



Landsat 7 ETM+ ve ASTER Görüntüleri ile Yusufeli-Tekkale (Artvin-KD Türkiye) Çevresindeki Hidrotermal Alterasyonların İncelenmesi

Investigation of the hydrothermal alterations by using Landsat 7 ETM+ and ASTER images in Tekkale-Yusufeli (Artvin-NE Turkey) surroundings

Önder KAYADİBİ

MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Uzaktan Algulama ve CBS Koordinatörlüğü, 06800 ANKARA (e-mail: okayadibi@gmail.com)

ÖZ

İnceleme alanı Doğu Pontid metalojenik kuşağının doğusunda yer alır. Doğu Pontid metalojenik kuşağı volkanik masif sülfür (VMS), porfiri Cu-Mo, epitermal, skarn, kromit gibi cevher oluşumları açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, inceleme alanında VMS tipi cevher oluşumları ile ilişkili hidrotermal alterasyon özellikleri, Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntüleri ile ASD Fieldspec Pro spektrometre kullanılarak incelenmiştir. Hidrotermal alterasyonları belirlemek için bant oranlama metodu her iki görüntüye uygulanmıştır. Ayrıca Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü Crosta Tekniği ve ASTER görüntüsü Eşlenen Filtreleme (MF) metotları kullanılarak analiz edilmiş ve bölgedeki cevher oluşumları ile ilişkili arjilik alterasyon, silisleşme, demir oksitleşme gibi hidrotermal alterasyon alanları haritalanmıştır. Görüntü analizleri ile elde edilen sonuçlar, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımıyla değerlendirilerek özellikle VMS tipi cevher oluşumları açısından önemli olan hidrotermal alterasyonların potansiyel hedef alanları belirlenmiştir. Özellikle Üst Kretase yaşlı dasitik volkanik birimlerde yaygın arjilik alterasyon alanları ayırt edilmiştir. Ayrıca bazı bölgelerde alunite/kaolinit ve silisleşme anomali alanları, arjilik alterasyon ile alansal olarak ilişkili ortaya çıkmıştır. Belirlenen hidrotermal alterasyonların yaklaşık KD-GB doğrultusunda dağılımı karakteristik bir özellik olarak görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Landsat 7 ETM+, ASTER, bant oranlama, Crosta Tekniği, Eşlenen Filtreleme (MF), mineral haritalama, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Yusufeli-Tekkale (Artvin), hidrotermal alterasyon, volkanik masif sülfür (VMS)

ABSTRACT

The study area is located in the eastern part of Pontides metallogenic belt. The metallogenic belt of the eastern Pontides has a significant potential in terms of ore formations such as volcanic massive sulphide (VMS), porphyry Cu-Mo, epithermal, skarn, chromite. In this study, hydrothermal alteration features associated with

VMS-type ore formations have investigated by using Landsat 7 ETM+, ASTER images and ASD Fieldspec Pro spektrometer. To determine the hydrothermal alteration minerals, band ratio method have been applied to both images. Also, Landsat 7 ETM + and ASTER satellite images have been analyzed by using respectively Crosta Technique and matched filtered (MF) methods, and the hydrothermal alteration zones associated with the ore formations such as argillic alteration, silicification, ironoxide in region have been mapped. The results obtained through image analysis have been evaluated by using especially Geographic Information Systems (GIS) environment and at last, the potential target areas of hydrothermal alterations to be important in term of VMS-type ore deposits have been determined. In particular, an extensive areas of argillic alteration have been distinguished on Upper Cretaceous aged dacitic volcanic units. Also, the anomalies areas of alunite/kaolinite and silicification have appeared as spatially associated with argillic alteration in some region. The direction of approximately NE-SW of determined hydrothermal alterations have been seen as a characteristic feature.

Key words: *Landsat 7 ETM+, ASTER, band ratio, Crosta technique, Matched Filtering (MF), mineral mapping, Geographic Information Systems (GIS), Yusufeli-Tekkale (Artvin), hydrothermal alterations, volcanic massive sulphide (VMS)*

GİRİŞ

1972 yılında ilk Landsat uydusunun fırlatılmasından bugüne kadar, uzaktan algılama yapabilen ASTER, ALI, Spot, Rapideye, Quickbird ve Ikonos gibi birçok multispektral algılayıcı ve uydu görüntülerinden jeoloji, bitki örtüsü, tarım ve orman gibi farklı disiplinlerde yararlanılmıştır (Abrams, vd., 1991; Kruse vd., 1993; Rowan ve Mars, 2003; Hubbard ve Crowley, 2005; Crosta ve Moore, 1989; Goodenough vd., 2003; Huang ve Siegert, 2006; Binelli-Chahine vd., 1990; Vaudour vd., 2014; Wang vd., 2004). Ayrıca AVIRIS, Hyperion, HyMap gibi algılayıcı ve uydulardan elde edilen hiperspektral görüntüler ise, 1980'lerin başlarından itibaren birçok uygulamada ve özellikle mineral haritalama çalışmalarında giderek artan bir önemle kullanılmaktadır (Crosta vd., 1998; Rowan vd., 2000; Kruse vd., 1993; Zadeh vd., 2014; Hubbard ve Crowley, 2005; Bedini, 2011)

Cevher oluşum tiplerine göre cevherleşmeler ile ilişkili olarak değişik hidrotermal alterasyon mineralleri, tipleri ve zonları gelişebilmektedir (Pirajno, 2009; Seedorf vd., 2005). Bir maden arama çalışmasında cevher oluşumları ile ilişkili hidrotermal alterasyon minerallerini, tiplerini ve zonlarını belirlemek,

yenı maden yataklarının bulunmasında ve cevherleşmenin oluşum tipinin belirlenmesinde önemli aşamalardan biridir. Günümüzde multispektral ve hiperspektral uydu görüntüleri, hidrotermal alterasyon alanlarını belirlemek ve haritalamak amacıyla zaman, emek ve maliyet açısından oldukça yararlı sonuçlar vermektedir.

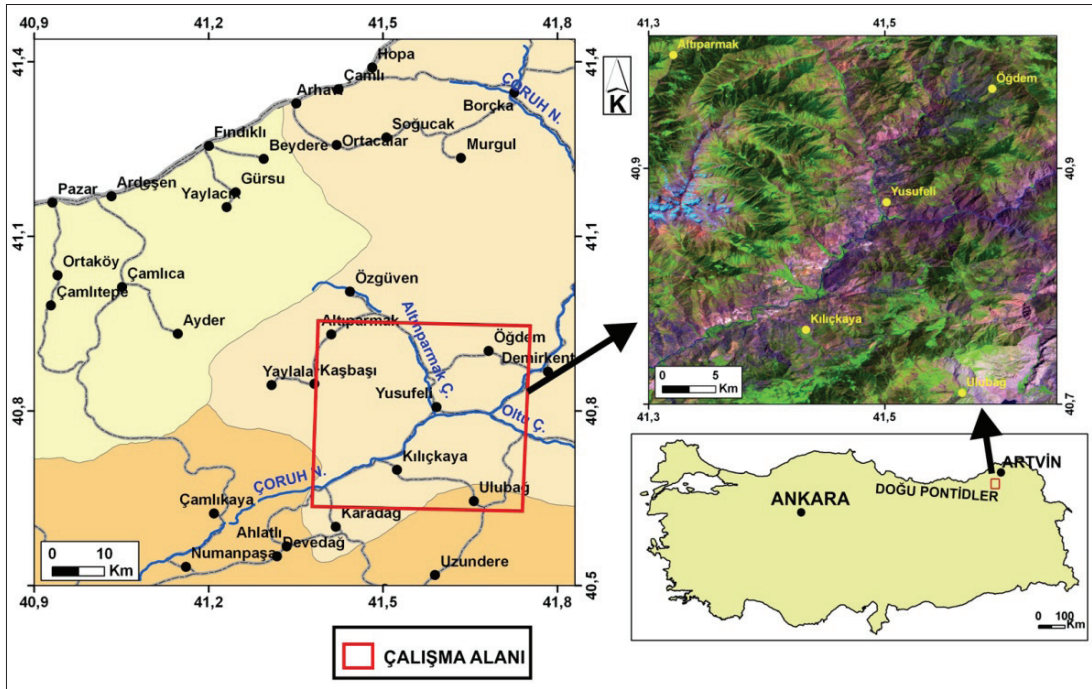
Doğu Pontid metalojenik kuşağı volkanik masif sülfid (VMS) (Schneider vd., 1988; Tüysüz, 1995 ve 2000; Çiftahan ve O'Brien, 1998; Gökçe ve Spiro, 2002; Abdioğlu ve Arslan, 2008; Leitch, 1981), porfiri Cu-Mo (Aslaner vd., 1995; Yalçınalp, 1992 ve 1995; Akçay ve Gündüz, 2004; Akçay vd., 1998), epitermal altın (Tüysüz vd., 1995; Tüysüz ve Akçay, 2000), kromit (Kolaylı vd., 2007; Uysal vd., 2007) ve skarn (Sipahi, 2011; Sadıklar vd., 2007) gibi farklı birçok tipteki cevher oluşumlarının bulunduğu önemli bir bölgedir. İnceleme alanı ise Doğu Pontid metalojenik kuşağının doğusunda, birçok VMS tipi cevherleşmelerin oluştuğu bu kuşağın kuzey zonunda yer almaktadır (Şekil 1). Bölgedeki hidrotermal alterasyon özellikleri daha önce multispektral uydu görüntüleri ile incelenmiştir. Bu çalışmada inceleme alanındaki cevher oluşumları ile ilişkili hidrotermal alterasyon özellikleri Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntüleri

ile ASD Fieldspec Pro spektrometre kullanılarak incelenmiştir. Uydu görüntülerinin analizleri ile elde edilen hidrotermal alterasyon haritaları, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında değerlendirilmiş ve özellikle VMS tipi cevher oluşumları açısından önemli olan hidrotermal alterasyonların potansiyel hedef alanları belirli skor değerlerinde belirlenmiştir.

MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada, bölgedeki cevher oluşumları ile ilişkili hidrotermal alterasyonları alanlarını ayırt etmek ve haritalamak için Landsat 7 ETM+ ve ASTER uydu görüntüleri kullanılmıştır. Landsat 7 ETM+ görüntüsü Global Land Cover Facility'den elde edilmiştir (GLCF, 2014). Bu görüntünün yörünge/satır numarası 172/32 olup elde edilme tarihi Temmuz 2000'dir. Görüntü analizlerinde kullanılan diğer iki adet ASTER görüntüsü ise Nisan 2002 ve Eylül 2004 tarihlerinde elde edilmiştir.

Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntülerinin genel özelliklerine ait özet bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Landsat 7 ETM+ görüntülerinin, 0.45-2.35 μm dalga boyunda altı adet spektral bantı (30 m. alansal çözünürlük) ve bir adet pankromatik bantı (0.52-0.90 μm) (15 m. alansal çözünürlük) bulunmaktadır (USGS, 2014). Termal kızılötesi bölgedeki (10.4-12.50 μm) bant ise 60 m. alansal çözünürlüğe sahiptir (USGS, 2014). ASTER görüntülerinin görünür-yakın kızılötesi (VNIR) bölgede (0.52-0.85 μm) üç adet spektral bantı ve bir adet geriye bakış bantı, kısa dalga kızılötesi (SWIR) bölgede (1.600-2.430 μm) altı adet spektral bantı ve termal kızıl ötesi (TIR) bölgede (8.125-11.65 μm) beş adet spektral bantı bulunmaktadır (Fujisada vd., 1998; Yamaguchi vd., 1998). VNIR bantları 15 m., SWIR bantları 30 m. ve TIR bantları 90 m. alansal çözünürlüğe sahiptir (Fujisada vd., 1998; Yamaguchi vd., 1998).



Şekil 1 Çalışma alanının yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area

Bant oranlama, temel bileşenler analizi (PCA), sınıflandırma, dekorelasyon gemesi gibi metotlar multispektral uydu görüntülerini analiz etmek ve bilgi üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Landsat 7 ETM+ görüntüsü, bant oranlama ve Crosta tekniği uygulanarak analiz edilmiştir. Ayrıca bant oranlama metodu, ASTER görüntüsünün analizlerinde de kullanılmıştır.

