

Uzaktan Algılama Teknikleri ile Açık Maden Ocaklarında Bor Minerallerinin Tespiti

Murat Uysal¹, Bayram Turgut¹, Nizar Polat¹, Mehmet Ali Dereli^{1*}, Mustafa Yalçın

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.
e-posta:madereli@gmail.com

Geliş Tarihi: 08.02.2017 ; Kabul Tarihi: 20.07.2017

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 doğada çok 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 halihazırda açık maden sahası olarak kullanılan alanlar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Spektral Açık
Haritalama (SAH),
BantOranı, LANDSAT
TM, Mineral Belirleme,
Bor, Uzaktan Algılama

Determination of Boron Minerals in Open Pit Mines with Remote Sensing Techniques

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.

Keywords

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

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Günümüzde meteorolojiden askeri amaçlı çalışmalara kadar farklı birçok alanda kullanılan uzaktan algılama teknikleri, maden arama çalışmalarına da önemli katkılar sağlamaktadır.

Maden arama çalışmalarında farklı uydulardan elde edilen görüntüler kullanılmaktadır. Uzaktan algılama, maden arama faaliyetlerini hızlandırmakta ve maliyeti düşürmektedir. Uzaktan algılama görüntüleri maden araştırmalarında fay kırıkları ve jeoloji haritaları ile hidrotermal

alterasyon bölgelerinin belirlenmesi için kullanılır (Sabins, 1999).

Bor minerali doğada nadir bulunan ve çok stratejik bir elementtir. Uzaktan algılama tekniği ile bor minerallerinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda Ayday ve ark.(2014) yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, Kırka açık maden ocağında bulunan farklı bor minerallerinin, uzaktan algılama yöntemleri kullanarak ayırt edilebilmesine yönelik çalışmaları WordView 2 uydu görüntülerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte jeotermal alanların belirlenmesinde de ASTER uydu görüntüleri kullanılarak, yeraltı zenginliklerine ilişkin değerlendirmeler yapılmaktadır (Krattet *al.*, 2006).

Çalışma kapsamında değerlendirilen bor minerali de hem stratejik hem de ekonomik anlamda en önemli yer altı kaynaklarından bir tanesidir. Bor minerali 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 karşımıza çıkmaktadır. Dünya bor talebinin de önemli bir kısmı ülkemiz tarafından sağlanmaktadır. Dünyada tespit edilen bor rezervlerinin % 72'sinin Türkiye'de olduğu bildirilmektedir (Int Kyn. 1). Tespit edilmiş olan bor rezervlerinin tümü Batı Anadolu'da, başlıca Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Bursa-Kestelek ve Balıkesir- Bigadiç bölgelerinde bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye bor madeni yatakları haritası, MTA

Son dönemlerde, teknolojinin ve Ar-Ge

çalışmalarının da gelişmesiyle birlikte bor minerallerinin farklı alanlarda kullanımı 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 değerlendirmeler gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda bor mineralinin ülkelerdeki rezerv oranları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Dünya bor rezervleri (Etimaden) (Int Kyn. 1)

| Ülke | Toplam Rezerv (Bin ton B2O3) | Toplam Rezerv (% B2O3) |
|-----------|------------------------------|------------------------|
| 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 |
| Şili | 41 | 3.4 |
| Peru | 22 | 1.8 |
| Sırbistan | 16.2 | 1,3 |
| İran | 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 spektranın tanımlanmasında kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalarda, bant oranlama, MESMA (multiple endmember spectral mixture analysis) (Roberts *et al.*, 1998) ve SAM (spectral angle mapping) (Kruse *et al.*, 1993) yaygın olarak kullanılan algoritmalarıdır. MESMA algoritması, bitki türleri ve toprak sınıflandırılmasında (Dennison and Roberts 2003; Okin *et al.*, 2001), ay yüzeyi araştırmalarında (Li and Mustard, 2003) kullanılmıştır. Benzer sınıflandırma işlemleri için SAM'da kullanılmakla birlikte, ek olarak mineral tanımlama (Kruse vd., 2003), yüzey değişimi izlenmesi (Sohn *et al.*, 1999) ve bitki sınıflarını ayırt etmek için de (Silvestri *et al.*, 2003) kullanılmaktadır. MESMA modeli iki ya da daha fazla spektra değerinin 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 karşımıza çıkmaktadır.

