

[1218]

NİĞDE ve KAYSERİ BÖLGELERİNDE YÜZEYLEMİŞ KAYAÇLARIN ALTERASYON ÖZELLİKLERİNİN ASTER UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA TESPİT EDİLMESİ

Kemal Anıl TÖZÜN¹, Aziz ÖZYAVAŞ²

¹Yük. Müh., Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği bölümü, 41380, Kocaeli kemalaniltuzun@gmail.com
²Yrd. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği bölümü, 41380, Kocaeli aziz.ozyavas@kocaeli.edu.tr

ÖZET

İnceleme alanı olan Niğde ve Kayseri bölgeleri İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağının güneyinde bulunmaktadır. Bölgenin önemli özelliklerinden biri Neotetis okyanusunun kapanması sırasında ve sonrasında gelişen pek çok farklı kökeni yansıtan Üst Kretase yaşlı plütonların mostra vermiş olmasıdır. İkinci önemli özelliği ise, bölgenin sağ yanal atımlı Tuz Gölü fayı ve sol yanal atımlı Ecemiş fayı arasında geç dönem tektonizmasından etkilenmiş olması ve buna bağlı olarak Geç Miyosen'den Günümüze kadar gelişen volkanik aktiviteye maruz kalmasıdır. Bölgede bulunan farklı kökenleri yansıtan plütonlar ve volkanlar maden gelişimi için önemli jeolojik alt yapıyı oluşturur. Kayaçlar içerisinde gelişmiş metalik oluşumların olası yerlerinin belirlenmesinde kılavuzluk yapan en önemli gösterge yan kaya alterasyonlarıdır. Tespit edilmeleri ve alansal büyüklükleri bakımından arjillik, ileri arjillik, silişleşme, ferrik oksidasyon, fillik, ve propilitik tip alterasyonlar kılavuz bölge seçimi için önemlidirler. Zaman ve maliyet bakımından bu bölgelerin belirlenmesinde başvurulan yegâne yöntem uydu görüntülerinin yorumlanmasıdır.

Çalışma özelinde ASTER multispektral uydu verileri yardımı ile alterasyon tiplerinin kılavuz mineralleri tespit edilmeye çalışılmıştır. ASTER sensörünün, özellikle kısa kızılötesinde (SWIR) bulunan spektral bantlarının, jeolojik uygulamalarda litoloji ve alterasyon ayırt etme özellikleri pek çok çalışmaya konu olmuştur. Geçmişten günümüze yapılan çalışmalarda alterasyon haritalama veya tespit etme adı altında farklı optik uzaktan algılama metodları kullanılmıştır. Metodların ortak özellikleri, görüntü üzerinde tespit edilmek istenen materyalin ayırt edici özelliklerini ön plana çıkartmasıdır. Her bireysel mineralin kendine özgü bir spektral eğrisinin ve farklı dalga boyu aralıklarında absorpsiyon özelliklerinin bulunması, onların çeşitli teknikler ile ayırt edilebilirliğini kolaylaştırmaktadır. Bahsedilen tekniklerden bazıları bant oranlama, bant indisi, ana bileşen dönüşümü (PCA), Crosta tekniği, yönlendirilmiş ana bileşen dönüşümü (DPC) şeklinde sıralanabilir. Tekniklerin hepsinin ayrı ayrı kullanılmasıyla istenilen sonuçlara varılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, belirtilen her bireysel alterasyon minerali için geliştirilmiş teknikler kullanılmış ve sonuç görüntüsü olarak mantıksal operatör algoritması (LOA) ile kılavuz bölgeler ayırt edilmiştir. LOA oluşturulurken, her tekniğe özgü bireysel mineraller için eşik değerleri seçilmiş ve böylece bahsi geçen minerali en iyi yansıtan bölgeler belirlenebilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma her bir teknik ile ayrı ayrı belirlenmiş alterasyon bölgelerinin tek bir görüntüde birleştirilerek değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Alterasyon haritalama, ASTER, mantıksal operatör algoritması, görüntü zenginleştirme

ABSTRACT

DELINEATION OF ALTERATION CHARACTERISTICS OF EXPOSED ROCKS USING ASTER IMAGES IN THE VICINITY OF NİĞDE AND KAYSERİ

The study area in Niğde and Kayseri is located to the south of the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone. One of the most important properties of the study area is the outcrops of intrusive igneous rocks of the Upper Cretaceous with distinct origin formed during and afterwards of the closure of the Neotethys Ocean. Secondly, the study region between the dextral Salt Lake Fault and sinistral Ecemiş Fault was underwent late tectonism and was subjected to volcanic activity from the late Miocene to recent accordingly. The intrusive and extrusive igneous with different origin in the region forms geologic basis for the evolution of mines. The most important manifestation of determining the possible locations of metallic formations with the rocks is the alteration of adjacent rocks. Argillic, advanced argillic, silicification, ferric oxidation, phyllic, and pyrophyllite alterations in terms of spatial extent and being determined are critical for selecting indicator locations. The sole method to delineate those locations is to interpret satellite images in respect to time and cost.

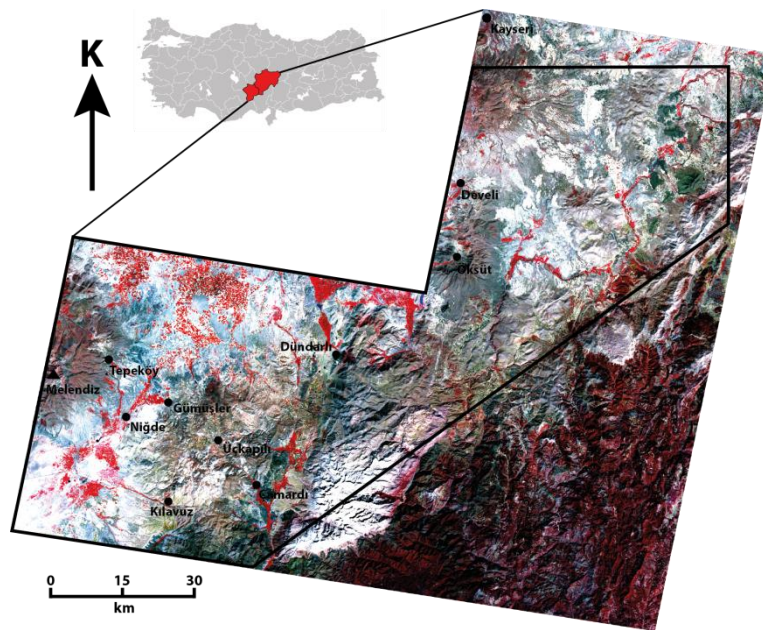
The particular minerals of alteration types were tried to be determined using ASTER multispectral data in this study. The shortwave infrared bands (SWIR) of ASTER data in particular have been the focus in numerous research to distinguish lithologies and alteration. Different optical remote sensing methods have been used to determine and map alteration in investigations from past to present. The common points of those methods is to emphasize the distinctive properties of target materials in satellite images. Various methods could relatively readily distinguish each and every mineral based on their

peculiar spectral curves and absorption features at particular wavelengths. The band ratioing, band index, principle component analysis (PCA), Crosta technique, directed principle component analysis (DPC) in a sequence are some of the aforementioned techniques. There existed variety of studies with successful results using those techniques separately. The methods developed for every alteration mineral were utilized in this study and particular locations were distinguished with the logical operator algorithm (LOA) in resultant images. In building LOA, threshold values were selected for every mineral peculiar to every technique and so regions indicating the target mineral ideally were specified. As a result, this study demonstrated that every alteration region determined could be combined in a single scene for evaluation with each technique.

