

Jeotermal Keşifler İçin Hidrotermal Alterasyon Minerallerinin Uzaktan Algılama Teknikleri İle Tespit Edilmesi: Akarçay Havzası (Afyonkarahisar) Örneği

Mustafa Yalçın¹, Fatmagül Kılıç Gül², Ahmet Yıldız³, Nebiye Musaoğlu⁴, Bülent Bayram², Nizar Polat¹, Can Başaran³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

⁴İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

e-posta:mustafayalcin@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.02.2017 ; Kabul Tarihi: 18.07.2017

Özet

Enerji üretiminin oldukça önemli olduğu günümüz dünyasında, çevre ve atmosfere zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjinin üretimi büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen Akarçay Havzası'nın Afyonkarahisar ili içerisinde kalan kısım ülkemizde önemli bir jeotermal potansiyele sahiptir. Jeotermal sahalardaki çok sayıda kaynak ve kuyulardan, termal turizmi, konut ısıtmacılığı, seracılık, balneolojik uygulamalardan yararlanılmaktadır. Hidrotermal alterasyon zonları jeotermal sahalarda keşif için önemli göstergelerden birisidir. Jeotermal keşif çalışmalarının fizibilite çalışmalarında hedef alanlarının daraltılması ile keşif çalışmalarına büyük katkı sağlamaktadır. Geniş alanlara yayılan hidrotermal alterasyon minerallerinin tespitinde uzaktan algılama(UA) tekniklerinin kullanılması ile, geniş alanların bütüncül bir şekilde değerlendirilebilmesi sağlanmakta olup hem zaman hem de ekonomik olarak büyük tasarruf edilerek etkin sonuçlar elde edilebilmektedir. Çalışmada hidrotermal alterasyon zonlarının belirlenmesi için ASTER uydu verileri kullanılarak, renk kombinasyonu, bant oranlama, Crosta tekniği, Spektral Açık Haritalama(SAH) teknikleri uygulanmıştır. Bu kapsamda, çalışma alanından hidrotermal alterasyon minerallerine ait örnekler toplanmıştır. Bu örnekler öncelikle mineroloji laboratuvarında XRD cihazı ile değerlendirilerek, örnekler ait mineraller tespit edilmiş, sonrasında spektrometre cihazı ile yansıtım değerleri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Jeotermal Keşif,
Uzaktan Algılama,
Hidrotermal Alterasyon

Çalışmada kullanılan dört yöntem karşılaştırıldığında, Crosta tekniği ve SAH yöntemleri ön bilgiler kullandığı için hidrotermal alterasyon minerallerinin belirlenmesi için daha hassas sonuçlar ürettiği görülmüştür. Klorit, epidot, illit, alunite, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri, iki yöntemde de benzer konumlarda belirlenmiştir. Spektral açı haritalama ve Crosta tekniği ile tespit edilen alterasyon zonları birleştirilerek, sonuç alterasyon zonları oluşturulmuştur. Hidrotermal alterasyonların jeotermal göstergesi olabilmesi için volkanik ve metamorfik kayalar ile maskelenmiştir. Belirlenen hidrotermal alterasyon zonları ve jeotermal kaynaklar incelendiğinde, jeotermal kaynaklar alterasyon zonları üzerinde olmayıp yakınlarında (Heybeli Jeotermal kaynağı hariç) bulunmaktadır. Sonuçların iyileştirilmesi için hiperspektral görüntüler kullanılması önerilmektedir.

Determination of Hydrothermal Alteration Minerals with Remote Sensing Techniques for Geothermal Exploration: Akarçay Basin (Afyonkarahisar)

Abstract

Energy generation has great importance in today's world. Especially geothermal energy generation that is renewable energy sources and not to harm the environment and atmosphere, is very important. Afyonkarahisar is a significant geothermal potential city in the Aegean Region of Turkey. The city has a lot of springs and wells that utilized to thermal tourism, house heating, greenhouses, balneologic applications. Hydrothermal alteration zones are one of the significant indicator of the geothermal exploration. It make a great contribute to geothermal exploration with reduction target area the narrowing of the target areas in feasibility studies. Using remote sensing techniques in the hydrothermal alteration minerals that spread over large areas provide holistically assessment in a larger areas and effective results with saving both time and economically. In this study, colour composite, bant rationing, Crosta and Spectral Angle Mapper(SAM) techniques have been implemented with using ASTER data in order to detect hydrothermal alteration zones. In this contex, samples of hydrothermal alteration minerals were collected from the study area. These samples are evaluated in the XRD device in order to detect mineral structure and than evaluated in the spectroradimeter device to obtain reflectance values.

