

# UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE POTANSİYEL JEOTERMAL ALANLARIN BELİRLENMESİ

Ö. Alkan<sup>a,\*</sup>, H. G. Coşkun<sup>a</sup>, H. Çelik<sup>a</sup>, Y. Okur<sup>a</sup>, M. N. Alkan<sup>b</sup>

<sup>a</sup> İTÜ, İnşaat Fakültesi, 80626 Maslak, İstanbul - (alkanoyk, gonca, hakancelik, okurab)@itu.edu.tr

<sup>b</sup> HİTÜ, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Çorum- nurullahalkan@hitit.edu.tr

## Commission VI, WG VI/4

**ANAHTAR KELİMELELER :** Bant Oranlama, Bant Aritmetiği, Jeotermal Uzaktan Algılama, Spectral Correlation Mapper, Yüzeysel Sıcaklık Analizi

### ÖZET :

Bu çalışma Orta-Kuzey Anadolu bölgesinin kuzeyinde kalan Çorum İli'nin Kuzey-Doğu kısmında yaklaşık 5000 hektarlık alanda jeotermal varlığının araştırılmasını hedeflemiştir. Çalışmada ASTER uydu verisinin night-time ve day-time termal ve kızılötesi verileri ile Landsat 5 uydusunun aynı tarihli termal uydu verileri kullanılmıştır.

Öncelikle ASTER night-time ve gündüz termal verileri ile Yüzeysel Sıcaklık Analizi (YSA) yapılarak araştırma bölgesindeki toprak üstü sıcaklık farkları elde edilmiştir. Daha sonra aynı analiz LANDSAT termal bantı için tekrarlanarak sonuç görüntüleri kıyaslanmıştır. ASTER verileri ile çalışılan diğer yöntemler ise yüzeyde algılanabilen küçük enerji farklılıklarının belirlenmesine yönelik hem kızılötesi hem de termal kanallar ile yapılan bant oranlama ve bant aritmetiği olmuştur.

Ayrıca jeotermal suların arazi örtüsüne etkilerini araştırmaya yönelik olarak çalışma alanında, yaklaşık 500 noktada arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu noktaların 80 tanesinde toprak, kayaç ve ağaç örnekleri seçilmiş, spektrometre ölçmeleri gerçekleştirilerek grafikleri çıkarılmıştır. Araziye konumları hesaplanan örnek noktalar ASTER day-time verisi ile çalışılan kontrollü sınıflandırma işlemlerinde de kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma ile Spectral Correlation Mapper (SCM), Spectral Angle Mapper (SAM) Minimum Distance (MD) ve Maximum Likelihood (MLC) algoritmaları seçilerek arazi örtüsüne yönelik sonuçlar kıyaslanmıştır.

Araştırma alanı için bölgenin jeolojik yapısı tektonik açıdan da değerlendirilmiş, muhtemel jeotermal alanlar, MTA tarafından revize edilen paftalar ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından güncellenen tektonik veriler ile sonuç görüntüleri üzerinden incelenmiştir.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Jeotermal Uzaktan Algılama

Jeotermalin tanımı genel anlamda yer kabuğunun derinliklerinde biriken ısıya oluşturduğu sıcaklığı, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan, çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral içeren basınç altındaki sıcak su ve buharı olarak yapılabilir. (Erkul, 2012)

Yeraltına yağışla birlikte sızan meteorik sular gözenekli ve geçirimsiz özellikteki hazne kayalarda toplanır. Hazne kayaların üzerinde ise geçirimsiz örtü kaya bulunmaktadır. Isı böylelikle yer kabuğunun kırık ve çatlakları boyunca dolaşan sularla yeryüzüne aktarılabilir. Dünyanın birçok yerinde bulunan fay hatlarında, sönmüş veya aktif durumdaki volkanların yakın çevresinde ya da yerin 5.000 m civarı derinliklerinde sıcak su kaynaklarına rastlanmaktadır. (Erkul, 2012)

Türkiye jeotermal kaynaklarının çok azını kullanabilen ve açığa çıkarılmayı bekleyen yüzlerce jeotermal kayalara sahip ülkelerden biridir. Uzaktan Algılama teknolojisi bu jeotermal kaynakların ön araştırmasında kullanılan en etkin yöntemlerden biri olarak varsayılabilir. Son yıllarda bu konu ile ilgili birçok bilim insanının çalışmaları bulunmaktadır.