Günümüzde Spektral Açık Haritalaması (SAM-Spectral Angle Mapper), Spektral Özellik Eşlemesi (SFF-Spectral Feature Fitting), Doğrusal Spektral Karıştırma (LSU-Linear Spectral Unmixing), Eşlenen Filtreleme (MF-Matched Filtering) ve Karışım Ayarlı Eşlenen Filtreleme (MTMF-Mixture Tuned Matched Filtering) gibi spektral haritalama metotları, hiperspektral görüntülerden bilgi elde etmek

Çizelge 1. Landsat 7 ETM+ (USGS, 2014) ve ASTER (Fujisada vd., 1998; Yamaguchi vd., 1998) görüntülerinin özellikleri

Table 1. *The properties of Landsat 7 ETM+ (USGS, 2014) ve ASTER (Fujisada vd., 1998; Yamaguchi vd., 1998)*

Sensör	Landsat 7 ETM+		ASTER	
	ALT SİSTEM		VNIR	SWIR
Spektral	Bant 1: 0.45-0.52	Bant 1: 0.520 -0.600	Bant 4: 1.600 – 1.700	Bant 10: 8.125-8.475
Bantlar	Bant 2: 0.53-0.61	Bant 2: 0.630- 0.690	Bant 5: 2.145 – 2.185	Bant 11: 8.475-8.825
ve	Bant 3: 0.63-0.69	Bant 3N: 0.780-0.860	Bant 6: 2.185– 2.225	Bant 12: 8.925-9.275
Genişlikleri	Bant 4: 0.78-0.90	Bant 3B: 0.780 -0.860	Bant 7: 2.235– 2.285	Bant 13: 10.25-10.95
(µm)	Bant 5: 1.55-1.75		Bant 8: 2.295– 2.365	Bant 14: 10.95-11.65
	Bant 6 (TIR): 10.4-12.5		Bant 9: 2.360 – 2.430	
	Bant 7: 2.09-2.35			
	Pan: 0.52-0.90			
Alansal	30	15	30	90
Çözünürlük	TIR: 60			
(m)	Pan: 15			
Görüntü Genişliği (km2)	185x170		60x60	

için kullanılmaktadır (Shippert, 2003). Ayrıca bu spektral haritalama metotları, mineralleri belirlemek için multispektral görüntüleme de uygulanarak kullanılabilir. Bu çalışmada ise Eşlenen Filtreleme (MF) metodu, inceleme alanındaki hidrotermal alterasyon minerallerini belirlemek için ASTER görüntüsüne uygulanmıştır.

Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntüleri ile belirlenen hidrotermal alterasyon alanlarından alınan örneklerin, laboratuarda ASD Fieldspec Pro spektrometre ile spektraları ölçülmüş ve tanımlamaları yapılmıştır. ASD Fieldspec Pro spektrometre 350-2500 nm dalga boyu aralığında ölçüm yapar (ASD, 2002).

Günümüzde coğrafi bilgi sistemleri (CBS), birçok değişik verinin birleştirilmesinde ve analiz edilmesinde oldukça yararlı araçlar sağlamaktadır (Bonham-Carter, 1994). Coğrafi bilgi sistemlerinde verileri birleştirmek, alansal olarak analiz etmek ve modellemek için birçok metod kullanılmakta olup bu metotlar bilgi-kullanan ve veri-kullanan yaklaşımlar olarak başlıca iki gruba ayrılmaktadır (Bonham-Carter, 1994; Porwal vd., 2003; Carranza, 2009). Bu çalışmada Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntülerinin analizleri ile elde edilen hidrotermal alterasyon haritalarının veri katmanları, CBS ortamında birleştirilmiş ve değerlendirilmiştir.

İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanı Doğu Pontid metalojenik kuşağının doğusunda yer alan Artvin ve çevresi, volkanik masif sülfür (VMS) tipi cevherleşmeler açısından önemlidir (Schneider vd., 1988; Tüysüz, 1995 ve 2000; Çiftehane ve O'Brien, 1998; Gökçe ve Spiro, 2002; Abdioğlu ve Arslan, 2008; Leitch, 1981). İnceleme alanının kuzeyinde bulunan Murgul (Schneider vd., 1988; Tüysüz, 2000), Ceratepe (Çiftehane ve O'Brien, 1998), Çakmakkaya ve

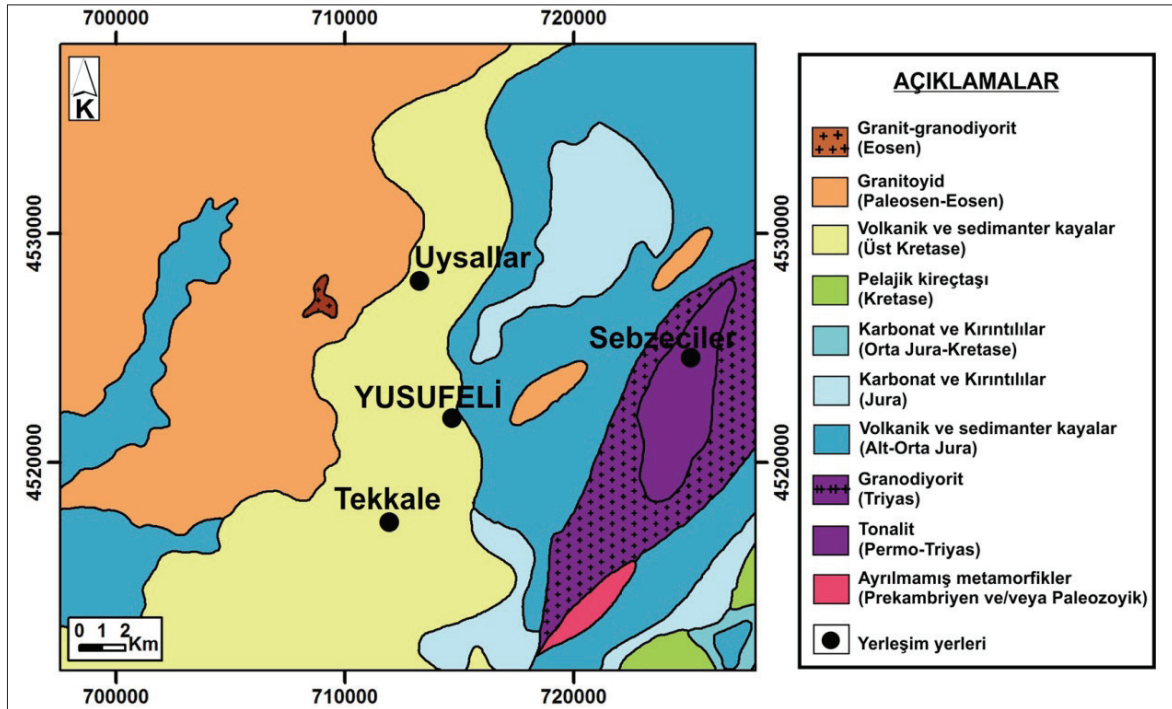
Damarköy (Gökçe ve Spiro, 2002) bölgede bilinen önemli cevher oluşumlarıdır.

İnceleme alanının temelini Prekambriyen ve/veya Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler oluşturmaktadır (Şekil 2). Bu birimleri, Permo-Triyas yaşlı tonalit ve Triyas yaşlı granodiyoritler keser. Tonalit ve granodiyoritler inceleme alanının doğu ve güneydoğusunda mostra vermektedir. Bu birimlerin üzerine Yusufeli'nin doğu ve batısında yüzeyleyen Alt-Orta Jura yaşlı volkano-sedimanter birimler, Jura yaşlı karbonat ve kırıntılılar ile Orta Jura-Kretase yaşlı karbonat ve kırıntılı kayaçlar gelir. Kretase yaşlı pelajik kireçtaşları, inceleme alanının güneydoğusunda sınırlı bir alanda görülür.

Doğu Pontidlerde VMS tipi cevherleşmeler açısından önemli olan Üst Kretase yaşlı dasitik birimleri de kapsayan volkano-sedimanter birimler Tekkale, Yusufeli ve Uysallar çevresinde yaklaşık KD-GB doğrultulu olarak yüzeylemektedir. Volkano-sedimanter birimleri Paleosen-Eosen yaşlı granitoidler keser. Bu birimler özellikle Yusufeli'nin batısında geniş yayılım göstermektedir. Çalışma alanındaki en genç olarak Eosen yaşlı granit ve granodiyorit birimleri görülmektedir.

LANDSAT 7 ETM+ ve ASTER GÖRÜNTÜLERİ ile HİDROTERMAL ALTERASYON MİNERALLERİNİ HARİTALAMA

Doğu Pontidlerin kuzey zonunda VMS tipi cevher oluşumları açısından önemli bir potansiyele sahip olan Üst Kretase yaşlı dasitik volkanik birimler, inceleme alanında geniş bir alanda mostra vermektedir. Özellikle Uysallar, Yusufeli, Tekkale ve çevresinde yüzeylediği görülmektedir. Bu birimler cevher oluşumları ile ilişkili yaygın hidrotermal alterasyona maruz kalmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (MTA, 2002'den alınmıştır)
 Figure 2. Geological map of the study area (from MTA, 2002)

Bölgedeki hidrotermal alterasyon özellikleri, daha önceki çalışmalarda uydu verileri kullanılarak detaylı olarak incelenmemiştir. Bölgedeki cevher oluşumları ile ilişkili arjilik alterasyon, silisleşme, demiroksitleşme vb. hidrotermal alterasyon alanları ve alansal ilişkileri Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntüleri kullanılarak belirlenmiş ve haritalanmıştır.

Landsat 7 ETM+ Görüntüsü ile Hidrotermal Alterasyon Minerallerini Haritalama

Bölgedeki cevher oluşumları ile ilişkili hidrotermal alterasyon alanları ilk olarak Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü kullanılarak incelenmiştir. Minerallerdeki Fe^{+3} , Fe^{+2} ve OH^- (hidroksil) içeriği sebebiyle oluşan absorpsiyon özellikleri, Landsat görüntülerinde belirli spektral bantlara karşılık gelmektedir. Dolayısıyla Landsat uydu görüntülerinin bu spektral bantları, kil mineralleri

gibi hidroksil (OH^-) içeren mineralleri, hematit ve götit gibi Fe^{+3} içeren demiroksit/hidroksit minerallerini ve Fe^{+2} içeren mineralleri belirlemeye olanak sağlamaktadır (Van der Meer vd., 2012; Ferrier vd., 2002; Sabins, 1999; Ruiz-Armenta ve Prol-Ledesma, 1998). Bu çalışmada Landsat 7 ETM+ görüntüsü, hidrotermal alterasyon minerallerini belirlemek için bu görüntü ile en yaygın kullanılan iki metod olan bant oranlama ve Crosta Tekniği uygulanarak analiz edilmiştir.

Landsat 7 ETM+ görüntüsü ile bant oranlama

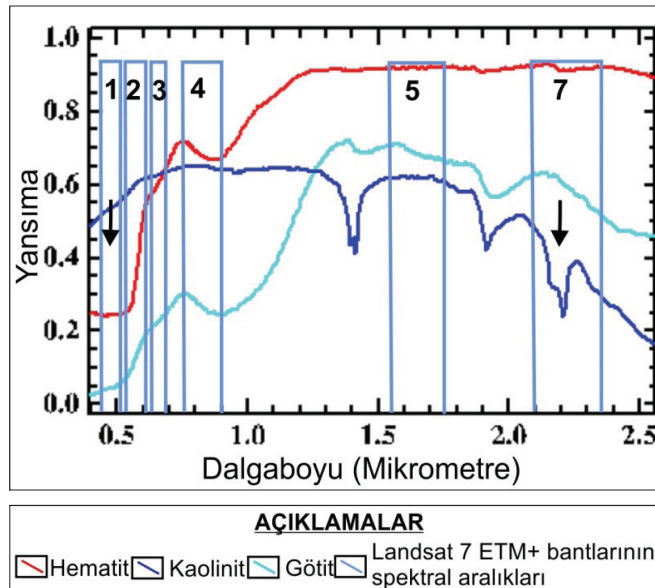
İnceleme alanındaki Fe^{+3} içeren (demiroksit/hidroksit mineralleri) ve hidroksil (OH^-) içeren (kil mineralleri) mineralleri belirlemek için Landsat 7 ETM+ görüntüsü ilk olarak bant oranlama metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Bant oranlama metodu, Landsat görüntüleri ile hidrotermal alterasyon alanlarını belirlemek için

birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanmıştır (Ruiz-Armenta ve Prol-Ledesma, 1998; Van der Meer vd., 2012, Ferrier vd., 2002).

Hematit, götit vb. Fe^{+3} içeren demiroksit/hidroksit minerallerinin, yaklaşık 0.47-0.5 μm dalga boyunda (Hunt ve Ashley, 1979; Vincent, 1997; Clark, 1999; Hunt, 1977) tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri, Landsat 7 ETM+ görüntülerinin 1. bantına (0.45-0.52 μm) karşılık gelir (Şekil 3). Kil mineralleri (kaolinit, illit vb.) gibi OH^- (hidroksil) içeren minerallerin yaklaşık 2.2 μm dalga boyundaki tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri (Clark, 1999; Hauff, 2002) ise Landsat 7 ETM+ görüntülerinin 7. bantında (2.09-2.35 μm) görülmektedir (Şekil 3). Dolayısıyla Fe^{+3} ve OH^- (hidroksil) içeren mineral ve/veya mineral gruplarındaki bu tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri esas alınarak Landsat 7 ETM+ görüntülerinin ilgili spektral bantları kullanılarak belirlenebilir.

