

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTA-KUZEY ANADOLU BÖLGESİNDE MADEN YATAKLARI VE
JEOTERMAL ARAŞTIRMALAR İÇİN KULLANILAN UZAKTAN
ALGILAMA YÖNTEMLERİNİN İSTATİSTİKSEL DOĞRULUK ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Öykü ALKAN

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

ARALIK 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTA-KUZEY ANADOLU BÖLGESİNDE MADEN YATAKLARI VE
JEOTERMAL ARAŞTIRMALAR İÇİN KULLANILAN UZAKTAN
ALGILAMA YÖNTEMLERİNİN İSTATİSTİKSEL DOĞRULUK ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

**Öykü ALKAN
(501932029)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. H.Gonca COŞKUN

ARALIK 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501932029 numaralı Doktora Öğrencisi Öykü ALKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ORTA-KUZEY ANADOLU BÖLGESİNDE MADEN YATAKLARI VE JEOTERMAL ARAŞTIRMALAR İÇİN KULLANILAN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİNİN İSTATİSTİKSEL DOĞRULUK ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hilal Gonca COŞKUN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Necati AĞIRALIOĞLU**
Antalya Bilim Üniversitesi

Doç.Dr. Füsun Balık ŞANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Uğur ALGANCI
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Özgür DOĞRU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **31 Ekim 2018**
Savunma Tarihi : **17 Aralık 2018**





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmasının her aşamasında gece-gündüz demeden sınırsız destek veren, güçlü bilgi ve donanımları ile ilerlememi sağlayan, daima yanımda olan Sayın Hocam Prof.Dr.Hilal Gonca COŞKUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca çok kıymetli bilgileri ve katkıları ile destekleyen Tez İzleme Kurulu üyeleri Sayın Hocalarım Doç.Dr.Esra ERTEN ve Doç.Dr.Fusun Balık ŞANLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Jüri aşamasında çok değerli katkılarından dolayı Sayın Hocalarım Prof.Dr.Necati AĞIRALIOĞLU, Dr.Öğretim Üyesi Uğur ALGANCI ve Dr.Öğretim Üyesi Ahmet Özgür DOĞRU'ya teşekkürlerimi sunarım.

HİTÜ Rektörü Sayın Prof.Dr.Reha Metin ALKAN'a, İTÜ Rektör yardımcımız Sayın Prof. Dr. Ali Fuat AYDIN'a, İTÜ BAP Birimine (Proje No: 39422) , Prof.Dr. Dursun Zafer Şeker'e, İTÜ UHUZAM'a, Prof.Dr. Elif SERTEL'e, Dr. Adalet DERVİŞOĞLU'na, Dr. Öğretim Üyesi Serdar BİLGİ'ye desteklerinden dolayı özel teşekkürlerimi sunarım.

BÜ Deprem Araştırma Enstitüsü Kandilli Rasathanesi Müdürü Sayın Prof.Dr. Haluk ÖZENER'e ve değerli katkıları için Kandilli Rasathanesi Müdürlüğü'ne , NİK Sistem yöneticisi Yücel ERBAY'a, Jeotermal Enerji Kaynaklarını Araştırma ve Değerlendirme Vakfı yönetim kurulu başkanı Sayın Mehmet Ali DOĞAN'a, arazi çalışmalarında yardımcı olan Jeofizik Mühendisi İhsan KARAGÜL'e ve Jeoloji Mühendisi Muharrem BUYRUKÇU'ya, ÇORUM BELEDİYESİ'ne, Peyzaj Mimarı Çiçek DUMAN'a, Dr. Hakan ÇELİK'e, Dr.Nuray BAŞ'a, GPS ölçmelerinde yardımcı olan aynı zamanda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kardeşim Yüksek Mühendis M. Nurullah ALKAN'a ve Yük. Müh. Sakine KANDİL'e destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca her an ve her koşulda maddi ve manevi destek sağlayan, tez çalışmam boyunca sabır gösteren çok kıymetli annem ve babam Zekiye ve Kazım ALKAN'a, abim Ömer F. ALKAN ve eşi Gülsüm ALKAN'a, yeğenlerim Kağan ve Naz ALKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2018