### 1.2 Çalışma Bölgesi ve Arazi Çalışmaları

Araştırma bölgesi Orta-Kuzey Anadolu Bölgesinin Kuzey-Doğu (NE) kısmında Çorum İli sınırları içerisinde kalmakta olup yaklaşık 5000 hektarlık alanı kapsamaktadır. (Şekil 1)

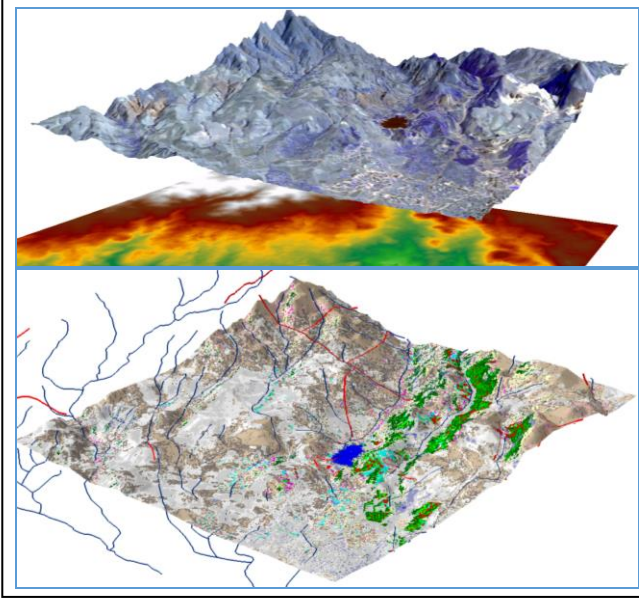
Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ile jeotermal çalışması hiç yapılmayan bu bölgede farklı UA yöntemleri kullanılmıştır. Jeotermal suların su-kayaç, buharlaşma-ağaç ilişkisi değerlendirilerek özellikle kükürt içerikli minerallerin bölgedeki çam, meşe ağaçlarında ve kayaçlarda değişime neden olabileceği farklılıkların çıkarımı hedeflenmiştir. Diğer bir hedef çalışma ise tektonik hareketler, jeoloji ve jeotermal ilişkisinin UA yöntemleri ile birlikte değerlendirilmesi olmuştur.

Bunun için öncelikle arazi çalışmaları için sekiz farklı bölge seçilmiştir. Arazi çalışmaları ile alınan yaklaşık olarak 500'e yakın örnek konumu için, koordinat verileri X,Y,Z olarak hesaplanmıştır. Bu noktalardan 80 tanesi spektral örnek olarak ayrıca kullanılmıştır. Çalışmalar 2015 ila 2017 yıllarında farklı dönemlerde tekrarlı GNSS ve GPS ölçmeleri olarak yapılmıştır. Spektrometre ölçmeleri 2015 ve 2016 yılları Kasım ayında gerçekleştirilmiştir.



### 2.3 Sayısal Yükseklik Modeli

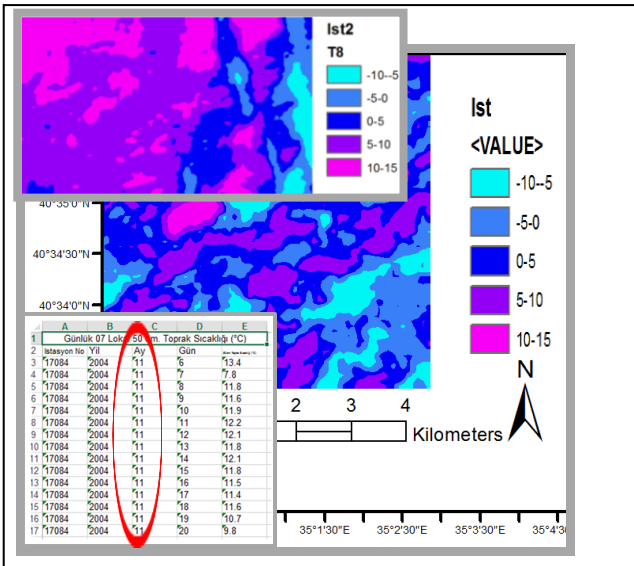
Bölge için Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur. ASTER 3A verisinin 15 metre çözünürlüklü DEM verisi bu çalışma için kullanılmıştır. Bu model üzerinden MTA tarafından revize edilen bölgesel fay hatları, arazi örtüsü yükseklikleri ile birlikte değerlendirilerek, sınıflandırılmış sonuç görüntüleriyle karşılaştırılmış ve muhtemel termal alanlar belirlenmeye çalışılmıştır. (Şekil 3)



Şekil 3. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

### 2.4 Yüzeysel Sıcaklık Analizi

Araştırma bölgesi için uygulanan yöntemlerden biri de Yüzeysel Sıcaklık Analizi (YSA) olmuştur. Bu çalışma için Aster night-time verisi termal bantları ve Landsat 5 TM verisinin termal bantı kullanılmıştır. Termal bantlar (TIR) jeotermal aktivitenin yüzey tanımlaması için jeotermal uzaktan algılamada eşsiz araçlardır. (Haselwimmer ve diğ., 2013) İki farklı uydu verisi ile yapılan analizler sonucu sıcaklık değerleri derece cinsine dönüştürülerek sıcaklık haritası çıkarılmıştır. (Şekil 4)