Keywords

Geothermal
Exploration, Remote
Sensing, Hydrothermal
Alteration

Compared to the four methods used in the study, Crosta technique and SAM methods have been found to produce more precise results for the identification of hydrothermal alteration minerals since they use prior knowledges. Chlorite, epidote, illite, alunite, kaolinite, montmorillonite and muscovite minerals were determined at similar positions in both methods. Alteration zones determined by Crosta technique and SAM were combined and resultant alteration zones were formed. Finally hydrothermal alteration zones are masked by volcanic and metamorphic rocks in order to be a geothermal indicator. When the determined hydrothermal alteration zones and geothermal resources are compared, the geothermal resources are not on the alteration zones but are located nearby the geothermal resources (except the Heybeli Geothermal Resource). The use of hyperspectral images is recommended to improve outcomes.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Epitermal maden yataklarının birçoğu yakın bölgedeki kayaçların hidrotermal alterasyonu ile birlikte bulunmaktadır. Bozunmaya uğramış kayaçlar her zaman jeotermal kaynağın yakınında olmamakla birlikte, bozunmaya uğramış kayaçların varlığı olağan bir jeotermal kaynağın önemli bir göstergesidir. Birçok jeotermal alan alterasyon minerallerinin varlığı ile keşfedilmiştir (Sabins, 1999).

Jeotermal aktivite ile ilişkili kayaçları oluşturan minerallerin UA ile analizi, yer tabanlı saha çalışmaları ile ayrıntılı olarak araştırılmadan önce, jeotermal akışkan yollarının kontrolü gibi jeolojik yapıların durumu hakkında ön fikir elde etmek için kullanılabilir. UA ile jeotermal aktivite nedeniyle minerolojideki potansiyel değişimler ve jeolojik geçmişin gösterildiği detaylı mineral dağılım haritasının yapılabilmesi sağlanmaktadır (Huenges, 2010).

Optik dalga boyları kullanılarak, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yapılan UA araştırmaları, kayaç tipi ve yapısındaki farklılıklarla ilgili yüzeysel bilgiler sunmakta olup çökelleri ve kayaçları oluşturan minerallerin ayrımında tek başına doğru sonuçlar üretemez. Ancak kızılötesi dalga boyu ile birlikte yapılan spektral analizler, alterasyon minerallerinin ayrımı için gerekli yeterliliğe sahip olmaktadır. Böylece açık yüzey belirtileri olmadan, muhtemel zonlar saha tabanı keşifler için spesifik olarak gösterilebilmektedir (Huenges, 2010).

Çalışmanın amacı UA ile mineral alterasyon zonlarının belirlenmesinde kullanılan renk kombinasyonu, bant oranlama, Crosta tekniği, SAH tekniklerinin karşılaştırılması ve mineral alterasyon zonlarının jeotermal göstergesi olarak kullanımı araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1.Çalışma Alanı

Türkiye, entegre havza yönetimine göre 25 adet hidrolojik havzaya ayrılmıştır. Akarçay Havzası, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz Bölgeleri arasında yer alan, 30°-32° doğu boylamları ile 38°-39° kuzey enlemleri arasında kalan kapalı bir havzadır.

Akarçay havzasının önemli bir kesimi Afyonkarahisar il sınırları içerisinde olup doğudan Konya sınırları içerisine girmektedir. Çalışma alanı Akarçay Havzası'nın Afyonkarahisar sınırları içerisinde kalan kısmını içermektedir (Şekil 1.).

Çalışma alanı içerisinde Afyonkarahisar il merkezi ile İhsaniye, Sinanpaşa, İşçehisar, Bolvadin, Çobanlar, Çay, Şuhut ve Sultandağı ilçeleri ve bağlı belde ve köyler bulunmaktadır.

Afyonkarahisar il sınırları içerisinde dört adet jeotermal alan bulunmaktadır. Bunlar; Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli, Sandıklı jeotermal alanlarıdır. Bunlardan, Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli jeotermal alanları Akarçay havzası sınırları içerisinde kalmaktadır (MTA, 2005).



Şekil 1. Çalışma alanı

2.2. Materyal

Çalışmada alterasyon zonlarının tayini için VNIR (görünür bölge) ve SWIR (kısa dalga kızılötesi) bantları kullanılmıştır. Mineral alterasyon belirleme çalışmalarında minerallerin spektral ayrımı, SWIR bantlarından daha net elde edilmektedir. ASTER'de 6 adet SWIR bandının bulunmasından dolayı çalışmada ASTER uydu verileri kullanılmıştır.

Mineral alterasyon zonlarının tayininde kullanılan ASTER SWIR algılayıcısı, 2007 yılının Nisan ayında

2008 yılının Ocak ayına kadar yüksek sıcaklığa maruz kalmış ve 2008 yılının Nisan ayından itibaren veri toplamayı durdurmuştur. Bu yüzden ASTER Bilim Ofisi tarafından SWIR algılayıcıya ait verilerin 2007 yılının Nisan ayından sonrasında kullanılmamasını önerilmektedir (ASTER Science Office, 2009).

