

GÜMÜŞHANE (HAZİNE MAĞARASI-DEREMADENİ) SAHASINDA LİTOLOJİK FARKLILIKLARIN VE ALTERASYONLARIN UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION WITH REMOTE SENSING TECHNIQUES OF LITOLOGIC DIFFERIANIONS AND ALTERATOINS IN GÜMÜŞHANE FIELD (HAZİNE MAĞARASI VE DERE MADENİ)

A.Vural^a, Ö. Çorumluoğlu^b, İ. Asri^b

^a Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, vural@gumushane.edu.tr,
^b Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, (ocorumlu, iasri)@gumushane.edu.tr,

TUFUAB 2011

KEY WORDS: Remote Sensing, Mineral Exploration, Gümüşhane, Hydrothermal Alteration

ABSTRACT:

This study is aimed to find out mineral alteration and lithology in the South part of Gumushane province by Remote Sensing and GIS technologies. For this reason, mine fields which are rich in alteration and are located in the south of Gumushane were chosen and previous data related to the region were also entered to digital medium by the help of ArcGIS software. This study area in the south part of Gumushane covers approximately 30 km². It is known from old times that there were several mine exploration areas in that region. Under the coverage of this study, geological map using surface data is compared with remote sensing data in GIS environment.

Alterations which are accepted as characteristic path finder of ore occurrences in the region were studied by Crosta technique that is an important remote sensing technique used for mineral determination in geology. Crosta technique is used commonly for the determination of mineralization in the mine fields that are showing hydro thermal alterations especially rich in ore. In this study area, regions in the south part of Gumushane that are rich in iron oxides and hydrothermal alteration were chosen and crosta technique were applied for feature determination using several band combinations. As a result of this study, it is shown that determined alteration areas by crosta technique were proven by those from previous classical methods.

ANAHTAR KELİMELER: Uzaktan Algılama, Maden Arama, Gümüşhane, Hidrotermal Alterasyon

ÖZET:

Bu çalışmada Gümüşhane ili güneyinde (Hazine mağara madeni ve Dere madeni yakın çevresi) Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tekniklerinden faydalanılarak litolojik farklılıkların ve maden arama amaçlı olarak alterasyon alanlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu nedenle Gümüşhane güneyinde bulunan ve alterasyonlar bakımından zengin olan maden sahaları seçilmiş ve bu sahalarla ait önceki veriler ArcGIS vb. yazılımlar kullanılarak sayısal ortama aktarılmıştır. Çalışma sahası Gümüşhane İli Güneyinde yer almakta olup, Hazine Mağara Madeni, Dere Madeni sahasının da içinde bulunduğu yaklaşık 30 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Sahada eskiden beri eski maden işletmelerinin bulunduğu bilinmektedir. Yapılan bu çalışma kapsamında sahaya ait yüzey verilerinden üretilmiş jeoloji haritası, CBS ortamında uzaktan algılama verileri ile karşılaştırılmıştır.

Sahada gelişen cevher oluşumlarının karakteristik iz bulucu özelliklerinden olan alterasyonlar (hidrotermal alterasyonlar, kil vb oluşumlar), uydu verileri kullanılarak uzaktan algılama tekniklerinden Crosta tekniği ile incelenmiştir. Crosta tekniği, özellikle demirce zengin ve hidrotermal alterasyon zonları gösteren madenlerde, cevherleşme alanlarını belirlemede son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Çalışma alanında, hidrotermal alterasyona uğramış ve demiroksitçe zenginleşmiş olan Gümüşhane güneyindeki bölgeler (Hazine Mağarası-Dere Madeni) özellikle seçilmiş ve Crosta tekniği ile farklı band kombinasyonları kullanılarak ayrı ayrı denetlenmiştir. Çalışma sonunda, elde edilen veriler göz önüne alındığında, klasik metodlar kullanılarak daha önce belirlenmiş cevherleşme bölgelerinin, kullanılan Crosta tekniği ile de başarı ile tespit edildiği görülmüştür.

1. GİRİŞ

Uzay ve uydu teknolojilerinin gelişimi ile yaşadığımız dünya hakkında edindiğimiz bilgiler artmakta ve mevcut bilgilere süreklilik arz eden bir katkı sağlanabilmektedir. Böylece, değişim içinde bulunan bu bilgilerin yine aynı teknolojiler aracılığıyla hızlı bir şekilde güncelliği sağlanabilmektedir. Uzaktan algılama teknolojisindeki bu gelişime paralel olarak

uzaktan algılama, yerbilimlerinin tüm alanlarında etkin şekilde kullanılan bir yöntem olduğunu ispatlamış durumdadır. İlk olarak hava fotoğrafları ile başlamış olan uzaktan algılama çalışmaları, çok bantlı uydu görüntülerinin kullanımı ile devam etmiş ve günümüzde ise hiperspektral uydu verileri ve radar verilerinin de kullanımı ile oldukça çeşitlilik ve etkinlik kazanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak jeoloji ve madencilik alanlarında da etkin bir şekilde kullanılan uzaktan algılama

teknikleri, artık yer bilimcilerin vazgeçilmez araçlarından birisi haline gelmiştir.

