

# UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE AÇIK MADEN OCAKLARINDA BOR MİNERALLERİNİN TESPİTİ

M. Uysal<sup>a,\*</sup>, B. Turgut<sup>a</sup>, N. Polat<sup>a</sup>, M.A. Dereli<sup>a</sup>, M. Yalçın<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye - (muysal, bturgut, npolat, madereli, mustafayalcin)@aku.edu.tr

**Anahtar Kelimeler:** Spectral Angle Mapper (SAM), Bant Oranlaması, LANDSAT TM, Mineral Tespiti, Bor Madeni, Uzaktan Algılama

## ÖZET:

Uzaktan algılama teknikleri ile maden arama çalışmaları son dönemlerde oldukça yaygınlık kazanmıştır. Maden rezervlerinin belirlenmesine ilişkin arama faaliyetlerinin hızlandırılması ve bununla birlikte arama maliyetlerinin düşük olması uzaktan algılama tekniklerinin kullanımını arttırmaktadır. Hem enerji hem de stratejik bir öneme sahip olan birçok maden türü bulunmaktadır. Bu madenlerden biri olan bor minerali de oldukça nadir bulunan stratejik bir elementtir. Bu madenin % 70'lik rezervin Türkiye'de bulunması, ülkemiz açısından da önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, açık ocaklı madenlerde uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak bor minerallerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Uygulama bölgeleri olarak seçilen Balıkesir Bigadiç ve Eskişehir Kırka bölgelerinde özellikle Kolemanit, Uleksit, ve Boron minerallerinin belirlenmesi için 2010 yılına ait Landsat 5 TM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Envi spektral kütüphanesinde bulunan bor mineralleri referans alınarak, nesne tabanlı referans spektra yöntemi olan Spectral Angle Mapper (SAM) yöntemi ve Bant Oranı (Band Ratio) teknikleri, Landsat TM görüntüsü üzerinde uygulanmıştır. Uygulama sonucunda bor minerallerince zengin olan bölgeler tespit edilmiştir. Belirlenen bölgelerin, çalışma alanı içerisinde hâlihazırda açık maden sahası olarak kullanılan alanlar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

## DETERMINATION OF BORON MINERALS IN OPEN PIT MINES WITH REMOTE SENSING TECHNIQUES

**Keywords:** Spectral Angle Mapper (SAM), Band Ratio, LANDSAT TM, Mineral Detection, Boron, Remote Sensing

## ABSTRACT:

In recent years, mineral exploration studies with remote sensing techniques have become quite prevalent. The use of remote sensing techniques in mineral exploration has increased due to accurate identification of mine reserves and low costs. There are many types of mines that are energy source and strategically importance. Boron mineral, one of these minerals, is a very rare element in nature. The fact that 70% of this mine's reserves are located in Turkey is also important in terms of our country.

In this study, it is aimed to determine boron minerals by using remote sensing methods in open pit mines. Landsat 5 TM satellite images of 2010 were used for the determining of Colemanite, Uleksite, and Boron minerals in Balıkesir Bigadiç and Eskişehir Kırka regions. Spectral Angle Mapper (SAM) method which is an object based reference spectrum method and Band Ratio techniques are applied on Landsat TM image with respect to boron minerals in the ENVI spectral library. As a result of the application we detected boron minerals regions. It had been seen that the designated areas have been compatible with the areas already used as open mines in the study area.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde meteorolojiden askeri amaçlı çalışmalara kadar farklı birçok alanda kullanılan uzaktan algılama teknikleri maden arama çalışmalarında da önemli katkılar sağlamaktadır. Maden arama çalışmalarında farklı uydulardan elde edilen görüntüler kullanılmaktadır. Uzaktan algılama maden arama faaliyetlerinin hızlandırmakta ve maliyeti düşürmektedir. Uzaktan algılama görüntüleri maden aratımlarında faydaları ve jeoloji haritaları ile hidrotermal alterasyon bölgelerinin belirlenmesi için kullanılır (Sabins, 1999).

