

Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi

Öykü Alkan¹, H.Gonca Coşkun², Hakan Çelik³, M.Nurullah Alkan⁴, Sakine Kandil⁵, Yasin Okur⁶, Eda Eraydın⁷

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

^{2,3,4,5} İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

⁴ Hitit Üniversitesi, Osmaniye Derindere M.Y.O., Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Çorum
oyku.alk@gmail.com

Geliş Tarihi: 05.02.2017 ; Kabul Tarihi: 19.07.2017

Özet

Bu çalışma Orta-Kuzey Anadolu bölgesinin kuzeyinde kalan Çorum ili'nin Kuzey-Doğu kısmında yaklaşık 5000 hektarlık alanda jeotermal varlığının araştırılmasını hedeflemiştir. Araştırmada jeotermal suların arazi yüzeyine (ağaç / kayaç / toprak) etkileri Uzaktan Algılama yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Jeotermal suların geçtiği yerlerde özellikle kükürt içerikli minerallerin buharlaşma sonucu ağaçlara, arazi örtüsüne etkileri irdelenmiştir. Çalışma için öncelikli hedef olarak yaprak dökmeyen ağaçlar (çam), ikinci hedef grup olarak meşe ve orman içi toprak örneklerinin termal ve termal olmayan bölgede spektrometre ölçmeleri ile spektral farklılık grafikleri elde edilmiştir. ASTER 3A ve L1T(gece) ve Landsat-5 ve Landsat- 8 uydusunun aynı ay içinde çekilen termal uydu verileri ayrıca ASTER 3A uydusunun kızılötesi kanalları da bant aritmetiği ve oranlamalarda kullanılmıştır. Araştırma alanı için dört uydu verisinin termal kanalları ile Yüzeysel Sıcaklık Analizi (YSA) yapılarak bölgedeki toprak üstü sıcaklık farkları elde edilmiştir. Sonuç sıcaklık değerleri ASTER-gece termal kanalları ile yapılan çalışmada daha yüksek çıkmıştır. Bölgedeki tektonik hareketlilik dikkate alınarak, MTA tarafından güncellenen 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası ve fay hatları üzerinden 30 adet test noktası seçilmiştir. Test noktaları yükseklik ve YSA 'dan elde edilen sıcaklık değerleri ile birlikte değerlendirilmiştir. 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. Yapılan bu çalışma ile mineral-yoğun bölgeler tespit edilerek haritalanmıştır. Elde edilen hidrotermal kompozit görüntü, mineral-yoğunluğu haritası ile tespit edilen yüzey bozuşmaları ve fay hatlarının örtüşmesi, ayrıca fay hatları civarında YSA değerlerinin yüksek olması da bölgede jeotermal alanların araştırılması açısından önem arz etmektedir. Jeotermal suların arazi örtüsüne etkilerini araştırmaya yönelik olarak bölgede yaklaşık 300 nokta ulusal koordinat sisteminde tanımlanmıştır. Bu noktaların 64 tanesinde toprak, kayaç ve ağaç örnekleri seçilerek spektrometre ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Termal ve termal olmayan bölgelerden seçilen örneklerde özellikle çam ağaçlarının termal bölgedeki spektral yansıtması yüksek oranda olmuştur. Arazide konumları hesaplanan örnek noktalar ASTER 3A görünür kızılötesi ve kızılötesi bantları ile çalışılan kontrollü sınıflandırma işlemlerinde de kullanılmıştır. Farklı algoritmalar seçilerek yapılan sınıflandırma yöntemleri ile arazi örtüsünde dört farklı hedef grup, jeotermal ve jeotermal alan dışı olarak sınıflandırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır.

Anahtar kelimeler

Jeotermal uzaktan algılama; Fay hatları;

Termal bant oranlamalar; Bant aritmetiği; Yüzeysel sıcaklık analizi

Determination of Potential Geothermal Fields by Remote Sensing Methods

Abstract

In this study, geothermal presence in an area about 5000 hectares near north-east of Çorum Province on the Middle-North Anatolian region was investigated. Effects of geothermal water to the earth surface (trees, rocks, land) researched using remote sensing techniques. Effects on the trees and land examined especially on the geothermal waterbeds where sulphur substance minerals vaporized. Thermal and non-spectral spectroradiometer observations were established and spectral difference graphics obtained for primary targets as evergreen trees (pine), and secondary targets as oak trees and land samples in the forests. Thermal satellite data for the same epoch of the month for ASTER 3A, L1T (night), Landsat-5, and Landsat-8, including ASTER-3A satellite's infrared bands were used in band

Keywords

Geothermal remote sensing; fault Lines; Band ratio; Band algebra; Land surface temperature

algebra and ratio. Thermal bands for 4 satellite data used in surface temperature analysis(STA) to obtain the temperature differences over the land for the study region. Final temperature values for ASTER-night were the highest. Considering the tectonic motions within the area, updated geological maps in the scale of 1/100.000 and fault lines by MTA, 30 points were selected as test points. These points evaluated with the combination of elevation and temperatures derived from STA. Other techniques established with the ASTER data were bant ratio and algebra with the infrared and thermal bands to find out the little energy differences on the land surface. With this study, maps for mineral-dense areas prepared. Producted hydrothermal composite images, land anomalies from mineral-dense maps overlapping with the faults, also higher STA values around the faults are important features for further geothermal investigation around the region. Almost 300 points specified in the national coordinate system to investigate the effects of geothermal water to the land cover. Land, rock, and tree samples from these 64 points were collected and measured by spectro-radiometer. Samples from thermal and non-thermal regions, especially with the pine trees were significantly higher in the thermal region. Sample points, which their coordinates calculated, were also used in supervised classification using ASTER-3A visible infrared and infrared bands. Four different focus groups on the land cover were analysed with different classification algorithms, and classified as geothermal and non-geothermal areas.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Jeotermalin tanımı genel anlamda yer kabuğunun derinliklerinde biriken ısının oluşturduğu sıcaklığı, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan, çevresinde varolan yeraltı ve yerüstü sularına nispeten erimiş mineral içeriği fazla basınç altındaki sıcak su ve buharı olarak yapılabilir (Erkul, 2012).

Türkiye jeotermal kaynaklarını minimum oranda kullanabilen ve açığa çıkarılmayı bekleyen yüzlerce jeotermal kaynağa sahip ülkelerden biridir. Türkiye’de jeotermal kaynakların bulunduğu yerlerin çoğu volkanik ve tektonik geçmişi olan alanlarda yer almaktadır (Akın ve diğ., 2014).

Uzaktan Algılama teknolojisi bu jeotermal kaynakların ön araştırmasında rol alan en etkin yöntemlerden biri olarak literatürlerde yerini almaya başlamıştır. Son yıllarda jeotermal aramalarda Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yöntemleri ile Türkiye’de yapılan önemli çalışmalar (makale, bildiri vb) bulunmaktadır (Yalçın, 2017; Yıldız ve diğ., 2017 ; Balçık ve Ergene, 2017 ; Yurteri ve Şimşek, 2017; Melikoğlu, M., 2017)

Bu çalışmalardan uydu görüntüleri yardımı ile hesaplanan yüzey sıcaklık analizi (YSA) ile yüzey sıcaklık dağılımı haritalaması, jeotermal sahaların

belirlenmesine yönelik olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Jeotermal araştırmalar vb. çalışmalar için yer yüzeyi sıcaklığı önemli bir parametredir (Oğuz, 2014).