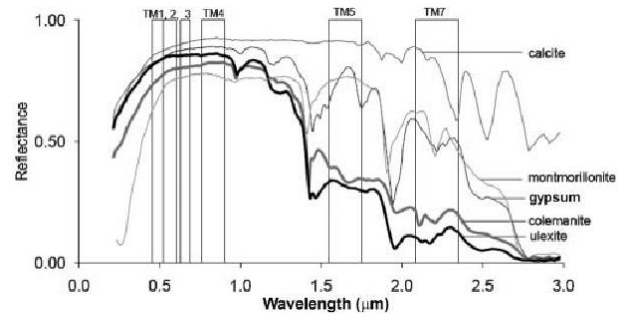
2. Materyal ve Metod

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

2.1. Bant Oranlaması İle Bor Minerallerinin Bulunması

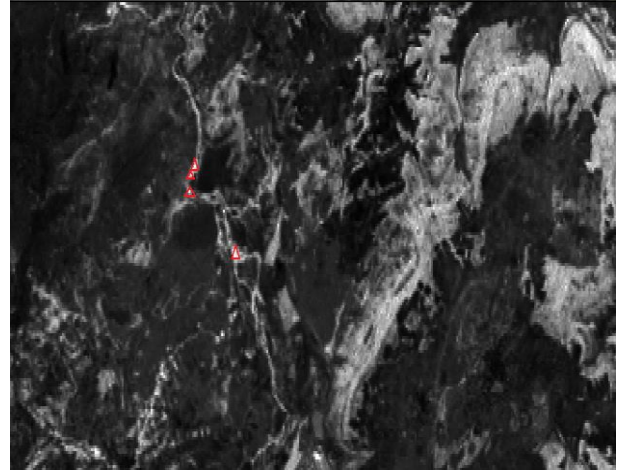
Bant oranlaması minerallerin haritalandırılmasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Minerallerin farklı dalga boylarında göstermiş olduğu spektral yansıtma değeri göz önünde bulundurularak çeşitli oranlamalar yapılmaktadır. Örneğin, Demir oksit için TM3/TM1 oranı veya kil mineralleri için TM5/TM7 oranı ülkemizdeki araştırmacılar tarafından belirtilmiş ve başarılı sonuçlar ortaya konmuştur (Nilüfer, 2005; Kargı and 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]. Görüntülere radyometrik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada uydu görüntülerinde bant oranlaması için Envi 5.0 yazılımı kullanılmıştır. Bigadiç ve Kırka bölgesi bor yataklarını kapsayacak şekilde belirlenen çalışma alanına ait kısım görüntü üzerinden kesilmiş ve çalışmalar bu görüntü üzerinden yapılmıştır. Kolemanit ve Uleksit mineralinin TM4 bandında maksimum yansıtma ve TM7'de soğrulma ile temsil edildiği Şekil 2'de görülmektedir.

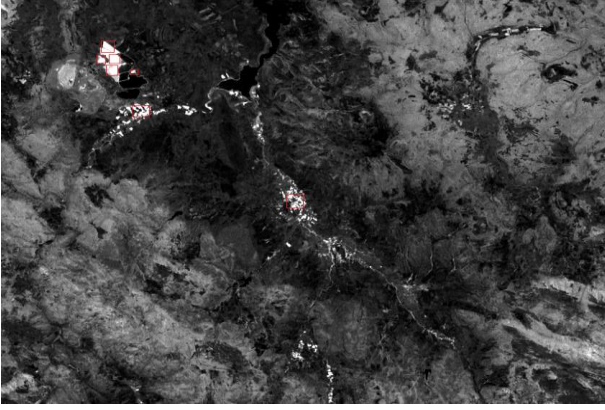


Şekil 2. Kolemanit ve Uleksit minerallerinin spektral özellikleri (USGS) (Kargı, 2007).

Minerallerin farklı dalga boylarında göstermiş olduğu spektral yansıtma değeri göz önünde bulundurularak TM4/TM7 bant oranlamasının bor anomalileri aramada kullanılabilecek potansiyel bir yöntem olduğunu önceki araştırmacılar tarafından belirtilmiş ve bazı başarılı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Kargı, 2004). Çalışma alanlarında da TM4/TM7 bant oranlaması yapıлып, gri tonda bir görüntü elde edilmiştir. Yönteme göre görüntü içerisindeki en parlak piksellerle temsil edilen alanların Şekil 3 ve Şekil 4'te olduğu gibi bor yataklarının olduğu alanlardır.