Keywords: Alteration mapping, ASTER, logical operator algorithm, image enhancement

1.GİRİŞ

Çalışma bölgesi Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesindeki Niğde ve Kayseri illerinin çevre bölgelerini kapsamaktadır (Şekil 1). Orta Anadolu bölgesinin jeolojik açıdan önemi Paleosen-Kuvaterner arası yaşlı volkanizma (çalışma bölgesinde genelde Geç Miyosen) ve Üst Kretase yaşlı plütönizma varlıklarıdır. Bölge aynı zamanda Torid-Anatolid platformu üzerinde oturmakta ve önemli bir çekirdek kompleksi olan Orta Anadolu Kristalen Karmaşığına içermektedir. Bölgenin jeolojik geçmişindeki volkanik ve tektonik hareketlilik, bu bölgeyi maden potansiyeli açısından önemli kılmaktadır.

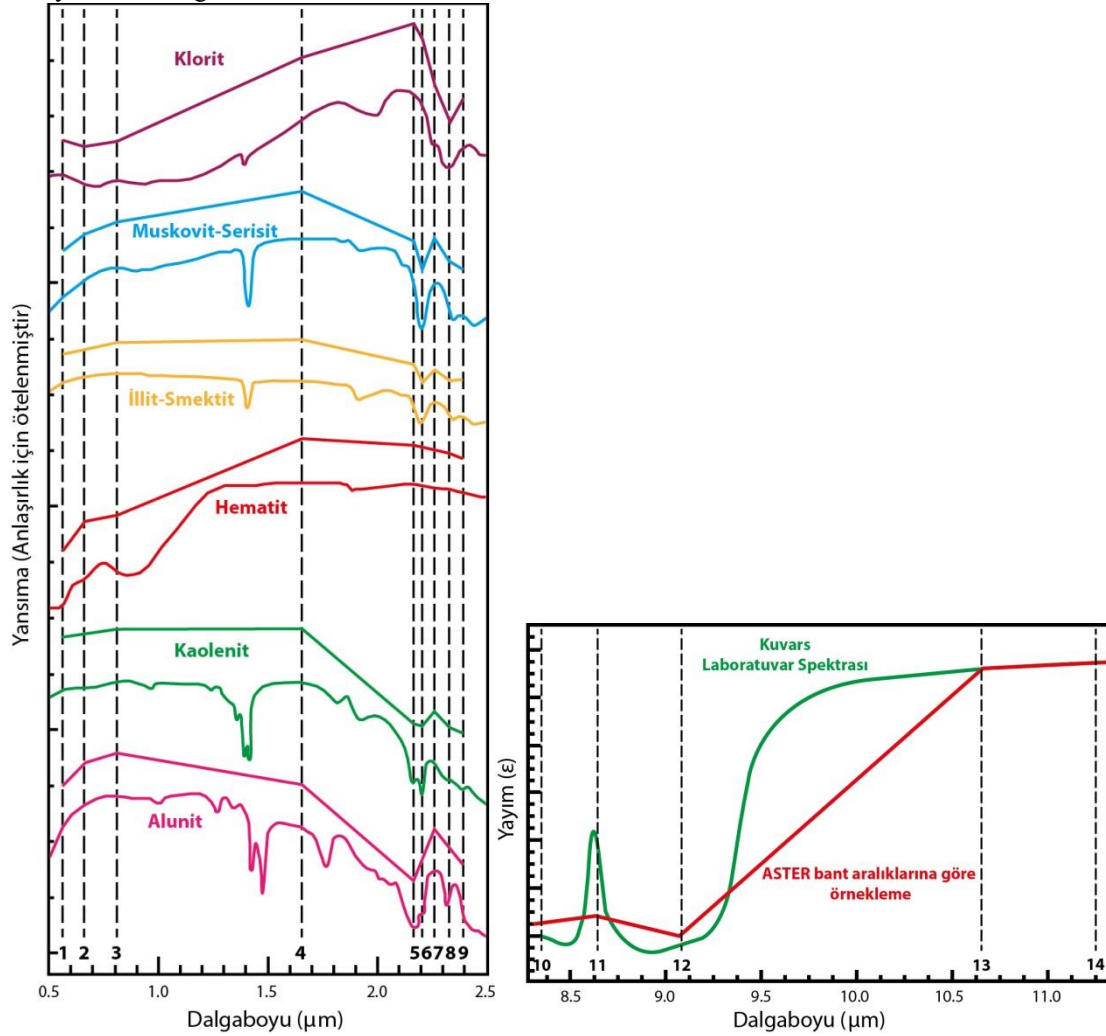


Şekil 1. Niğde ve Kayseri çevresi yer bulduru haritası (Çalışma bölgesi siyah çerçeve içerisinde gösterilmiştir)

Maden oluşumunda farklı tip hidrotermal akışkanların kayaların süreksizlik düzlemlerinde konvektif olarak hareket etmelerinden dolayı, çoğu metalik cevher araştırmalarında öncelikli olarak hem ana hem de komşu kayalarda alterasyon tespit edilmeye çalışılır (John ve diğ, 2008). Bu sebepten dolayı, alterasyon(lar) bölgedeki anomali göstergelerinden biridir ve aynı zamanda farklı tip alterasyonlar, olası metal zenginleşmesine işaret edebilmektedir. Farklı tip gelişmiş alterasyonları tespit etmenin en pratik ve ekonomik yöntemi uydu verilerinin analiz edilmesi ve yorumlanmasıdır. Hidrotermal alterasyon (hem hipojenik hem de süperjenik) minerallerinin spektral özelliklerinden faydalanarak mineral aramacılığında potansiyel bölgelerin tespit edilmesi yaygın kullanılan bir uzaktan algılama yöntemidir. Önceden yapılmış çoğu çalışmada, alterasyon zonlarının ve/veya türlerinin belirlenmesinde önemli sonuçlar elde edilmiştir (Gabr ve diğ, 2010; Pour ve Hashim, 2012). Multispektral ve hiperspektral uydu görüntüleri bu tip çalışmalarda kullanılmakla beraber en çok tercih edileni Gelişmiş Uzay Termal Yayılma ve Yansıma Radyometresi veya kısaca ASTER uydu görüntüleridir. ASTER uydu görüntüleri bünyesinde 3 alt sistem barındırır (VNIR-SWIR-TIR). Bunlardan, yakın kızılötesi (VNIR) 3 adet, kısa kızılötesi (SWIR) 6 adet ve termal kızılötesi (TIR) 5 adet spektral banttan oluşmaktadır.