Çalışma alanının sınırları içinde bulunduğu Çorum İli Karadeniz Bölgesinin orta kısmında, İç Anadolu bölgesinin yüksek kesimlerinin devamı niteliğinde, büyük kısmı Yeşilirmak Havzası içinde yer almaktadır (Gülersoy, 2013). Kuzeyinde Hamamözü (Amasya) ilçesinde, güney-doğusunda Alaca ilçesi- Yozgat sınırında ve batısında Mecitözü ilçesi ile Amasya İli arasında balneolojik amaçlı jeotermal kaynaklar bulunmaktadır.

Jeolojik açıdan Çorum İli, Anadolu’nun tektonik gelişimine paralel olarak metamorfik kütlelerin, çakıtaşı, kireçtaşı ve kumtaşlarının kapladığı geniş bir alanda yer almaktadır. Volkanitler şehrin kuzeydoğu ve kuzeybatısında Eğerci Dağı ’nda geniş kuşaklar halinde yayılım göstermektedir (Gülersoy, 2013). MTA tarafından güncellenen Jeolojik verilere göre ise çalışma alanının hemen kuzeyinde kalan Eğerci Dağı’nın bulunduğu alan Beynamaz volkanit üyesi olarak tanımlanmakta ve andezitik, bazaltik lav, tüf ve aglomera barındırmaktadır (Şekil.7).

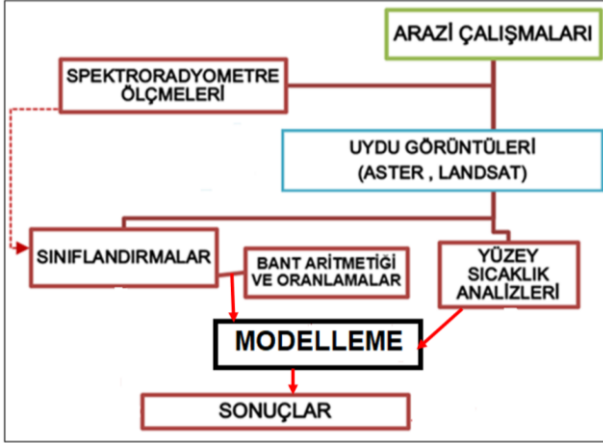
Bu çalışmanın hedefi jeotermal araştırmalara katkıda bulunmak üzere farklı uzaktan algılama

yöntemlerini bir arada kullanarak potansiyel jeotermal alanların tespitine yönelik yeni yaklaşımlar geliştirmektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı için ASTER uydusu 3A ve L1T (gece) görünür kızılötesi (VNIR:3 bant), kızılötesi (SWIR:6 bant) ve termal (TIR:5 bant) verileri ile Landsat-5 ve Landsat-8 uydusunun termal kanalları kullanılmıştır (Tablo.1).

Tüm uydu görüntülerinin çalışılabilirliğini sağlamak üzere öncelikli olarak tüm veriler üzerine radyometrik, geometrik ve atmosferik, termal kanallar için termal atmosferik düzeltmeler uygulanmıştır. Uygulama adımları akış diyagramı ile gösterilmiştir (Şekil.1).



Şekil 1. Uygulama akış şeması

Metodolojiaşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Spektrometrik ölçmelerle termal ve termal dışı bölgede bulunan örneklerin spektral farklılıkları tespit edilmiş ve yeniden örneklendirilmiştir. ASTER görünür kızılötesi ve kızılötesi spektral aralıkları ile birlikte değerlendirilerek örneklerin karışmadığı kanallar sınıflandırmalarda bant seçiminde de kullanılmıştır.

- Araştırma alanı için kontrollü sınıflandırma yöntemleri, türlerin sağlıklı olarak ayrımlanabilmesi için arazi-doğrulamalı örneklerle desteklenmiştir. Sınıflandırma uygulamaları için dört farklı algoritma kullanılmış hedef sınıflar olan çam, meşe, kayaç ve toprak örnekleri jeotermal alanda kalan ve kalmayanlar olarak ayrılmıştır. Bu işlemde

kullanılan dört farklı algoritmanın doğruluk analizleri yapılmış kovaryans matrisleri hesaplanmıştır.

- Yüze Sıcaklık Analizleriyle enerji farklılığı gösteren alanlarının çıkarımı sağlanmıştır. Bu analizler için split-window, sıcaklık-emisivite ayrımı, tek-kanal ve mono-window vb. algoritmalar geliştirilmiştir (Munoz ve Sobrino, 2010; Liu ve Zhang, 2011; Elsaid ve diğ., 2014). Bu çalışmada Aster termal verileri için tek kanal algoritması B13 termal kanallarına gece ve gündüz için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu yöntem için Oğuz (2014) tarafından geliştirilen yazılım aracı yardımı ile DN sayıları radyansa dönüştürülmüş, yüze yansımaya değerleri, NDVI, yayınlılık ve nihayetinde arazi yüzeyi sıcaklıkları araştırma alanı için hesaplanmıştır. Kullanılan parametreler ASTER uyduları meta verisinden ve kullanılan formüller de Oğuz (2014) 'ten alınmıştır.

Landsat verileri için ise Mono-Window algoritması kullanılarak yüze sıcaklık analizi yapılmıştır. Burada kullanılan formüller Bayes Ahmet ve (Liu ve Zhang, 2011) parametreler de Landsat uydu verileri meta verisinden alınmıştır.

Araştırmaya değer katacağı öngörülen diğer bir yöntem ise YSA ile fay hatlarının bir arada değerlendirilmesi olmuştur. Bu hedef doğrultusunda çalışma alanı Sayısal Arazi Modeli (SAM) oluşturularak yüze sıcaklıkları ve fay hatları arazi yükseklikleri ile birlikte değerlendirilmiş standart sapmaları hesaplanarak grafikleri çıkarılmıştır.

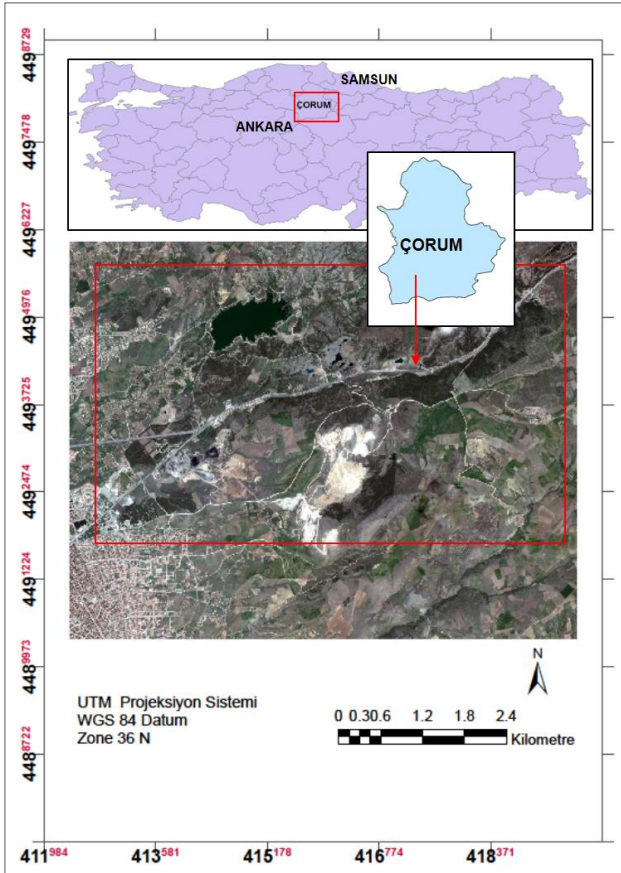
Çalışma bölgesine uygulanan dördüncü yöntem bant oranlamalar ve bant aritmetiği ise jeotermal varlığına işaret eden ve literatürlerde sıkça bahsi geçen minerallerin varlığının araştırılmasına yönelik olmuştur. Böylece araştırmalarda başarı ile kullanılan Aster uydusunun termal ve kızılötesi bantları ile yapılan oranlamalardan bazıları çalışma bölgesi için kullanılmıştır (Tablo.2).