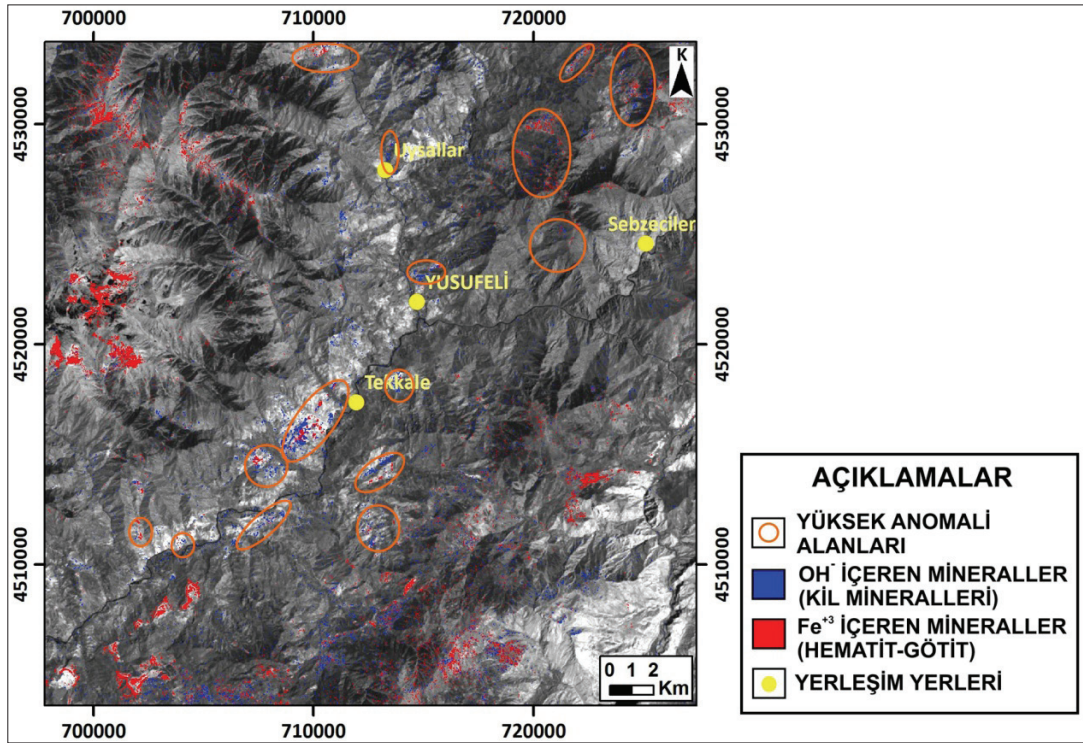
Bant oranlama uygulamasında öncelikle Landsat 7 ETM+ görüntüsünün termal bant dışındaki diğer altı adet spektral bantı birleştirilmiştir. Daha sonra UTM Zon 37 ve Datum WGS 84 koordinat sistemine göre geometrik olarak düzeltilmiştir. İnceleme alanını kapsayan bölüm tüm görüntüden kesilmiştir. Ayrıca bant oranlama işleminde bitki örtüsü, su vb. alanlar maskelenerek işlem dışında bırakılmıştır.

Yukarıda açıklanan Fe^{+3} içeren (demiroksit/hidroksit mineralleri) ve hidroksil (OH^-) içeren (kil mineralleri) minerallerin tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri esas alınarak inceleme alanındaki hematit ve götit gibi Fe^{+3} içeren mineralleri (demiroksit/hidroksit) belirlemek için 3/1 bant oranlaması uygulanmıştır (Şekil 4). Kil mineralleri (kaolinit, illit vb.) gibi OH^- içeren mineraller ise 5/7 bant oranlaması uygulanarak haritalanmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. Landsat 7 ETM+ görüntüsünün spektral bant aralıkları (μm) ve USGS Spektral Kütüphanesi'ndeki hematit, götit ve kaolinit minerallerinin spektralleri

Figure 3. Spectral range (μm) of Landsat 7 ETM+ bands and the spectra of hematite, goethite and kaolinite minerals in the USGS Spectral Library



Şekil 4. Landsat 7 ETM+ görüntüsünün bant oranlamaları sonucunda belirlenen hidrotermal alterasyon anomali alanları (OH⁻ içeren mineraller (kil mineralleri): 5/7 bant oranlaması; Fe⁺³ içeren mineraller (demiroksit/hidroksit): 3/1 bant oranlaması)

Figure 4. Anomaly areas of hydrothermal alteration determined as a result of band ratios of Landsat 7 ETM+ image (Minerals containing OH⁻ (clay minerals): 5/7-band ratio; Minerals containing Fe⁺³ (ironoxide/hydroxide): 3/1-band ratio)

Landstat 7 ETM+ görüntüsünün bant oranlama metodu ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde Tekkale güneyi, Yusufeli ve Uysallar çevresinde Üst Kretase yaşlı dastik volkanik birimlerde yaygın şekilde killeşme (arjilik alterasyon) ve demiroksitleşme/hidroksitleşme alanları belirlenmiştir. Ayrıca killeşme ve demiroksitleşme/hidroksitleşme alanlarının Tekkale'nin kuzeybatı ve güneydoğusunda Alt-Orta Jura yaşlı volkanik birimlerde yaygın olduğu görülmüştür.

Landsat 7 ETM+ görüntüsü ile Crosta Tekniği

Temel bileşenler analizi (PCA), multispektral görüntülerden bilgi elde etmek kullanılan diğer bir metottür. Önceki birçok çalışmada PCA metodu Landsat ve ASTER gibi multispektral görüntülerden

bilgi üretmek için kullanılmıştır (Ruiz-Armenta ve Prol-Ledesma, 1988; Tangestani ve Moore, 2002; Tangestani vd., 2008; Liu vd., 2011; Crosta ve Filho, 2003; Zhang vd., 2007). Crosta ve Moore (1989), “özellik yönelimli temel bileşenleri seçme” olarak tanımladıkları temel bileşenler analizin farklı bir yaklaşımını uygulamıştır. Loughlin (1991) tarafından Crosta Tekniği olarak adlandırılan metod, hidrotermal alterasyon minerallerini belirlemek için önceki birçok çalışmada Landsat uydu görüntülerine uygulanmıştır (Tangestani ve Moore, 2002; Liu vd., 2011; Loughlin, 1991).

Bu çalışmada inceleme alanındaki hidrotermal alterasyon minerallerini belirlemek için ikinci olarak Landsat 7 ETM+ görüntüsüne Crosta Tekniği yaklaşımı kullanılmıştır. Crosta Tekniği

Fe⁺³ içeren (demiroksit/hidroksit mineralleri) ve hidroksil (OH⁻) içeren (kil mineralleri) mineralleri belirlemek için Landsat 7 ETM+ görüntüsünün farklı bant grupları ile iki farklı şekilde uygulanmıştır.

Crosta Tekniğinin ilk uygulamasında, Fe⁺³ içeren demiroksitleşme/hidroksitleşme minerallerini haritalamak için Landsat 7 ETM+ görüntüsünün 1, 3, 4 ve 5. bantları kullanılmıştır (Tangestani ve Moore, 2002; Liu vd., 2011; Loughlin, 1991). Analiz sonucunda elde edilen kovaryans matrisinin özvektör değerleri (Eigenvectors of covariance matrix) incelendiğinde temel bileşenlerin ikincisinde (Pc2 bileşeni), yüksek sayısal değerlere (DN) sahip pikseller (daha parlak pikseller) demiroksitleşme/hidroksitleşme alanlarını göstermektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Crosta Tekniği için Landsat 7 ETM+ görüntüsünün 1, 3, 4 ve 5. bantları ile uygulanan temel bileşenler analizi sonucunda elde edilen kovaryans matrisinin özvektör değerleri

Table 2. Covariance eigenvector values of principal components (PCs) calculated by using principal components analysis on the 1, 3, 4 and 5 bands of Landsat 7 ETM+ image for Crosta Technique

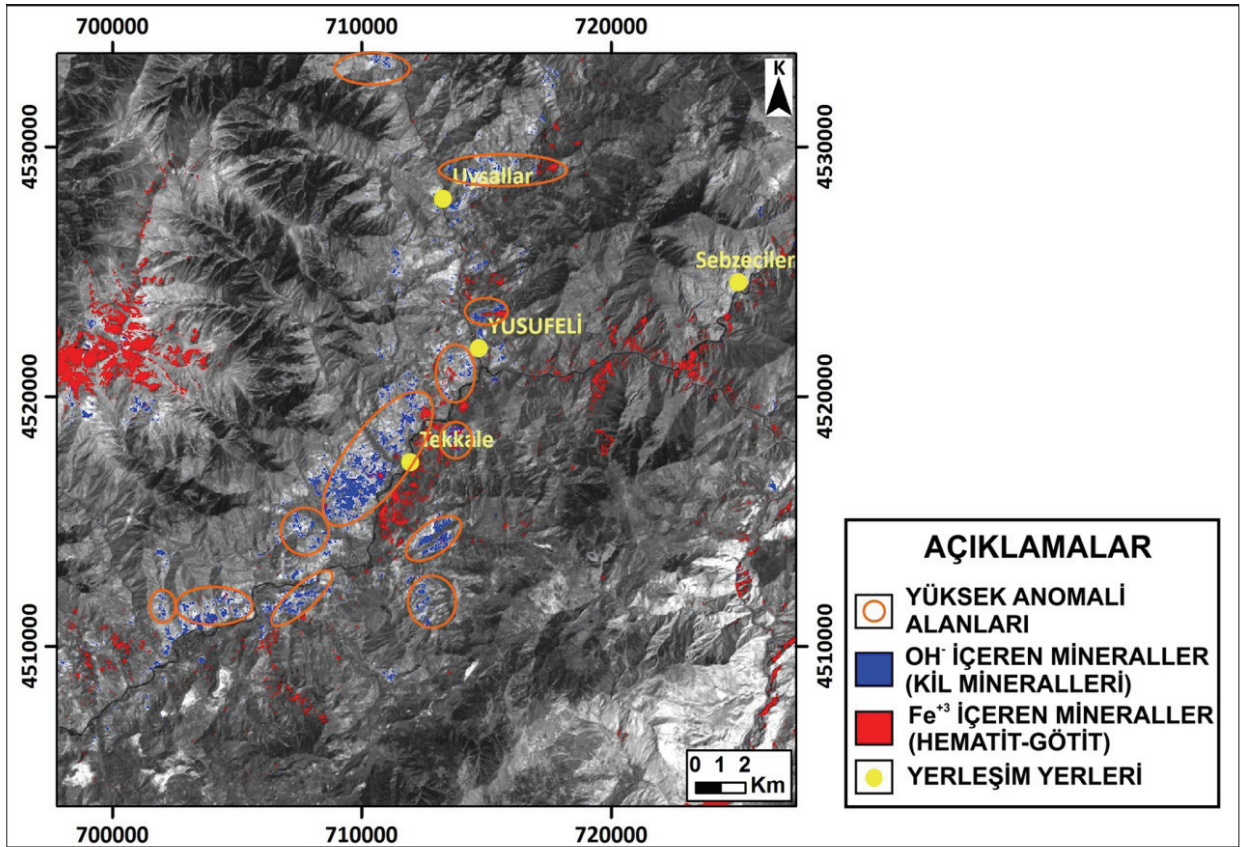
	Pc1	Pc2	Pc3	Pc4
Bant 1	-0.33161	-0.59412	-0.37962	-0.62685
Bant 3	0.30718	0.47138	-0.81890	-0.11335
Bant 4	-0.32603	-0.35069	-0.43011	0.76533
Bant 5	-0.83029	0.54939	0.01754	-0.09210

Bu metot ikinci olarak kil mineralleri (kaolinit, illit vb.) gibi hidroksil (OH⁻) içeren mineralleri belirlemek için Landsat 7 ETM+ görüntüsünün 1, 4, 5 ve 7. bantları seçilerek uygulanmıştır (Tangestani ve Moore, 2002; Liu vd., 2011; Loughlin, 1991). Analiz sonucunda elde edilen kovaryans matrisinin özvektör değerleri (Eigenvectors of covariance matrix) incelendiğinde dördüncü temel bileşende (Pc4 bileşeni) parlak veya diğer bir ifade ile yüksek sayısal değerlere (DN) sahip pikseller hidroksil içeren minerallerin (kil mineralleri vb.) bulunduğu alanları göstermektedir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Crosta Tekniği için Landsat 7 ETM+ görüntüsünün 1, 4, 5 ve 7. bantları ile uygulanan temel bileşenler analizi sonucunda elde edilen kovaryans matrisinin özvektör değerleri

Table 3. Covariance eigenvector values of principal components (PCs) calculated by using principal components analysis on the 1, 4, 5 and 7 bands of Landsat 7 ETM+ for Crosta Technique

	Pc1	Pc2	Pc3	Pc4
Bant 1	0.28696	0.40889	0.68400	0.53160
Bant 4	-0.23215	0.88717	-0.14391	-0.37191
Bant 5	-0.90876	-0.13334	0.38227	0.10126
Bant 7	0.19473	-0.16718	0.60440	-0.75421