Jeolojik uygulamalarda, VNIR bantları, ferrik oksidasyon (hematit, götit, limonit) alterasyon minerallerinin; SWIR bantları, arjillik (illit, smektit), ileri arjillik (alunit, kaolenit), fillik (serisit) ve propillitik (klorit, epidot, kalsit) alterasyon minerallerinin; TIR bantları, silisleşme (kuvars) ve karbonatlaşma (kalsit) alterasyonu minerallerinin belirlenmesinde kullanılır (Moghtaderi ve diğ, 2007; Pour ve Hashim, 2012). Yeryüzündeki her madde farklı kimyasal özelliklere sahip olduğundan dolayı, elektromanyetik (EM) spektrumun VNIR ve SWIR bölgelerinde belli dalga boyu aralığında emilim (absorpsiyon) yapar. Örneğin, Al-OH yapısından dolayı kil mineralleri

(muskovit, illit gibi) 1.4 ve 2.2 μm dalga boylarında kuvvetli absorpsiyon yapmaktadır (Pour ve Hashim, 2012). Bu yaklaşım her bireysel mineralin parmak izi niteliğinde kendine özgü bir spektral eğrisi olacağı anlamına gelmektedir (Şekil 2), fakat mineral fazlarının atom yapılarındaki kimyasal farklılıkların aynı minerallerde farklı spektralleri yansıtabileceği unutulmamalıdır.



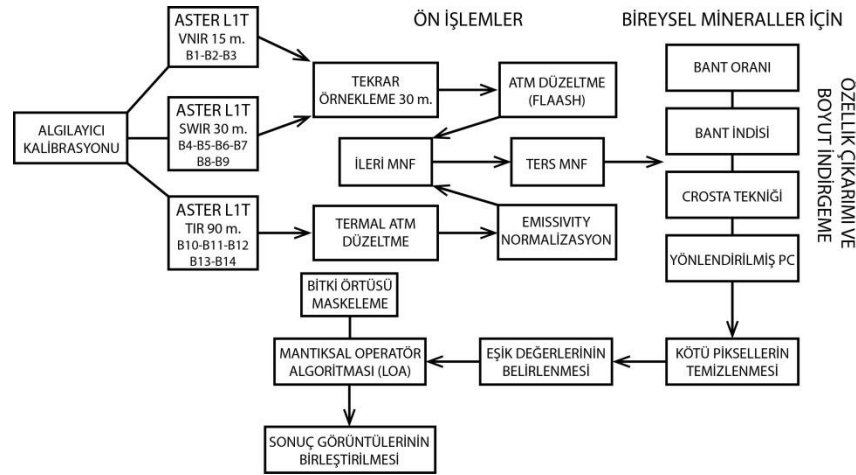
Şekil 2. Bazı alterasyon minerallerinin elektromanyetik spektrumun 0.5-2.5 μm ve 8.29-11.31 μm arasındaki yansıma ve yayım ile ASTER bantlarına göre yeniden örneklenmiş spektralleri

Çalışma özelinde Niğde ve Kayseri çevrelerinde var olan ve/veya olası metal zenginleşmelerinin alterasyon türleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Amaç niteliğinde, minerallerin spektral farklılıklarında yararlanarak bant oranı, bant indisi çıkarımı yapılmış; bunlara ilave olarak Crosta ve yönlendirilmiş ana bileşen (DPC) uygulanmıştır. Bant oranları veya indisleri multispektral sensörün yanıtını ölçen lineer bir yaklaşımdır (Yamaguchi ve Naito, 2003). Crosta ve DPC, ana bileşen dönüşümünde olduğu gibi bantlar arasındaki korelasyonu kaldırarak veri tekrarı önler ve görüntünün daha iyi yorumlanmasına olanak sağlar.

1.1.ASTER Uydu Verileri ve Uygulanan Ön İşlemler

Toplam 4 adet ASTER L1T uydu verisi kullanılmış olup, bunlardan sadece Niğde ve Kayseri'nin güney bölgelerini kapsayan kısımlar ele alınmıştır. Uydu verileri, 2005 yılının Ağustos ve Eylül aylarında toplanmıştır. Bu ayların tercih sebebi karsız ve daha az puslu görüntü elde etmektir. MTA'nın 2002 yılında hazırlanmış 1:500000 ölçekli basılı haritası Lambert Konformal Konik projeksiyon sisteminde ve ED50 datumunda dijital ortama aktarılmıştır ve daha sonra ASTER verileri ile aynı sistemde olması için Evrensel Enlem Merkatörü (UTM) projeksiyonuna dönüştürülerek WGS84 datumunda ayarlanmıştır.

ASTER L1T ham verisinin üzerinde yapılan ön işlemler ve daha sonraki sayfalarda anlatılacak olan bütün görüntü üzerinden özellik çıkarımı ve boyut indirgeme işlemleri Şekil 3'de kısa ve öz halde belirtilmiştir.



Şekil 3. Metodoloji Akış Şeması

Elde edilmiş ASTER'in ham verileri öncelikle ENVI 5.3 programında VNIR ve SWIR 30 m. mekânsal çözünürlükte yeniden örneklenecek birleştirilmiştir. Daha sonra, bütün alt sistemlerdeki tamsayı olarak verilmiş sensör parlaklığı değerleri (VNIR, SWIR, TIR), görüntünün üst verisinde (metadata) sunulan dönüşüm katsayıları ile ondalıklı sayılara dönüştürülmüştür. Ön işlem süreçleri olarak nitelenen veri kalibrasyonlarından geometrik düzeltme ham L1T verilerinde hali hazırda bulunmaktadır. Bunun dışında algılayıcı tarafından kayıt edilen elektromanyetik enerjinin hepsi yüzey cisimlerinden gelen ışınımı içermez. Atmosferin farklı katmanlarında meydana gelen saçılmalar ve yutulmalar (Rayleigh, Mie gibi) algılayıcıda fazla enerjiye sebebiyet verir. Bu nedenle VNIR ve SWIR alt sistemlerine atmosferik etkiyi azaltmak için FLAASH uygulaması ile atmosferik düzeltme uygulanmış ve diğer atmosferik düzeltmeler (koyu piksel çıkarımı ve empirical line) ile karşılaştırılmıştır. TIR alt sistemine Termal ATM düzeltmesi ile, nispi yayım değerleri elde edebilmek için emissivity normalizasyon parametresi uygulanmıştır. 3 alt sistem için de görüntü üzerindeki gürültü fazlalıklarını temizleme amacıyla ileri ve daha sonra ters MNF (minimum gürültü kesri) uygulanmıştır. Böylece, VNIR ve SWIR bantları sensör parlaklığından yüzey yansıma değerlerine, TIR bantları nispi yüzey yayım değerlerine dönüştürülerek ASTER'in ham L1T verileri bilimsel bir mana kazanmıştır.

1.2.ASTER Uydu Verilerinden Özellik Çıkarım İşlemleri

Özellik çıkarımı işlemlerinde hem multispektral (ASTER gibi) hem de hiperspektral veriler (Hyperion gibi) kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerde amaç, boyut indirgemesi ile görüntü üzerinde istenilen materyalin tanımlayıcı özelliklerinin ön plana çıkarılarak, sınıflandırılabilir konuma getirmektir. Bu amaç doğrultusunda çalışma özelinde bant oranlama, bant indisi çıkarımı, Crosta tekniği ve yönlendirilmiş ana bileşen teknikleri kullanılmış ve hidrotermal alterasyonları tanımlayıcı mineraller tespit edilmeye çalışılmıştır.