Tablo 2. Aster bantları ile çalışılan bant aritmetiği ve oranlamalar

| ASTER BANTLARI | İNDEKS | FORMÜL | REFERANS |
|----------------|----------------------|----------------------------------|-----------------|
| Termal | Kuvars | $(B11/B10+B12) \times (B13/B14)$ | Carrino, 2014 |
| Termal | Karbonat | $(B13/B14)$ | Ninomiya, 2005 |
| Termal | Mafik Mineraller | $(B12/B13) \times (B14/B13)$ | Guha, 2016 |
| Kızıltötesi | Hidrotermal Kompozit | $4/7, 4/1, 2/3 \times 4/3$ | Rajendran, 2014 |

2.1.Çalışma Bölgesi ve Arazi Çalışmaları

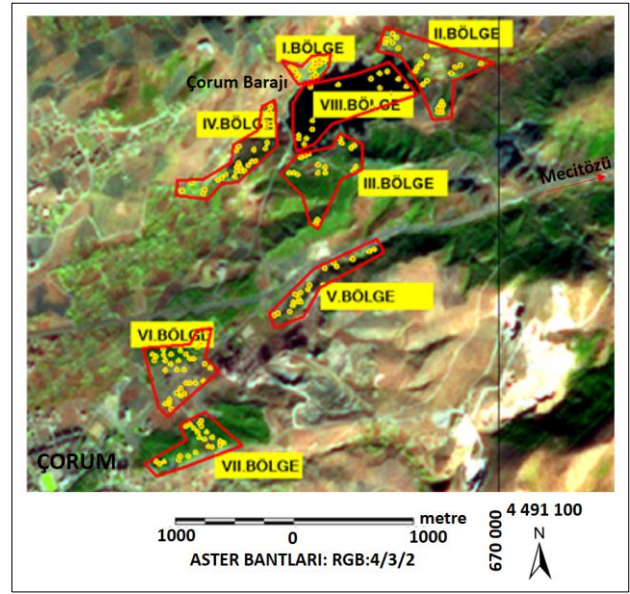
Araştırma bölgesi Orta-Kuzey Anadolu Bölgesinin Kuzey-Doğu kısmında kalan Çorum ili merkez sınırları içerisinde UTM projeksiyonunda, WGS 84 datumunda ve 36 derece zon da tanımlanmış olup yaklaşık 5000 hektarlık alanı kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 2. Çalışma Alanı

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

Araştırma için öncelikle arazi çalışmaları için sekiz farklı bölge seçilmiştir (Şekil 3). Arazi çalışmaları ile alınan yaklaşık olarak 300'e yakın örnek konumu için, koordinat verileri X,Y,Z olarak hesaplanmıştır. Bu noktalardan 64 tanesi spektral örnek olarak ayrıca kullanılmıştır. Çalışmalar 2015 ila 2016 yıllarında farklı dönemlerde tekrarlı GNSS ve GPS ölçmeleri olarak yapılmıştır. Spektrometre ölçmeleri 2015 ve 2016 yılları Kasım ayında gerçekleştirilmiştir. Noktaların yıllara bağlı dağılımı Tablo.3 te gösterilmiştir.



Şekil 3. Test bölgeleri arazi örnek noktaları

Tablo 3. Arazi test noktaları 2015 ve 2016 ölçmeleri

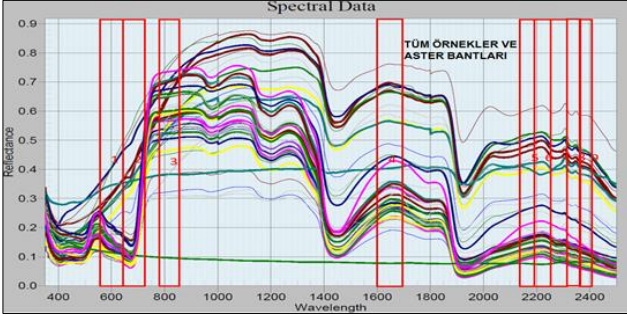
| YIL | TEST BÖLGESİ | ÖRNEK NOKTA SAYISI | SPEKTRORADYOMETRE İLE ÖLÇÜLEN NOKTA SAYISI | ALAN (ha) |
|------|--------------|--------------------|--|-----------|
| 2015 | 1 | 21 | 5 | 1203 |
| | 2 | 20 | 7 | 2777 |
| | 3 | 18 | 6 | 1938 |
| | 4 | 42 | 4 | 6132 |
| | 5 | 25 | - | 1823 |
| 2016 | 1 | 38 | 13 | 163 |
| | 2 | 91 | 13 | 2912 |
| | 3 | 25 | 10 | 73 |
| | 4 | 6 | 2 | 30 |
| | 5 | 10 | 2 | 26 |
| | 6 | 24 | 1 | 45 |
| | 7 | 10 | 1 | 11 |

2.2.Uygulama Adımları

Araştırma bölgesinde yapılan uygulamalar spektrometre ölçmeleri, sınıflandırma işlemleri, bant aritmetiği ve oranlamalar, yüzey sıcaklık analizleri olarak dört ana başlık altında toplanabilir.

2.2.1 Spektrometre ölçmeleri

Spektrometre ölçmeleri ile hedef örnek sınıfları arazi çalışmaları ile belirlenen sekiz farklı bölgeden seçilmiştir. Bölgede bulunan mevcut termal tesis ve jeotermale yönelik sondaj alanları baz alınarak termal ve termal olmayan alanlardan çam, meşe ve toprak örnekleri spektrometre ile ölçülmüştür. Tüm örnekler için ortalama spektraller 20-25 tekrarlı olarak elde edilmiştir. Sınıflandırma işlemlerinde kullanılacak ASTER verisi bant aralıkları bu spektral grafik üzerine düşürülmüştür. Hedef örneklerin 2, 3, 4 ve 5 bant aralıklarında görünür ve yakın kızılötesi bantlarda birbirinden ayrılabilirliği dolayısı ile karışmadığı görülmüştür (Şekil.3).



Şekil 4. Arazi örnekleri spektral verileri

Termal tesis etrafından alınan meşe, çam ve toprak örnekleri ile termal olmayan alan içinden seçilen aynı grupların spektral eğrileri arasında özellikle çam sınıflarında farklılık elde edilmiştir (Şekil.5). Bu örnekler aynı zamanda sınıflandırma uygulamalarının hedef örnek sınıfları olarak da belirlenmiştir.

2.2.1 Sınıflandırma işlemleri

Kontrollü sınıflandırma uygulamasında maximum likelihood (MLC), minimum distance (MD), spectral angle mapper (SAM) ve spectral correlation mapper (SCM) algoritmaları ayrı ayrı kullanılmıştır. Jeotermal alanlarda farklılık gösterebileceği düşünülen hedef sınıflar arazi çalışmaları ile elde edilen örnek noktalardan oluşturulmuştur. Bu oluşumda spektrometre sınıfları aynı zamanda tüm kontrollü sınıflandırma işlemlerindeki örnek sınıflardır.