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



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

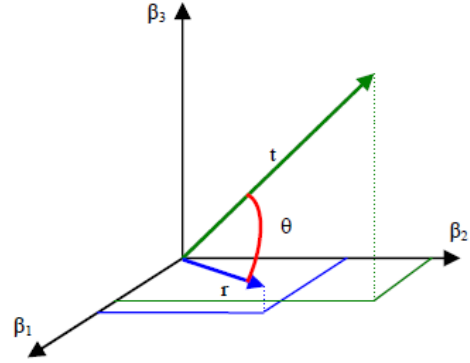
Şekil 3'te Bigadiç bölgesine ait oran görüntüsü üzerinde kırmızı üçgen ile gösterilen alanlar olası bor minerallerinin olduğu bölgeleri göstermektedir. Şekil 4'te Kırka bölgesine ait oran görüntüsü üzerinde kırmızı kare ile gösterilen alanlar ise olası bor minerallerinin olduğu bölgeleri göstermektedir.

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 yansıtma 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 Şekil 5'te verilmiştir (Luc vd., 2005). Bantların geri yansımadaki değişkenlikler, vektörün uzunluğunu etkilemektedir. Bu nedenle farklı spektralar arasındaki karakteristik değişkenlikler

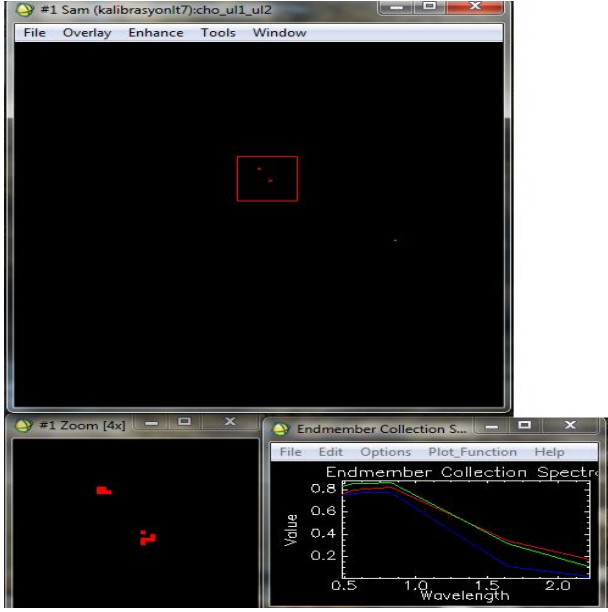
kendilerine ait vektörler arasındaki açının da değişmesine neden olmaktadır. SAM'da, verinin bilinen yansıtma değerlerine gerekli radyometrik ve atmosferik düzeltmelerin yapılmasının ardından, fiziksel olarak, iki spektrum arasındaki benzerlikleri spektra vektörleri arasındaki açıları kullanarak hesaplayan bir algoritma ile çalışmaktadır.



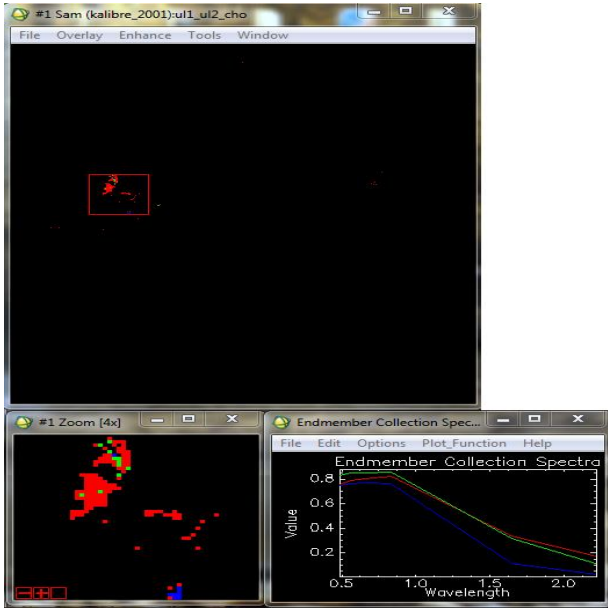
Şekil 5. SAM geometrisi: (θ) iki yansıtma vektörü arasındaki Spektral açı, (t) hedef spektra, (r) referans spektra, β_1 , β_2 ve β_3 ise kullanılan bantlardır.

Radyans birimindeki spektral açı, bütün bantlar için ve bütün piksel değerleri için hesaplanmaktadır. Bulunan değer, SAM sonuç görüntüsünde, hesaplamaya giren piksel değerinin 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 eşleşmesi 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 uleksit, boraks ve kolemanit boron minerallerini görüntüde tanımlanarak Bigadiç ve Kırka bölgelerinde bulunan mineraller elde edilmiştir (Şekil 6-7).