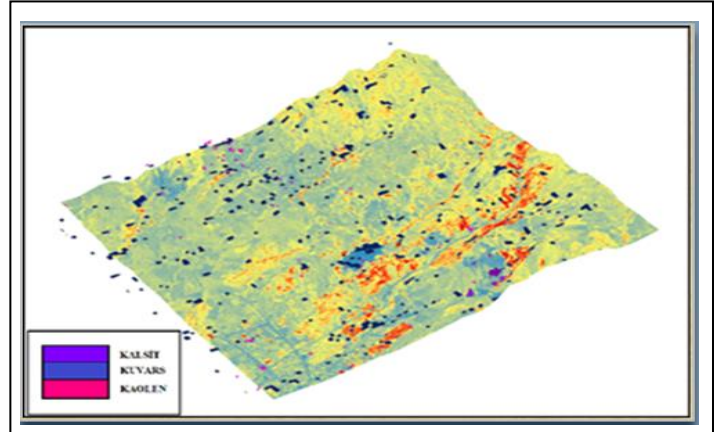
Şekil 4. Yüzeysel Sıcaklık Analizi (YSA)

Bu çalışma için ise Jimenez Munoz ve Sobrino'nun yeryüzeyi sıcaklıklarının hesaplanması yönelik tek kanal algoritması Landsat termal verisi, Hakan Oğuz'un geliştirdiği LST Hesaplayıcı da ASTER verisinin 13. Termal kanalı için uygulanmıştır. Bu uygulama ile önce Dijital Sayıları (DN) radyansa dönüştürülmüş, yüzey yansımaya değerleri, NDVI, sonrada emissivity (yayırlılık) ve yüzey sıcaklıkları sırası ile hesaplanmıştır. Hesaplanan ve kıyaslanan sıcaklık değerlerinin aynı aylara karşılık gelen ortalama günlük meteorolojik verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. (Şekil.4)

### 2.5 NDVI ve Bant Oranlama

Uzaktan algılama teknolojisinde yeşil bitki örtüsünün incelenmesi için sıkça kullanılan indislerden biri Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) dir. (Yıldız, 2012)

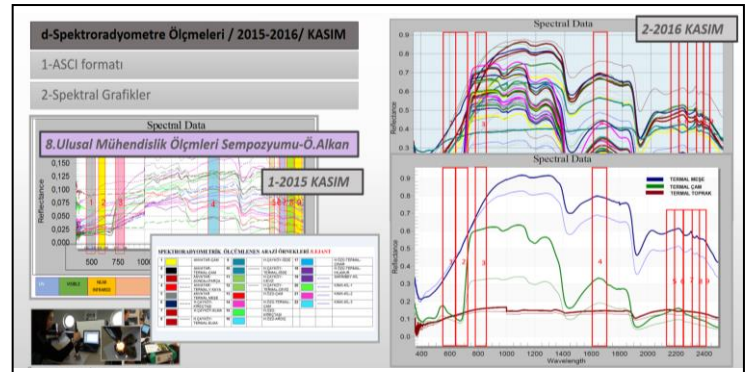
Araştırma bölgesi için NDVI (normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi) oluşturulmuş ayrıca sırası ile kızılötesi ve termal bantlarla oranlama yapılmıştır. Bu oranlamalar sonucu termal bölgelerde yüksek miktarda bulunan kalsit, kuvars ve kaolin indeksleri çıkarılmıştır. (Şekil 5)



Şekil 5. Bant Oranlamalar (NDVI ve farklı İndeksler)

### 2.6 Spektrometrik Ölçmeler

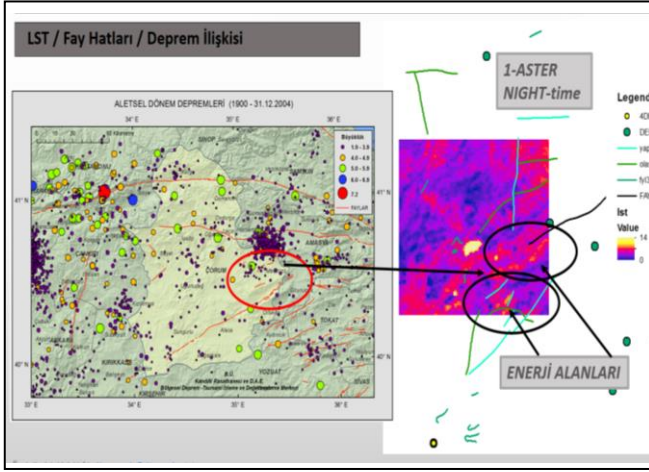
Çalışma alanında 7 farklı bölgede 80 tane örnek için spektrometrik ölçmeler yapılarak spektral grafikleri çıkarılmıştır. (Şekil 6) Ayrıca bu örnekler termal bölge ve termal dışı olarak ayrılmış ve sonuç grafikler elde edilmiştir. (Şekil 7) Termal alan ve termal dışından örneklerin Kasım 2016 yılına ait grafikleri Şekil.6 da gösterilmiştir.