1.2.1.Bant Oranlama ve Bant İndisi

Jeolojik uygulamalarda belirli spektral aralıklarda meydana gelen absorpsiyon (emilim) değişkenliklerinden yararlanarak oluşturulan bant oranı veya bant indisi görüntüleri, özellik çıkarımında kullanılan en pratik ve en çok tercih edilen yöntemdir (Pour ve Ali, 2014; Kudamnya ve diğ., 2014). Teknik ile görüntü üzerinde kontrast artırılarak, hem istenilen materyaller ön plana çıkarılmakta hem de topoğrafik etki azaltılmaktadır (Rowan ve Mars, 2003). Matematiksel işlemlerden oluşan oranlama süreçlerinde payda bulunan spektral bant veya bantlar, görüntü üzerinde ilgilenilen materyal için (1) Emilimin bulunduğu bantın bir önceki ve bir sonraki bantları veya (2) EM spektrum üzerinde maksimum ve minimum emilimler arasında kalan bantlar olmak üzere iki farklı şekilde seçilebilir. Şekil 2'de gösterilen muskovit-serisit spektrasının 5. ve 7. bantlarının pay kısmına, 6. bantın paydaya yazılması birinci duruma örnek gösterilebilirken; alunit spektrasında 7. bantın pay kısmına, 5. bantın paydaya yazılması ikinci duruma örnek gösterilebilir.

Her bireysel alterasyon mineralleri için birden fazla bant oranı ve/veya bant indisi kullanılmıştır. Bu oranların veya indislerin bazıları çeşitli çalışmalarda kullanılmış olup bazıları ise bu çalışma ile literatüre eklenmesi umut edilmektedir. Çalışma özelinde tespit edilen alterasyon türleri arjillik, ileri arjillik, fillik (serisitik), propillit, ferrik oksidasyon ve silişleşmedir. Bu alterasyon türlerinin mineralleri için (alunit, kaolenit, muskovit-serisit, epidot, klorit, illit, hematit, götit, limonit, kuvars) belirlenen bant oranları ve indisleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Kızılotesi bölgede (SWIR) epidot ile klorit minerallerinin tespitleri, mermer ve kireçtaşı gibi kalsit minerali içeren litolojilerin bulunduğu bölgelerde zorlaşmaktadır. Bu yüzden, termal bantlardan B13/B14 oranı kullanılmaktadır. Aşağıda belirtilen oran ve indislerin bazıları (B8/B5 ve B13/B14 gibi) tek başlarına ilgili mineralin

belirlenmesinde kullanılmayacağı gibi, bu çalışmadaki metodoloji ile birlikte anlam kazanmaktadır.

Çizelge 1. Alterasyon mineralleri için kullanılan bant oranları ve bant indisleri

Bant Oranları-İndisleri	Mineraller	İsmlendirme	Referans
(B3/B2)*(B1/B2)	Bitki Örtüsü	Bitki İndisi	-
(B4/B5)*(B8/B6)	Kaolenit	Kaolenit İndis 1	Pour ve Hashim, 2012
(B7/B5)*(B7/B6)	Kaolenit	Kaolenit İndis 2	Bu çalışma
(B7/B5)*(B7/B8)	Alunit	Alunit İndis 1	Pour ve Hashim, 2012
(B7/B5)*(B6/B5)	Alunit	Alunit İndis 2	Bu çalışma
(B8/B5)	Alunit	Alunit Oranı	Bu çalışma
(B13*B11)/(B10+B12)*B12	Kuvars (Silisleşme)	Silis İndisi 1	Rockwell ve Hofstra, 2008
(B14+B11)/(B10*B12)	Kuvars (Silisleşme)	Silis İndisi 2	Bu çalışma
(B13/B12)	Kuvars (Silisleşme)	Silis Oranı	-
(B7/B6)*(B5/B6)	Muskovit-Serisit	Serisit İndisi	Bu çalışma
(B8/B6)*(B7/B6)	Muskovit-Serisit	Serisit İndisi 2	-
(B2/B1)	Ferrik Oksitler	Ferrik Oran	Rowan ve Mars, 2003
(B7/B8)*(B9/B8)	Epidot-Klorit	Propillit İndis 1	-
(B5/B8)*(B9/B8)	Epidot-Klorit	Propillit İndis 2	-
(B13/B14)	Epidot-Klorit	Propillit Oranı	Mars, 2014

1.2.2.Crosta Tekniği

Ana bileşen dönüşümü metalik madenler ile ilişkili hidrotermal alterasyonların bulunmasında sıkça kullanılan çok değişkenli bir istatistiksel görüntü işleme tekniğidir (Tangestani ve Moore, 2001; Crosta ve diğ, 2003). Aynı zaman, denetimsiz (seçilimsiz) olarak ve boyut indirgemesi yaparak aralarında korelasyon bulunan verileri korelasyonsuz bir şekilde yeni veri uzayına aktarır (Singh ve Harrison, 2010). Böylece, spektral bantlar içerisinde tekrar eden (fazlalıklar) veriler yeni veri kümesinden uzaklaştırılır ve istenen materyaller yeni oluşturulan bantlarda (PC) kayıt edilmesi sağlanır. Girdi olarak sağlanan çok değişkenli veriler korelasyonsuz olarak birden fazla lineer uzayda tekrardan tanımlandığı için (Singh ve Harrison, 2010) birbirleri ile paralel (açısal ilişkili) olmayan birden fazla özvektör tanımlanmaktadır. Bu özvektörler ana bileşen dönüşümünde veri uzayının bulunduğu koordinat sisteminde eksenlerin uzaysal dönüklük açılarıyla yeniden tanımlanacak koordinat sistemine dönüştürülmesi ile elde edilir. Her bir özvektör için verinin büyüklüğünü (vektör uzunluğu) tanımlayan özdeğerler atanmaktadır. Birinci oluşturulan koordinat eksenini her zaman ana verideki en büyük varyansın olduğu eksene karşılık gelir ve birinci ana bileşen bandına (PC1) atanır. İkinci ana bileşen bandı (PC2), birinci koordinat eksenini ortogonal kesen özvektörlerinin içerisine aldığı ve PC1’de tanımlanmamış verilerin büyük bir kısmını temsil eder. PC1 ve PC2 verilerin büyük bir çoğunluğunu içerir ve hatta bazı durumlarda bu iki PC bandı, verilerin % 100’ünü içerebilir (Akça ve Doğan, 2002).

Crosta tekniği, Crosta and Moore (1989) tarafından geliştirilen PCA’ya dayanan bir tekniktir. Teknik, kullanıcı tarafından seçilen bant kombinasyonuna dayandığı için özellik yönlendirmeli ana bileşen seçimi (feature-orientated principal component selection-FPCS) olarak da bilinmektedir. Bu tekniğin, alterasyon belirlemede kullanılmasının nedeni, belirli mineraller hakkında spektral bilgi barındıran ve ilgilenilen materyalin spektral yanıtı ile ilişkili her bir orijinal bandın katkısını içeren ana bileşenlerin tanımlanmasına olanak sağlamasıdır (Boloki ve Poormirzaee, 2010). Bu teknik ile birlikte istenmeyen materyallerin baskın olduğu bantlar devre dışı bırakılarak, istenilen materyallerin baskın olduğu bantlar seçilip ana bileşen dönüşümüne tabi tutulmaktadır. Önceki yapılan çalışmalar ile birlikte tekniğin etkin bir şekilde alterasyon haritalamada önemi vurgulanmıştır (Crosta ve diğ, 2003). Loughlin (1991) çalışmasında, Landsat TM bantları için 1-3-4-5 kombinasyonunu ferrik oksit/hidroksitlerin haritalanmasında; 1-4-5-7 bantlarını hidroksil içeren minerallerin ve karbonatların haritalanmasında kullanmıştır.