Şekil 5. Landsat 7 ETM+ uydü görüntüsünün Crosta Tekniği uygulaması sonucunda belirlenen hidrotermal alterasyon anomali alanları

Figure 5. Anomaly areas of hydrothermal alteration determined by applied Crosta technique to Landsat 7 ETM+ image

Landsat 7 ETM+ görüntüsünün Crosta Tekniği uygulaması ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde bant oranlama sonuçlarına benzer şekilde Tekkale güneyi, Yusufeli ve Uysallar çevresinde Üst Kretase yaşı dasitik volkanik birimlerde yaygın şekilde killeşme ve demiroksitleşme/hidroksitleşme anomali alanları

ayırt edilmiştir (Şekil 5). Ayrıca hidrotermal alterasyonların anomali alanları Alt-Orta Jura yaşı volkanik birimlerde de ortaya çıkmıştır (Şekil 6). Özellikle Yusufeli doğu ve batısı ile Sebzeciler çevresinde demiroksitleşme anomalilerinin yaygın olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Sebzeçiler çevresindeki hidrotermal alterasyon alanlarından bir görünüm
Figure 6. The area of hydrothermal alteration seen at Sebzeçiler vicinity

Aster Görüntüsü ile Hidrotermal Alterasyon Minerallerini Haritalama

ASTER görüntülerinin kısadalga kızılötesi (SWIR) bölgedeki spektral bant sayısı Landsat ETM+ görüntülerine göre daha fazladır. Dolayısıyla ASTER görüntüleri, SWIR bölgede tanımlayıcı absorpsiyon özelliği bulunan daha fazla mineral ve/veya mineral grubunu belirlemek için olanak sağlamaktadır. Minerallerdeki Fe^{+3} , Fe^{+2} , Al-OH, Fe-OH, Mg-OH, Si-OH ve CO_3 gibi tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri, ASTER görüntülerinin görünür-yakın kızılötesi (VNIR) ve kısadalga kızılötesi (SWIR) bölgedeki belirli spektral bantlarda görülür (Abrams ve Hook, 1995; Mars ve Rowan, 2006; Rowan ve Mars, 2003; Hewson vd., 2005). Önceki birçok çalışmada minerallerin bu tanımlayıcı absorpsiyon

özellikleri esas alınarak belirli mineral ve/veya mineral grupları ASTER görüntüleri kullanılarak belirlenmiştir (Hubbard vd., 2003; Mars ve Rowan, 2006; Hewson vd., 2005).

Bu çalışmadaki cevher oluşumları ile ilişkili hidrotermal alterasyon mineralleri diğer bir multispektral uydu verisi olan ASTER görüntülerinin VNIR-SWIR bölgedeki spektral bantları kullanılarak incelenmiştir. Bölgedeki hidrotermal alterasyon alanlarını belirlemek için ASTER görüntüleri, bant oranlama ve Eşlenen Filtreleme (MF) metotları uygulanarak analiz edilmiştir.

ASTER görüntüsü ile bant oranlama

ASTER görüntüsüne bant oranlama metodu uygulanarak Fe^{+3} içeren hematit ve götit gibi

demiroksit/hidroksit mineralleri, alunit-kaolinit, kil mineralleri (Kaolinit, illit vb.), muskovit gibi Al-OH içeren mineraller, silisleşme ile klorit ve epidot gibi Mg-OH içeren mineralleri- karbonat mineralleri gibi CO₃ içeren mineraller haritalanmıştır. Bant oranlama işlemlerinden önce ASTER görüntüsüne bazı ön işlemler uygulanmıştır. Bu kapsamda ASTER görüntüsünün VNIR-SWIR bölgedeki spektral bantları birleştirilmiş ve daha sonra UTM Zon 37 ve Datum WGS 84 koordinat sistemine göre geometrik olarak düzeltilmiştir. Çalışma alanını kapsayan bölüm, tüm görüntüden kesilerek alınmıştır. ASTER görüntüsünün VNIR-SWIR bölgedeki spektral bantlarının her birisindeki koyu alanlar, ilgili bantların herbirisinden ayrı ayrı çıkarılarak düzeltilmiştir. Ayrıca bant oranlama işleminde bitki örtüsü, su, bulut vb. alanlar maskelenerek işlem dışında bırakılmıştır.

Fe⁺³ içeren hematit ve götit gibi demiroksit/hidroksit minerallerinin elektromayetik spektrumun VNIR bölgesinde yaklaşık 0.47-0.5 µm dalga boyunda (Hunt, 1977; Hunt ve Ashley, 1979; Vincent, 1997; Clark, 1999) tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri bulunmaktadır. Şekil 7a'da görüldüğü gibi bu absorpsiyon özelliği (yaklaşık 0.5 µm dalga boyunda), ASTER görüntülerinin VNIR bölgedeki 1. bantının spektral aralıkları (0.520-0.600 µm) içerisinde yer alır. Dolayısıyla ASTER görüntülerinin 1. bantı kullanılarak hematit ve götit gibi demiroksit/hidroksit mineralleri belirlenebilir (Rowan vd., 2006; Tommaso ve Rubinstein, 2007). Bu çalışmada demiroksit/hidroksit minerallerini belirlemek için 2/1 bant oranlaması uygulanmıştır (Şekil 8).

Alunit ve kaolinit minerallerinde Al-OH içeriğinden dolayı Aster görüntülerinin 5. bantına (2.145-2.185 µm) karşılık gelen (Şekil 7b) yaklaşık 2.165 µm dalga boyundaki absorpsiyon özelliği, bu minerallerin belirlenmesi açısından

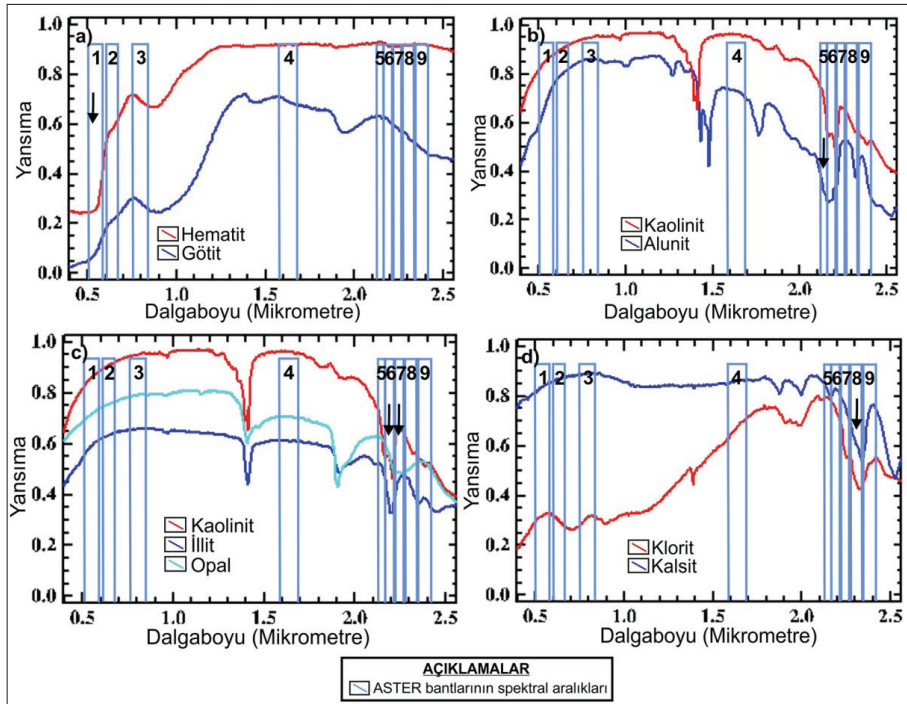
önemlidir (Abrams ve Hook, 1995; Mars ve Rowan, 2006; Rowan vd., 2006; Tommaso ve Rubinstein, 2007; Bishop vd., 2011). Bu sebeple inceleme alanındaki alunit-kaolinit minerallerini belirlemek için (bir grup olarak) 4/5 bant oranlaması kullanılmıştır (Şekil 8).

Kil mineralleri (kaolinit, illit vb.), muskovit gibi Al-OH içeren mineraller yaklaşık 2.2 µm dalga boyunda tanımlayıcı absorpsiyon özelliği göstermektedir (Clark, 1999; Hauff, 2002). Şekil 7c'de görüldüğü ASTER görüntülerinin 6. bantına (2.185-2.225 µm) karşılık gelen tanımlayıcı absorpsiyon özelliği kullanılarak kil mineralleri (kaolinit, illit vb.), muskovit gibi Al-OH içeren mineraller belirlenebilir (Abrams ve Hook, 1995; Mars ve Rowan, 2006; Rowan vd., 2006; Tommaso ve Rubinstein, 2007; Bishop vd., 2011). Bu çalışmada ise bölgedeki kil mineralleri (kaolinit, illit vb.), muskovit gibi Al-OH içeren mineraller, 4/6 bant oranlaması kullanılarak haritalanmıştır (Şekil 8).

Minerallerdeki Si-OH'dan dolayı yaklaşık 2.25 µm dalga boyunda absorpsiyon özelliği oluşmaktadır (Podwysoki vd., 1985). Bu absorpsiyon özelliği Si-OH içeren minerallerin belirlenmesinde yararlıdır. Benzer şekilde opal mineralinin yaklaşık 2.25-2.30 µm dalga boyundaki tanımlayıcı absorpsiyon özelliği (Hauff, 2002; Rowan vd., 2003; Mars ve Rowan, 2010) bu minerali belirlemek için kullanılabilir. Si-OH absorpsiyon özelliği ve opal mineralinin tanımlayıcı absorpsiyon özelliği yaklaşık olarak ASTER görüntülerinin 6. ve 7. bantlarını kapsayan spektral aralığa ve özellikle de 7. bantı kapsayan spektral aralığa (6. bant: 2.185-2.225 ve 7. bant: 2.235-2.285 µm) karşılık gelmektedir (Şekil 7c). Bu nedenle inceleme alanındaki silisleşme alanlarını haritalamak için bu absorpsiyon özelliklerinden yararlanılmış ve 4+5/6+7 bant oranlaması uygulanmıştır (Şekil 8).

Klorit ve epidot gibi Mg-OH içeren minerallerin yaklaşık 2.3 µm dalga boyunda tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri vardır (Hunt, 1977 ve 1979, Hunt ve Ashley, 1979). Kalsit gibi karbonat mineralleri ise CO₃ içeriğinden dolayı yaklaşık 2.35 µm dalga boyunda tanımlayıcı absorpsiyon özelliği göstermektedir (Hunt, 1977 ve 1979). Mg-OH ve CO₃ içeren minerallerin tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri ASTER görüntülerinin 8. bantının (2.295-2.365 µm) spektral aralığı içerisinde yer almaktadır (Mars ve Rowan, 2006; Tommaso ve Rubinstein, 2007). Bu yüzden klorit ve epidot gibi Mg-OH içeren mineralleri ve CO₃ içeren karbonat minerallerini belirlemek için ASTER görüntülerinin 8. bantındaki (Şekil 7d) tanımlayıcı absorpsiyon özellikleri esas alınarak 7+9/8 bant oranlaması kullanılmıştır (Şekil 8).

ASTER görüntüsünün bant oranlama işlemleri sonucunda Fe⁺³ mineraller, alunit-kaolinit, Al-OH içeren mineraller, silisleşme ile Mg-OH-CO₃ içeren mineraller haritalanmıştır. ASTER bant oranlama metodu sonuçları incelendiğinde, hidrotermal alterasyonlarının yaklaşık KD-GD yönelimli olarak dağılımı belirgin bir özellik olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 8). Özellikle bölgede VMS tipi cevher oluşumları açısından önemli olan Üst Kretase yaşlı dasitik volkanik birimlerde geniş hidrotermal alterasyon alanları ayırt edilmiştir. Tekkale güneyi ve güneybatısı, Yusufeli ve Uysallar çevresinde Üst Kretase yaşlı dasitik volkanik birimler içerisinde geniş alunit/kaolinit, kil mineralleri gibi arjilik alterasyon ürünleri ve silisleşme alanları belirlenmiştir (Şekil 9). Ayrıca bu hidrotermal alterasyonlarla birlikte yer yer demiroksitleşmeler de görülmektedir.