Bor minerali de oldukça nadir bulunan ve çok stratejik bir elementtir. Uzaktan algılama teknikleri ile bor minerallerinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda Ayday vd. (2014) yılında gerçekleştirilen çalışmada, Kırka açık maden ocağında bulunan farklı bor minerallerini uzaktan algılama yöntemleri kullanarak ayırtılabildiğine yönelik çalışmaları WordView 2 uydu görüntülerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte jeotermal alanların belirlenmesinde de ASTER uydu görüntüleri kullanılarak, yeraltı zenginliklerine ilişkin değerlendirmeler yapılmaktadır (Kratt vd. 2006).

\* Corresponding author. This is useful to know for communication with the appropriate person in cases with more than one author.

Çalışma kapsamında de erlendirilen bor minerali de hem stratejik hem de ekonomik anlamda en önemli yer altı kaynaklarından bir tanesidir. Bor mineralinin gelecek dönemlerde mevcut enerji kaynaklarına alternatif bir mineral olarak görülmektedir (Ayday vd., 2014). Türkiye, dünyanın en büyük ve en iyi kalitede bor rezervlerine sahip olan ve buna paralel olarak en yüksek oranda bor bileşikleri üretimini gerçekleştiren ülke olarak karımıza çıkmaktadır. Dünya bor talebinin de önemli bir kısmı ülkemiz tarafından sağlanmaktadır. Dünyada tespit edilen bor rezervlerinin % 72'sinin Türkiye'de olduğu bildirilmektedir (URL.1). Tespit edilmiş olan bor rezervlerinin tümü Batı Anadolu'da, balıca Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Bursa-Kestelek ve Balıkesir-Bigadiç bölgelerinde bulunmaktadır (ekil 1).



ekil 1. Türkiye bor madeni yatakları haritası, MTA

Son dönemlerde, teknolojinin ve Ar-Ge çalışmalarının da gelişmesiyle birlikte bor minerallerinin farklı alanlarda kullanımına keşfedilmiştir. Ar-Ge çalışmaları sonucu boraks roket yakıtından ısıya dayanımlı cam yapımına ve deterjan üretimine kadar birçok alanda bor kullanımı yaygınlaşmıştır. Ülkemizin bor minerali üzerinden gerçekleştirdiği çalışmaların yanı sıra dünya genelinde de mevcut kaynaklar doğrultusunda bor minerali ile ilgili derlendirmeler gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda bor mineralinin ülkelerdeki rezerv oranları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Dünya bor rezervleri (Etimaden) (URL.1)

Ülke	Toplam Rezerv (Bin ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Toplam Rezerv (% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Türkiye	864.5	72.1
A.B.D.	80	6.7
Rusya	100	8.4
Çin	47	3.9
Arjantin	9	0.8
Bolivya	19	1.6
İspanya	41	3.4
Peru	22	1.8
Sırbistan	16.2	1,3
Avustralya	1	0
Toplam	1.199.700	100

Uzaktan algılama teknikleri ile maden sahalarının tespiti farklı spektral algoritmalar ile gerçekleştirilmektedir. Spektral yansıtım algoritmaları bir ya da daha fazla referans spektra kullanarak bilinmeyen bir spektrumun tanımlanmasında kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalarda, bant oranlama, MESMA (multiple endmember spectral mixture analysis) (Roberts vd., 1998) ve SAM (spectral angle mapping) (Kruse vd., 1993) yaygın olarak kullanılan algoritmalarıdır. MESMA algoritması, bitki türleri ve toprak sınıflandırılmasında (Dennison ve Roberts 2003; Okin vd., 2001), ay yüzeyi araştırmalarında (Li ve

Mustard, 2003) kullanılmaktadır. Benzer sınıflandırma işlemleri için SAM'da kullanılmakla birlikte, ek olarak mineral tanımlama (Kruse vd., 2003), yüzey derinliği izlenmesi (Sohn vd. 1999) ve bitki sınıflarını ayırt etmek için de (Silvestri vd., 2003) kullanılmaktadır. MESMA modeli iki ya da daha fazla spektra derinliğinin lineer karışımı üzerine, spectral mixture analysis (SMA)(Adams vd. 1993) temelli bir modeldir. SAM ise spektral vektörler arasındaki açıyı hesap ederek spektral benzerlikleri hesaplayan bir teknik olarak karımıza çıkmaktadır.