Bilindiği üzere cisimler yapısal ve konumsal özelliklerine göre değişik dalga boylarında üzerlerine düşen (güneş) ışınları farklı miktarlarda yansıtır, geçirir ve soğururlar. Günümüz teknolojisi göz önüne alındığında doğal öğelerin türlerinin belirlenmesi ve dağılımlarının haritalaması noktasında özellikle yanına gitmeden bunu başarılı şekilde gerçekleştiren yegane teknik olarak karşımıza çıkan Uzaktan Algılama Tekniği, genel itibarıyla özellikle bu ışıklardan yansıtılanlarının algılanmasını konu edinmektedir. Bunun dışında, temelde termal bölgede objeler tarafından yayılanı, mikrodalga bölgesinde ise algılayıcının kendisinin yayımladığının geri döneninin algılanmasını esas alır. Bu ışınlar özel platformlarla (uydu, uçak) taşınabilen algılama düzenekleri ile algılanabilmektedirler. Bu yolla elde edilen verilerin bilgisayar ortamında değerlendirilmesi ile istenilen alan içerisindeki doğal öğelerin, öz niteliklerin ve zamansal değişimlerin haritalanması mümkün olabilmektedir. Uzaktan algılama tekniklerinin kullanımını yeryüzü koşullarına göre çok daha ucuza mal olmanın yanında bazen yerden görünmeyen yapısal özelliklerin uzaktan görülmesine de olanak sağlamaktadır. Yer çalışması yapılamayan alanlar içinse çok önemli bir bilgi kaynağı oluşturmaktadırlar.

1.1. Uzaktan Algılamanın jeolojide kullanımı:

Özellikle, jeolojik haritalama ve araziye gitmeden arazi analizi, jeolojik birimleri haritalama, sel baskınlarını haritalama, petrol sızıntılarının tesbiti, kayaç tabakalarının uydular sayesinde görüntülenmesi gibi jeolojik uygulamalarda uzaktan algılama ile incelenir ve yorumlanır. Jeolojideki uygulamalara şöyle örnekler verebiliriz:

Uzaktan algılama, günümüzde litolojik ve mineralojik haritalama, sel, heyelan ve deprem gibi doğal afetler, kıyı çalışmaları, doğal kaynak aramaları, değişim tespiti, yapısal jeoloji ve hidrojeoloji ile uzaktan algılamanın yer bilimleri uygulamaları için geliştirilen algoritma ve yöntemlere ilişkin konularda jeoloji alanına ciddi katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, diri faylarla ilgili son zamanlarda kullanılan ve çok büyük kolaylıklar sağlayan bir yöntemdir. Uzaya yerleştirilen çeşitli uydulardan alınan görüntü ve diğer verilerin kullanılması vasıtasıyla faylardaki bazı özellikler çok hassas bir şekilde takip edilebilmektedir. Bu yolla, diri fay gidış istikameti, faydaki kayma miktarı, hareket yönü veya anormal değişiklikler hassas bir şekilde saptanabilir.

1.2. Uzaktan Algılamanın maden aramalarında kullanımı:

Uzaktan algılanma görüntüleri, maden arama çalışmalarında maden yataklarının yoğunlaştığı yerler olan fay kırıklarının ve genel olarak jeolojinin haritalanmasında ve uzaktan algılama bant görüntüleri acılığıyla tayfsal eğrilerinden yararlanılarak mineral zenginleşmesine sahip kayaların belirlenmesinde kullanılır.

Kayaçların ve içerisinde yer alan minerallerin değişik dalga boyları için belirli ve diğerlerinden farklı bir yansıma değeri vardır. Konu mineralin farklı dalga boylarındaki kendine özel yansıma değeri o mineral ya da kayacın karakteristik tayfsal eğrisi olarak nitelendirilir. Kayaç ya da mineral, belirli dalga boyundaki elektromanyetik enerjiyi soğurur ya da yansıtır. Buna

göre aranacak madenin karakteristik tayfsal özelliğine göre görüntü ve bant seçimi yapılır ve madenin yoğunlaştığı yerler yeryüzünde belirlenmeye çalışılır.

Maden yataklarının veya mineral zenginleşmelerinin içinde bulunduğu yan kayaçlar, hidrotermal akışkanın yan kayaçla reaksiyonları sonucu oluşan, kayacın kimyasını değiştiren ve cevherin ve hidrotermal minerallerin yerleşimine sebep olan son ürünleri gösterirler (Rutz-Armenta and Prol-Ledesma 1998). Buradan hareketle bütün porfiri tip yatakların iyi gelişmiş zonlu bir durum gösterdikleri ve bu zonların ana oksitler ve iz element konsantrasyon farklılığı ile de çok rahat tanımlanabilecekleri bilinmektedir. Bu elemental kompozisyon, altere zonların mineralojik kompozisyonlarındaki değişiklik olarak karşımıza çıkar. Yüze şartlarında gelişen ikincil alterasyonlar, alterasyona uğrayan kayaçlarda karakteristik kestane kırmızısı, ve/veya sarımsı renklerin önemli ölçüde oluşmasına yol açar. Bu alterasyon mineralleri uzaktan algılama ile kolaylıkla tanımlanabilir.