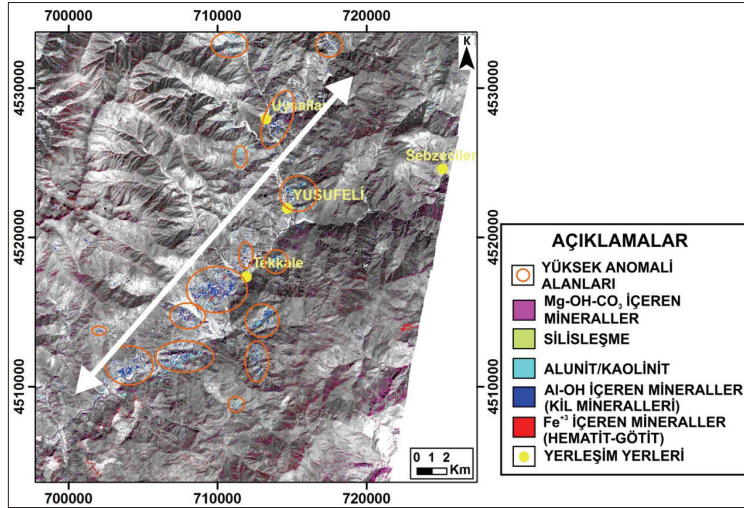


Şekil 7. ASTER görüntüsünün spektral bant aralıkları ve USGS Spektral Kütüphanesi'ndeki bazı minerallerin spektralleri: a) Hematit ve götit, b) Kaolinit ve alunit, c) Kaolinit, illit ve opal, d) Klorit ve kalsit

Figure 7. Spectral range (µm) of ASTER bands, and spectra of minerals in the USGS Spectral Library: a) Hematite and goethite, b) Kaolinite and alunite, c) Kaolinite, illite and opal, d) Chlorite and calcite

Klorit ve epidot gibi Mg-OH içeren mineraller ile kalsit gibi karbonat minerallerini belirlemek için uygulanan 7+9/8 bant oranlama sonuçları, Jura ve Orta Jura-Kretase yaşlı kırıntılı ve karbonatlar ile Kretase yaşlı pelajik kireçtaşlarında belirgin anomali alanları ortaya çıkarmıştır. Bu birimlerdeki mineral anomalileri, muhtemelen hidrotermal alterasyona işaret

etmemektedir. Bu anomaliler olasılıkla birimlerdeki kalsit ve dolomit gibi karbonat mineralleri sebebiyle ortaya çıkmış olabilir. Bununla birlikte Üst Kretase yaşlı dasitik volkanik birimlerdeki arjilik alterasyon ve silisleşmelerin çevresinde görülen anomali alanları, bir hidrotermal alterasyon sürecinin ürünü olarak oluşmuş olabilir.



Şekil 8. ASTER görüntüsü ile bant oranlama metodu sonucunda belirlenen hidrotermal alterasyon anomali alanları

Figure 8. Anomaly areas of hydrothermal alteration determined as a result of band ratios of ASTER image



Şekil 9. Yusufeli çevresinde görülen hidrotermal alterasyon alanlarından bir görüntüm

Figure 9. A view from the hydrothermal alteration zones seen around yusufeli

ASTER Görüntüsü ile Eşlenen Filtreleme (MF)

Bu çalışmada ASTER görüntüleri, ikinci bir yaklaşım olarak daha kantitatif bir metod olan Eşlenen Filtreleme (MF) kullanılarak analiz edilmiştir ve kaolinit, alunit, opal, hematit ve klorit mineralleri haritalanmıştır. Mineralleri belirlemek için birçok araştırmacı tarafından Spektral Açılı Haritalaması (SAM-Spectral Angle Mapper), Spektral Özellik Eşleşmesi (SFF-Spectral Feature Fitting), Doğrusal Spektral Karıştırma (LSU-Linear Spectral Unmixing), Eşlenen Filtreleme (MF-Matched Filtering) ve Karışım Ayarlı Eşlenen Filtreleme (MTMF-Mixture Tuned Matched Filtering) gibi spektral haritalama metodlarından bir veya birkaçı Hyperion, AVIRIS ve HyMap gibi hiperspektral görüntüleme uygulanmıştır (Kruse vd., 2003; Kruse vd., 1993; Crosta vd., 1998; Bedini, 2011; Hubbard ve Crowley, 2005; Zadeh vd., 2014). Ayrıca bu kantitatif spektral haritalama metodları, bazı çalışmalarda ise Landsat ve ASTER gibi multispektral görüntüleme de uygulanmıştır (Ferrier vd., 2002; Zang vd., 2007; Hubbard ve Crowley, 2005; Rowan ve Mars, 2003; Hubbard vd., 2003; Moore vd., 2008; Rowan vd., 2003; Bedini, 2011).

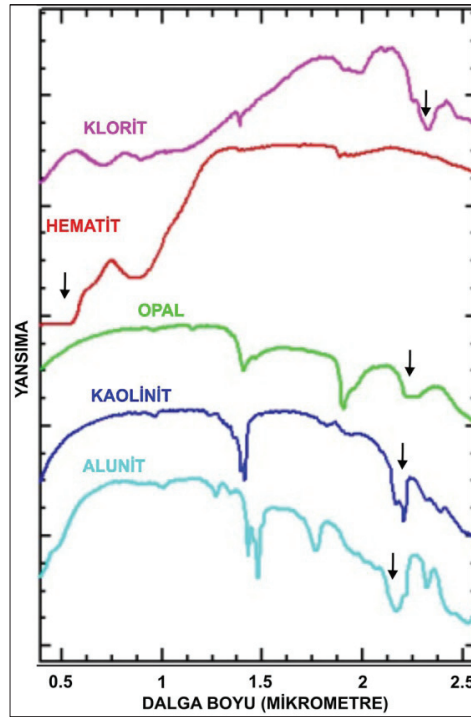
MF metodunun uygulanmasında, öncelikle ASTER görüntüsünün VNIR ve SWIR bölgedeki spektral bantları birleştirilmiştir. ASTER görüntüsündeki atmosferik etkileri düzeltmek ve görüntünün sayısal değerlerini (DN) radyans veriye çevirmek için kesin yansıma değerleri üreten ve model bazlı atmosferik düzeltme metodu olan Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (Flaash) (Adler-Golden vd., 1998) kullanılmıştır. Daha sonra görüntü bantlarının radyans değerleri, reflektansa dönüştürülmüştür. Elde edilen ASTER görüntüsünün reflektans verisine bir spektral parlatma ve düzeltme yöntemi olan EFFORT

(Empirical Flat Field Optimal Reflectance Transformation) algoritma uygulanmıştır (Boardman, 1998). Daha sonra görüntü, UTM Zon 37 ve Datum WGS 84 koordinat sistemine göre geometrik olarak düzeltilmiştir.

Belirli hidrotermal alterasyon tiplerini belirlemek için MF metodu kaolinit (kil minerali), alunit, opal, hematit (demir oksit minerali) ve klorit minerallerini belirlemek için uygulanmıştır. Bu minerallerin USGS Spektral kütüphanesindeki spektralleri MF metodunun uygulanmasında saf spektra (endmember) olarak kullanılmıştır (Şekil 10).

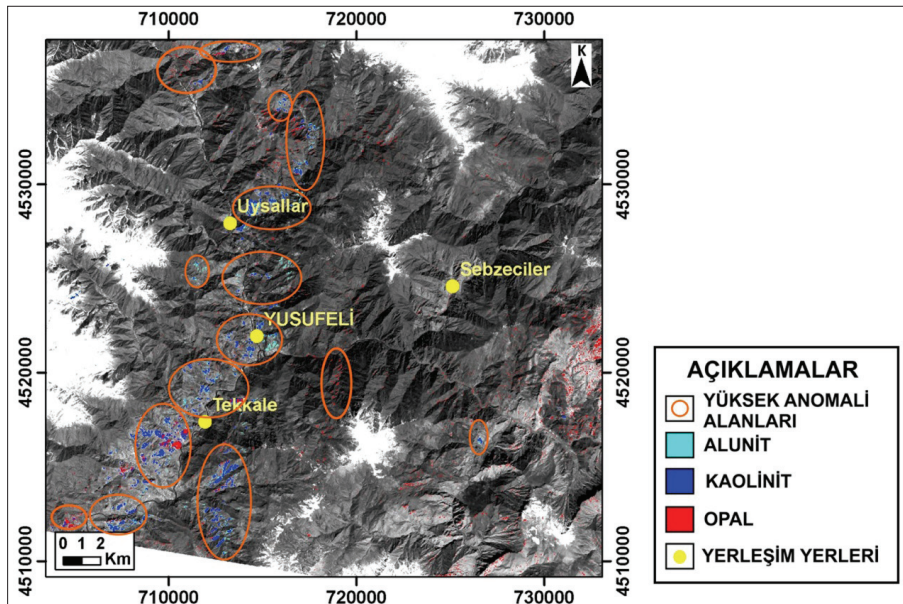
MF metodu sonuçları incelendiğinde, kaolinit (kil minerali) ve alunit mineral anomali alanlarının Üst Kretase yaşlı dasitik volkanik birimler içerisinde KD-GB doğrultusunda yaygın olarak geliştiği görülmektedir (Şekil 11). Opal mineralinin MF metodu sonucunda belirlenen anomali alanları, özellikle Tekkale çevresinde artmaktadır (Şekil 11).

Hematit minerali (demiroksitleşme) inceleme alanının doğu ve güneydoğusunda dağılım göstermektedir (Şekil 12). Klorit minerali, Tekkale'nin güneyinde Üst Kretase yaşlı volkanik birimlerde arjilik alterasyon alanlarının çevresinde az miktarda anomali vermiştir (Şekil 12). Görüntü analizlerinin arazi kontrollerinde Yusufeli ve Tekkale çevresinde killeşme, demiroksitleşme ve silisleşme gibi hidrotermal alterasyon tiplerinin Üst Kretase yaşlı dasitik volkanik birimlerde yaygın olarak geliştiği gözlenmiştir (Şekil 13).



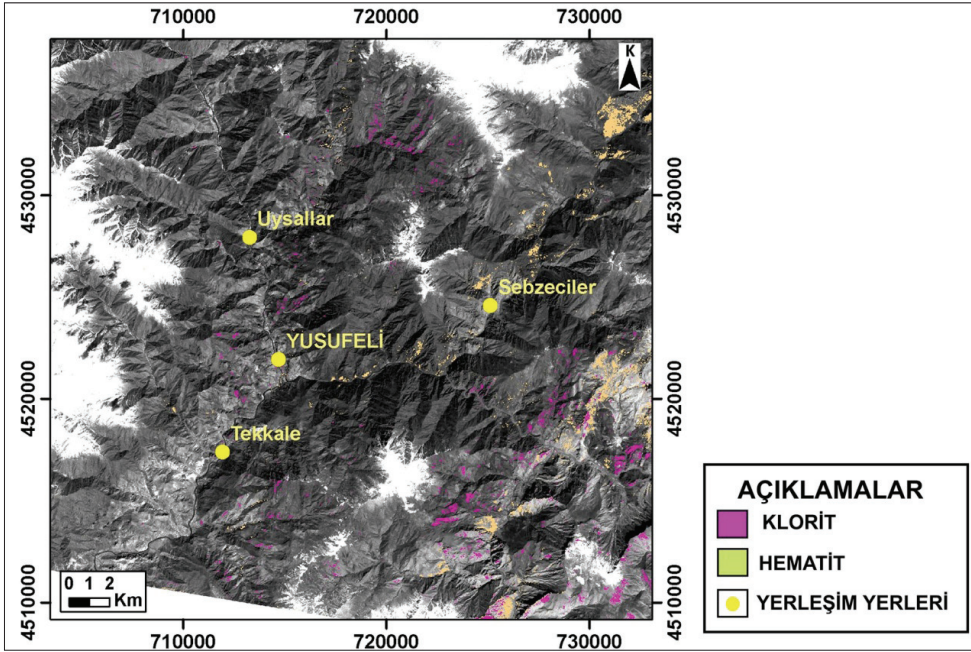
Şekil 10. Saf spektra olarak kullanılan USGS Spektral Kütüphanesindeki alunit, kaolinit, opal, hematit ve klorit minerallerinin spektralleri

Figure 10. The spectra of alunite, kaolinite, opal, hematite and chlorite minerals used as pure spectra (endmember) in the USGS Spectral Library



Şekil 11. ASTER görüntüsüne ile uygulanan MF metodu sonucunda belirlenen alunit, ve opal minerallerinin anomali alanları

Figure 11. Anomaly areas of alunite, kaolinite and opal minerals determined as a result of MF method applied to ASTER image



Şekil 12. ASTER görüntüsüne ile uygulanan MF metodu sonucunda belirlenen klorit ve hematit minerallerinin anomali alanları

Figure 12. Anomaly areas of chlorite and hematite minerals determined as a result of MF applied to ASTER image