Öykü Alkan
(Geomatik Yüksek Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Tezin Amacı	2
1.2.Literatür Araştırması	3
1.2.1.Dünyada yapılan araştırmalar	4
1.2.2.Türkiye’de yapılan araştırmalar	6
1.3.Hipotez	7
2. JEOTERMAL VE MADEN ARAŞTIRMALARINDA KULLANILAN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ	9
2.1.Spektral Analiz, Spektral Kütüphane Oluşturma ve Spektral Ayırma.....	9
2.2.Bant Matematiği ve Bant Oranlamalar.....	10
2.3.Sınıflandırma İşlemleri, YüzeY Sıcaklık Analizleri ve Dokusal Analizler	11
2.3.1.Sınıflandırma yöntemleri	11
2.3.1.1.En yüksek benzerlik sınıflandırması	11
2.3.1.2.Spektral korelasyon haritalama	12
2.3.2.YüzeY sıcaklık analizleri.....	12
2.3.3.Dokusal Analizler	13
3.MATERYAL VE METOT	15
3.1.Tez Çalışma Alanı	15
3.2.Tez Çalışmasında Kullanılan Veriler	22
3.2.1.Terra-ASTER uydu verisi	22
3.2.2.Landsat uydu verisi	24
3.2.3.Küresel konumlama sistemi(GPS)	26
3.2.4.Tez çalışmada kullanılan yazılımlar ve diğer materyaller	26
3.3.Metot	27
4.UYGULAMALAR	35
4.1.Genel	35
4.2.Arazi Çalışmaları ve Spektrometre Ölçmeleri	35
4.2.1.2015 yılında yapılan arazi çalışmaları	39
4.2.2.2015 yılında yapılan laboratuvar çalışmaları	40
4.2.3.2016 yılında yapılan arazi çalışmaları	46
4.2.4.2016 yılında yapılan laboratuvar çalışmaları	50
4.3.Spektral Analiz, Spektral Kütüphane Oluşturma, Spektral Ayırma.....	58
4.4.Sınıflandırma İşlemleri.....	60

4.4.1.En yüksek benzerlik sınıflandırması(EYB).....	60
4.4.2.Spektral korelasyon haritalama (SKH)	64
4.4.3.Termal sınıflandırma	67
4.5.Bant Matematiği ve Bant Oranlamalar	70
4.6.Yüzey Sıcaklık Analizleri.....	75
4.6.1.Fay hatları yükseklik-sıcaklık analizi.....	80
4.7.Dokusal Analizler	84
4.8.Doğruluk Analizleri.....	87
4.8.1.Potansiyel jeotermal alanlar için yapılan doğruluk analizleri	87
4.8.2.Potansiyel kil alanları için yapılan doğruluk analizleri	89
4.9.Regresyon Analizleri	90
4.9.1.Potansiyel jeotermal alanlar için yapılan regresyon analizleri.....	91
4.9.2.Potansiyel kil alanları için yapılan regresyon analizler.....	104
4.9.3.Diğer regresyon analizleri	108
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR.....	118
EKLER.....	126
ÖZGEÇMİŞ.....	132