Uzaktan algılama görüntülerinin işleme sürecinde öncelikle atmosferik gürültüler filtrelenir ve gerekli geometrik düzeltmeler yapılarak görüntü işlenmeye hazır hale getirilir. Sonrasında çeşitli kontrast uygulamaları, filtreleme ve renkli görüntü oluşturma teknikleri kullanılarak görüntü zenginleştirilir. Son aşama ise bant oranlaması, birincil bileşen analizi ve görüntü sınıflama yöntemleri gibi tekniklerin kullanılmasıyla görüntüden bilgi çıkarılmasıdır.

Maden arama çalışmalarında ihtiyaca göre çeşitli uzaktan algılama görüntüleri kullanılır. Bunlardan Landsat görüntüleri yaygın kullanıma sahiptir. Bu görüntüler geniş alan kapladıkları için bölgesel olarak büyük yapıların tanınmasında çok işe yarar. Landsat verileri son 20-30 yıldır, arid ve semiarid (kuru-yarıkur) iklimlerin hakim olduğu bölgelerde, maden yataklarının hidrotermal alterasyona uğramış zonlarında bulunabilen demiroksit ve hidroksil köklerine sahip minerallerin yerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Abrams *et al.* 1983, Kaufman 1988, Tangestani and Moore 2001). Bundan dolayı da, özellikle hidrotermal alterasyon zonlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılır. Toprak ve kayaçların, Landsat 7 ETM+ bandlarından, band 7(2.08 -2.35 μm)'de yüksek oranda absorblandığı, band 5 (1.55 - 1.75 μm)'de ise yüksek reflektans-parlaklık gösterdiği genel olarak bilinmektedir. Diğer yandan, bu bandların oranının (7/5) kullanılışı ile elde edilen görüntüde, toprak ve kayaç görüntüleri belirginleşmektedir. Benzer şekilde, (7/1) band oranı hidroksil alterasyonunu, (5/7) oranı kil ve (3/2) oranı demiroksit alterasyonunu belirlemek için tercih edilmektedir (Sabins 1997, 1999, Drury 2001). Bu bilgilerin ışığı altında, Landsat 7 ETM+ bandlarından 1, 3, 5 ve 7. bandların jeolojik çalışmalar için rahatlıkla kullanılabileceği sonucunu çıkarabiliriz. RGB 731, RGB 754, RGB 753 and RGB 531 kombinasyonlarının jeolojik amaçlı çalışmalarda çok faydalı olduğu bilinmektedir. Özellikle Kesik Landsat görüntüsünden elde edilen RGB 531 kompozitinin çalışılan arazideki kayaçların sınırlarını ve dokularını belirlemek açısından en iyi görüntüyü verdiği görülmüştür.

1.3. Maden arama çalışmalarında CROSTA tekniğinin kullanımı:

Günümüze kadar maden arama amaçlı yapılan çalışmalardan elde edilen veriler değerlendirildiğinde sahadaki cevher zenginleşmelerinin, tektonik ile ilişkili olduğu, ve arazi

çalışmalarıyla elde edilen sonuçları doğruladığı görülmüştür (Aydal vd. 2004, 2006a,b,c,d).

Maden arama çalışmalarında uzaktan algılama görüntülerinin kullanımı genellikle bu görüntülerden temel bileşen analizleri (Principal Component analysis-PCA) yapılarak metalojenik arazilerin alterasyon haritalarının üretimi şeklinde gerçekleşmektedir (Abrams, *et al.*, 1983; Kaufman, 1988, Loughlin 1991, Bennett *et al.*, 1993, Tangestani and Moore 2001, Ranjbar 2002).

Crosta tekniği de özellikle yönlendirilmiş (feature oriented) temel bileşen analizlerinden birisidir. Eigenvektör değerlerinin analizleri, belli minerallerin tayfsal bilgilerini ve ilgilenilen maddelerin tayfsal karşılığı (spectral response) ile bağlantılı olan orijinal bantların katkısı içeren temel bileşenlerin tanımlanmasını sağlar. Bu teknik, eigenvektör yüklemelerinin (+) veya (-) işaretli olmasına bağlı olarak temel bileşenlerde parlak veya koyu renkli pikseller olarak temsil edileceklerine işaret eder.