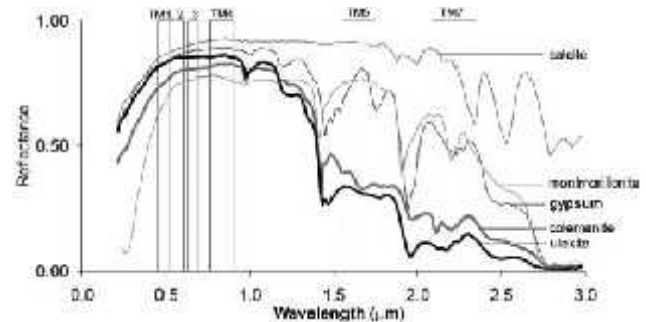
## 2. UYGULAMA

Uygulama bölgeleri olarak seçilen Balıkesir Bigadiç ve Eskişehir-Kırka bölgelerinde özellikle Kolemanit, Uleksit, Boron ve Tinkal bor mineralleri bulunmaktadır. Bu mineraller yaklaşık aynı spektral yansıtım özelliğine sahiptir. Uygulama için 2010 yılına ait Landsat 5 TM uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Her iki bölge içinde bant oranlaması ve SAM yöntemi ile bor yatakları belirlenmiştir.

### 2.1 Bant Oranlaması ile Bor Minerallerinin Bulunması

Bant oranlaması minerallerin haritalandırılmasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Minerallerin farklı dalga boylarında gösterdiği spektral yansıtım derinliği göz önünde bulundurularak çeşitli oranlamalar yapılmaktadır. Örneğin, Demir oksit için TM3/TM1 oranı veya kil mineralleri için TM5/TM7 oranı ülkemizdeki araştırmacılar tarafından belirtilmiş ve bazı araştırmacılar ortaya konmuş tur (Nilüfer, 2005; Kargı ve Nilüfer, 2006).

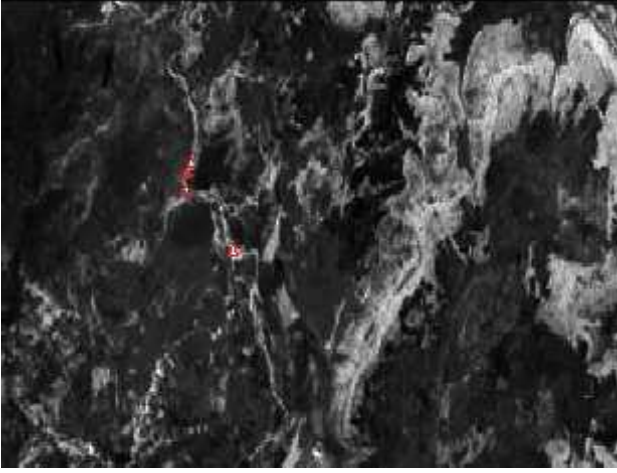
Balıkesir Bigadiç ve Eskişehir-Kırka bölgesini de kapsayan 2010 yılına ait Landsat 5 TM uydu görüntüleri (path-row, 180/33-179/33) USGS'den elde edilmiştir [14]. Görüntüleri radyometrik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada uydu görüntülerinde bant oranlaması için Envi 5.0 yazılımı kullanılmaktadır. Bigadiç ve Kırka bölgesi bor yataklarını kapsayacak şekilde belirlenen çalışma alanına ait kısmi görüntü üzerinden kesilmiş ve çalışmalar bu görüntü üzerinden yapılmıştır. Kolemanit ve Uleksit mineralinin TM4 bandında maksimum yansıtım ve TM7'de soğulma ile temsil edildiği ekil 2'de görülmektedir.