Sınıflandırma işlemlerinde kullanılan her bir algoritmaya ait sınıflandırma doğruluk analizleri ile doğruluk yüzdeleri çıkarılmış ve kapa değerleri hesaplanmıştır. SCM algoritması kullanılarak yapılan kontrollü sınıflandırma işlemi diğer yöntemlerden, %80.27 ile daha yüksek doğruluk sonucunu vermiştir. SAM yöntemi %79.84, MD yöntemi %76.51, MLC yöntemi de %77.92 değerlerini vermiştir (Şekil.6).

2.2.3 Bant oranlamalar ve bant aritmetiği uygulamaları

Bant oranlama ve bant aritmetiği uygulamaları için ASTER uydularının kızılötesi ve termal bantları kullanılmıştır. Bant oranlamalar araştırma bölgesi yüzeyindeki değişimlere bağlı olarak farklılık gösteren alanların tespiti ve jeotermal araştırmalarında, literatürlere geçmiş mineraller için kullanılan indekslerin araştırma bölgesi uygulamasına yönelik olarak çalışılmıştır.

ASTER uydu verisinin kızılötesi bantları ile yapılan bant aritmetiğinde hidrotermal kompozit görüntü, minerallerin yüzey değişimlerine neden olabileceği alanların incelenmesi için $(B4/B5)$, $(B2/B1)$, $(B3/B2)$ formülü ile hesaplanarak çıkarılmıştır. ASTER termal bantları ile en çok çalışılan kuvars ve karbonat mineralleri yoğunluk haritası, $(B11 \times B11) / (B10/B12)$ ve $B13/B14$ oranları ile elde edilmiştir. Çıkarılan haritalar MTA tarafından güncellenen jeoloji haritası ile ilişkilendirilmiştir (Şekil.7).

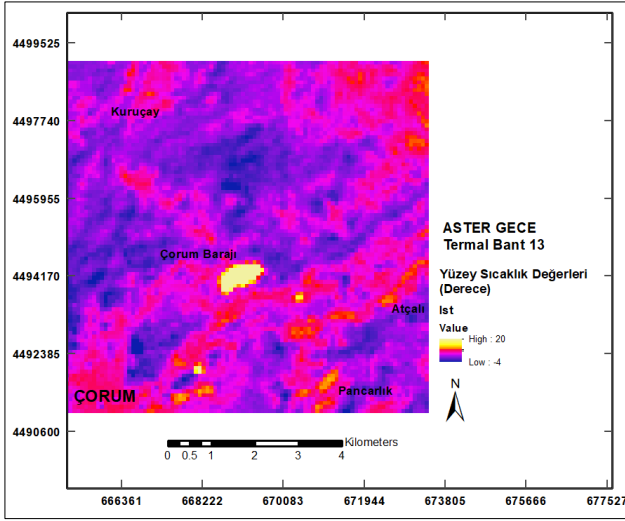
Jeotermal alanlarda minerallerin sınıflandırılmış termal örneklerin bulunduğu alanlarda ne kadar yoğunluk gösterip göstermediği de araştırılmıştır. İlaveten araştırma bölgesine yakın üç farklı jeotermal tesisin de içinde bulunduğu alan üzerinden mineral- yoğun kısımlarda yüzey sıcaklık değerleri incelenmiştir. Çalışma bölgesinde bulunan olası ve yapısal fay hatları birlikte değerlendirilerek hem mineral-yoğun hem de tektonik hareketliliğe bağlı yüzey enerji farklılıkları gözlemlenmiştir.

2.2.3 Yüzey sıcaklık analizleri

Araştırma alanı için yapılan ve çalışmaya değer katacağı düşünülen diğer bir uygulama ise ASTER ve LANDSAT verilerinin herbirine uygulanan yüzey sıcaklık analizleri olmuştur.

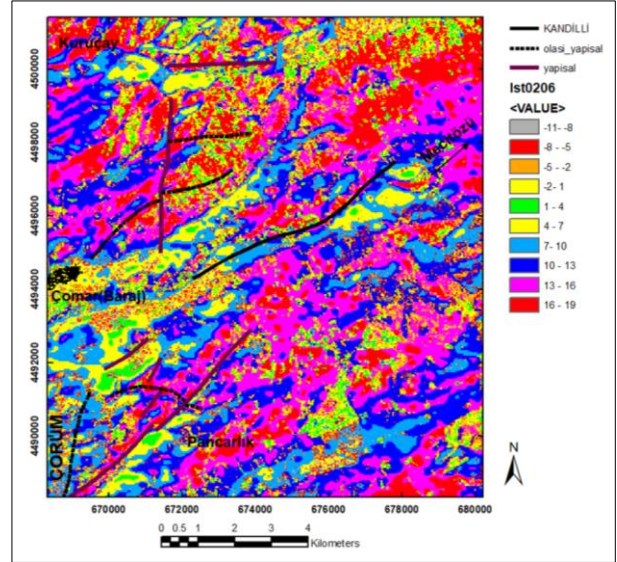
Bu analizler ile yüzeyde farklılık gösterebilecek potansiyel enerji alanlarına işaret edebilmesi ve sınıflandırılmış termal örnek alanlarında bulunan örneklerle ne kadar uyumlu olup olmadığına bakılmıştır. Bölgede yapısal olarak yoğunluk gösteren fay hatlarında ve mevcut termal tesis yakınlarında bulunan faylar üzerinde yeryüzeyi sıcaklık haritalaması yapılarak jeoloji-jeotermalilişisibirlikte araştırılmıştır.

Bu çalışmada ASTER gece görüntüsü verileri ile elde edilen yüzey sıcaklık dağılım haritası, kasım ayında gece sıcaklıklarının düşük olduğu saatlerde alınması sebebi ile sıcaklık farklılıklarını daha net bir şekilde ortaya çıkarmıştır (Şekil.8).



Şekil 8. Aster L1T- gece termal verisi yüzey sıcaklık haritası

Mono-Window algoritması ile yapılan YSA ise Landsat-5 uydu verisi termal kanalı için hesaplanmıştır (Şekil.9).

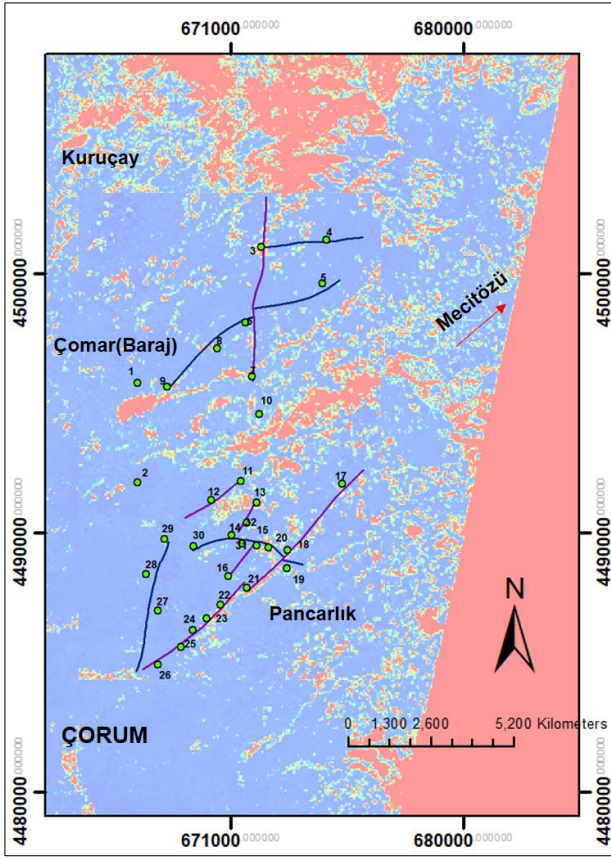


Şekil 9. Landsat 5 verisi yüzey sıcaklık analizi

Tüm uydu termal kanalları ile yapılan sıcaklık haritaları, çalışma alanında bulunan termal tesis ve jeotermal sondaj alanlarının sıcaklıkları baz alınarak Potansiyel enerji alanları gözlemlenebilmiştir (Şekil.10).