KISALTMALAR

ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
BO	: Bant Oranlama
BA	: Bant Aritmetiği
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
EYB	: En Y¼ksek Benzerlik
GE	: Google Earth
GPS	: Global Positional System
JUA	: Jeotermal Uzaktan Algılama
MGM	: Meteoroloji Genel M¼d¼rl¼đ¼
MTA	: Maden Tetkik Arama
SKH	: Spektral Korelasyon Haritalama
SAH	: Spektral Açı Haritalama
SA	: Spektral Ayırma
S¼E	: Spektral ¼zellik Eşleştirme
SWIR	: Kısa Dalga Kızıl¼tesi
SYM	: Sayısal Y¼kseklik Modeli
TIR	: Termal Kızıl¼tesi
UA	: Uzaktan Algılama
UTM	: Universal Transversal Mercator
VNIR	: G¼r¼n¼r B¼lge Yakın Kızıl¼tesi
WGS84	: World Geodetic Systems 84
YSA	: Y¼zey Sıcaklık Analizi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Test Alanlarının Çorum İli merkezine açılma uzaklıkları.	166
Çizelge 4.1 : Orta-kuzey Anadolu Bölgesi Çorum İli sınırlarında yapılan tez çalışmasının, 2015 yılı arazi çalışmalarında alınan örnekleme noktalarının sayısı ve alansal dağılımı.....	40
Çizelge 4.2 : 2016 yılında arazi çalışmalarında 13 test bölgesinden alınan yer kontrol noktaları ve spektrometre ile ölçülen noktaların alansal dağılımı	490
Çizelge 4.3 : ASTER termal bantları standart sapma değerleri.....	689
Çizelge 4.4 : Tez çalışmasında kullanılan 14 Kasım 2004 tarihli ASTER uydu görüntüsünün farklı bantları kullanılarak yapılan bant oranlamaları ve referansları.	71
Çizelge 4.5 : 2004 Kasım ayına ait MGM bölgesel meteorolojik değerler	77
Çizelge 4.6 : Fay hatlarından seçilen test noktalarının yükseklikleri ve dört farklı uyduya ait sıcaklık haritalarından elde edilen sıcaklık değerleri.....	82
Çizelge 4.7 : ASTER uydusu bant-2, bant-3 ve bant-4 için istatistik değerleri.....	85
Çizelge 4.8 : ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantlarına ait dokusal özellik istatistikleri	85
Çizelge 4.9 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için yapılan EYB sınıflandırma işlemi sonuçlarından elde edilen doğruluk analizi değerleri.	88
Çizelge 4.10 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda yapılan EYB sınıflandırma işlemi sonuçlarından elde edilen doğruluk analizi Kappa değerleri... ..	88
Çizelge 4.11 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için yapılan SKH sınıflandırma işlemi sonuçlarından elde edilen doğruluk analizi değerleri.	88
Çizelge 4.12 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda yapılan SKH sınıflandırma işlemi sonuçlarından elde edilen doğruluk analizi Kappa değerleri... ..	88
Çizelge 4.13 : Tahmini potansiyel kil alanı EYB sınıflandırması doğruluk analiz sonuçları	89
Çizelge 4.14 : Tahmini potansiyel kil alanı EYB Kappa Değerleri	89
Çizelge 4.15 : Tahmini potansiyel kil alanı SKH Kappa değerleri	90
Çizelge 4.16 : Tahmini potansiyel kil alanı SKH kappa değerleri	90
Çizelge 4.17 : Regresyon analizinde kullanılan tahmini potansiyel jeotermal bölgedeki test noktalarının ASTER (1-14) bantları piksel değerleri.....	923
Çizelge 4.18 : Tez çalışma alanında araştırılan minerallerin 24 test noktası için piksel değerleri.....	934
Çizelge 4.19 : Test noktalarındaki minerallerin çoklu regresyon analizi katsayı ve değerleri.....	95
Çizelge 4.20 : Tekli regresyon analizinden elde edilen mineral gruplarına ait regresyon analizi R değerleri.....	96

Çizelge 4.21 : YSA sıcaklık haritalarından seçilen regresyon test noktalarının koordinatları, sıcaklık değerleri ve sınıfları.....	103
Çizelge 4.22 : YSA sıcaklık haritalarından seçilen regresyon test noktalarına ait regresyon katsayıları ve R değerleri.	103
Çizelge 4.23 : Regresyon analizinde kullanılan tahmini potansiyel kil bölgesindeki test noktalarının ASTER (1-14) bantları piksel değerleri	107
Çizelge 4.24 : Kil test noktalarındaki minerallerin çoklu regresyon analizi değerleri.	108
Çizelge 4.25 : Kil tekli regresyon analizi katsayı ve değerleri.	108
Çizelge 4.26 : Spektral ayırma işlemi sonucu oluşan görüntü üzerine yapılan regresyon analizi istatistik sonuçları.....	109



