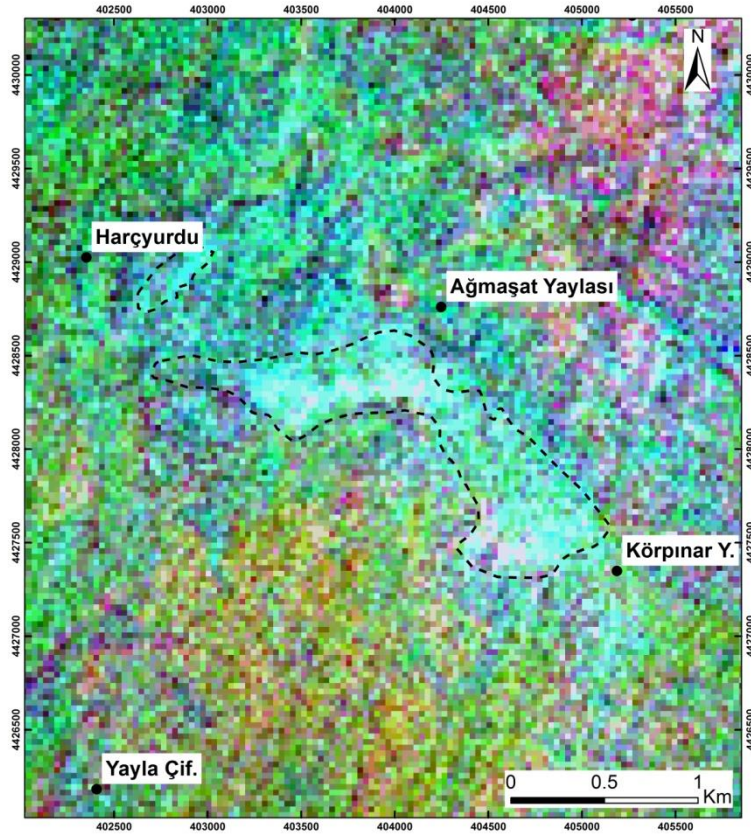


Şekil 3. Ana bileşenler dönüşümü (R:SWIR 3, G: SWIR 5, B:SWIR 6). Köseadağ Siyeniti (yeşil tonlarında), Karataş Volkanitleri (mavi tonlarında) ve killeşme alanları (kırmızı tonlarında).

4.2. Dekorelasyon Gerilmesi

Ana bileşenler yönteminde olduğu gibi dekorelasyon gerilmesi, yüksek korelasyona sahip çok bantlı görüntülerde renk zenginleştirme yapan bir yöntemdir. Renklerde meydana gelen yoğunlaşma ile görsel yorumlanabilirliğin artırılmasını sağlamaktadır [33, 34]. Bu çalışma kapsamında, ASTER uydusunun SWIR

bantlarından en düşük korelasyona sahip 9-7-4 nolu bantlarına dekorelasyon gerilmesi uygulanmıştır. Elde edilen görüntüde açık mavi renk tonlarının killeşme alanlarını, menekşe renkli kısımların Köseadağ siyeniti ve sarımsı renkli alanların ise Karataş Volkanitlerini gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Dekorelasyon gerilmesi (R:SWIR 9, G: SWIR 7, B:SWIR 4). Kösedağ Siyeniti (menekşe tonlarında), Karataş volkanitleri (sarı tonlarında) ve killeşme alanları (açık mavi tonlarında).

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, Orta Anadolu Kuzeybatısında, Sivas ilinin Zara ilçesinin kuzeyinde yer alan Ağmaşat Yaylası civarında yüzlek veren Eosen Volkanitleri içerisinde gelişmiş hidrotermal alterasyon gösteren alanda gerçekleştirilmiştir. Bitki örtüsünü bakımından fakir ve alterasyon bakımından yoğun olan bu bölgenin altın için potansiyel bir saha özelliği taşıması inceleme sahası olarak belirlenmesinde önemli rol oynamıştır.

Hidrotermal alterasyonlar, henüz yüzeylememiş potansiyel maden yataklarının yeryüzündeki işaretleridir. Bu tür sahaların tespiti, gizliliğini koruyan bu maden yataklarının bulunmasında ilk adımlardan birini oluşturmaktadır. Son yıllarda önemli bir yere sahip olan uzaktan algılama yöntemleri, bu sahaların tespitinde kolaylıklar sağlamaktadır. Görüntüler üzerinde uygulanan

çeşitli aritmetik yöntemlerle istenilen verilere ulaşma olanağı sağlamaktadır.