Çalışmada ayrıca spektrometre verileri kullanılmıştır. 350-2500 nanometre dalgaboyu aralığında ölçüm yapan ASD FieldspecPro tipi cihaz ile toplanan numunelere ait spektral imzalar elde edilmiştir. Bu imzalar SAH için referans spektrumlar oluşturup, spektral kütüphane oluşturmada ve uygulanan yöntemlerin doğruluğunun araştırılması için kullanılmıştır.

2.2.1. ASTER Uydu Verilerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan 6 çerçeve ASTER uydu verilerinin SWIR bantlarındaki, 4. Banttan sızan fotonların diğer bantlara etkisi Crosstalk Correction Software yazılımı ile giderilmiştir. Sonuç olarak çapraz karışma düzeltilmiş görüntüler, HDF veri formatında yeniden oluşturulmuştur.

Çalışmada, eski tarihli uydu görüntüleri kullanıldığından, yer kontrol noktalarından spektral bilgi alınamamıştır. Bu yüzden bağıl atmosferik düzeltme yöntemleri kullanılmamıştır. Mutlak atmosferik düzeltme yöntemlerinde ASTER verileri için tercih edilen FLAASH algoritması kullanılmıştır.

Atmosferik düzeltmesi yapılan görüntülerden, çalışma alanı dışındaki yerlerin, sulak ve nemli alanların ve insan yapımı objelerin çıkarılması için maskeleme yapılmıştır. Öncelikle çalışma alanı sınırları her bir çerçeve için ayrı ayrı maskelenmiştir. DSİ'den elde edilen göl, gölet, baraj gölleri ve küçük su birikintilerine ait sayısal haritalardan elde edilen detaylar verilerden çıkarılmıştır.

Yerleşim yerlerindeki yapay objeler yer yüzeyine ait bilgi edinmeyi engellediğinden dolayı yerleşim alanları, fabrika, sanayi, havaalanı v.b. detaylar

tespit edilip uydu görüntülerinden çıkarılmıştır. Bu detayların belirlenmesi için Ulusal Arazi Örtüsü verileri ve kontrol için Google Earth ve ESRI Base Map referans haritaları kullanılmıştır.

Bitki alanlarının belirlenmesi için, NDVI kullanılmış eşik değerlerin belirlenmesi için çerçevelere ait NDVI değerlerinin dağılımı incelenmiştir. NDVI değerlerinin dağılımını içeren grafikler incelendiğinde, çift durumlu bir dağılım görülmemekle beraber, dağılımı tepe noktasından ayırdığımızda solda kalan eğrinin tepe noktasına göre simetriğini bozan noktalar belirlenmiş ve referans uydu görüntülerinden (Google Earth) yararlanarak eşik değerler belirlenmiştir. Belirlenen bölgeler uygulamadan çıkarılmış ve bitki olarak görselleştirilmiştir.

Böylece uydu verileri ön işlem aşaması tamamlanarak mineral alterasyon haritalama için analiz edilebilir hale getirilmiştir.

2.2.2. Spektrometre Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanındaki Bayramgazi Şistleri, Oyluktepe Mermerleri, Köprülü Volkanosedimanter İstifi, Köprülü Köyü ve Erkmen Volkanitleri alterasyon zonlarından toplam 33 adet örnek toplanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Alterasyon zonlarından toplanan numuneler

Toplanan numuneler XRD (X-Işını Kırınım yöntemi) cihazında incelenmiş ve numunelerin cinsi ve özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre 33 örnekten 31'inde alterasyon minerallerine rastlanmış ve tamamına yakını birden fazla alterasyon mineralini birlikte içermektedir.

Cinsleri belirlenen minerallerin, İstanbul Teknik Üniversitesi Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde ASD FieldspecPro tipi cihaz ile ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler laboratuvar ortamında önce beyaz referans denilen metaryal üzerinde oda şartlarına göre referans alınarak, kontakt-prob kullanılarak her bir numune için 350nm ile 2500nm arasında, 1 nm sıklıkla, 20 kez tekrarlı olarak yapılmıştır.

Her bir örneğin ASTER bantlarının dalga boyu aralığındaki değerlerinin ortalaması hesaplanmıştır. ASTER ortalama dalga boyları ve örneklerin karşılık gelen ortalama yansıtım değerleri düzenlenerek 31 örneğe ait spektral bilgiler oluşturulmuştur. Buna ek olarak, çalışma alanında bulunduğu varsayılan, klorit, epidot, illit, alunit, kaolinit, montmorillonit ve muskovit minerallerine ait USGS'den edinilen spektral yansıtım bilgileri de eklenerek SAH yönteminde referans spektrumlar olarak kullanılmak üzere spektral kütüphane oluşturulmuştur.