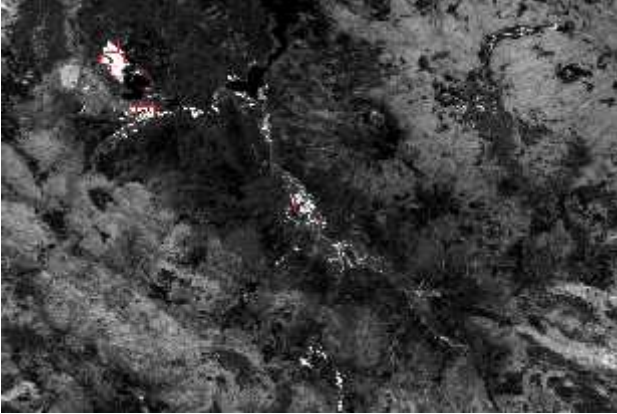
ekil 2. Kolemanit ve Uleksit minerallerinin spektral özellikleri (USGS) (Kargı, 2007).

Minerallerin farklı dalga boylarında gösterdiği spektral yansıtım derinliği göz önünde bulundurularak TM4/TM7 bant oranlamasının bor anomalileri aramada kullanılabilir potansiyel bir yöntem olduğu önceki araştırmacılar tarafından belirtilmiş ve bazı araştırmacılar çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir (Kargı, 2004). Çalışma alanlarında da TM4/TM7 bant oranlaması yapılarak, gri tonda bir görüntü elde edilmiştir. Yönteme göre

görüntü içerisindeki en parlak piksellerle temsil edilen alanların ekil 3 ve ekil 4'te olduğu gibi bor yataklarının olduğu alanlardır.



ekil 3. Bigadiç bölgesi için TM4/TM7 oran görüntüsü ve olası bor yatakları



ekil 4. Kırka bölgesi TM4/TM7 oran görüntüsü ve olası bor yatakları

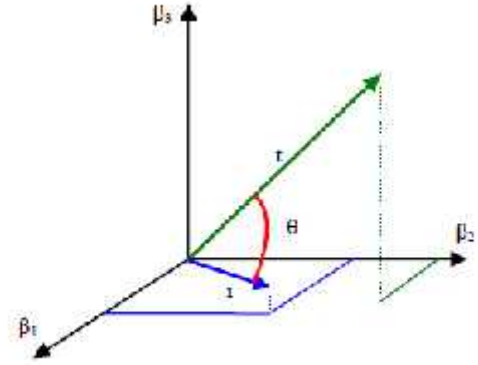
ekil 3'te Bigadiç bölgesine ait oran görüntüsü üzerinde kırmızı üçgen ile gösterilen alanlar olası bor minerallerinin olduğu bölgeleri göstermektedir. ekil 4'te Kırka bölgesine ait oran görüntüsü üzerinde kırmızı kare ile gösterilen alanlar ise olası bor minerallerinin olduğu bölgeleri göstermektedir.

## 2.2 Spectral Angle Mapper (SAM) Yöntemi ile Minerallerin Bulunması

Uydu verileri ile kullanılan birçok haritalama ve sınıflandırma analizlerinin en popülerlerinden biri olan SAM, iki Nesne Tabanlı Referans Spektral (NTRS) arasındaki benzerlik derecesinin kullanıldığı bir sınıflandırma yöntemidir. Yansıtma değerleri vektörlerle ifade edilmekte olup, yönünü de hedef spektranın karakteristik özellikleri belirlemektedir. Her bir vektörün belirli bir uzunluğu bulunmaktadır.