Şekil 6. Spektrel Örnekler (2015 ve 2016 Kasım)

## 2.7 Jeotermal Uzaktan Algılama Fay Hatları ve Tektonik Hareketlilik

Farklı yöntemlerle çalışılan araştırma bölgesi son olarak MTA tarafından revize edilen jeolojik haritalar ve fay hatları ile birlikte değerlendirilmiş, ayrıca güncel tektonik verilerde irdelenmiştir.(Şekil.7)



Şekil 7. Yüzey Sıcaklık Analizi, Faylar ve Depremler

## 3. SONUÇLAR

a-Bu çalışmada jeotermal suların arazi yüzeyine (ağaç / kayaç / toprak) etkileri UA yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Jeotermal suların geçtiği yerlerde özellikle kükürt içerikli minerallerin buharlaşma sonucu arazi örtüsüne etkileri irdelenmiştir. Bu çalışma için öncelikli hedef olarak yaprak dökmeyen ağaçlar (çam) , ikinci hedef grup olarak meşe ve orman içi toprak örneklerinin termal ve termal olmayan bölgede spektral yansımaları değerlendiril, kükürt içerikli minerallerden etkilenen örneklerin spektral farklılık grafikleri elde edilmiştir. Yüzey sıcaklık analizleri ile araştırma bölgesinde toprak yüzeyi sıcaklıkları elde edilerek jeotermal suların geçtiği muhtemel alanlar incelenmiştir. Farklı termal verilerden özellikle ASTER night-time verisi YSA analizi ile sıcaklık değerleri ve meteorolojik verilerin daha uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca kullanılan dört kontrollü sınıflandırma algoritmasında da örnekler örtüşmüş, potansiyel jeotermal alanların tespit edilebilirliğine yönelik doğruluk analizlerinde SCM algoritması kullanılarak yapılan sınıflandırma doğruluğu en iyi sonucu vermiştir.

b-Bu çalışmada tektonik hareketler, jeoloji ve jeotermal ilişkisinin UA yöntemleri ile birlikte değerlendirilmesine yönelik olarak; Çalışılan termal ve kızılötesi bant oranlamalar ile mineral indeksler çıkartılmış, MTA ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden sağlanan verilerle karşılaştırılmış ve sonuç görüntüleri ile fay-hatları deprem ilişkileri bir arada yorumlanabilmektedir.

c-Muhtemel / potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine yönelik olarak; Sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde çok yönlü ve yersel-doğrulamalı olarak yapılması açısından sonraki çalışmalar adına umut verici olduğu düşünülmektedir.

## KATKI

Bu araştırma İTÜ tarafından desteklenen **39422 numaralı BAP Projesi** kapsamında gerçekleştirilmiştir. Katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

İTÜ - Uydular Haberleşme ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi ve Prof.Dr.Elif SERTEL'e spektrometrik ölçmeler konusundaki her türlü katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

Türkiye Jeotermal Enerji Kaynaklarını Araştırma ve Değerlendirme Vakfı Başkanı Mehmet Ali Doğan Bey'e tüm bilim ekibi ile verdiği katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü ve Prof.Dr.Haluk ÖZENER'e araştırma bölgesine ait tektonik tüm veriler ve katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

## REFERANSLAR

Coolbaugh, M.F., 2007, Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA, Remote Sensing of Environment 106 (2007) 350–359

Erkul, H., 2012 Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği, Yönetim Bilimleri Dergisi, Cilt: 10, Sayı: 19, ss. 1-30

Haselwimmer, C., and Prakash, A., 2013, Thermal Infrared Remote Sensing of Geothermal Systems, Remote Sensing and Digital Image Processing, Volume 17, pp 453-473

Norini, G., 2015, Structural analysis and thermal remote sensing of the Los Humeros Volcanic Complex: Implications for volcano structure and geothermal exploration, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 301, 221-237

Meer., F ve diğ., 2014, Geologic Remote Sensing For Geothermal Exploration: A Review, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 33 (1) : 255–269

Oğuz, H., 2015, A Software Tool for Retrieving Land Surface Temperature from ASTER Imagery, Tarım Bilimleri Dergisi, 21, 471-482

Yıldız, H., ve diğ., 2012, Türkiye Bitki Örtüsünün NDVI Verileri ile Zamansal ve Mekansal Analizi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 21 (2) : 50-56