2.3. Metot

2.3.1. Renk Kombinasyonu Tekniği

Bu tekniğin arkasındaki ilke, insan gözüyle görülmesini sağlamak amacıyla görülebilir dalga boyu içerisindeki multispektral bilgilerin birleştirilmesidir. Doğadaki her bir nesnenin farklı dalga boyuna sahip bir yansıma değeri vardır. İnsan gözünün görebileceği renkler, görülebilir dalga boyu alanı içerisindeki kırmızı, yeşil ve mavi renklerdeki yansımanın birleşimi sonucu gerçekleşir (Sarı, 2007).

Hidrotermal alterasyon minerallerinin belirlenmesi için 4:6:8 kombinasyonu kullanılmaktadır. İleri arjilik ve fillik alterasyon tipleri ASTER bant 6 ve bant 8'de düşük yansıtım, bant 4'te yüksek

yansıtım göstermektedirler. Propilitik alterasyonlar, bant 8 ve bant 4'te düşük yansıtım, Bant 6'da yüksek yansıtım göstermektedir. Kalsit ise bant 4 ve bant 6'da yüksek yansıtım, bant 4'de düşük yansıtım göstermektedir. Bundan dolayı, ileri arjilik alterasyonları (alunit, kaolinit) ve fillik alterasyonlar (serisit, smektit) kırmızı-pembe arasında, propilitik alterasyonlar (klorit, epidot) açık yeşil olarak, kalkerli birimler ise sarı renkte görüntülenmektedir (Abrams ve Hook, 2003; Yajima, 2014).

2.3.2. Bant Oranlama Tekniği

Alterasyon zonlarının belirlenmesinde kullanılan bant oranlama tekniği bant farklılaşmaları ve oranlarını temel almaktadır. Bant oranlaması bir bantta ölçülen spektral yansımının diğer bantta ölçülen spektral yansımaya oranıdır. Temel avantajı, spektral özellikleri farklı çerçevelerde güneş ışınlarının yoğunluğu ve açısına bağlı olarak oluşan parlaklık değerlerinden bağımsız olarak ifade eder. Bu nedenle oranlanan görüntüde, farklı aydınlanma koşullarından doğan topografik özelliklere (eğim, bakı vb.) göre değişen parlaklıklar en aza indirgenmektedir (Lillesand v.d., 2004).

2.3.3. Temel Bileşenler Analizi ve Crosta Tekniği

Multispektral verideki farklı bantlar arasındaki yüksek korelasyon ile farklı dalga boyuna sahip bantlar genellikle benzer bilgiler sunmaktadır. Temel bileşenler analizi, çok bantlı görüntüler üzerinde istatistiksel analizler yapılarak, bantlar arasındaki benzer ve dolayısıyla gereksiz veriler azaltılıp orijinal bantlardaki bilgileri sıkıştırılarak bantlar arasındaki korelasyonu düşürmek ve dolayısıyla çok bantlı verilerdeki gereksiz verileri azaltmak için kullanılan bir yöntemdir (Singh ve Harrison, 1985).

Spektral bant varyasyonlarının önemli bir kısmı yer yüzeyindeki topografik gölgeleme ve albedo etkisine bağlı olarak ölçülmektedir. Temel bileşenler analizi, tüm bantlarda hakim olan irradyans etkisini elemine ederek, jeolojik metaryallerin yansıtım özelliklerini zenginleştirmektedir. Hidrotermal alterasyon

mineralleri gibi spesifik minerallerin spektral tepkilerini üretmek amacıyla UA'da multispektral görüntüler gibi çok değişkenli veri setlerine uygulanabilir (Singh ve Harrison, 1985).

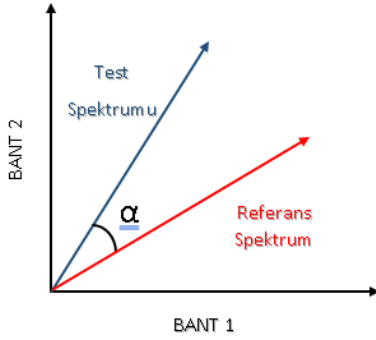
Özellik tabanlı temel bileşenler analizi (Feature-Oriented Principle Component Analysis) olarak bilinen Crosta Tekniği, temel bileşen görüntülerini hesaplamak için kullanılan özvektör matrisinden elde edilen nümerik değerler ve hedef meteryallerin spektral tepkileri arasında ilişki kurmaya dayanmaktadır. Bu ilişki kullanılarak, hangi temel bileşenin hedef minerale ait spektral bilgi içerdiğine ve sonuç piksel değerlerinin koyu ya da parlak olarak ifade edildiği araştırılır (Crosta vd., 2003).