SAM yönteminde, referans olarak kullanılan spektral yansıtım verilerine göre oluşturulan referans vektörü ile uydu görüntüsü piksel değerlerinden meydana gelen, sınıfı bilinmeyen piksel değerleri ile oluşturulan vektör arasındaki açı hesaplanmaktadır. Hesaplanan açı değeri, daha önceden referans spektral sınıfı için belirlenen benzerlik değerinden küçük veya eşitse, sınıfı

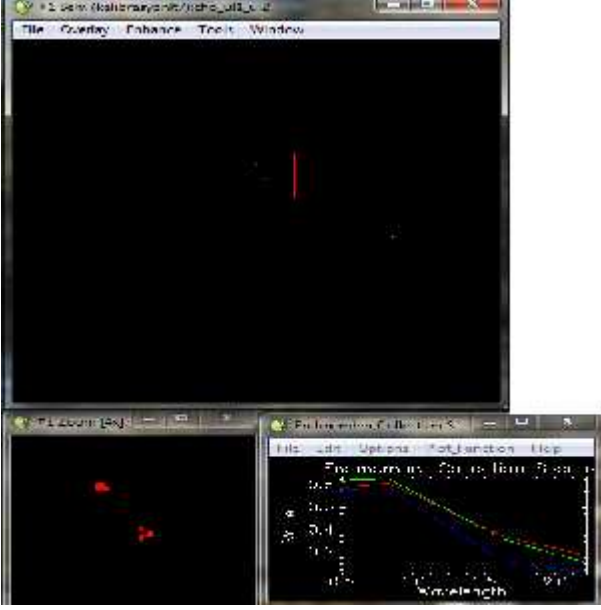
bilinmeyen piksel, ilgili referans spektral sınıfına atanmaktadır. Örnek olarak üç bant için referans ve hedef spektra vektörü arasında açı değeri ekil 5'te verilmiştir (Luc vd., 2005). Bantların geri yansıtımındaki değeri kenlikler, vektörün uzunluğunu etkilemektedir. Bu nedenle farklı spektralar arasındaki karakteristik değeri kenlikler kendilerine ait vektörler arasındaki açının da değeri mesine neden olmaktadır. SAM'da, verinin bilinen yansıtım değerlerine gerekli radyometrik ve atmosferik düzeltmelerin yapılmasının ardından, fiziksel olarak, iki spektrum arasındaki benzerlikleri spektra vektörleri arasındaki açıları kullanarak hesaplayan bir algoritma ile çalışmaktadır.



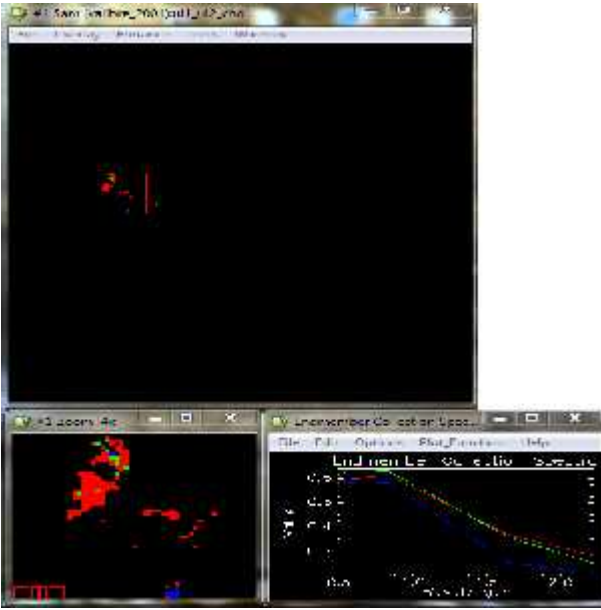
ekil 5. SAM geometrisi: ( ) iki yansıtım vektörü arasındaki Spektral açı, (t) hedef spektra, (r) referans spektra,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\beta_3$  ise kullanılan bantlardır.