Daha sonra yüzey sıcaklık analizlerine dayalı mevcut termal tesisin kuzey-batı tarafında kalan yapısal ve olası yapısal fayların yoğun olduğu bölgede YSA ya dayalı bir yüzey sıcaklık modeli (YSM) çıkartılmıştır. Bu amaçla 30 adet test noktası seçilmiş ve dört farklı termal veri için sıcaklık değerleri sayısal yükseklikleri ile birlikte elde edilmiştir (Şekil.11). Yüksekliğe bağlı olarak aynı yükseklikte farklı noktaların sıcaklık farklılıkları da bu şekilde değerlendirilmiştir. Fay hatları ve test noktalarının sıcaklığa bağlı değerleri Landsat-8 termal kanalı ile yapılan sıcaklık haritasında gösterilmiştir (Şekil.12).

Test noktaları ayrıca mineral anomali haritasında fay hatları boyunca da incelenerek yüzey değişimlerine ve farklılıklarına dayalı sıcaklık değerleri de gözlemlenmiştir (Şekil.13).



Şekil 13. Mineralanomali haritası ve test noktaları

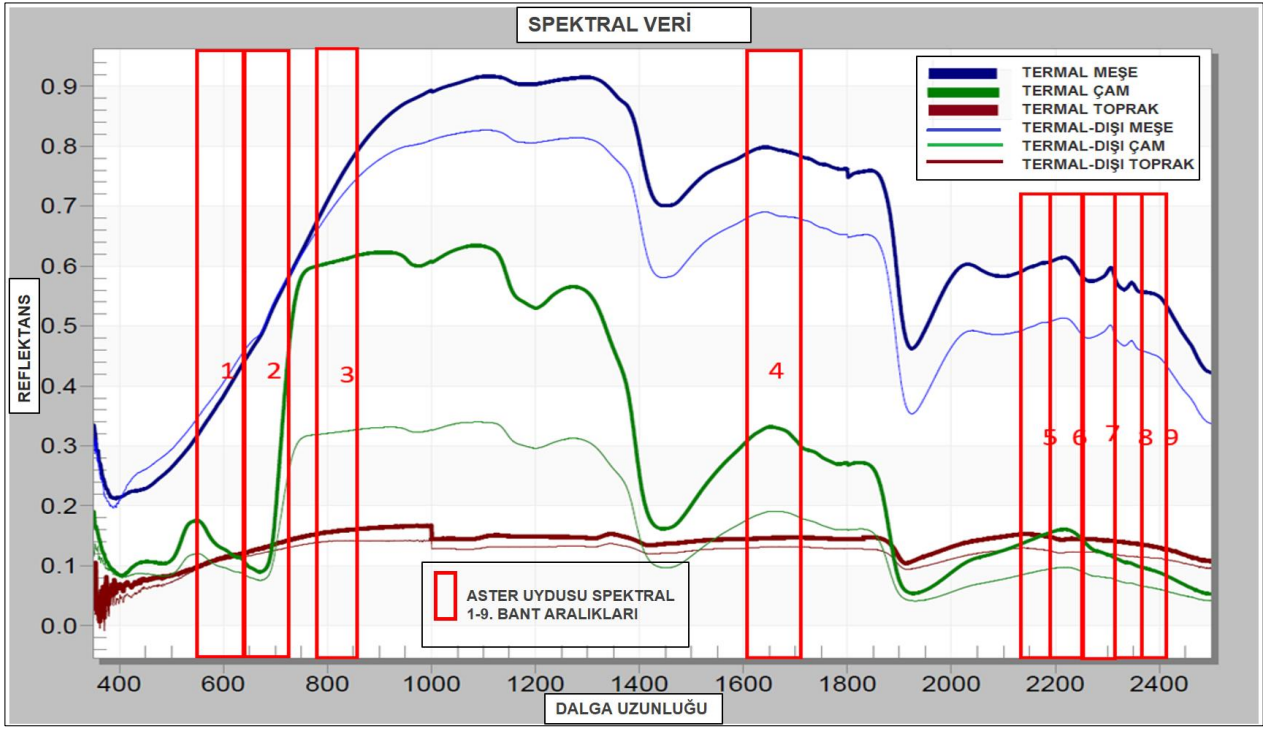
3. Bulgular

Spektroradyometre ölçme sonuçlarından elde edilen jeotermal alan- jeotermal dışı alan spektral farklılıkların jeotermal belirtilerin önemli bir bulgusu olduğu düşünülmektedir.

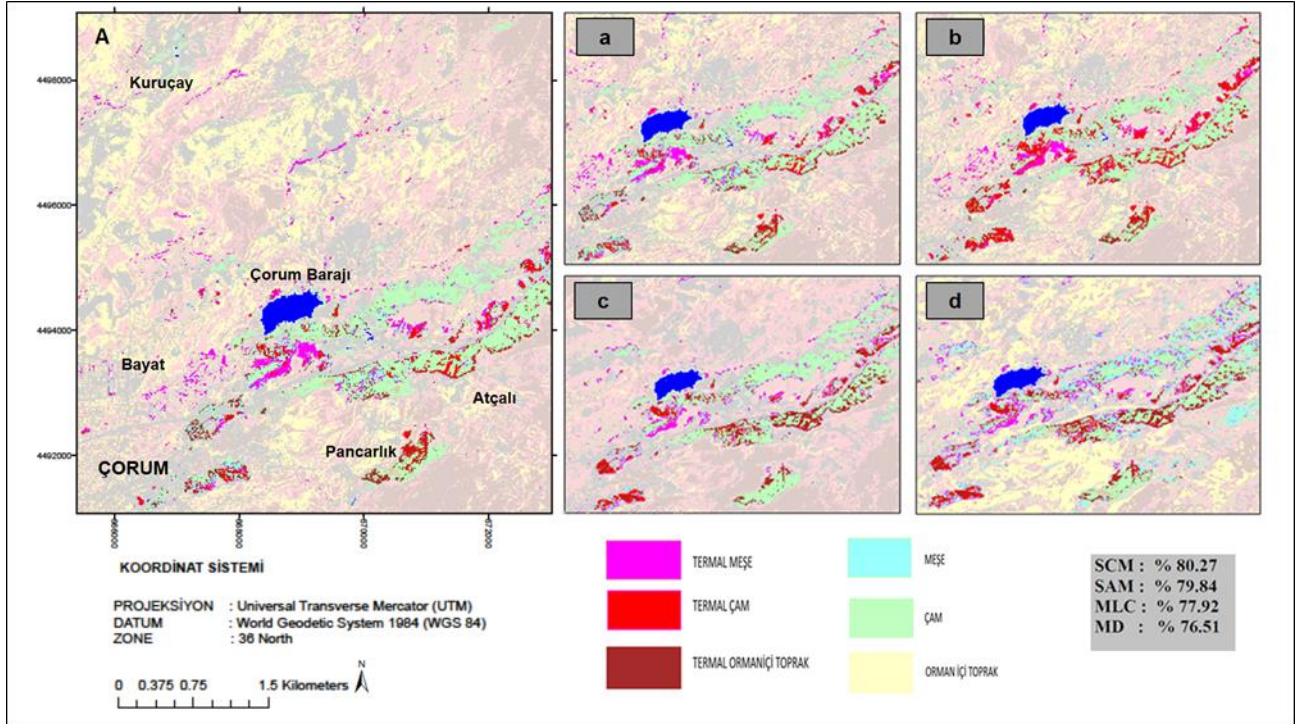
Tüm uyduların termal kanallarına uygulanan YSA için, ASTER gece verisi 13 numaralı kanala uygulanan tek-kanal algoritmasının belirgin sonuç verdiği ve potansiyel jeotermal alanların tespit edilebilir olduğunu göstermiştir.