Crosta Tekniği 4 veya 6 tane seçilmiş TM veya ASTER veri bantları üzerinde uygulanabilir. Öncelikle ilgili mineralin spektral imzası incelenerek seçilecek dört ya da altı bantta, hangi bantlarda yükseliş hangi bantlarda düşüş olduğu incelenerek kullanılacak bantlar seçilir. Temel bileşenler analizi yapıldıktan sonra, oluşan bantlardan ilgili mineralin spektral imzasına göre en yüksek yansımaya gösteren ve en düşük yansımaya gösteren bantlar arasında özvektör matrisindeki değişimler incelenerek en uygun temel bileşen seçimi yapılır. Sonraki aşamada en yüksek ya da en düşük yansımaya gösteren bantların işaretine bakılır. Eğer en yüksek yansımaya gösteren bant (+) işaretli ise öz vektör yüklemesi normal olmuştur ve aranan minerallerin parlak olarak görüntülenir. Eğer en yüksek yansımaya gösteren bant (-) işaretli ise öz vektör yüklemesi ters olmuştur ve aranan minerallerin parlak çıkması için seçilen bileşen -1 ile çarpılır (Crosta vd., 2003).

2.3.4. Spektral Açılı Haritalama Tekniği

SAH tekniği temel olarak, bant sayısının boyut sayısına eşit olduğu çok boyutlu uzayda ölçülen ve referans yansıtım verilerinin, vektörel olarak değerlendirilmesi fikrine dayanmaktadır (Lillesand vd., 2004). Referans yansıtım verileri, laboratuvar çalışmalarından, sahada ölçüm ile ya da görüntüden üretilerek elde edilebilmektedir (Kruse vd., 1993).

Algoritmada, test edilen alana ait spektral yansıtım verileri ile referans yansıtım verileri arasındaki benzerliği belirlemek için, bu verilere ait vektörler oluşturularak aralarındaki açı hesaplanır. Hesaplamalardaki boyut sayısı(n) bant sayısına eşit olmaktadır. İki bantlı bir görüntüde, iki boyutlu yüzey Şekil 3’de gösterildiği gibi, referans spektrum vektörü ile test edilen lokasyonun spektrum vektörü arasındaki açı (α) hesaplanarak spektral açı belirlenir (Kruse vd., 1993).



Şekil 3. İki bantlı görüntüler için SAH geometrisi

Görüntüde güneş ışığı veya gölgelenmeden dolayı tüm parlaklıklar yüksek ya da tüm parlaklıklar düşük ise vektörün boyu uzar ya da kısılır ancak açısal dönüklük sabit kalacaktır (Lillesand vd., 2004).

SAH ile tüm görüntü birimlerinde, referans ve test spektrum benzerliği araştırılmakta olup sınıflandırmada açı için kullanılacak eşik değer büyük önem arz etmektedir. Eşik değer iki şekilde belirlenebilir. Birincisinde düşük ve yüksek olmak üzere iki eşik değer belirlenir ve iki açı değeri arasında gri değer skalası oluşturulur. Buna göre düşük spektral büyük benzerlikleri büyük spektral açı küçük benzerlikleri belirtmektedir. İkinci yöntemde ise sabit bir açı değeri girilir bu değerden küçük olanlar benzer büyük olanlar ise tanımsız olarak sınıflandırılır (Lillesand vd., 2004).

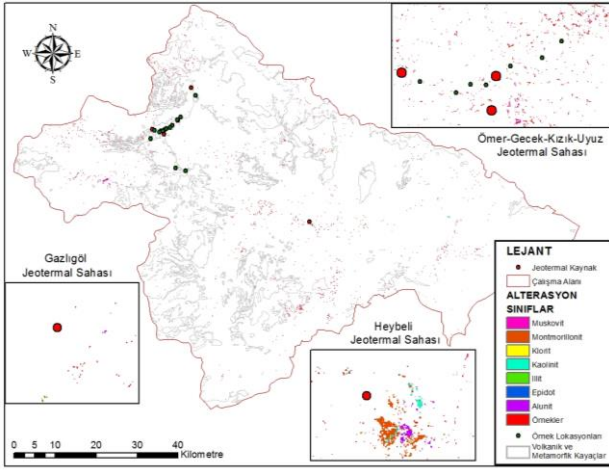
3. Bulgular

Mineral alterasyon zonlarının belirlenmesi için renk kombinasyonu, bant oranlama, Crosta tekniği ve SAH teknikleri kullanılmıştır.