Bu çalışma özelinde ise her bir bireysel alterasyon minerali için tercih edilen bant kombinasyonları Çizelge 2’de belirtilmiştir. Her mineral için Crosta bantları seçilirken, o mineralin spektral eğrisindeki absorpsiyon özelliklerine dikkat edilmiştir. Örneğin, kaolenit için B6, alunit için B5 maksimum absorpsiyon özelliği gösterir (Şekil 2).

Çizelge 2. Alterasyon mineralleri için kullanılan Crosta bant kombinasyonları

ASTER Crosta Bantları	Mineraller	Referanslar
B1-B4-B6-B7	Kaolenit	Crosta ve diğ, 2003
B1-B3-B5-B7	Alunit	Crosta ve diğ, 2003
B1-B3-B5-B6	Muskovit-Serisit	Crosta ve diğ, 2003
B1-B2-B3-B4	Ferrik Oksitler	Boloki ve Poormirzaee, 2010

B10-B11-B12-B14 B7-B8-B9	Kuvars (Silisleşme) Epidot-Klorit	Bu çalışma Khaleghi ve diğ, 2014
-----------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------

1.2.3.Yönlendirilmiş Ana Bileşen Dönüşümü (DPC)

DPC, tropikal ve yarı tropikal bölgelerde bitki örtüsünün etkisini ortadan kaldırmak için geliştirilmiş bir PCA'dır. Girdi verisi olarak bant oranları kullanıldığı için bir yönlendirme söz konusudur. Bant oranları doğrudan ilgilenilen materyallerin spektral yanıtlarını barındırdığından dolayı, görüntü üzerindeki diğer materyallerin parazit etkisini ortadan kaldırmaktadır. Landsat ETM+, DPC görüntülerinde 4/3 bitki örtüsü için, 5/7 kil mineralleri için, 3/1 ferrik demir oksitler için ve 5/4 ise ferrus demir oksitler için geliştirilmiştir (Fraser ve Green, 1987; Pour ve diğ, 2013).

Bütün ana bileşen dönüşümlerinde (PCA, Crosta, DPC) iki girdi görüntü arasında pozitif (+) özvektör yüklenimleri (benzer sinyaller) ilgilenilen materyal ile görüntü üzerindeki diğer parazit etkiyi yaratan (DPC için) materyal arasındaki benzer spektral yanıtın varyansını açıklar. İki girdi görüntü arasındaki hem negatif (-) ve hem de pozitif (+) özvektör yüklenimleri (farklı sinyaller) her iki bileşenin eşsiz katkısını vurgular (Crosta ve diğ, 2003; Pour ve diğ, 2013).

Çalışma özelinde alterasyon minerallerinin belirlenmesinde DPC için kullanılan bant oranları Çizelge 3'de sunulmuştur. Çizelgedeki 3/2 oranı bitki örtüsünün DPC görüntülerinden maskelenmesi için kullanılmaktadır. Oranların belirlenmesinde ilgilenilen mineral ile diğerleri arasındaki spektral farklılıklardan yararlanılmıştır (Şekil 2).

Çizelge 3. Alterasyon mineralleri için kullanılan DPC bant oranları

DPC Bant Oranları	Mineraller	Referanslar
3/2; 6/5; 7/5; 7/6	Kaolenit	Bu çalışma
3/2; 6/5; 7/5; 7/8	Alunit	Bu çalışma
14/11; 13/14; 13/12	Kuvars (Silisleşme)	Bu çalışma

1.2.4.Mantıksal Operatör Algoritması (LOA)

Mantıksal operatör algoritması, interaktif veri dilini (IDL) kullanmaktadır ve minerallerin spektral absorpsiyon özelliklerinden faydalanarak oluşturulan bant oranları ve bunlar için kullanıcı tarafından belirlenen eşik değerleri ile istenilen minerallerin tespit edilmesinde ve haritalanmasında fayda sağlamaktadır (Mars ve diğ, 2015). Bütün LOA uygulamalarında bitki örtüleri, ASTER'in 3. bandındaki yüksek yansımaya değeri kullanılarak (B3/B2) maskelenmektedir. Aynı zamanda su ve kar gibi düşük yansımaya değerleri ile gürültülü pikseller ASTER'in 4. bandı kullanılarak uzaklaştırılmaktadır (Mars ve Rowan, 2010). Bu çalışmada sadece bitki örtüsü maskeleyen tercih edilmiş, gürültü etkisi minimum gürültü kesri uygulaması ile ön işlem sürecinde uzaklaştırılmıştır. Bant oranları ve bantlardaki eşik değerleri önceki çalışmalarda Kuprit-Nevada, Mountain Pass-Kaliforniya gibi bilinen bölgelerdeki ASTER ve AVIRIS arjillik ve fillik mineral haritalamalarından derleme yapılarak belirlenmiştir (Mars ve Rowan, 2010).

Bu çalışma özelinde benimsenen metodoloji, Mars ve Rowan, (2010) çalışmasındaki mineral ve kayaların eşik değerlerinin belirlenerek haritalanması ile benzerlikler sunmaktadır. Bu çalışma ile birlikte bant oranları dışında bant indisleri, Crosta, DPC gibi yöntemlerde LOA'ya eklenmiştir. Buna ilave olarak, eşik değeri belirleme işleminde kullanılan verilerin, normal dağılım yaptığı varsayımı yaklaşımı benimsenmiştir. Böylece, veri dağılımının ortalama değeri (μ) ile ikinci dereceden standart sapmasının (2σ) toplanması sonucu (yaklaşık verilerin % 2.5'i) eşik değeri elde edilmiştir. Yukarıda belirtilen mineral gruplarının tespiti için oluşturulan ve IDL dilinde yazılan bütün formüller ile formüllerin eşik değerleri, Çizelge 4 ve Çizelge 5'de sunulmuştur. Çizelge 4'de belirtilen bitki indisi bütün mantıksal operatör algoritmalarında ortaktır. Görüntülerde çarpıklık değeri pozitif olan (3'den büyük) verilerin karekökü, negatif olanların (-3'den küçük) 3. dereceden kuvveti alınmış ve böylelikle veri normal dağılıma yaklaştırılmıştır (Çizelge 4'de "*" ile gösterilen veriler). Propillitik alterasyon için oluşturulan LOA'da propillit (epidot-klorit) oranının eşik değeri Mars (2014)'den alınmıştır.