Bant aritmetiği ve bant oranlamaları ile elde edilen sonuçlarda ve mineralanomali haritasında; Fayhatlarının mineral-yoğun bölgelerle örtüştüğü ayrıca bu yüzey değişimlerinde enerjinin yoğun (sıcaklık değerlerinin yüksek) olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Aynı şekilde mevcut termal tesis ve jeotermal sondaj alanlarında mineral yoğunluğunun ve sıcaklıkların yüksek olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

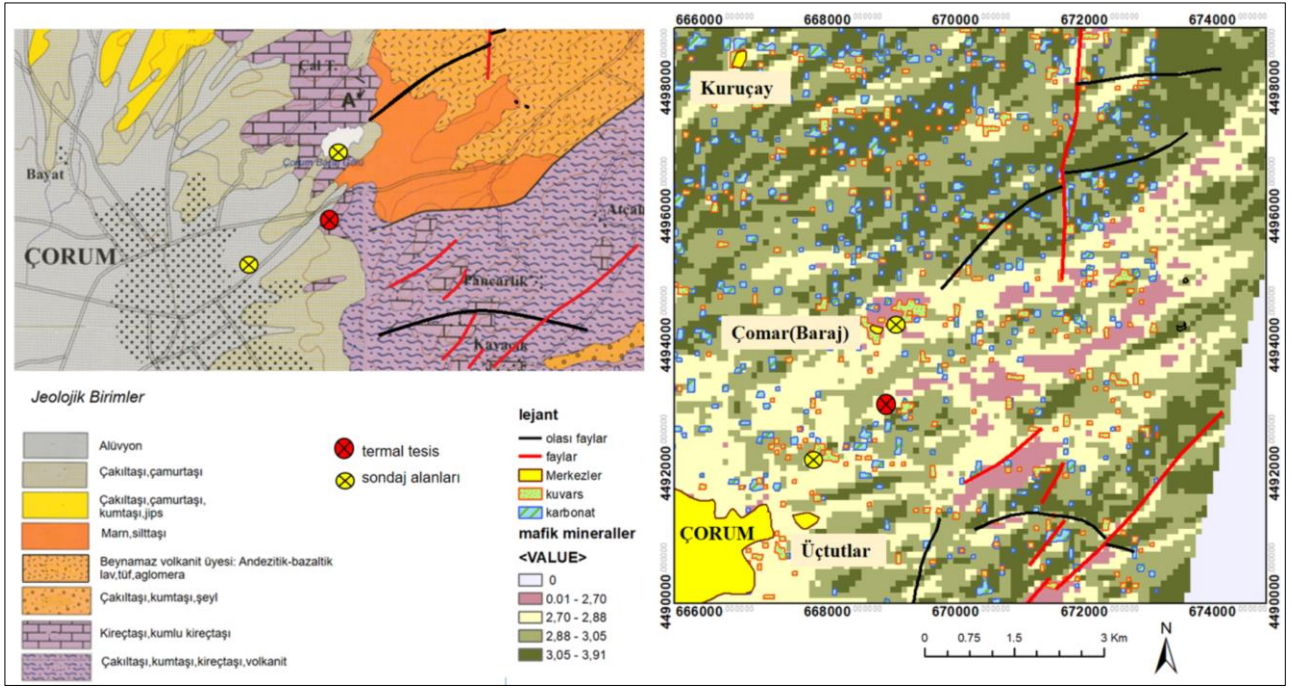
Spektral örnekler ve sınıflandırma sonuçları ile elde edilen haritaların, termal alan ve termal dışı alanda bulunan çam, meşe ve toprak sınıflarının; Fay hatları, mineral haritaları ve YSA enerji-yoğun bölgelerle örtüştüğü gözlemlenmiştir.



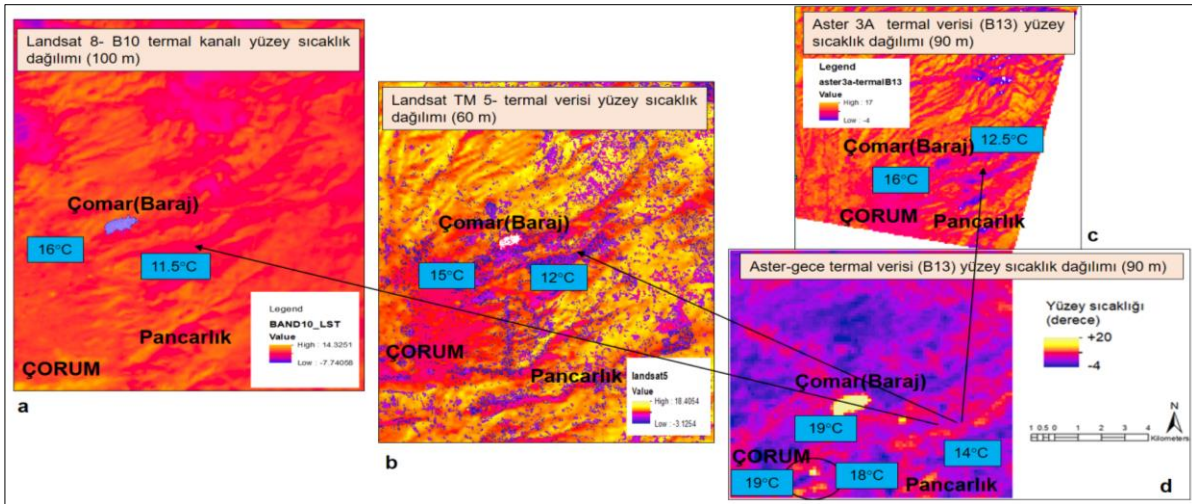
Şekil 5. Test bölgeleri hedef örnek sınıfları jeotermal-jeotermal dışı spektral verileri



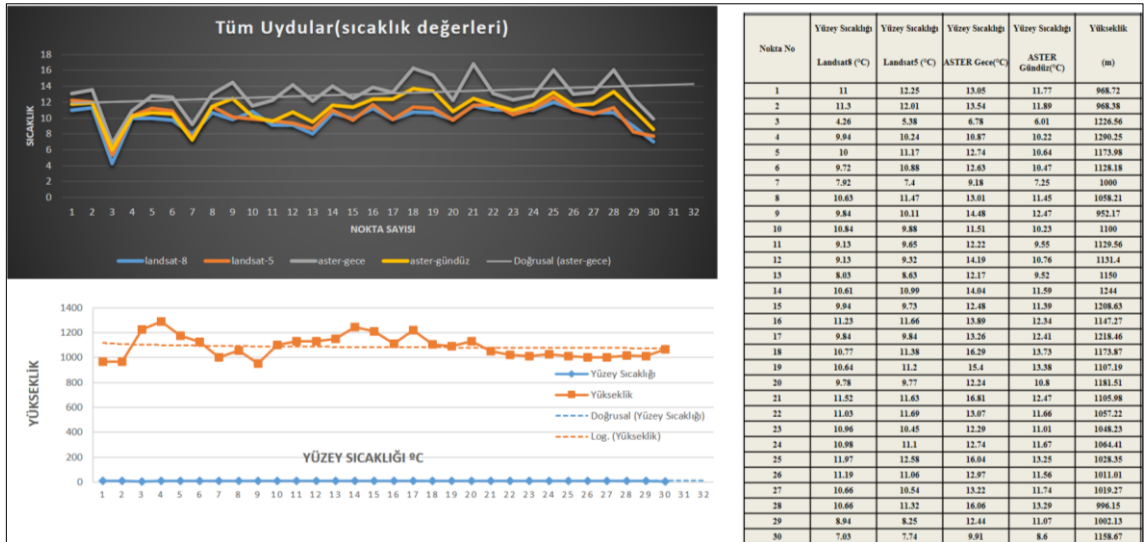
Şekil 6. Sınıflandırılmış görüntüler, sınıflar ve doğruluk analizi sonuçları; A) Çalışma alanı ve en yüksek doğrulukla (%80.27) sınıflandırılmış SCM görüntüsü, a) SCM algoritması ile elde edilmiş görüntü, b) SAM algoritması ile elde edilmiş görüntü, c) MLC algoritması ile elde edilmiş görüntü, d) MD algoritması ile elde edilmiş görüntü.