Renk kombinasyonu tekniği ile 3 çerçeve ayrı ayrı 4:6:8 bant kombinasyonu ile incelemiş olup, renk ayrımının izlenmesi oldukça güç olmaktadır. Bu yöntem hidrotermal alterasyon minerallerinin belirlenmesinde genel bir yaklaşım, ilgilenebilecek alanların belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bant oranlama tekniğinde Mars ve Rowan’ın kullandığı opertörler ve karbonat/klorit/epidot (Propilitik alterasyonlar), serisit/muskovit/illit/smektit (Fillik alterasyonlar), alunit/kaolinit/propilit (İleri Arjilik alterasyonlar) ait oranlar kullanılmıştır. Bu mineraller, bölgede olabilecek hidrotermal alterasyon minerallerine göre seçilmiştir. Ayrıca gürültü ile oluşan pikselleri elemine etmek için 3*3’lük medyan filtre uygulanmıştır. Bant oranlama tekniğine göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde, minerallerin çok geniş alanlara yayılmakta olduğu ve hassas sonuçlar üretilmediği görülmüştür.

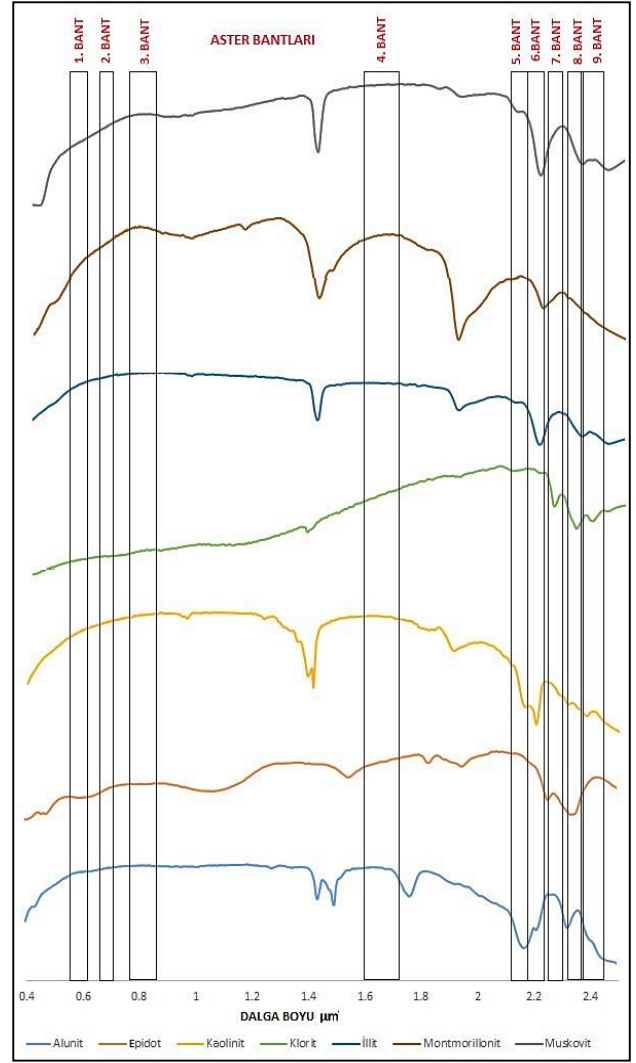
SAH tekniğinde, referans spektrumları tanımlamak ve açı eşliğinin belirlenmesi iki temel problemdir. Referans spektrumlar olarak, spektrometre ölçümleri ve USGS spektral kütüphanesinden edinilen klorit, epidot, illit, alunit, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri spektral bilgileri ile hazırlanan spektral kütüphane kullanılmıştır. Açı eşliğinde ise denemeler yapılarak, 0.10 radyan değerini aşmayacak şekilde spektral kütüphanedeki her bir örnek için ayrı ayrı açı eşliği tanımlanmıştır. Spektral açı haritalama yöntemiyle yapılan sınıflandırmada 31 adet alterasyon karışımları ve klorit, epidot, illit, alunit, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan alterasyon minerallerinin volkanik ve metamorfik kayalar üzerindeki ile maskelenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. SAH'a göre belirlenen alterasyon sınıfları

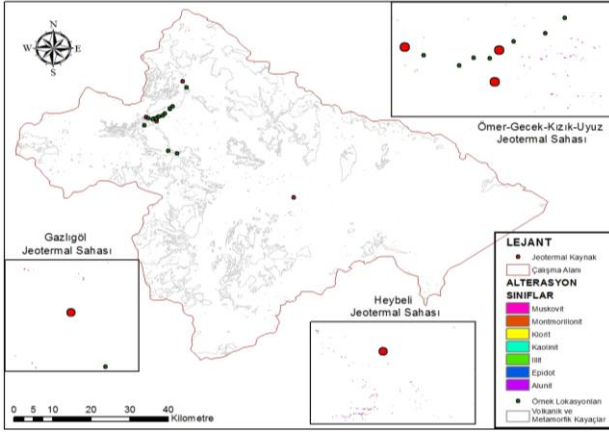
Sonuçlar incelendiğinde, alterasyon zonlarından alınan ve alterasyon mineralleri içeren örneklem noktaları, sınıflandırılan alanlar içerisinde kalmaktadır. Sınıflandırılan alanlar mevcut jeotermal sahalar içerisinde incelendiğinde jeotermal kaynakların yakın çevresinde ya da üzerinde yer almaktadır.