Şekil 13. Tekkale çevresindeki hidrotermal alterasyon zonu

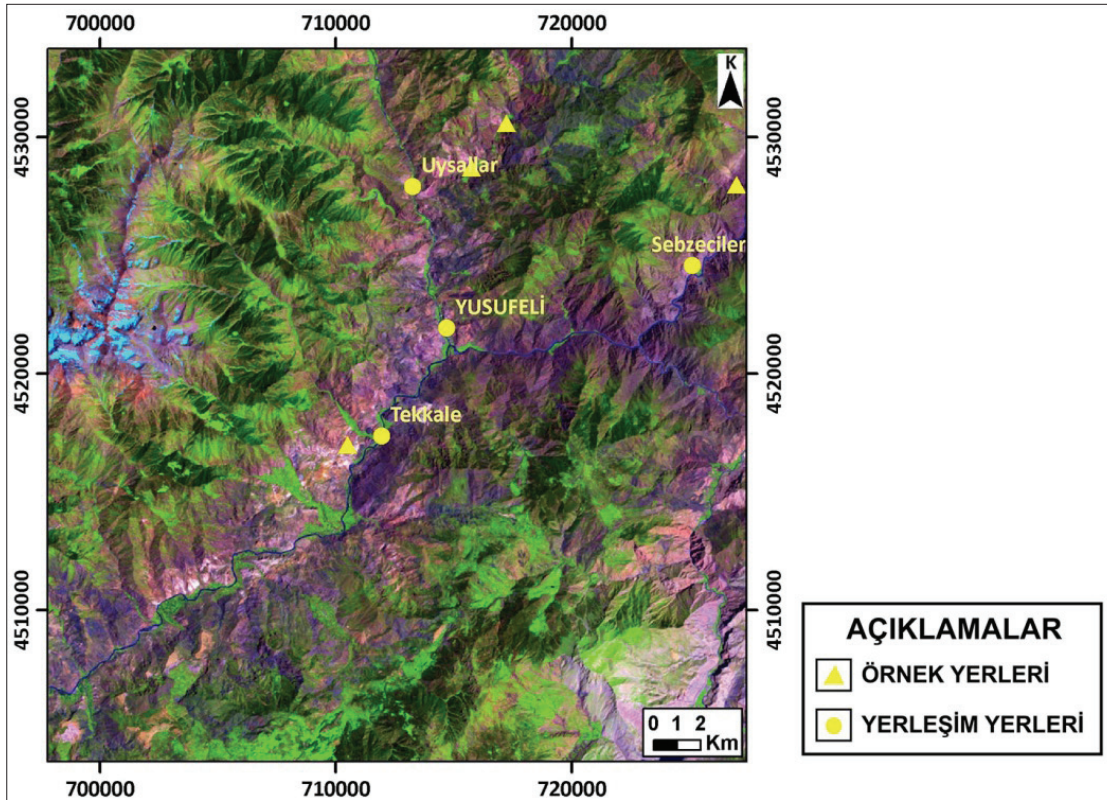
Figure 13. The widespread hydrothermal alteration zone around Tekkale

SPEKTROMETRE ANALİZLERİ

Reflektans spektroskopisi, mineral ve kayaçları absorpsiyon ve yansıma gibi tanımlayıcı karakteristik spektral özelliklerine göre belirlemeye olanak sağlamaktadır (Hunt, 1977 ve 1979; Clark, 1999; Vincent, 1997; Hauff, 2002). Bu çalışmada da bölgedeki hidrotermal alterasyon alanlarından alınan örneklerin tanımlanmasında minerallerin spektral özelliklerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla hidrotermal alterasyon alanlarından alınan örneklerin spektralleri laboratuvarında ASD FieldPro spektrometre ile ölçülmüş ve tanımlamaları yapılmıştır (Şekil 14).

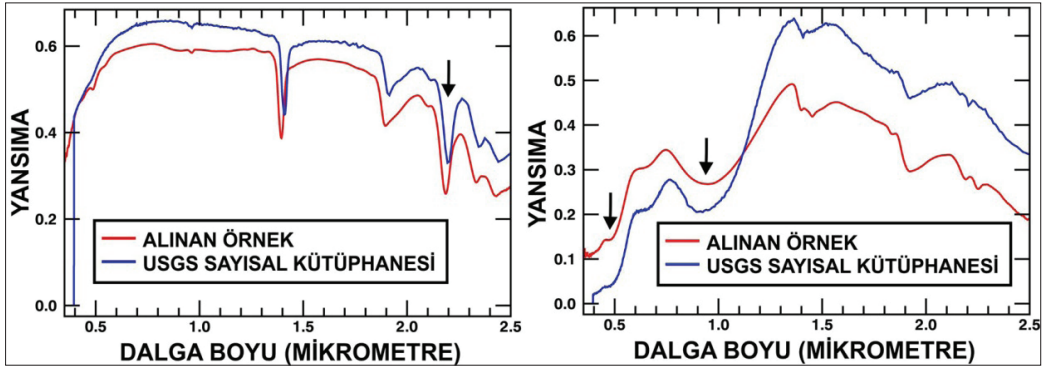
İnceleme alanında Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntülerinin analizleri sonucunda

belirlenen hidrotermal alterasyon alanlarından alınan dört adet örneğin değişik yerlerinden çok sayıda spektralleri, laboratuvarında ASD Fieldpro spektrometre kullanılarak ölçülmüştür. Bu spektraller, USGS Spektal Kütüphanesindeki mineral spektralleri ile karşılaştırılarak analiz edilmiş ve mineral tanımlamaları yapılmıştır. Bu analizler sonucunda arjilik alterasyon zonlarından alınan örneklerin spektralleri, çoğunlukla illit minerali olarak tanımlanmıştır (Şekil 15). Ayrıca demiroksitleşme/hidroksitleşme alanlarından alınan örneklerde ise götit minerali belirlenmiştir. Bazı örneklerin spektralleri ise illit ve götit minerallerinin karışım spektrallerini temsil etmektedir (Şekil 16).



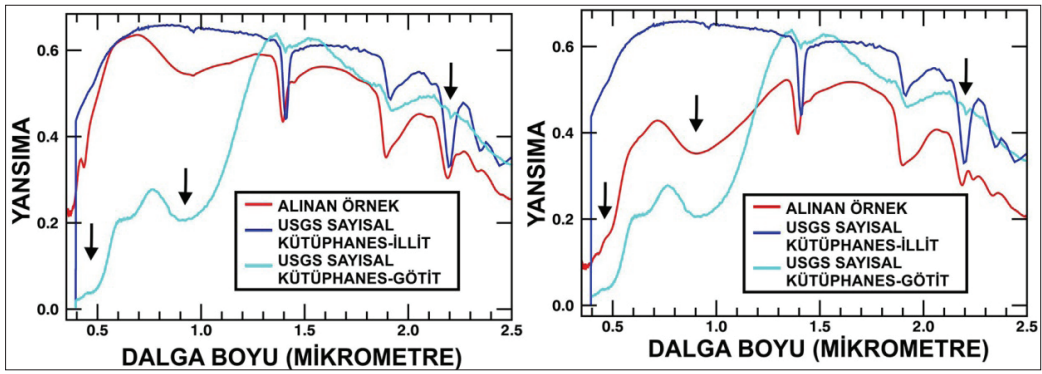
Şekil 14. Spektrometre analizleri için alınan örneklerin yerleri

Figure 14. The locations of samples collected for spectrometer analysis



Şekil 15. Hidrotermal alterasyon alanlarından alınan örneklerin ve USGS Spektral Kütüphanesindeki illit ve götit minerallerinin spektralleri

Figure 15. The spectra of samples taken from hydrothermal alteration zones, and illite and goethite minerals in the USGS spectral library



Şekil 16. Hidrotermal alterasyon alanlarından alınan örneklerin ve USGS Spektral illit ve götit minerallerinin spektralleri

Figure 16. The spectra of samples taken from hydrothermal alteration zones, and illite and goethite minerals in the USGS spectral library

SONUÇLAR

Bu çalışmada Tekkale, Yusufeli ve Uysallar (Artvin) çevresindeki özellikle VMS tipi cevher oluşumları ile ilişkili hidrotermal alterasyon özellikleri, Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Landsat 7 ETM+ görüntüsünün bant oranlama ve Crosta Tekniği ile ASTER görüntülerinin bant oranlama ve MF metotları ile analizleri sonucunda bir çok hidrotermal alterasyon mineral ve/veya minerallerine ait anomali haritası üretilmiştir.

Bu hidrotermal anomali haritaları kullanılarak inceleme alanındaki cevher oluşumları ile ilişkili hidrotermal alterasyonları ve alansal ilişkilerini en doğru ve başarılı haritalamak amacıyla coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araçlarından yararlanılmıştır. Bu kapsamda hidrotermal alterasyon anomali haritalarında daha kantitatif bir değerlendirme yapmak ve alansal ilişkileri ve belirgin karakteristik özellikleri değerlendirmek için görüntü analiz sonuçları CBS ortamında birleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda üretilen hidrotermal alterasyonların olası (potansiyel) hedef

alanlarını gösteren haritalarda skor sayıları, farklı iki uydu verisinin dört metod ile analizleri sonucunda belirlenen pixel veya alanların kaç metod ile belirlendiğini göstermektedir.

Uydu görüntülerinin analizleri ile üretilen hidrotermal alterasyon anomali haritaları, CBS analizlerinde alansal veri katmanları olarak kullanılmıştır. Alterasyon anomali haritaları, CBS ortamına aynı standart ve parametreler ile aktarılmıştır. Hidrotermal alterasyon anomali haritalarının herbirisi, UTM Zon 37 ve Datum WGS 84 koordinat sisteminde 15 m. alansal çözünürlüğe dönüştürülmüştür. Alterasyonlara ait alansal veri katmanlarının her biri aritmetik işlemler için yeniden sınıflandırılmıştır. Daha sonra bu alansal veri katmanları killeşme, alunit/kaolinit ve silisleşme için hedef potansiyel anomali alanlarını önem derecelerine göre belirli skor değerlerinde ortaya çıkarmak için birleştirilmiştir. Bu amaçla ArcGIS yazılımında Spatial Analyst'de "Raster Calculator" aracı kullanılmıştır.

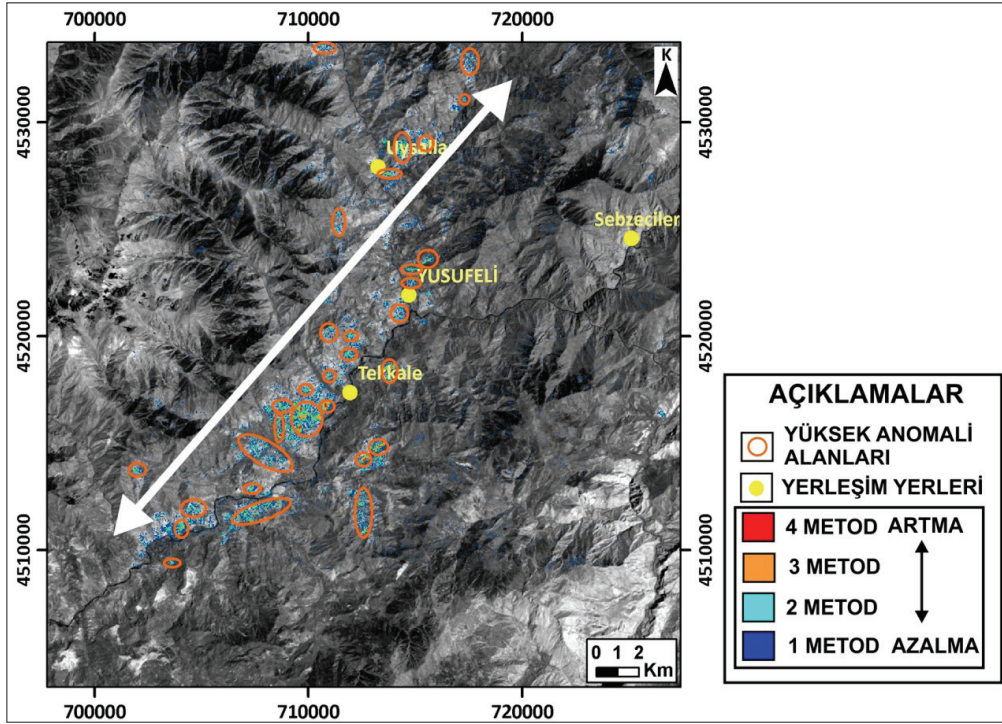
İlk olarak inceleme alanındaki arjilik alterasyon (killeşme) bakımından önemli potansiyel hedef alanları en doğru ve başarılı şekilde belirlemek için, Landsat 7 ETM+ görüntülerinin 5/7 bant oranlaması, Landsat 7 ETM+ görünüsünün kil minerallerine ait Crosta Tekniği, ASTER'in 4/6 bant oranlaması ve ASTER-MF metodunun kaolinit minerali sonuçları toplama aritmetik operatörü kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen sonuç sayısal bir değerlendirme yapmak için tekrar sınıflandırılmıştır. Üretilen sonuç, haritasında her iki uydu görünüsü ile uygulanan dört metod ile belirlenen veya diğer bir ifade ile en fazla metod ile bulunan piksel veya alanlar en yüksek skor değeri (skor değeri: 4) ile gösterilmiştir (Şekil 17). Bu alanlar inceleme alanındaki özellikle VMS tipi cevher oluşumları açısından önemli en yüksek bulunma olasılığı olan alanları göstermektedir. Sadece bir metod kullanarak bulunan diğer bir ifade ile en az metod ile belirlenen piksel veya alanlar en

düşük skor değerleri (skor değeri: 1) gösterilmiştir.