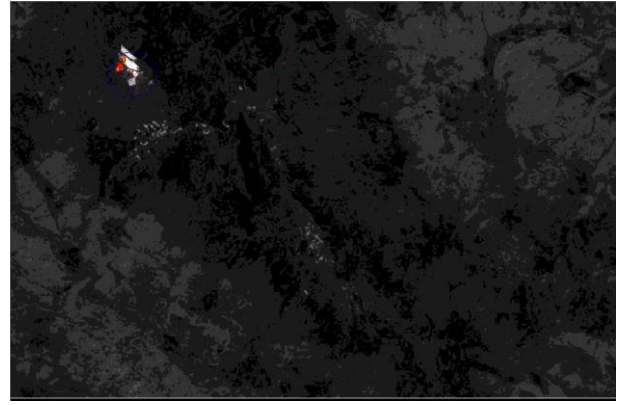


Şekil 6.Spektral kütüphanede tanımlanmış bor minerallerinin Bigadiç' ait paftada görünümü (kırmızı: Kolemanit, yeşil: Uleksit, mavi: Boron)

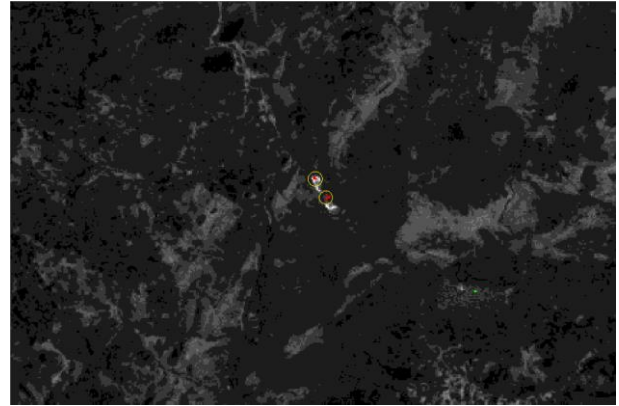


Şekil 7.Spektral kütüphanede tanımlanmış bor minerallerinin Kırka'ya ait paftada görünümü (kırmızı: Kolemanit, yeşil: Uleksit, mavi: Boron)

Son olarak her iki yöntemin sonuçları, iki bölge için de ERDAS programıyla karşılaştırılmış ve bor mineralleri olduğu her iki yöntemle de tespit edilen alanlar bulunmuştur (Şekil 8-9). Tespit edilen alanlara ilişkin gerekli incelemeler sonucunda, bu alanların MTA tarafından da bor yatağı olarak tespit edildiği belirlenmiştir.



Şekil 8.Kırka bölgesinde Bant Oranlaması ve Spektral Angle Mapper yöntemi ile bulunup kesişen alanlar.



Şekil 9.Bigadiç bölgesinde Bant Oranlaması ve Spektral Angle Mapper yöntemi ile bulunup kesişen alanlar.

4. Tartışma ve Sonuç

Bor minerallerinin farklı bantlardaki dalga boyunda spektralleri değerlendirilerek oluşan Bant Oranlaması ile götüntünün 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 sonuçlar şunu göstermiştir ki, uydu görüntüleri ve spektral yansıtım eşleştirme teknikleri ile jeolojik harita üretimi ve maden-mineral tespiti yapılabilmektedir. Bu tarz çalışmaların doğruluğu, belirlenmiş alanlarda

gerçekleştirilecek maden arama faaliyetleri ile tespit edilmektedir.

Teşekkür

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

5. Kaynaklar

Adams, J. B., Smith, M. O., and 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., Eşiyok, 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, İstanbul.

Dennison, P. E., and 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., ve Nilüfer S., 2006. Landsat TM görüntülerinden Alterasyon Zonlarının Belirlenmesi-Bir maden Arama Çalışması Uygulama: Denizli M21-M22 paftaları. 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim 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. and 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., and 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., and 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), 7-14.

Luc B., Deronde B., Kempeneers P., Debruyne W. and 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., and Okin, W. J., 2001. Practical limits on hyperspectral vegetation discrimination in arid and semiarid environments. *Remote Sensing of Environment*, **77**, 212–225.

Önder G., Şinasi K. and Ziyadin Ç., 2013. Uydu Görüntüleri ile Yersel Spektral Ölçme Verilerinin Gölova bölgesi, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri dergisi* s. 45-51.

Roberts, D. A., Gardner, M., Church, R., Ustin, S., Scheer, G., and 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., and 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., and 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.

internet kaynakları

1-[http://www.etimaden.gov.tr/bor-rezervleri-72s,\(15.03.2017\)](http://www.etimaden.gov.tr/bor-rezervleri-72s,(15.03.2017)