Bu çalışma da, ASTER SWIR görüntüleri üzerinde ana bileşenler dönüşümü ve dekorelasyon gerilmesi yöntemleri uygulanarak killeşme alanları ortaya konulmuştur. Bu yöntemlerle görüntüler üzerinde belirlenen alanlar, arazi çalışmaları sırasında sınırları belirlenmiş ve jeolojik harita üzerinde gösterilen killeşme alanları ile yüksek oranda örtüştüğü belirlenmiştir. Örtüşmeyen bölümlerin, arazinin çok sarp olmasına bağlı olarak uydu görüntüsünde yansımaların tam olarak alınmamasına ve uydu görüntüsünün mekânsal çözünürlüğünün düşük olmasına (30m) bağlı olduğu düşünülmektedir.

Uzaktan algılama yöntemleri ile yapılan bu çalışma sonucunda, bölgede belirlenebilecek diğer hidrotermal alterasyon alanlarının hem metalik

maden arama faaliyetlerine hem de endüstriyel amaçlı kullanılabilir kil alanlarının keşfinde ışık tutacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Projeleri (CUBAP) tarafından M-613 nolu proje olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1]. Rowan, L. C., Schmidt, R. G., Mars, J. C., 2006. Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 104, 74–87
- [2]. Bedini, E., Van Der Meer, F., Van, F., 2009. Ruitenbeek Use of HyMap imaging spectrometer data to map mineralogy in the Rodalquilar caldera, southeast Spain. *Int. J. Remote. Sens.*, 30 (2), 327–348.
- [3]. Gabr, S., Ghulam, A., Kusky, T., 2010. Detecting areas of high-potential gold mineralization using ASTER data. *Ore Geol. Rev.*, 38, 59–69.
- [4]. Pour, B.A., Hashim, M., Marghany, M., 2011. Using spectral mapping techniques on short wave infrared bands of ASTER remote sensing data for alteration mineral mapping in SE Iran. *Int. J. Phys. Sci.*, 6 (4), 917–929.
- [5]. Hunt, G.R., 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared *Geophysics*, 42, 501–513.
- [6]. Abrams, M., 2000. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *Int. J. Remote. Sens.*, 21, 847–859.
- [7]. Yamaguchi, Y., Kahle, A.B., Tsu, H., Kawakami, T., Pniel, M., 1998. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1062–1071.
- [8]. Abrams, M., Hook, S.J., 1995. Simulated ASTER data for geologic studies *IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens.*, 33 (3), 1995.
- [9]. Fujisada, H., 1995. Design and performance of ASTER instrument. *Proceedings of SPIE*, 2583, 16–25.
- [10]. Crosta, A., De Souza Filho, C., Azevedo, F., Brodie, C., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *Int. J. Remote sensing*, 24 (21), 4233–4240.
- [11]. Di Tommaso, I., Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina *Ore Geol. Rev.*, 32, 275–290.
- [12]. Ducart, D.F., Crosta, A.P., Filio, C.R.S., 2006. Alteration mineralogy at the Cerro La Mina epithermal prospect, Patagonia, Argentina: field mapping, short-wave infrared spectroscopy, and ASTER images. *Econ. Geol.*, 101, 981–996.
- [13]. Rowan, L., Hook, S.J., Abrams, M.J., Mars, J.C., 2003. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists* 98 (5), 1019–1027.
- [14]. Rowan, L.C., Mars, J.C., 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, 84, 350–366.
- [15]. Rowan, L.C., Mars, J.C., Simpson, C.J., 2005. Lithologic mapping of the Mordar, NT, Australia, ultramafic complex by using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, 99, 105–126.
- [16]. Bedell, R.L., 2001. Geological mapping with ASTER satellite: new global satellite data that is a significant leap in remote sensing geologic and alteration mapping. *Special Publication, Geo. Soc. of Nevada*, 33, 329–334.
- [17]. Ninomiya, Y., FU, B., 2003. Extracting lithological information from ASTER multispectral thermal infrared data in the northeastern Pamirs. *Xinjiang Geology*, 21, 22–30.
- [18]. Rockwell, B.W., Hofstra, A.H., 2008. Identification of quartz and carbonate minerals across northern Nevada using ASTER thermal infrared emissivity data implications for geologic mapping and mineral resource investigations in well-studied and frontier areas *Geosphere*, 4 (1), 218–246.
- [19]. Efe, A., Gökce, A., 1999. Geology and fluid inclusion studies of the Maden Village (İmranlı-Sivas) Pb-Zn deposits. *Bulletin of*