Killeşme (arjilik alterasyon) anomali alanları, bölgedeki VMS tipi cevher oluşumları açısından önemli bir potansiye sahip olan Üst Kretase yaşlı dasitik volkanik birimlerde yaygın şekilde gelişmiştir (Şekil 17). En yüksek skor değeri veren piksel veya alanlar özellikle Tekkale'nin güneybatısında belirlenmiştir. İnceleme alanında Uysallar ve Yusufeli çevresi ile Tekkale güneyi ve güneybatısı, arjilik alterasyonların en yaygın olduğu alanlar olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca Tekkale ve Yusufeli'nin doğu ve batısında Alt-Orta Jura yaşlı volkanik birimlerde yer yer killeşme (arjilik alterasyon) anomali alanları ortaya çıkmıştır.

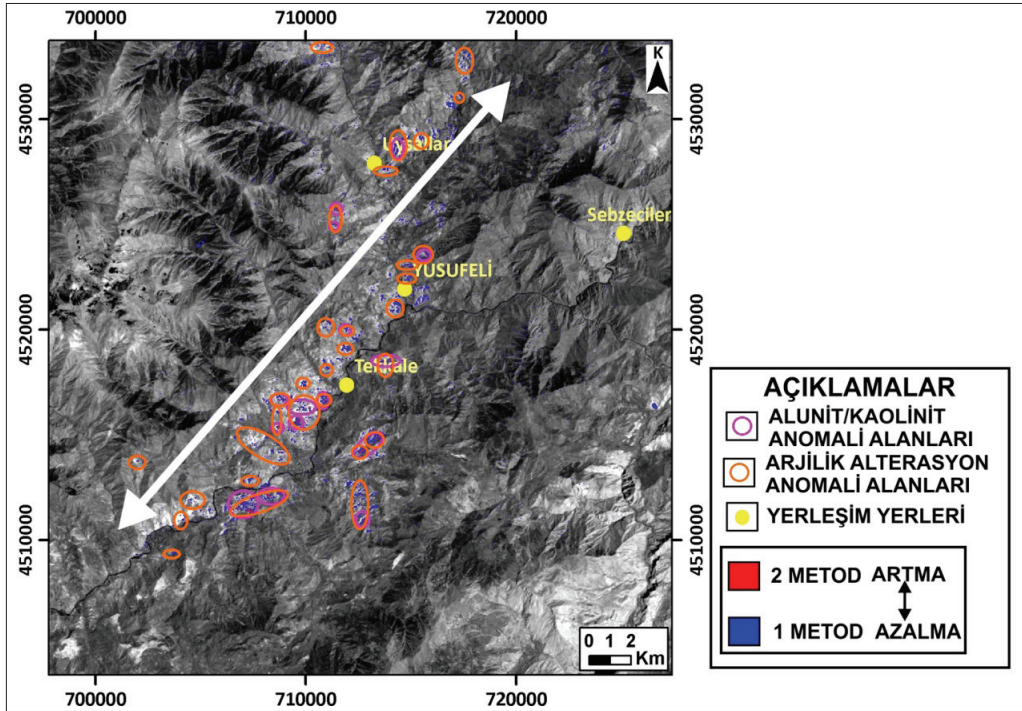
İkinci olarak ASTER görüntüsü ile alunit/kaolinit minerallerini belirlemek için yapılan 4/5 bant oranlaması ve ASTER-MF metodunun alunit minerali sonuçlarının alansal veri katmanları toplama operatörü ile birleştirilmiş ve elde edilen sonuç harita yeniden sınıflandırılmıştır. ASTER görüntüleri ile uygulanan iki farklı metod ile belirlenen piksel veya alanlar en yüksek skor değeri (skor değeri: 2) ile gösterilmiştir (Şekil 18). Sadece bir metod ile belirlenen (sadece bir metod) piksel veya alanlar ise en düşük skor değerleri (skor değeri: 1) gösterilmiştir.

Alunit ve/veya kaolinit mineralleri için üretilen potansiyel hedef anomali haritası incelendiğinde, Üst Kretase dasitik volkanik birimlerde içerisinde arjilik alterasyon alanları ile alansal ilişkili olarak oluştuğu görülmektedir. Bu mineral anomalileri, özellikle Tekkale'nin kuzeyi, güneyi ve güneydoğusunda daha yaygın olarak gelişmiştir (Şekil 18). Ayrıca Uysallar ve Yusufeli çevresinde de yine arjilik alterasyon ile alansal ilişkili olarak bazı anomali alanları ortaya çıkmıştır. Alunit ileri arjilik alterasyon tipinde görülen bir mineraldir (Pirajno, 2009). Dolayısıyla belirlenen bu potansiyel hedef alanlar olasılıkla bölgedeki ileri arjilik alterasyon zonlarını da gösterebilir.



Şekil 17. Arjilik alterasyon (killeşme) için potansiyel hedef alanlar haritası

Figure 17. The map of the potential target areas for argillic alteration (clay minerals)



Şekil 18. Alunite-kaolinite mineralleri için potansiyel hedef alanlar haritası

Figure 18. The map of the potential target areas for alunite-kaolinite

Üçüncü olarak inceleme alanındaki cevher oluşumları ile ilişkili silisleşme alanlarını, bulunma olasılığı açısından önem derecelerine göre ortaya çıkarmak için ASTER görüntülerinin 4+5/6+7 bant oranlama ve MF metodunun opal minerali sonuçlarına ait alansal veri katmanları, toplama operatörü ile birleştirilmiş ve elde edilen sonuç tekrar sınıflandırılmıştır (Şekil 19).

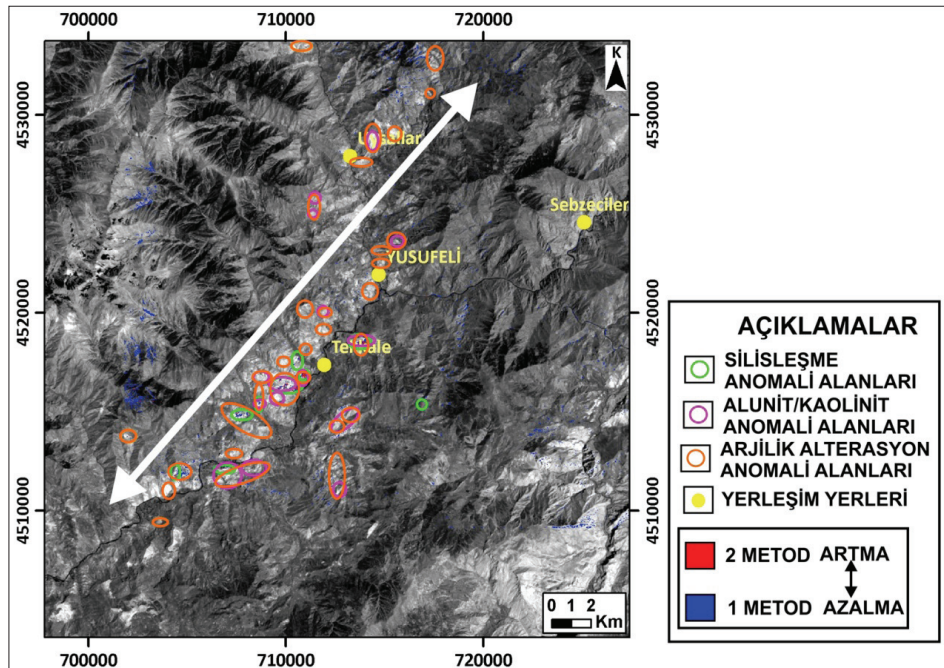
Alunit/kaolinit minerallerinin anomali sonuçlarına benzer şekilde silisleşmeler, özellikle Tekkale'nin güneyi ve güneybatısında bazı alanlarda arjilik alterasyon ve alunit/kaolinit anomali alanları ile birlikte alansal ilişkili olarak oluştuğu görülmektedir (Şekil 19). Arjilik alterasyon (killeşme), alunit/kaolinit ve silisleşmeler özellikle Üst Kretase yaşlı dasitik birimlerde yaklaşık KD-GB doğrultusunda dağılımı belirgin bir özellik olarak görülmektedir.

Ayrıca uydu verileri ile belirlenen hidrotermal alterasyon alanlarından alınan

örneklerin ASD Fieldspec Pro spektrometre ile çekilen spektralarının değerlendirilmesi sonucunda ise arjilik alterasyon alanlarında genellikle illit minerali tanımlanmıştır. Bazı örneklerin spektrasında götit minerali de belirlenmiştir. Alınan bazı örneklerin spektraları ise illit ve götit minerallerinin karışım spektralarını temsil etmektedir.

EXTENDED SUMMARY

In this study, hydrothermal alteration features associated with ore deposits around Yusufeli-Tekkale (Artvin, NE Turkey) have been examined by using multispectral satellite data. The study area is located in northern zones of eastern Pontid metallogenic belt that has important potential in terms of volcanic massive sulphide type of ore deposits. Hydrothermal alteration minerals have been mapped by using Landsat 7 ETM+ and ASTER images in the study area.



Şekil 19. Silisleşmeler için potansiyel hedef alanlar haritası

Figure 19. The map of the potential target areas for silicification

Landsat 7 ETM+ image has been analyzed by using band ratio and Crosta Technique to determine the minerals containing Fe^{+3} (iron oxide/hydroxide minerals) and minerals containing OH (clay minerals, etc.). Iron oxide/hydroxide minerals and clay minerals have been distinguished by applying respectively 3/1 and 5/7 band ratio.

Besides, the band ratio and matched filtering (MF) methods have been applied to ASTER images in order to determine the hydrothermal alteration minerals. Iron oxide/hydroxide minerals containing Fe^{+3} (hematite, goethite, etc.) have been mapped by using 2/1 band ratio. Alunite/kaolinite minerals have been determined by applied 4/5 band ratio as a group. The minerals containing Al-OH (clay minerals, muscovite, etc.) have been distinguished by using 4/6 band ratio. Silisifications have been determined by applied 4+5/6+7 band ratio. Carbonate minerals bearing CO^3 (e.g. calcite, etc.) and minerals bearing Mg-OH (e.g. chlorite, epidote, etc.) have been mapped by using to 7+9/8 band ratio. Moreover, hematite, alunite, kaolinite, opal and chlorite minerals have been determined by applied matched filtering (MF) of spectral mapping methods.

The hydrothermal alteration maps produced as a result of image analysis have been combined and evaluated in Geographic Information Systems environment (GIS). Consequently, The maps of the potential target areas of hydrothermal alteration such as argillic alteration (clay minerals), alunite-kaolinite and silisification in terms of VMS-type ore deposits have been produced in particular score values.

The hydrothermal alterations areas such as argillic alteration (clay minerals), alunite/kaolinite and silisification have been extensively seen on Upper Cretaceous dacitic volcanic units

which have important potential in terms of VMS-type ore formations. It is observed that hydrothermal alterations are more prevalent than other areas around Yusufeli and Tekkale. The NE-SW-oriented distribution of hydrothermal alteration has emerged as a distinctive feature.

Also the spectra of samples collected from hydrothermal alteration areas have been measured by using ASD Fieldspec Pro spectrometer. The spectra of these samples have been described as illite, goethite, and the mixture spectra of these two minerals.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Abrams, M., Abbot, E. and Kahle, A.B., 1991. Combined use of visible, reflected infrared, and thermal infrared images for mapping Hawaiian lava flows. Journal of Geophysical Research, 96 (B1), p. 475-484.
- Abdioğlu, E. and Arslan, M., 2008. Alteration mineralogy and geochemistry of the Hydrothermally altered rocks of the kutlular (Sürmene) massive sulfide deposit, NE, Turkey. Turkish J. Earth Sci. 17, pp. 1-24.
- Abrams, M. and Hook, S.J., 1995. Simulated ASTER data for geologic studies, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol.33, no.3, pp.692-699.
- Adler-Golden, S.M., Berk, A., Bernstein, L.S., Richtsmeier, S., Acharya, P.K., Matthew, M.W., Anderson, G.P., Allred, C., Jeong, L. and Chetwynd, J. 1998. FLAASH, A MODTRAN4 Atmospheric Correction Package for Hyperspectral Data Retrievals and Simulations. Proc. 7th Ann. JPL Airborne Earth Science Workshop, Pasadena, Calif., JPL Publication, 97-21, pp. 9-14.
- Akçay, M. and Gündüz, Ö., 2004. Porphyry Cu-Au Mineralisation Associated with a Multi Phase Intrusion, and Related Replacement Fronts in Limestones in an Island Arc-Setting near the Gümüşhane Village (Artvin) in the Eastern Black Sea Province (Turkey), Chemie der Erde, 64, 359-383.
- Akçay, M., Gündüz, Ö. and Çoban, H., 1998. A porphyry Cu-Au mineralisation around the Gümüşhane village (Artvin) and associated carbonate replacement type mineralisation: a geologic and geochemical approach. Third International Turkish Geology Symposium, METU, Ankara, 131