Radyans birimindeki spektral açı, bütün bantlar için ve bütün piksel değerleri için hesaplanmaktadır. Bulunan değerler, SAM sonuç görüntüsünde, hesaplamaya giren piksel değerlerinin yerine atanır ve oluşturulan SAM formu, n bant sayılı yeni bir veri küpü olarak görüntüdeki referans spektra sayısına eşit olmaktadır. Sonuç olarak, sınıflandırılmış bir görüntü elde edilen bu yöntemde, bütün pikseller için en iyi SAM değeriyle mesaj gösterilmektedir (Önder vd., 2013).

Balıkesir Bigadiç ve Eskişehir Kırka bölgelerinde yapılan uygulamada da ENVI spektral kütüphanesinden alınan NTRS'leri kullanılarak bor mineralleri aranmıştır. Kalibrasyonları yapılan görüntüler, spektral kütüphanede tanımlanmış aleksit, boraks ve kolemanit boron minerallerini görüntüde tanımlanarak Bigadiç ve Kırka bölgelerinde bulunan mineraller elde edilmiştir (ekil 6-7).



**ekil 6.** Spektral kütüphanede tanımlanmış bor minerallerinin Bigadiç' ait paftada görünümü (kırmızı: Kolemanit, yeşil: Uleksit, mavi: Boron)

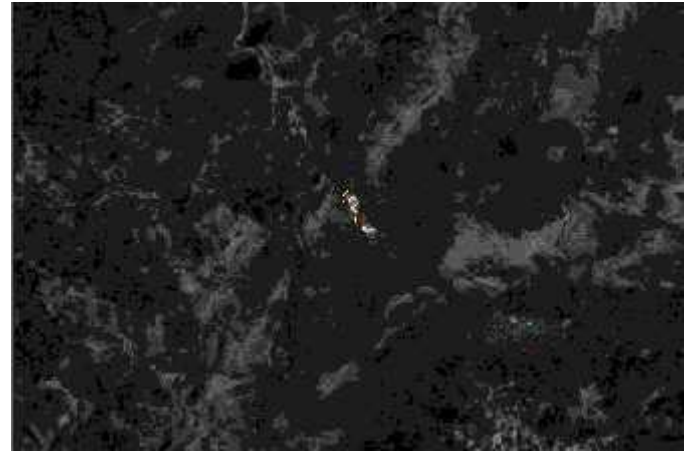


**ekil 7.** Spektral kütüphanede tanımlanmış bor minerallerinin Kırka'ya ait paftada görünümü (kırmızı: Kolemanit, yeşil: Uleksit, mavi: Boron)

Son olarak her iki yöntemin sonuçları, iki bölge için de ERDAS programıyla çakıştırılmış ve bor mineralleri olduğu her iki yöntemle de tespit edilen alanlar bulunmuştur (ekil 8-9).



**ekil 8.** Kırka bölgesinde Bant Oranlaması ve Spektral Angle Mapper yöntemi ile bulunmuş keskin alanlar.



**ekil 9.** Bigadiç bölgesinde Bant Oranlaması ve Spektral Angle Mapper yöntemi ile bulunmuş keskin alanlar.

### 3. SONUÇ

Bor minerallerinin farklı bantlardaki dalga boyunda spektralleri değerlendirilerek oluşan Bant Oranlaması ile görüntünün parlak pikselleri temsil eden alanların bor minerallerine sahip olduğu görülmüştür. Envi spektral kütüphanesinde bulunan bor mineralleri referans alınarak, Balıkesir-Bigadiç ve Eskişehir-Kırka bölgelerini içine alan görüntülerine, nesne tabanlı referans spektra yöntemi olan Spectral Angle Mapper (SAM) yöntemi uygulanmış ve sonuç görüntüler elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçları göstermektedir ki, uydu görüntüleri ve spektral yansıtım eleme teknikleri ile jeolojik harita üretimi ve maden-mineral tespiti yapılabilmektedir. Bu tarz çalışmaların doğruluğu, belirlenmiş alanlarda gerçekleştirilecek maden arama faaliyetleri ile tespit edilmektedir.

### TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nin 12.FEN.B.L.31 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



## KAYNAKLAR

- Adams, J. B., Smith, M. O., & Gillespie, A. R., 1993. Imaging spectroscopy: Interpretation based on spectral mixture analysis. In C. M. Pieters, & P. A. J. Englert (Eds.), *Remote geochemical analysis: Elemental and mineralogical composition*, pp.145–166.
- Ayday, C., Eiyok, G., Ayten, E., Zengin, O., ve Çetinkaya, E. 2014. Kırka Açık Ocak Boraks Madeninde Farklı Bor Mineral Türlerinin Uzaktan Algılama Yöntemi ile Ayırt Edilebilmesi. 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, stanbul.
- Dennison, P. E., & Roberts, D. A., 2003. Endmember selection for multiple endmember spectral mixture analysis using Endmember Average RMSE. *Remote Sensing of Environment*, 87, 123–135.
- Kargı H., 2004. Bigadiç Bor yataklarının Landsat TM Görüntüleri ile Analizi. II. Uluslararası Bor sempozyumu s.43-47.
- Kargı H., Nilüfer S., 2006. Landsat TM görüntülerinden Alterasyon Zonlarının Belirlenmesi-Bir maden Arama Çalışması Uygulama: Denizli M21-M22 paftaları. 4. Co rafi Bilgi Sistemleri Bilim Günleri.
- Kargı, H., 2007. Principal components analysis for borate mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 28(8), 1805-1817.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., 1993. The Spectral Image-Processing System (Sips)-interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, 44, 145–163.
- Kruse, F. A., Boardman, J. W., & Huntington, J. F., 2003. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 1388–1400.
- Li, L., & Mustard, J. F., 2003. Highland contamination in lunar mare soils: Improved mapping with multiple endmember spectral mixture analysis (MESMA). *Journal of Geophysical Research-Planets*, 108(E6), 7-1–7-14.
- Luc B., Deronde B., Kempeneers P., Debruyne W., Provoost S., 2005. Optimized Spectral Angle Mapper classification of spatially heterogeneous dynamic dune vegetation, a case study along the Belgian coastline, The 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing (ISPMSRS). Beijing.
- Nilüfer S., 2005. Denizli ve civarının jeolojik özelliklerinin Uzaktan Algılama Yöntemi ile incelenmesi, Yüksek lisans tezi, s. 32-40.
- Okin, G. S., Roberts, D. A., Murray, B., & Okin, W. J., 2001. Practical limits on hyperspectral vegetation discrimination in arid and semiarid environments. *Remote Sensing of Environment*, 77, 212–225.
- Önder G., İnasi K., Ziyadin Ç., 2013. Uydu Görüntüleri ile Yersel Spektral Ölçme Verilerinin Gölöva bölgesi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri dergisi s. 45-51.
- Roberts, D. A., Gardner, M., Church, R., Ustin, S., Scheer, G., & Green, R. O., 1998. Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 65, 267–279.
- Sabins, F. F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 14(3), 157-183.
- Silvestri, S., Marani, M., & Marani, A., 2003. Hyperspectral remote sensing of salt marsh vegetation, morphology and soil topography. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 15–25.
- Sohn, Y. S., Moran, E., & Gurri, F., 1999. Deforestation in north-central Yucatan (1985–1995): Mapping secondary succession of forest and agricultural land use in Sotuta using the cosine of the angle concept. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, 947–958.
- URL.1, nt. Kyn. 1, <http://www.etimaden.gov.tr/bor-rezervleri-72s.htm>
- URL.2, <http://www.chemheritage.org/discover/online-resources/chemistry-in-history/themes/early-chemistry-and-gases/gay-lussac.aspx>