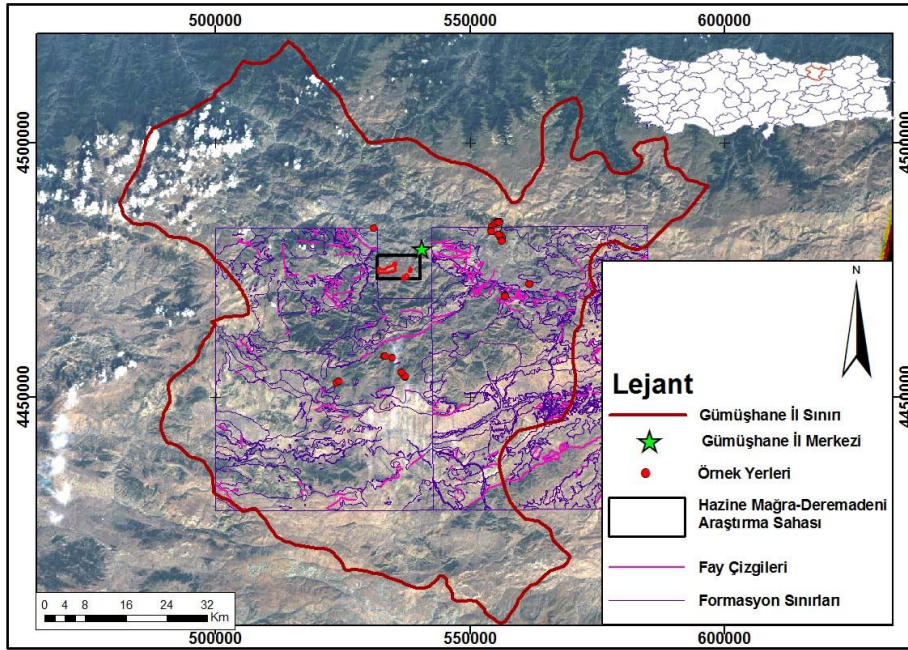
Bu içeriğiyle, Crosta tekniği, görüntü zenginleştirme tekniklerinin önemlilerinden birisi olup özellikle demirce zengin ve hidrotermal alterasyon zonları gösteren madenlerde,

cevherleşme alanlarını belirlemede son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Crosta tekniği, seçilmiş 6 band veya 4 band üzerinden gerçekleştirilebilmektedir (Crosta and Moore 1989, Rutz-Armenta and Prol-Ledesma 1998).

Bu tür bir çalışmada dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan birisi, doğru PC'nin seçilebilmesidir. Hidroksil görüntüsü elde edilirken band 5 ve 7'nin; demiroksit görüntüsü elde edilirken band 1 ve 3'ün en yüksek, fakat ters işaretli yüklemelerinin bulunduğu PC'nin seçilmiş olmasıdır (Crosta and More 1989, Loughlin 1991, Tangestani and Moore 2000).

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE BU BÖLGE İÇİN CROSTA TEKNİĞİNİN UYGULANMASI

Çalışma bölgesi, Gümüşhane ilinin eski Gümüşhane diye bilinen Süleymaniye mahallesinin güney-güneydoğusunda yer almaktadır. Uydu görüntü seti olarak 2001.09.22 tarihli (path:173, row:32) LANDSAT 7 ETM+ 8 bant görüntüsünden 6 bantlık seti kullanılmıştır (Şekil-1).



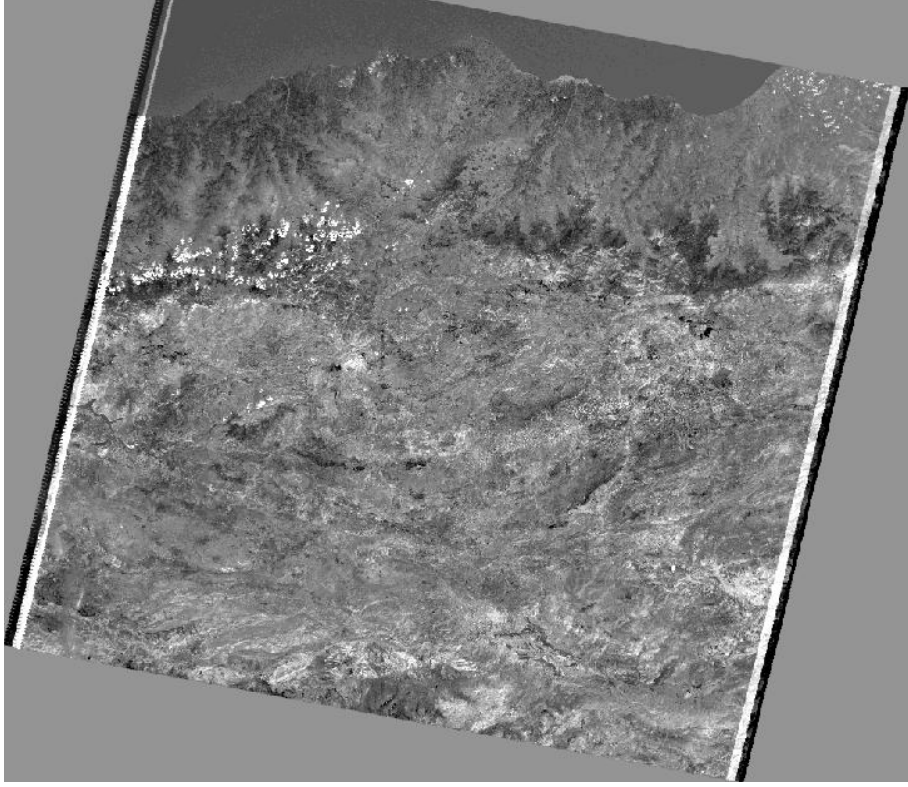
Şekil 1. Çalışma bölgesi ve LANDSAT uydu görüntüsü (jeolojik bilgiler MTA Genel Müdürlüğü Çalışmalarından derlenmiştir) (Güner vd. 2003).