Çizelge 4. LOA için kullanılan eşik değerleri ve verilerin bazı istatistiksel parametreleri

IDL Kod	Kullanılan Girdiler	<i>Eşik Değeri</i>	<i>Basıklık</i>	<i>Çarpıklık</i>	<i>Eşik Değeri</i>	<i>Basıklık</i>	<i>Çarpıklık</i>
		Kayseri Bölgesi			Niğde Bölgesi		
B1#	Bitki İndisi	1.5500	-	-	2.1200	-	-
B2	Kaolenit İndis 1	1.3193	1.20	-0.57	1.3322	1.02	-0.22
B3	Kaolenit İndis 2	1.1240	0.61	-0.16	1.1073	0.60	-0.30
B4	Kaolenit Crosta	0.0142 (PC3)	0.87	0.31	0.0215	0.29	0.42
B5	Kaolenit DPC	0.0810 (-PC4)	0.05	0.26	0.0750	0.58	-0.18
B2	Alunit İndis 1	1.2320	1.19	0.26	1.0412*	0.35	0.10
B3	Alunit İndis 2	1.0936	1.15	-0.52	1.2282*	1.20	-0.10
B4	Alunit Oranı	0.9231	-0.02	-0.46	0.9207	0.54	-0.68
B5	Alunit Crosta	0.0144 (PC4)	0.88	-0.43	0.0140	1.15	-0.52
B6	Alunit DPC	0.0468 (-PC3)	1.85	-0.24	0.0742	1.40	-0.57
B2	Silis İndis 1	0.5217	1.20	0.60	0.5285	1.60	0.33
B3	Silis İndis 2	2.2370	1.30	0.37	2.2954	1.60	0.30
B4	Silis Oranı	1.0455	1.30	0.32	1.0518	1.68	0.69
B5	Silis Crosta	0.0096 (PC3)	1.10	0.13	0.0035	1.64	0.35
B6	Silis DPC	0.0135 (-PC2)	1.05	0.45	0.0132	1.69	0.19
B2	Serisit İndis 1	1.1104	0.72	0.50	1.0570*	0.85	0.04
B3	Serisit İndis 2	0.9900	-0.13	0.27	1.0060	0.75	-0.54
B4	Serisit Crosta	0.0086 (-PC4)	-0.08	0.06	0.0090	0.60	-0.05
B2	Ferrik Oran	3.1200*	2.30	0.03	3.2089*	1.24	-0.26
B3	Ferrik Crosta	0.0126 (PC4)	1.67	-0.08	0.0179	1.50	0.08
B2	Propillit İndis 1	1.0534*	1.78	1.08	1.0643*	1.46	1.30
B3	Propillit İndis 2	1.0651*	1.50	1.06	1.0775*	1.30	1.02
B4	Propillit Oranı	0.9990	-	-	0.9990	-	-
B5	Propillit Crosta	0.0132 (PC3)	1.15	0.94	0.0218	1.80	1.05

Eşik Değeri= $\mu+2\sigma$ **Çizelge 5.** Bireysel hidrotermal alterasyon mineralleri için oluşturulan mantıksal operatör algoritmaları (LOA)

Kaolenit	IDL dilinde yazılmış algoritmalar
Kayseri	(B1 le 1.55) and (B2 ge 1.3193) and (B3 ge 1.1240) and (B4 ge 0.0215) and (B5 ge 0.075)
Niğde	(B1 le 2.12) and (B2 ge 1.3322) and (B3 ge 1.1073) and (B4 ge 0.0142) and (B5 ge 0.081)
Alunit	
Kayseri	(B1 le 1.55) and (B2 ge 1.2320) and (B3 ge 1.0936) and (B4 ge 0.9231) and (B5 ge 0.0144) and (B6 ge 0.0468)
Niğde	(B1 le 2.12) and (B2 ge 1.0412) and (B3 ge 1.2282) and (B4 ge 0.9207) and (B5 ge 0.0140) and (B6 ge 0.0742)
Silisleşme	
Kayseri	(B1 le 1.55) and (B2 ge 0.5217) and (B3 ge 2.2370) and (B4 ge 1.0455) and (B5 ge 0.0096) and (B6 ge 0.0135)
Niğde	(B1 le 2.12) and (B2 ge 1.0412) and (B3 ge 2.2954) and (B4 ge 1.0518) and (B5 ge 0.0035) and (B6 ge 0.0132)
Serisit	
Kayseri	(B1 le 1.55) and (B2 ge 1.1104) and (B3 ge 0.9900) and (B4 ge 0.0086)
Niğde	(B1 le 2.12) and (B2 ge 1.0570) and (B3 ge 1.0060) and (B4 ge 0.0090)
Ferrik Oksit	
Kayseri	(B1 le 1.55) and (B2 ge 3.1200) and (B3 ge 0.0126) and (B5 gt B6) and (B7 gt B8)
Niğde	(B1 le 2.12) and (B2 ge 3.2089) and (B3 ge 0.0179) and (B5 gt B6) and (B7 gt B8)
Propillit	
Kayseri	(B1 le 1.55) and (B2 ge 1.0534) and (B3 ge 1.0651) and (B4 le 0.999) and (B5 ge 0.0132) and (B5 gt B6) and (B6 gt B7) and (B7 gt B8) and (B9 gt B8)
Niğde	(B1 le 2.12) and (B2 ge 1.0643) and (B3 ge 1.0775) and (B4 le 0.999) and (B5 ge 0.0218) and (B5 gt B6) and (B6 gt B7) and (B7 gt B8) and (B9 gt B8)

(B5 gt B6), (B6 gt B7), (B7 gt B8), (B9 gt B8) ASTER'in gerçek bantlarıdır.

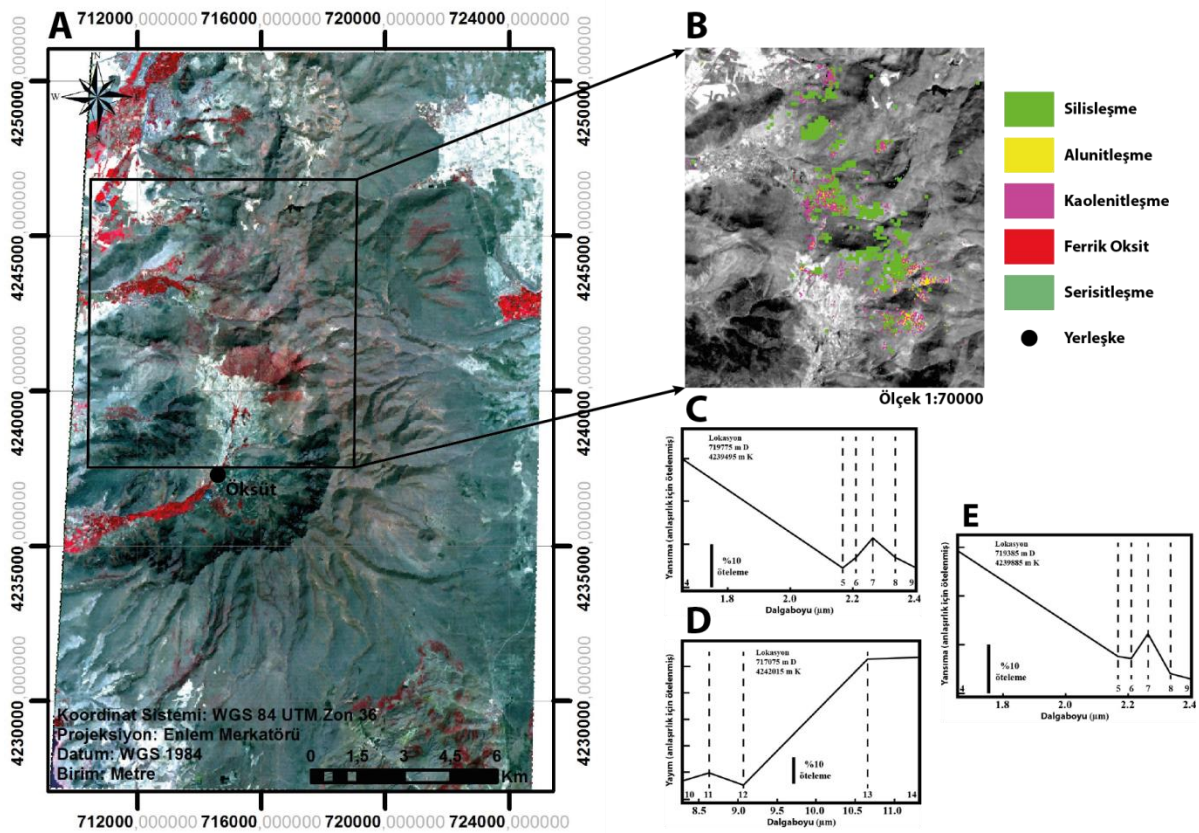
Formüldeki ifadeler; le: küçük eşittir, ge: büyük eşittir, gt: büyüktür.