Çalışmada, klorit, epidot, illit, alunit, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri için kullanılan bantlar temel bileşenler analizi ile işleme sokulmuştur. Bu minerallerin Şekil 5'teki yansıtım değerlerine bakılarak, ASTER bantlarının hangilerinde yansıtımların arttığı hangilerinde azaldığına bakılmıştır ve ilgili minerali karakterize edecek dört adet bant seçilmiştir. Bant seçimleri yapıldıktan sonra özvektörler matrisine bakılarak hangi temel bileşen bandı seçilecek ve özvektör yüklemesinin işareti ne olacak sorularına cevap verilmiştir.



Şekil 5. Çalışmada kullanılan alterasyon minerallerinin yansıtım grafikleri

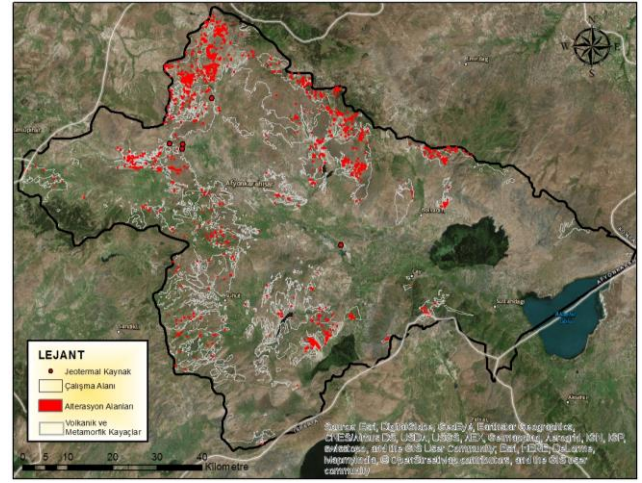
Minerallere ait görüntüler oluşturulduktan sonra, minerallerin görüntü üzerinden belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için uygun eşik değer belirleme problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problemi çözmek için Crosta Tekniğinde uygulanan yedi adet mineral, SAH ile belirlenen aynı mineralin konumları ve kapsadıkları alan bilgileri incelenmiştir. Bu bilgilerle yedi adet alterasyon minerali için ayrı ayrı eşik değer belirlenip, ayrı ayrı oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Crosta Tekniğine göre belirlenen alterasyon mineralleri

Crosta Tekniğine göre belirlenen alterasyon minerallerinin konumları incelendiğinde, örneklerle bazı lokasyonlarda örtüşmediği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni örneklerin karışım halde bulunması, Crosta tekniğinde saf haldeki mineraller ile işlem yapılması ve eşik değer seçimi olabilir. Ancak jeotermal sahalar ile değerlendirildiğinde belirlenen alterasyon minerallerinin jeotermal kaynaklara yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca üretilen alanlar içerisinde uydu verilerindeki gürültü vs. bozucu etkilerden dolayı dağınık tek pikseller oluşmuştur. ASTER'de meydana gelen bu etkiyi minimize etmek için 3*3'lük Median filtre kullanmış ve sonuç hidrotermal alterasyon alanları haritası oluşturulmuştur.

Bölgede metamorik ve volkanik kayalardaki alterasyonların jeotermal oluşuma işaret ettiği için yapılan çalışma ile jeoloji haritasındaki volkanik ve metamorik kayalar belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanındaki, Lav, metavolkanit, porfiroit kuvarsit, proplastik kaya, trakit, tuf, şist, kalsit, aglomera, andezit, bazalt, trakit bazalt, fonolit, gabro, gnays-mikaşist, volkanit ve kuvarsit kayaç türleri seçilerek oluşturulan harita kullanılmıştır. SAH ve Crosta Tekniğine göre üretilen hidrotermal alterasyonlar volkanik ve metamorik kayaç sınırları kullanılarak maskelenmiştir. Sonuç olarak, SAH ve Crosta Tekniğinden elde edilen sonuçlar birleştirilerek hidrotermal alterasyon alanları üretilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Önerilen hidrotermal alterasyon zonları

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada UA ile mineral alterasyon zonlarının belirlenmesinde kullanılan renk kombinasyonu, bant oranlama, Crosta tekniği, SAH tekniklerinin karşılaştırılması yapılmış ve hidrotermal alterasyon zonlarının jeotermal göstergesi olarak kullanımı araştırılmıştır.