Crosta tekniği tüm 6 bant için uygulanabileceği gibi bu çalışmada da yapıldığı gibi, Landsat 7 ETM+’a ait 4 bantlık 2 veri seti oluşturularak da uygulanabilir. Bunun için ilk olarak 1, 4, 5 ve 7 TM bantlarını içeren veri seti 1 ve ikincisi için 1,3,4 ve 5 TM bantlarını veri seti 2 içeren iki ayrı sanal set”Virtual oluşturduğu görülmektedir.

Band 2 ve band 3 demiroksiti bastırmak için özellikle kullanılmayarak TM 1,4,5 ve 7 bantları kullanıldığında, band 5 de en yüksek pozitif eigenvektör yüklemesinin ve band 7 de de

Dataset” oluşturulur. Her bir sanal set“Virtual Dataset” için istatistikleri ve kovaryans eigenvektör “Covariance Eigenvector” değerleri belirlenip incelendiğinde genelde PC4 bileşenini içeren görüntünün ters işaretli yüklemelerin en uygun ve yüksek değerlerde olduğu PC görüntüsünü

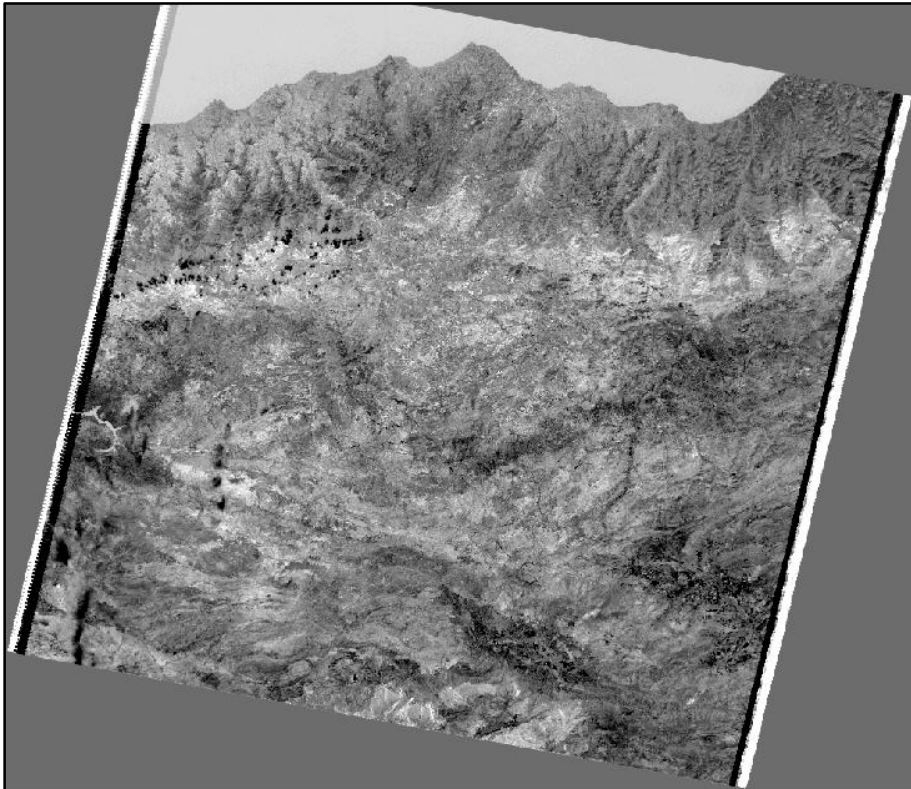
en yüksek negatif yüklemenin olduğu PC’nin PC4 olduğu görülmüştür. Bu PC “Hidroksil”i gösteren bileşendir (H bileşeni) ve açık pikseller olarak görülür (Şekil-2).



Şekil-2 Crosta tekniğinin Landsat 7 ETM+ uydu verisi dört band için (1,4,5 ve 7) uygulanması ile elde edilen hidroksil (PC4) görüntüsü

Bölgeye ait Landsat 7 ETM+ (1,3,4 ve 5) bandlarındaki PC transformasyon sonucunda band 3'de en yüksek pozitif eigenvektör yüklemesinin ve band 1'de de en yüksek negatif