Yukarıda belirtilen Crosta ve DPC tekniklerinde, yeni oluşturulan veri kümesinin PC bantlarının seçimleri için özvektörlerin ve özdeğerlerin incelenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, ilgilenilen mineralin maksimum yansıma yaptığı spektral bandın özvektörü pozitif yüklenmeli ve emilim yaptığı spektral bandın özvektörü ise negatif yüklenmelidir. Pozitif ve negatif olan PC'nin özdeğerleri yeteri kadar yüksek olmalıdır. Örneğin; Niğde bölgesi görüntüsünde, alunit için uygulanan Crosta tekniğinde 1-3-5-7 bant kombinasyonu için B5'nin özvektörü - 0.7332, B7'nin özvektörü ise + 0.6784 çıkmıştır. B1 ve B3 sıfıra yakın değerler sunmaktadır. Dolayısıyla, B5'de emilim ve B7'de yüksek yansıma yapan alunit minerali için PC4 bandı seçilmiştir. Ek olarak eğer bantlardaki özvektör yüklenimleri istenildiği gibi (örneğin PC4 için +, - yüklenimi) çıkmamış ise, bant "-1" ile çarpılarak istenen sonuç elde edilebilir.

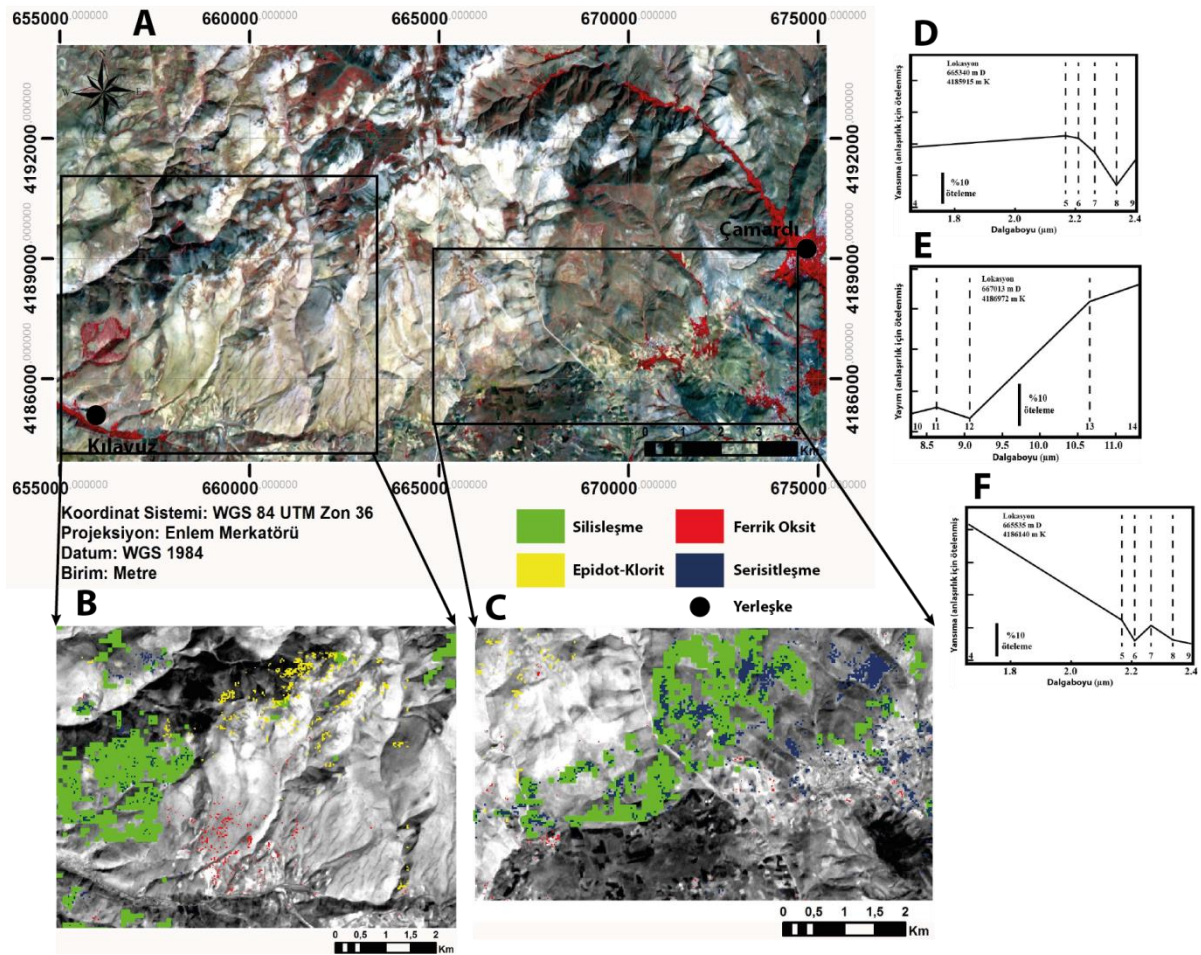
1.2.5. Görüntülerin Birleştirilmesi

Yukarıda belirtilen bütün alterasyon türü minerallerinin hepsinin veya birkaçının bir arada bulunması, o bölgeyi potansiyel metal arama bölgesi olarak belirlemeye yol açabilir. İncelenen görüntüler üzerinde çıkan her piksel detaylı olarak mümkünse 1:25000'lik detay jeoloji haritası yardımıyla incelenmelidir. Özellikle, volkanik arazilerde birbirine komşu bulunan mafik (bazalt) ve ortaç (andezit) magmatik kayalara (epitermal sistemler) ve bölgede çok rastlanmasından dolayı magmatik sokulumlar ile kontakta olan mermer ve gnays gibi metamorfik kayalara (skarnlaşma) dikkat etmek gereklidir. Bu bağlamda, bölgedeki genç Miyosen-Günümüz sedimanter kayalarına bakılmamaktadır.