Şekil 7. Araştırma alanı kuvars ve karbonat mineralleri yoğunluk haritası ve jeolojik birimler

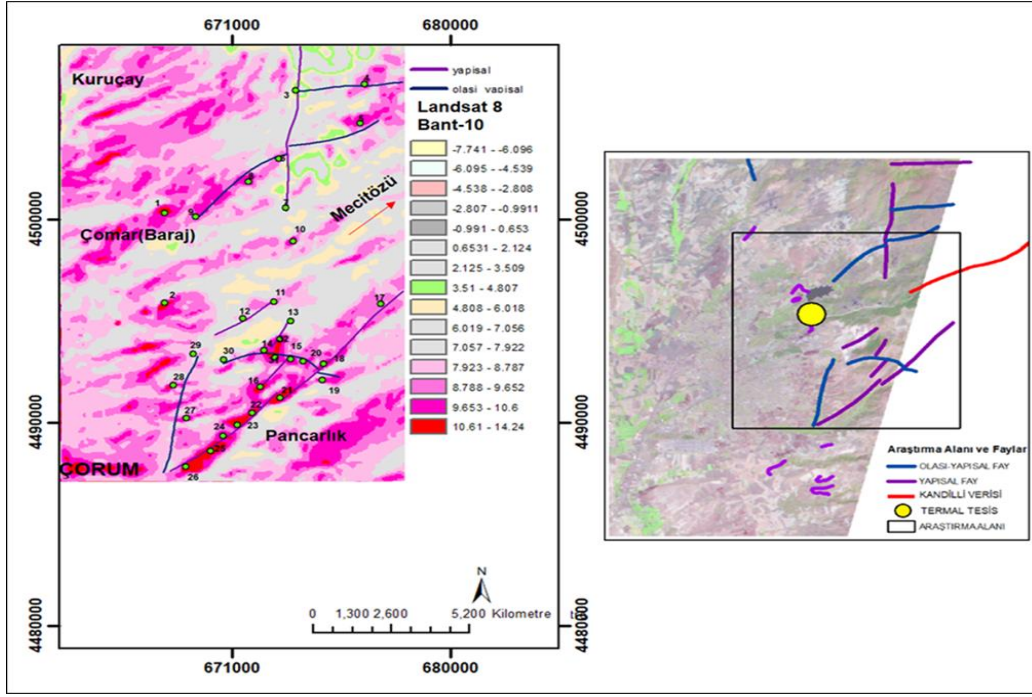


Şekil 10. Yüze sıcaklık dağılım haritaları; a) Landsat-8 YSA haritası, b) Landsat-5 YSA haritası, c) ASTER-3A YSA haritası, d) ASTER-Gece YSA haritası

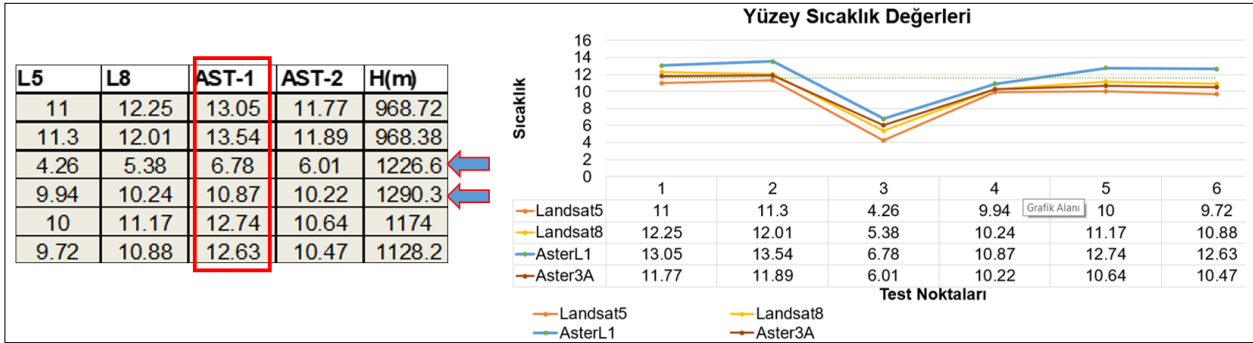


27-29 Nisan 2017 tarihinde düzenlenen Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IX. Teknik Sempozyumu'nda sunulan bildirilerden seçilen çalışmadır.

Şekil 11. Test noktaları yüksekliğe bağlı yüzey sıcaklık değerleri



Şekil 12. Landsat-8 Termal 10 no.lu kanal ile elde edilen yüzey sıcaklık dağılım haritası ve çalışma bölgesi fay hatları



Şekil 14. ASTER ve LANDSAT uydu termal verileri ile hesaplanan YSA ile elde edilen yüzey sıcaklıkları

Tablo 1. Çalışma için kullanılan uydu verileri teknik özellikleri

| UYDU | VERİ ALIM TARİHİ | VERİ ALIM SAATİ | BANT ÖZELLİKLERİ | BANT SAYISI | SPEKTRAL ARALIK | GEOMETRİK ÇÖZÜNÜRLÜK |
|------------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------|-----------------|----------------------|
| Aster 3A | 13 Kasım 2004 | 08:43 | Görünür Yakın Kızılötesi | 3 | 0.52-0.86 | 15 metre |
| | | | Kızılötesi | 6 | 1.60-2.43 | 30 metre |
| | | | Termal | 5 (B10-B14) | 8.13-1.65 | 90 metre |
| Aster L1T (Gece) | 15 Kasım 2015 | 19:43 | Termal | 5 (B10-B14) | 8.125-11.65 | 90 metre |
| LANDSAT 5 | 15 Kasım 2010 | 08:10 | Termal | 1 | 10.42-12.5 | 60 metre |
| LANDSAT8 | 13 Kasım 2015 | 08:21 | Termal | 10 | 10.30-11.30 | 100 metre |
| | | | | 11 | 11.50-12.50 | 100 metre |

4. Tartışma ve Sonuç

a-Bu araştırmada jeotermal suların arazi yüzeyine (ağaç / kayaç / toprak) etkileri UA yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Jeotermal suların geçtiği yerlerde özellikle kükürt içerikli minerallerin buharlaşma sonucu ağaçlara, 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 farklılık grafikleri elde edilmiştir(Şekil.4). Bu örneklerden termal tesise en yakın noktadan alınan çam örneği ve termal varlığı olmayan en uzak noktadan alınan örnek arasındaki spektral değeri 0.3 oranında oldukça yüksek bir fark göstermiştir.Başka deyişle termal alanda bulunan çamın jeotermal su ile buharlaşan kükürt içerikli minerallerden etkilediği gözlemlenmiştir. Meşe için termal ve termal dışı fark 0.2 ye kadar yaklaşmıştır (Şekil.5).