Hidrotermal alterasyon zonları, hidrotermal akışkanın kayalarla etkileşimi sonucu meydana gelen değişimler içermektedir. Jeotermal sistemlerdeki ikincil minerallerin formasyonu sistemin fiziksel ya da kimyasal şartlarından meydana gelmiştir. Hidrotermal alterasyon zonlarının varlığı aday muhtemel jeotermal alanlara ait sonuçlar vermektedir.

Hidrotermal alterasyon zonlarının belirlenmesi çalışmalarında yersel ölçümlerle ve UA teknikleri ile yapılabilmektedir. Yersel ölçümler hem maliyetli hemde dar alanlarda yapılabilmektedir. UA ile geniş alanlarda zamandan ve maliyetten tasarruf edilerek etkin çalışmalar yapılabilmektedir.

Afyonkarahisar- Akarçay Havzasında yapılan çalışmada, renk kombinasyonu, bant oranlama, SAH ve Crosta Teknikleri kullanılarak alterasyon zonları belirleme analizleri yapılmıştır. Renk kombinasyonu tekniği alterasyon zonlarının görsel yorumlamaya dayalı kabaca yerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Bant oranlama tekniği ise alterasyon minerallerinin ayrıntılı ve hassas biçimde belirlenmesi için etkin

bir yöntem değildir. Ancak alterasyon minerallerine ait ayrıntılı ve hassas sonuçlar SAH ve Crosta tekniği ile üretilebilmektedir. Crosta tekniği ile çalışma alanında bulunduğu varsayılan, 7 adet alterasyon minerali (klorit, epidot, illit, alunite, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri) için ayrıntılı sonuçlar üretilmiştir. SAH ile 7 adet mineralin haricinde alterasyon zonlarından toplanan 31 adet karışım halinde bulunan alterasyon minerallerinin spektral imzaları ile birlikte sınıflandırma yapılmış ve 38 farklı örneğe ait sonuçlar elde edilmiştir. Crosta tekniği ile SAH karşılaştırıldığında, iki yöntem de ön bilgiler ile hassas ayrıntılı alterasyon minerallerinin belirlenmesi için uygun görülmektedir. İki yöntemde de kullanılan 7 mineralin belirlendiği bölgeler incelendiğinde, iki yöntemde de mineraller benzer konumlarda belirlenmiştir. Ayrıca aynı konumda ve birbirini tamamlayan şekilde belirlenen alanlar da oldukça fazladır.

SAH ve Crosta tekniği ile yakalanan alterasyon zonları birleştirilerek, sonuç alterasyon zonları oluşturulmuştur. Hidrotermal alterasyonların jeotermal göstergesi olabilmesi için volkanik ve metamorfik kayalar ile maskelenmiştir. Belirlenen hidrotermal alterasyon zonları ve jeotermal kaynaklar incelendiğinde, jeotermal kaynaklar alterasyon zonları üzerinde olmayıp yakınlarında (Heybeli Jeotermal kaynağı hariç) bulunmaktadır. Heybeli jeotermal sahasının alüvyon üzerinde olması ve volkanik, metamorfik kayalara uzak olmasından dolayı alterasyon zonlarından uzak olarak belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2014-05-03-DOP01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu çalışma TUBİTAK- BİDEP tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

Abrams M., Hook S., (2003). ASTER User Handbook Version 2, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena

ASTER Science Office, (2009), ASTER SWIR Data Status Report, http://www.science.ASTER.ersdac.jspacesystems.or.jp/t/en/about_ASTER/swir_en.pdf, 14.11.2015

Crosta, A.P., Filho, C.R.D.S, Azevedo, F., Brodie C., (2003). "Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis" , International Journal of Remote Sensing, 24(21): 4233-4240

Huenges, E., (2010). Geothermal Energy Systems Exploration, Development, and Utilization, Wiley, 978-3-527-40831-3, Almanya

Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., and Goetz, A. F. H., (1993). "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data", Remote Sensing of Environment, 44: 145-163.

Lillesand, M. T., Kiefer, W. R., Chipman J. W., (2004). Remote sensing and image interpretation. 5. Baskı, John Wiley and Sons, Inc., NewYork

MTA Genel Müdürlüğü, (2005). Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü, Yayın No: 201, Ankara

Sabins, F.F., (1999). "Remote Sensing for Mineral Exploration", Ore Geology Reviews, 14: 157-183

Sarı R., (2007), Altınlı Hidrotermal Alterasyonların Geliştirilmiş Landsat Tematik Haritalayıcıları ve ASTER Görüntüleriyle Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Singh, A., & Harrison, A., (1985). Standardized principal components. International Journal of Remote Sensing, 6, 883-896.

Yajima, T., (2014). ASTER Data Analysis Applied to Mineral Resource Exploration and Geological Mapping, Doktora Tezi, Doctor of Science Department of Earth and Environmental Sciences, Nagoya University, Nagoya