Niğde ve Kayseri bölgelerinde yapılmış detaylı inceleme sonucu (1) Kayseri-Öksüt (2) Niğde-Çamardı (3) Niğde-Kılavuz (4) Niğde-Üçkapılı (5) Niğde-Gümüşler (6) Niğde-Tepeköy ve (7) Niğde-Melendiz Dağı bölgelerinde farklı tip alterasyonlar tespit edilmiştir. Öksüt bölgesinde özellikle yoğun asitik alterasyon ürünleri (alunit-kaolenit-silisleşme) gözlenmektedir (Şekil 4), Çamardı ve Kılavuz bölgesinde ise yoğun silisleşmeye, serisit, yer yer klorit ve/veya epidot ve ferrik oksitler eşlik etmektedir (Şekil 5). Tepeköy bölgesinde yoğun kaolenit ve alunit minerallerine yer yer serisit-muskovit ve silisleşme eşlik etmektedir. Melendiz dağının eteklerinde arjillik alterasyonlar (serisit-belki illit-smektit ve yer yer kaolenit) yaygındır. Bütün bu ön bulguların tespit edildiği bölgelerin arazi ortamında incelenmesi (jeokimya-jeofizik çalışmaları gibi) ve alterasyonların kökeninin araştırılması, bu bölgelerde metalik zenginleşmelerin olup olmadığına ortaya koyacaktır.



Şekil 4. Kayseri-Öksüt bölgesi alterasyon haritası a) Öksüt bölgesinin ASTER RGB321 görüntüsü b) Öksüt bölgesinin B3 görüntüsü üzerindeki alterasyonlarının dağılımı c) Alunit d) Kuvars e) Kaolenit ASTER görüntü spektralleri



Şekil 5. Niğde-Çamardı bölgesinin alterasyon haritası a) Çamardı-Kılavuz bölgesinin ASTER RGB321 görüntüsü b) Kılavuz bölgesi ve c) Çamardı bölgesinin B3 görüntüsü üzerindeki alterasyonlarının dağılımı d) Klorit e) Kuvars f) Serisit-Muskovit ASTER görüntü spektralleri

2.SONUÇLAR

Uzaktan algılama teknikleri jeoloji biliminde litoloji ve hidrotermal alterasyonların haritalanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerin mantıksal operatör algoritmasında her mineraller için eşik değeri belirleyerek bir araya getirilmesi birden çok değişkenin aynı anda işlenerek değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemin en önemli adımı, eşik değeri belirleme safhasıdır. Çalışma özetindeki ASTER verilerinin çarpıklık ve basıklık değerlerinin anormal sapmalar göstermemesi veya gerekli düzenlemeler yapılması sonucu, verilerin normal dağılım gösterdiği varsayımı kabul edilmiş ve buna göre eşik değerleri belirlenmiştir. Eşik değeri belirleme safhaları ileriki farklı çalışmalarda geliştirilebileceği açıktır. Sonuç olarak, bu çalışma ile daha önceden geliştirilmiş LOA tekniğinde kullanılan bant oranlarına; bant indisi, Crosta ve DPC gibi tekniklerde eklenmiş ve veri zenginliği oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

Akça M. D., Doğan S., 2002, Sayısal Görüntülerde Ana Bileşen Dönüşümü, *Harita Dergisi*, 129, 1-15.

Boloki M., Poormirzaee R., 2010, Using ASTER Image Processing for Hydrothermal Alteration and Key Alteration Minerals Mapping, *3rd WSEAS Int. Conference on Geography and Geology*, Corfu Island, Greece, syf: 77-82.

Crosta A. P., De Souza Filho C. R., Azevedo F., Brodie C., 2003, Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis, *Int. Journal Remote Sensing*, 24(21), 4233-4240.

Farrell, M. D. ve Mersereau, R. M., 2005, On the Impact of PCA Dimension Reduction for Hyperspectral Detection of Difficult Targets, *IEEE Geosci. and Remote Sensing. Letters*, 2(2) 192-195.

- Fraser S. J., Green A. A.**, 1987, A software defoliant for geological analysis of band ratios, *Int. Journal Remote Sensing*, 8(3), 525-532.
- Gabr S., Ghulam A., Kusky T.**, 2010, Detecting areas of high-potential gold mineralization using ASTER data, *Ore Geology Reviews*, 38, 59-69.
- John, D.A., Sisson, T.W., Breit, G.N., Rey, R.O., and Vallance, J.W.**, 2008, Characteristics, extent and origin of hydrothermal alteration at Mount Rainier Volcano, Cascades Arc, USA: Implications for debris-flow hazards and mineral deposits: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 175, 289-314.
- Khaleghi M., Ranjbar H., Shahabpour J., Honarmand M.**, 2014, Spectral angle mapping, spectral information divergence and principal component analysis of the ASTER SWIR data for exploration of porphyry copper mineralization in the Sarduiyed area, Kerman province, Iran, *Appl Geomat*, 8, 49-58.
- Kudamnya E. A., Andongma W. T., Osumeje J. O.**, 2014, Hydrothermal Mapping of Maru Schist Belt, North-Western Nigeria Using Remote Sensing Technique, *Int. Journal of Civil Engineering*, 3(1), 59-66.
- Loughlin W.**, 1991, Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 1163-1169.
- Mars J. C., Rowan L. C.**, 2010, Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals, *Remote Sensing of Environment*, 114, 2011-2025.
- Mars J. C.**, 2014, Hydrothermal Alteration Maps of the Central and Southern Basin and Range Province of the United States Compiled From Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data, *USGS Scientific Investigation Report*, 1139.
- Mars J. C., Hubbard B., Pieri D., Linick J.**, 2015, Alteration, slope-classified alteration, and potential lahar inundation maps of volcanoes from the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer volcanoes archive, *USGS Scientific Investigation Report*, 5035.
- Moghtaderi A., Moore F., Mohammadzadeh A.**, 2007, The application of advanced space-borne thermal emission and reflection (ASTER) radiometer data in the detection of alteration in the Chadormalu paleocrater, Bafg region, Central Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 238-252.
- Pour A. M., Hashim M.**, 2012 The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposit, *Ore Geology Reviews*, 44, 1-9.
- Pour A. B., Hashim M., Van Genderen J.**, 2013, Detection of hydrothermal alteration zones in a tropical region using satellite remote sensing data: Bau goldfield, Sarawak, Malaysia, *Ore Geology Reviews*, 23, 181-196.
- Pour A. B., Ali A.**, 2014, Lithological mapping and hydrothermal alteration using Landsat 8 data: a case study in ariab mining district, Red Sea hills, Sudan, *Int. Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 199-208.
- Rowan L. C., Mars J. C.**, 2003, Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaced Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data, *Remote Sensing of Environment*, 84, 350-366.
- Singh A., Harrison A.**, 2010, Standardized principal components, *Int. Journal of Remote Sensing*, 6(6), 883-896.
- Tangestani M. H., Moore F.**, 2001, Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping: a case study, Meiduk area, Kerman, Iran, *Canadian Journal of Remote Sensing* 27, 176-181.
- Yamaguchi Y., Naito C.**, 2003, Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands, *Int. J. Remote Sensing*, 24(22), 4311-4323.