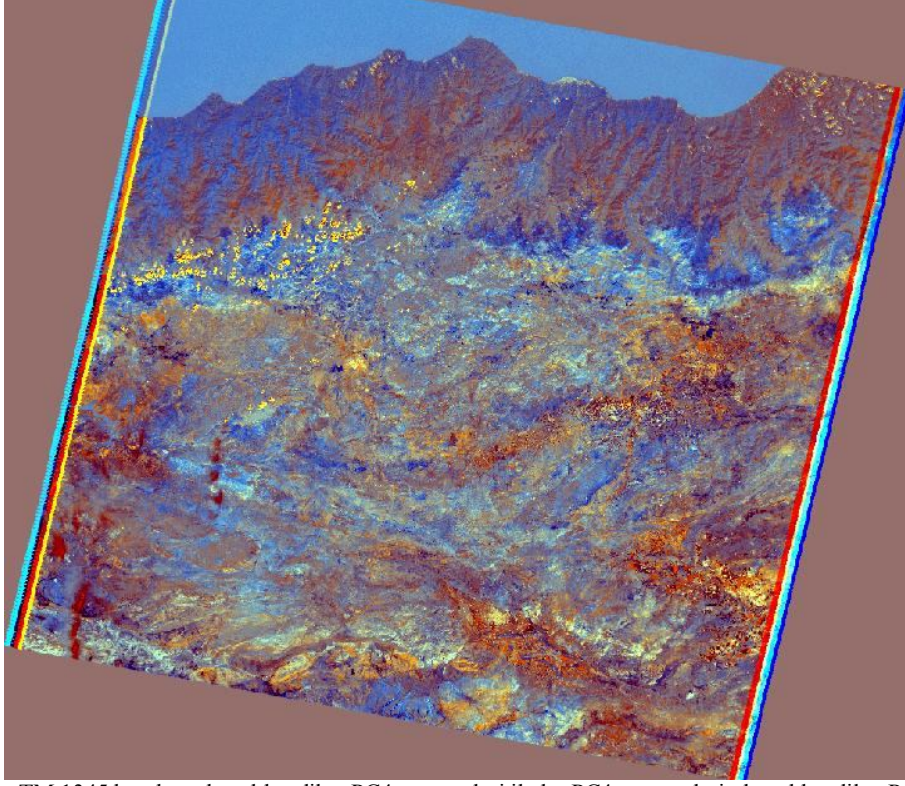
yüklemenin olduğu PC'nin de yine PC4 olduğu görülmüştür. Bu PC "demiroksit"i gösteren bileşendir (F bileşeni) (Şekil 3).



Şekil-3 Crosta tekniğinin Landsat 7 ETM+ uydu verisi dört band için (1,3,4 ve 5) uygulanması ile elde edilen demiroksit (PC4) görüntüsü

F ve H bileşeninden oluşan iki bantlı yeni bir "Virtual Dataset-PC" oluşturulur ve istatistiği hesaplanır. Bu verisetinin de PC'si elde edilir ve son olarak da, bu değerlerin yerleştirilmesiyle elde edilen bir RGB algoritması oluşturulur. Ancak, bu algoritmayı oluştururken dikkat edilmesi gereken husus, hidroksil görüntüsünü elde ettiğimiz PC4'ün R'ye, 1. veri setinden elde

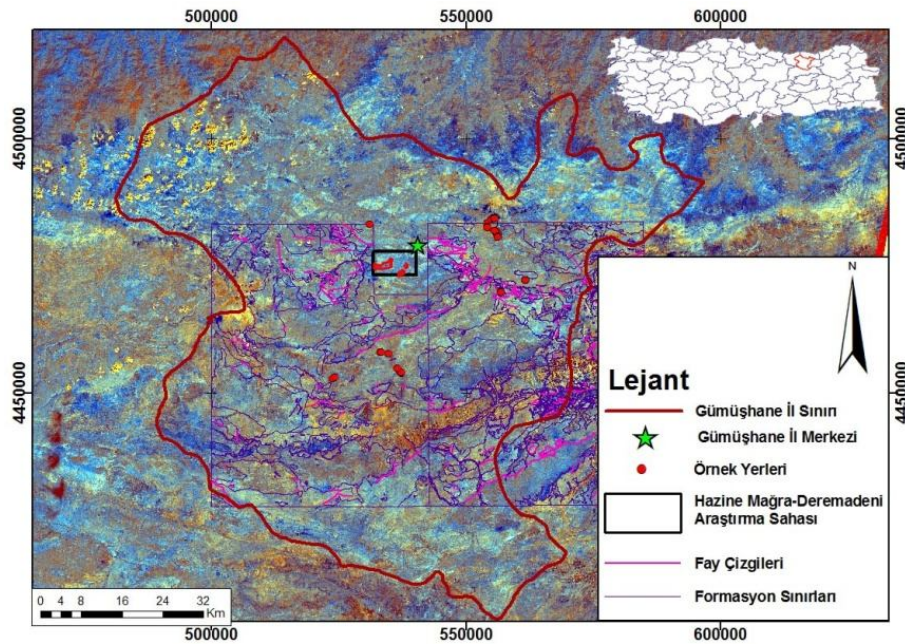
edilen PC4 ve 2. veri setinden elde edilen PC4'ün principal component analizinden üretilen PC1 ve PC2 den zıt işaretli eigen değerler veren PC bileşeni olan PC2 de G'ye ve nihayet demiroksit için oluşturulan PC4'ün de B'ye yerleştirilmesiyle bir yapay renkli bir görüntü (false colour image) elde edilmesidir (şekil -4).