- ASD, 2002. FieldSpec Pro User Guide, Analytical Spectral Devices, p. 136, USA. Web adresi: <http://support.asdi.com/Document/FileGet.aspx?f=600000.pdf>.
- Aslaner, M., Van, A. and Yalçınalp, B. 1995. General features of the Pontide Metallogenic Belt. In: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E. & Örçen, S. (eds), *Geology of the Black Sea Region*. General Directorate of Mineral Research and Exploration and Chamber of Geological Engineers, Ankara, 209–213.
- Bedini, E. 2011. Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data, *Advances in Space Research*, Volume 47, Issue 1, pp. 60-73.
- Boardman, J. W., 1998. Leveraging the high dimensionality of AVIRIS data for improved sub-pixel target unmixing and rejection of false positives: Mixture tuned matched filtering, in *Summaries of the 7th Annu. JPL Airborne Geoscience Workshop*.
- Binelli-Chahine M., Vergely, P., Masson, Ph., 1990. Computer processing of Landsat and spot images for the morpho-structural analysis of the Wei He Graben (Shaanxi-China). Preliminary results, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 45, Issues 5–6, pp. 297-315.
- Bishop, C. A., Liu, J.G. and Mason, P.J. 2011. Hyperspectral remote sensing for mineral exploration in Pulang, Yunnan Province, China. *International Journal of Remote Sensing*, 32(9), pp. 2409-2426.
- Boardman, J. W., 1998. Post-ATREM polishing of AVIRIS apparent reflectance data using EFFORT: a lesson in accuracy versus precision, in *Summaries of the Seventh JPL Airborne Earth Science Workshop*, Vol. 1, pp. 53.
- Bonham-Carter, G. F. 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon (Elsevier Science Ltd.) Press, New York. 398 pages.
- Carranza, E. J. M. 2009. Exploratory analysis of geochemical anomalies. In M. Hale (Ed.) *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS*. Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol. 11, Elsevier BV. 351 p.
- Clark, R. N., 1999. Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy, in *Manual of Remote Sensing*, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, p 3-58.
- Crosta, A.P., Sabine, C. and Taranik, J.V., 1998. Hydrothermal Alteration Mapping at Bodie, California, Using AVIRIS Hyperspectral Data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 65, Issue 3, pp. 309-319.
- Crosta, A. P. and Moore, J.M., 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. *Proceedings of the 9th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Calgary (Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan), pp. 1173-1187.
- Crosta, A.P. and Filho, C.R., 2003. Searching for gold with ASTER. *Earth Observation Magazine*, 12 (5), 38–41.
- Çiftçehan, H. and O'Brien, N.P., 1998. The Cerattepe Cu–Au–Ag deposit, Abstract 3rd Symposium Geology of Turkey, pp.153.
- Ferrier, G., White, K., Griffiths, G., Bryant, R. and Stefouli, M., 2002. The mapping of hydrothermal alteration zones on the island of Lesvos, Greece using an integrated remote sensing dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 23-2, pp. 341-356.
- Fujisada, H., Sakuma, F., Ono, A., and Kudoh, M., 1998, Design and preflight per performance of ASTER instrument protoflight model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1152-1160. GLCF, 2014. Global Land Cover Facility, Web adresi: <http://www.landcover.org/data/landsat/>
- GLCF, 2014. Global Land Cover Facility, Web adresi: <http://www.landcover.org/data/landsat/>
- Goodenough, D.G., Dyk, A., Niemann, K.O., Pearlman, J.S., Hao Chen, Han, T., Murdoch, M. and West, C., 2003, Processing Hyperion and ALI for forest classification, *Geoscience and Remote Sensing*, *IEEE Transactions on*, Vol. 41, Issue:6 , pp. 1321-1331.
- Gökçe, A. and Spiro, B., 2002. Fluid related characteristics of the Çakmakkaya and Damarköy copper deposits, NE Turkey. *Int. Geol. Review*, 44/8, 744-754.
- Hauff, P.L., 2002. *Applied Reflectance Spectroscopy*. Version 4.0, Spektral International Inc.
- Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K. and Mauger, A.J., 2005. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia. *Remote Sensing of Environment*, 99, pp. 159-172.
- Huang, S. and Siegert, F., 2006. Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery, *Journal of Arid Environments*, Vol. 67, Issue 2, pp. 308-327.
- Hubbard, B.E. and Crowley, J.K., 2005. Mineral mapping on the Chilean–Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: Data dimensionality issues and solutions. *Remote Sensing of Environment*, 99, pp. 173 – 186.

- Hubbard, B.E., Crowley, J.K. and Zimbelman, D.R., 2003. Comparative alteration mineral mapping using visible to short-wave infrared (0.4-2.4 μm) Hyperion, ALI, and ASTER imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, pp. 1401-1410.
- Hunt, G. R., 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near-infrared. *Geophysics*, 42, No. 3, pp. 501-513.
- Hunt, G.R. and Ashley, R.P. 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, Vol. 74, pp. 1613-1629.
- Hunt, G. R., 1979. Near-infrared (1.3-2.4 μm) spectra of alteration minerals-potential for use in remote sensing. *Geophysics*, 44, No. 12, pp. 1974-1986.
- Kolaylı, H., Arslan, M. and Çiftçi, E., 2007. Platinum Group Element contents of the Kop Chromitites and its possible sources, (NE Turkey). *Goldschmidt Conference*, Köln.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., and Dietz, J. B., 1993. Expert system-based mineral mapping in northern Death Valley, California/Nevada, using the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), *Remote Sensing of Environment*, Vol. 44, Issues 2-3, pp. 309-336.
- Kruse, F. A., Boardman, J. W. and Huntington, J. F., 2003. Evaluation and Validation of EO-1 Hyperion for Mineral Mapping. in Special Issue, *Transactions on Geoscience and Remote Sensing (TGARS)*, IEEE, Vol. 41, no. 6, pp. 1388-1400.
- Leitch, C.H.B., 1981. Mineralogy and textures of the Lahanos and Kızılkaya massive sulphide Deposits, northeastern Turkey, and their similarity to Kuroko ores. *Mineral. Deposit.* 16, pp. 241-257.
- Liu, L., Zhuang, D.-F., Zhou, J. and Qiu, D.-S., 2011, Alteration mineral mapping using masking and Crosta technique for mineral exploration in mid-vegetated areas: a case study in Areletuobie, Xinjiang (China), *International Journal of Remote Sensing*, 32:7, pp. 1931-1944.
- Loughlin, W., (1991), Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 57, (1163-1169).
- Mars, J.C. and Rowan, L.C., 2006. Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms. *Geosphere*, 2, pp. 161-186.
- Mars, J.C. and 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, pp. 2011-2025.
- Moore, F., Rastmanesh, F., Asadi H., & Modabberi, S., 2008. Mapping mineralogical alteration using principal-component analysis and matched filter processing in the Takab area, north-west Iran, from ASTER data, *International Journal of Remote Sensing*, 29-10, pp. 2851-2867.
- MTA, 2002. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1:500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Trabzon paftası.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal processes and mineral systems*, Springer, 1250 p.
- Podwysocki, M., Salisbury, J. and Vergo, N. 1985. Use of near-infrared spectra to distinguish between sedimentary cherts and hydrothermal silica associated with disseminated gold deposits. *Geological Society of America, Abstract*, Vol. 17, pp. 691.
- Porwal, A., Carranza E.J.M. and Hale M. 2003. Knowledge-driven and Data-driven Fuzzy Models for Predictive Mineral Potential Mapping. *Natural Resources Research*, Vol. 12, No. 1, pp. 1-25.
- Rowan, L.C., Crowley, J.K., Schmidt, R.G., Ager, C.M. and Mars, J.C., 2000. Mapping hydrothermally altered rocks by analyzing hyperspectral image (AVIRIS) data of forested areas in the Southeastern United States, *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 68, Issue 3, pp. 145-166.
- Rowan L.C. and 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, pp. 350-366.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J. and 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*, Vol. 98, pp. 1019-1027.
- Rowan, L.C., Schmidt, R.G. and 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, pp. 74-87.
- Ruiz-Armenta, J. R. and Prol-Ledesma, R. M., 1998. Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico, *International Journal of Remote Sensing*, 19-10, pp. 1981-2000.
- Sabins, F.F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 14, pp. 157-183.
- Sadıklar, M.B., Sipahi, F., Bernhardt, H.J. and Uysal, İ., 2007. The formation of the Fe skarn deposit between Camiboğazi and Arnastal (Gümüşhane, NE Turkey): Evidence from mineral chemistry. *Goldschmidt Conference, Geochimica et Cosmochimica Acta*, Cologne, *Goldschmidt Conference*, Germany, 71 (15), A865.

- Schneider, H.J., Özgür, N. & Palacios, M.C., 1988. Relationship between alteration, REE distribution, and mineralization of the Murgul Copper Deposit, Northeastern Turkey. *Economic Geology*, 83, 4612-4624.
- Seedorf, E., Dilles, J.D., Proffett, J.M., Jr., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A. and Barton, M.D. 2005. Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features. *Economic Geology*, 100th Anniversary, pp. 251-298.
- Shippert, P., 2003, Introduction to Hyperspectral Image Analysis, Remote Sensing of Earth via Satellite Winter 2003 Issue 3: Research and Applications, Online Journal of Space Communication, Web adresi: http://spacejournal.ohio.edu/issue3/abst_shippert.html.
- Sipahi, F. 2011. Formation of skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, Vol. 188, Number 2, pp. 169-190.
- Tangestani, M.H., and Moore, F., 2002. Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran, *International Journal of Remote Sensing*, 23-22, pp. 4815-4825.
- Tangestani, M.H., Mazhari, N., Agar, B. and Moore, F., 2008. Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi-arid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran, *International Journal of Remote Sensing*, 29-10, pp. 2833-2850.
- Tommaso, I., and Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the infernillo porphyry deposit, Argentina. *Ore geology Reviews*, 32, 275-290.
- Tüysüz, N., 2000, Geology, Litho-geochemistry and Genesis of the Murgul Massive Sulfide Deposit, NE Turkey. *Chemie der Erde*, 60, 231-250.
- Tüysüz, N. 1995. Lahanos (Espiy-e-Giresun) masif sülfit yatağına ait cevher mineralleri ve dokularının cevher oluşumu açısından incelenmesi. *Yerbilimleri* 26, 79-92.
- Tüysüz, N. Er, M., Yılmaz, Z. and Akıncı, S. 1995. Geology, Mineralogy and Alteration of the Mastra Epithermal Gold-Silver Deposit, Gümüşhane, NE-Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol. 4, n.1, 1995, pp. 11-21.
- Tüysüz, N. ve Akçay, M., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Altın Yataklarının Karşılaştırmalı İncelenmesi. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi, MTA, 2000, s.625-645.
- USGS 2014, Frequently Asked Questions about the Landsat Missions, web adresi: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php, Erişim Tarihi: 06.05.2014.
- Uysal, İ., Tarkian, M., Sadıklar, M.B. and Şen, C. 2007. Platinum-Group elements geochemistry and mineralogy in ophiolitic chromitites from the Kop Mountains, Northeastern-Turkey. *The Canadian Mineralogist*, 45 (2), pp. 355-377.
- Van der Meer, F.D., Van der Werff, H. M.A., Van Ruitenbeek, F.J.A., Hecker, C.A.,
- Bakker, W.H., Noomen, M.H., Van der Meijde, M., Carranza, E. J.M., de Smeth, J. B., Woldai, T. 2012. Multi- and hyperspectral geologic remote sensing. A review, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol.14, Issue 1, pp. 112-128.
- Vaudour, E., Gilliot, J.M., Bel, L., Bréchet, L., Hamiache, J., Hadjar, D. and Lemonnier, Y., 2014. Uncertainty of soil reflectance retrieval from SPOT and RapidEye multispectral satellite images using a per-pixel bootstrapped empirical line atmospheric correction over an agricultural region, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 26, pp. 217-234.
- Vincent, R.K. 1997. *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*. Prentice-Hall, New Jersey. 366 p.
- Wang, L., Sousa, W.P., Gong, P. and Biging, G.S., 2004. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 91, Issues 3-4, pp. 432-440.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi Ve Jeokimyası: Doktora Tezi, K.T.O. Jeol. Böl. Trabzon. 175 s. (Yayımlanmamış).
- Yalçınalp, B. 1995. Doğu Pontidlerde porfiri Cu-Mo mineralleşmeleri içeren granitoidlerin jeokimyasal özellikleri. *Türkiye jeoloji Bülteni*, C. 38, No. 1, s. 25-32.
- Yamaguchi, Y., Kahle, A.B., Tsu, H., Kawakami, T. and Pniel, M. 1998. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 36, pp. 1062-1071.
- Zadeh, M.H., Tangestani, M.H., Roldan, F.V. and Yusta, I., 2014. Sub-pixel mineral mapping of a porphyry copper belt using EO-1 Hyperion data, *Advances in Space Research*, Vol. 53, Issue 3, pp. 440-451.
- Zhang, X., Pazner, M. and Duke, N. 2007. Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 62, pp. 271-282.

Makale Geliş Tarihi : 30 Eylül 2014
Kabul Tarihi : 02 Şubat 2015

Received : 30 September 2014
Accepted : 02 February 2015