- faculty of engineering of Cumhuriyet University, Serie S- Earth Sciences, 16, 29-38
- [20].Boztuğ, D., 2008. Petrogenesis of the Kosedag Pluton, Susehri-NE Sivas, East-Central Pontides, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 17(2), 241-262.
- [21].Okay, A., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society, London, Special Publications, 156, 475-515.
- [22].Eyuboglu, Y., 2010. Late Cretaceous high-K volcanism in the eastern Pontides orogenic belt, and its implications for the geodynamic evolution of NE Turkey. *International Geology Review* 52 (2-3), 142-186.
- [23].Eyuboglu, Y., Santosh, M., Chung, S.L., 2011c. Crystal fractionation of adakitic magmas in the crust-mantle transition zone: petrology, geochemistry and U-Pb zircon chronology of the Seme adakites, Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos* 121, 151-166.
- [24].Eyuboglu, Y., Chung, S.L., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryali, E., 2011a. Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: implications for slab window melting. *Gondwana Research* 19, 413-429.
- [25].Eyuboglu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Chung, S.L., Akaryali, E., 2011b. Migrating magmatism in a continental arc: geodynamics of the Eastern Mediterranean revisited. *Journal of Geodynamics* 52, 2-15.
- [26].Eyuboglu, Y., Santosh, M., Bektaş, O., Ayhan, S., 2011d. Arc magmatism as a window to plate kinematics and subduction polarity: example from the Eastern Pontides belt, NE Turkey. *Geoscience Frontiers* 2 (1), 49-56.
- [27].Eyuboglu, Y., Santosh, M., Chung, S.L., 2011e. Petrochemistry and U-Pb ages of adakitic intrusions from the Pulur massif (Eastern Pontides, NE Turkey): implications for slab roll-back and ridge subduction associated with Cenozoic convergent tectonics in eastern Mediterranean. *Journal of Geology* 119, 394-417.
- [28].Eyuboglu, Y., Santosh, M., Yi, K., Bektaş, O., Kwon, S., 2013a. Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt and revised geodynamic model for the late Cenozoic Evolution of eastern Mediterranean region. *Lithos* 146-147, 218-232.
- [29].Eyuboglu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryali, E., Chung, S.L., Akdag, K., Bektaş, O., 2013b. The nature of transition from adakitic to non-adakitic magmatism in a slab-window setting: a synthesis from the eastern Pontides, NE Turkey. *Geoscience Frontiers*, 4, 353-375.
- [30].Başbüyük, Z., 2006. Hydrothermal alteration mineralogy-petrography and geochemistry of Eocene volcanics: an example from quadrangle of Zara-İmranlı-Suşehri-Şerefiye (Northeast of Sivas, Central Eastern Anatolia, Turkey). PhD thesis, Sivas-Turkey, Cumhuriyet University, Institute of Science, 269pp.
- [31].Iwasaki, A, Tonooka, H, 2005. Validation of a crosstalk correction algorithm 371 for ASTER/SIWR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43, 2747-2751.
- [32].Gürsoy, Ö and Kaya, Ş., 2016. Detecting of Lithological Units by Using Terrestrial Spectral Data and Remote Sensing Image, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, doi 10.1007/s12524-016-0586-1
- [33].Gillespie, A. R., Kahle, A. B., Walker, R. E. 1986. Color enhancement of highly correlated images: I. Decorrelation and HIS contrast stretches. *Remote Sensing of Environment*, 20, 209- 235.
- [34].Gürsoy, Ö., Kaya, Ş., Çakir, Z., Tatar, O., Canbaz, O. 2017. Determining lateral offsets of rocks along the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) using spectral classification of satellite images and field measurements, *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 10.1080/19475705.2017.1318794