Şekil 4. TM 1457 ve TM 1345 bantlarından elde edilen PC4 görüntüleri ile bu PC4 görüntülerinden elde edilen PC2 görüntüsünden oluşturulan yapay renkli görüntü.

Crosta analiziyle elde edilen bu görüntüdeki litolojik yapıyı içeren detayların bölgeyi ait önceden üretilmiş litolojik vektörel

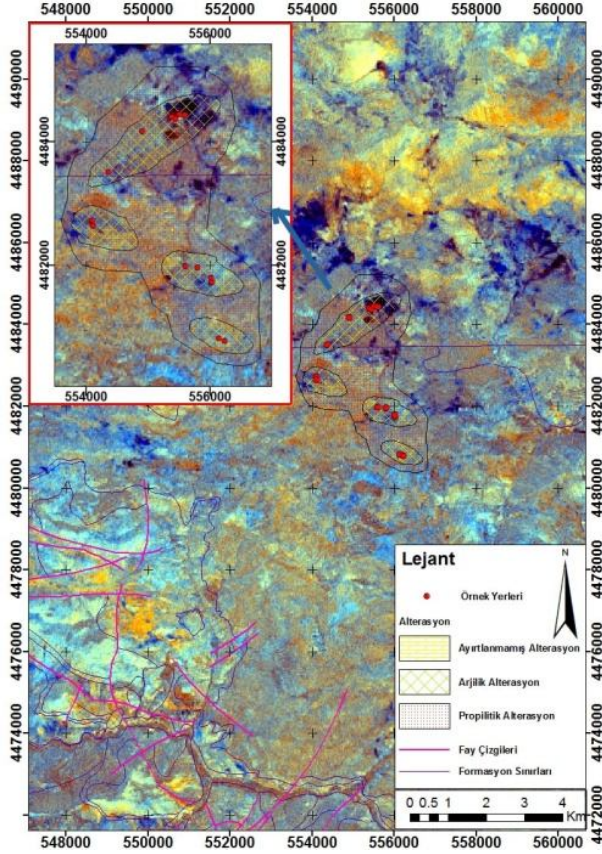
verilerle büyük bir uyum içerisinde olduğu şekil-5 ten açıkça görülebilmektedir.



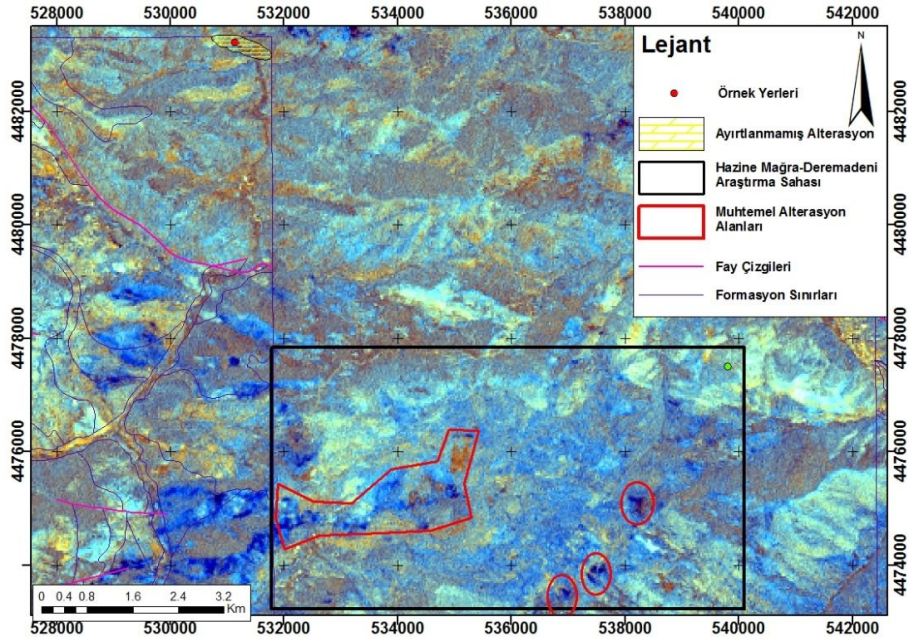
Şekil 5. Crosta tekniğiyle elde edilen litolojik detayların önceden elde edilmiş vektörel verilerle uyumunun gösterimi.

Şekil 6'da gösterilen ve alterasyonların olduğu örnekleme nokta ve alanları ile Crosta tekniği ile üretilen alterasyon bölge haritasının uyuşum içerisinde olması şekil 5'de siyah dikdörtgenle çevrilmiş çalışma alanlarındaki alterasyonların tanımlanmasında önemli bir kriter olmuştur. Bu kapsamda şekil

7 siyah dikdörtgenle çevrilmiş çalışma alanındaki alterasyonları göstermekte olup, muhtemel alterasyon alanları yapay renkli görüntüde lacivert olarak beliren ve kırmızıyla çevrilen bölgeler olarak önerilebilir.



Şekil 6. Crosta tekniğiyle üretilmiş yapay renkli görüntüdeki litolojik detaylar ile örnekleme noktaları (jeoloji ve alterasyon bilgileri MTA Genel Müdürlüğü Çalışmalarından derlenmiştir).