b-Yüzey sıcaklık analizleri ile araştırma bölgesinde toprak yüzeyi sıcaklıkları elde edilerek jeotermal suların geçtiği muhtemel alanlar incelenmiştir. YSA analizinden elde edilen sonuç sıcaklık değerleri(30 test noktası için maksimum 16 derece) ve MGM-Çorum istasyonunda alınan meteorolojik verilerin(Kasım ayı için 10 yıllık-15 günlük ortalama sıcaklık 14 derece)uyumlu olduğu görülmüştür. Burada ASTER gece verisi ile hesaplanan sıcaklık değerlerine özellikle dikkat çekilmesi gerekir. Verinin Kasım ayı 19:43'te elde edilmesi, diğer uydu verilerininin sabah 8:00 civarında elde edilmesine rağmen 2 derece farklılık göstermiştir(Şekil.11). Dolayısı ile ASTER gece sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu noktalara potansiyel jeotermal varlığına işaret ediyor olması sözkonusudur. İlaveten, YSA sonuçlarına göre mevcut termal tesisin bulunduğu yerde ASTER- gece sıcaklığının18 derece olması, ayrıca sondaj alanlarının da 19 derece olması bölgede potansiyel alanların tespitinin mümkün olabileceğine işaret etmektedir.

c-Test noktalarından aynı yüksekliklerde bulunan iki farklı noktanın sıcaklıkları 4 derece civarında fark göstermiştir ki bu noktalar fay hatları üzerinden alınan test noktalarıdır(Şekil.14). Ayrıca,özellikle 3

fay kırığının bir arada bulunduğu yerlerde sıcaklıkların çok yüksek olduğu elde edilen sonuçlarda gözlenmiştir. Bu noktaların bulunduğu hatlarda da potansiyel jeotermal alanlardan söz edilebilir.

d-Çalışma alanının jeolojik birimleri incelendiğinde; Beynamaz volkanit üyesi olarak tanımlanan birimde kalması ve bu bölgelerde yüksek kesimlerde kalan fayların örtüşmesi, mineral yoğunluğuve özellikle bu jeolojik birimde kalan alanlarda yüksek sıcaklık değerleri sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde potansiyel jeotermal varlığına işaret edebilir.

e-Muhtemel/Potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine yönelik olarak; Sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğindeçok yönlü ve yersel-doğrusal olarak yapılan bir araştırma olması açısından sonraki çalışmalar adına umut verici olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma İTÜ tarafından desteklenen 39422 numaralı BAP projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu destek için İTÜ-BAP birimine, ayrıca değerli katkılarından dolayı İTÜ Uzunam Müdürlüğü,B.Ü. Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü ve Türkiye Jeotermal Araştırmaları Vakfına teşekkürlerimizi sunarız.

5. Kaynaklar

- Ahmet, B., Kamruzzaman, M. ,Zhu , X., Rahman, M.S. ve Choi ,K. ,2013,Simulating Land Cover Changes and Their Impacts on LandSurface Temperature in Dhaka, Bangladesh,Remote Sens. 2013, 5, 5969-5998; doi:10.3390/rs5115969,ISSN 2072-4292
- Akın, U., Uluggerli ,E.U. ve Kutlu, S., 2014, Türkiye Jeotermal Potansiyelinin Isı Akısı Hesaplamasıyla Değerlendirilmesi, MTA Dergisi, 149:205-214
- Balçık,F., Ergene,E. M.,2017,Yer Yüzey Sıcaklığının Termal Uzaktan Algılama Verileri İle Belirlenmesi: İstanbulÖrneği, Tufuab IX.Teknik Sempozyumu Bildiriler kitabı ,S.21
- Carrino, T. A., ve Crosta ,A. P. , Toledo, C.L.B., Silva,A.M. ve Silva., J. L., 2015,Geology and Hydrothermal Alteration of the Chapi Chiara Prospect and Nearby Targets, Southern Peru, Using ASTER Data and

- Reflectance Spectroscopy, Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, v. 110, pp. 73–90
- 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
- Elsaid, M., Aboelkhair, H., Dardier, A. ve Hermas, E., 2014, Investigation of a relation between radiogenic heat production and kinetic surface temperature from multispectral ASTER-TIR data: a case study on Elmissikat-Eleridiya granites, Central Eastern Desert, Egypt, Arab J Geosci, 7:4615–4628, DOI 10.1007/s12517-013-1118-8
- Guha, A., ve Kumar, V., 2016, New ASTER derived thermal indices to delineate mineralogy of different granitoids of an Archaean Craton and analysis of their potentials with reference to Ninomiya's indices for delineating quartz and mafic minerals of granitoids—An analysis in Dharwar Craton, India, Ore Geology Reviews 74, 76–87
- Liu, L. ve Zhang, Y., 2011, Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong, Remote Sens., 3, 1535-1552; doi:10.3390/rs3071535, ISSN 2072-4292
- Haselwimmer, C., ve 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., Hecker, C., ve Ruitenbeek, F.V., 2014, Geologic Remote Sensing For Geothermal Exploration: A Review, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 33 (1): 255–269
- Melikoğlu, M., 2017, Geothermal energy in Turkey and around the World: A review of the literature and an analysis based on Turkey's Vision 2023 energy targets, Renewable and Sustainable Energy Reviews 76, 485–492
- Munoz, J.C.J, ve Sobrino, J.A., 2010, Single-Channel Algorithm for Land-Surface Temperature Retrieval From ASTER Data, IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, Vol. 7, No. 1
- Oğuz, H., 2015, A Software Tool for Retrieving Land Surface Temperature from ASTER Imagery, Tarım Bilimleri Dergisi, 21, 471-482
- Özdemir, A., Yaşar, E., ve Çevik, G., 2017, An importance of the geological investigations in Kavaklıdere geothermal field (Turkey), Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, Volume 3, Issue 1, pp 29–49
- Rajendran, S., ve Nasir, S., 2014, Hydrothermal altered serpentized zone and a study of Ni-magnesioferrite–magnetite–awaruite occurrences in Wadi Hibi, Northern Oman Mountain: Discrimination through ASTER mapping, Ore Geology Reviews 62, 211–226
- Yalçın, M. ve Gül, F.K., 2017, GIS-based multi criteria decision analysis approach for exploring geothermal resources: Akarcay basin (Afyonkarahisar), Geothermics 67, 18–28
- Yıldız, A., Bağcı, M., Başaran, C., Çonkar, F.E. ve Ayday, C., 2017, Landsat 8 Uydu Verilerinin Jeotermal Saha Araştırmalarında Kullanılması: Gazlıgöl (Afyonkarahisar) Çalışması, Tufuab IX. Teknik Sempozyumu Bildiriler kitabı, S.20
- Yıldız, H., Mermer, A., Ünal, E. ve Akbaş, F., 2012, Türkiye Bitki Örtüsünün NDVI Verileri ile Zamansal ve Mekansal Analizi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 21 (2): 50-56
- Yurteri, C. ve Şimşek, Ş., 2017, Hydrogeological and hydrochemical studies of the Kaman-Savcili-Büyükoba (Kirsehir) geothermal area, Turkey, Geothermics, Volume 65, Pages 99-112