Şekil 7. Çalışma bölgesindeki alterasyon alanları.

3. SONUÇLAR

Çalışmada ilk olarak Gümüşhane bölgesindeki litolojik yapı uydur görüntüleri yardımıyla ve bu görüntülerin değerlendirilmesinde Crosta tekniği kullanılarak ortaya konmaya çalışılmıştır. Crosta tekniği sonucunda üretilen yapay renkli görüntüdeki bölgeye ait litolojik yapı ve detayların yer çalışmalarıyla elde edilen vektörel verilerle ciddi bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Bunun yanı sıra ikinci olarak madencilik açısından alterasyon bölge ve alanlarının yine aynı teknikle belirlenmesi yönünde de bu görüntü analiz edilmiş ve araziden elde edilen örnekleme nokta ve alanları ile karşılaştırılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abrams, M. J., Brown, D., Lepley, L. and Sadowski, R. 1983. Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona. *Economic Geology*, 78; pp. 591-604.
- Aydal, D., Vural, A. and Polat, O. 2004. Volkanik kayalarda baz metal ve altın içeren hidrotermal altere alanların Landsat 7 TM ile tanımlanması ve verilerin CBS ortamında değerlendirilmesi : Bayramiç (Çanakkale) çalışmaları (Definition Of The Base Metal And Gold Bearing Hydrothermally Altered Areas In Volcanic Rocks Using By Landsat 7 TM Imagery: Case Study From Bayramiç (Çanakkale). 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı; 89-90.
- Aydal, D., Vural, A., Taşdelen-Uslu, İ. ve Aydal, E. G., 2006a. Kuşçayırı-Kartaldağı (Bayramiç-Çanakkale) cevherleşme bölgesinin LANDSAT 7 ETM+ kullanılarak Crosta tekniği ile incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi 1.Uzaktan Algılama-CBS Çalıştay ve Paneli Bildiri Özleri Kitabı. Aydal, D., Vural, A., Taşdelen-Uslu, İ. ve Aydal, E. G. 2006b. Kuşçayırı-Kartaldağı (Bayramiç-Çanakkale) cevherleşme bölgesinin LANDSAT 7 ETM+ kullanılarak Crosta tekniği ile incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi 1.Uzaktan Algılama-CBS Çalıştay ve Paneli Kitabı, 11 sayfa.
- Aydal, D., Vural, A., Taşdelen-Uslu, İ. ve Aydal, E. G., 2006c. Alakeçi-Kisacık (Bayramiç-Balıkesir) Cevherleşme Bölgesinin Landsat 7 ETM+ Kullanılarak Crosta Tekniği ile İncelenmesi. Bildiri özleri kitabı, sayfa 195.
- Aydal, D., Vural, A., Taşdelen-Uslu, İ. ve Aydal, E. G., 2006d. Alakeçi-Kisacık (Bayramiç-Balıkesir) Cevherleşme Bölgesinin Landsat 7 ETM+ Kullanılarak Crosta Tekniği ile İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisine yayım için kabul edildi.
- Aydal, D., Arda, E. and Dumanlılar, Ö. 2006, Applications of Crosta Techniques on alteration products of the granitoidic rocks. Using Landsat ETM+ 7: A case study in eastern taurite belt, SE Turkey; *International Journal of Remote Sensing*, accepted for publication.
- Bennet, S. A. and Atkinson, W.W. and Kruse, F. A., 1993, Use of Thematic Mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa district, Sonora, Mexico. *International Geology Review*, 35, pp. 1009-1029.
- Crosta, A. and Moore, J. McM. 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. In: *Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference: Remote sensing for exploration geology*; 1173-1187.
- Drury, S.A. 2001. *Image Interpretation in Geology*, Blackwell Science Inc. (USA), Nelson Thornes (UK), 3th edition, 304p
- Güner, S., Yazıcı, E.N, Dursun, A., Yılmaz, H., Ağan, A. ve Yılmaz Z. 2003. Gümüşhane Yöresi Epitermal Altın Aramaları Prospeksiyon Raporu. MTA Rapor No.10745. Ankara.
- Kaufman, H., 1988. Mineral exploration along the Agaba-Levant structure by use of TM-data concepts, processing and results. *International Journal of Remote Sensing*, 9, pp. 1630-1658.
- Loughlin, W. P. 1991, Principal Component Analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, pp. 1163-1169.
- Ranjbar, H., Honarmand, M. and Moezifar, Z. 2002, Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM+ data, : A case study of Meiduk and SAR Cheshmeh areas, Kerman, Iran, *Exploration and Mining Geology*, 11; 43-48.
- Rutz-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, pp. 1981-2000.
- Sabins, F. F. 1999. Remote Sensing for Mineral Exploration, *Ore Geology Reviews*, 14, pp. 157-183.
- Tangestani, M. H. and Moore, F., 2000, Iron oxide and hydroxyl enhancement using the Crosta Method: a case study from the Zagros Belt, Fars province, Iran, *Communication, JAG*, 2, 2, pp. 140-146
- Tangestani, M.H. and 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, pp. 176-182