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 2.1** : Bant matematiği uygulanmış çok bantlı uydu verisi ile elde edilen tek bantlı görüntü (Url-4). **10**
- Şekil 3.1** : Orta-Kuzey Anadolu bölgesinin Çorum İlinde gerçekleştirilen tez çalışma alanında 2015 ve 2016 yıllarında araştırmaya konu olan test alanlarının ASTER uydu verisi üzerindeki konumsal dağılımı..... **188**
- Şekil 3.2** : Orta-Kuzey Anadolu Bölgesi Çorum İli sınırları içerisinde gerçekleştirilen tez çalışma alanında 2015 ve 2016 yıllarında seçilen test alanlarının Google Earth üzerindeki konumsal dağılımı..... **19**
- Şekil 3.3** : Tez çalışma alanından spektrometre ölçmelerine yönelik olarak 2015 ve 2016 yıllarında termal tesis civarından ve termal dışı alanlardan alınan çam, meşe, toprak, kayaç ile kil örneklerinin alındığı test bölgeleri..... **20**
- Şekil 3.4** : Tez çalışması için 2016 yılı arazi çalışmalarında planlanan yaklaşık 15,000 m² lik alanda yer alan test bölgeleri. **21**
- Şekil 3.5** : Tez çalışmasında kullanılan 14 Kasım 2004 tarihli ASTER 3A uydu görüntüsü (K/Y/M: 3/ 2/ 1) **23**
- Şekil 3.6** : Tez çalışma alanı ve 26 Kasım 2011 tarihli ASTER L1T gece-zamanlı uydu verisi termal bantları (K/Y/M: 14 / 13 /12). **23**
- Şekil 3.7** : Fay hatlarının yükseklik-sıcaklık analizlerinde kullanılan 4 Kasım 2004 tarihli 15 metre yersel çözünürlüklü ASTER 3A DEM uydu verisi ile oluşturulan sayısal yükseklik modeli. **24**
- Şekil 3.8** : Yüzeysel sıcaklık analizlerinde kullanılan 2 Kasım 2011 tarihli LANDSAT 5 uydusu termal bantı (bant-6) ve tez çalışma alanı..... **25**
- Şekil 3.9** : Yüzeysel sıcaklık analizlerinde kullanılan 13 Kasım 2015 tarihli LANDSAT 8 uydusu termal bantları ve tez çalışma alanı; a) Bant 10 ve b) Bant11. **25**
- Şekil 3.10** : Örnekleme noktalarının koordinat ölçmelerinde kullanılan uydu alıcısı. **26**
- Şekil 3.11** : Tez çalışmasında kullanılan Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ile metodolojiyi içeren iş akış planı..... **31**
- Şekil 3.12** : Tez çalışmasında kullanılan ASTER ve LANDSAT uydu verilerinin alım tarihleri, bant özellikleri, bant sayıları, spektral ve geometrik çözünürlükleri (Url-7). **32**
- Şekil 3.13** : Tez çalışmasında 2015 ve 2016 yılında alınan spektral örneklerin ölçme ve değerlendirilmesi için kullanılan FieldSpec3 spektrometresi ve aparatları..... **33**
- Şekil 3.14** : Tez çalışmasında 2016 yılında alınan spektral örneklerin ölçme ve değerlendirilmesi için kullanılan FieldSpec4 spektrometresi ve aparatları..... **33**
- Şekil 4.1** : Tez çalışma alanı için 2015 Kasım ve 2016 Kasım yıllarında seçilen test bölgelerinin konumsal dağılımı..... **37**
- Şekil 4.2** : Jeotermal suların jeotermal alanda kalan ağaç köklerine olan etkisi (Modifiye edilmiş şekil, Url-8) **38**

Şekil 4.3 :	İTÜ UHUZAM laboratuvarında, 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında altı test bölgesinden alınan farklı türdeki örneklerin spektrometre ölçmeleri için yapılan laboratuvar çalışmaları.	412
Şekil 4.4 :	Altı test bölgesinden 2015 yılında alınan örneklerin ASTER uydusu 1 ila 9. bantlarında tanımlanan spektral aralıkları.	423
Şekil 4.5 :	Tez çalışma alanında 2015 yılında alınan altı test bölgesine ait örneklerin yansıtma değerlerinin ASTER uydusu 1 ila 9. bant spektral aralıklarında gösterimi.	434
Şekil 4.6 :	Tez çalışması için 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında altı test alanından alınan spektrometre ölçmeleri yapılmış bölgelere özgü örneklerin arazi dağılımı ve yansıtma eğrileri.	445
Şekil 4.7 :	2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında jeo-test1 ve jeo-test2 olarak adlandırılan test alanlarından alınan termal ve termal alan-dışı çam örneklerinin yansıtma eğrileri.	456
Şekil 4.8 :	2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında jeo-test1 ve jeo-test2 alanlarından alınan kayaç örneklerinin yansıtma eğrileri.	456
Şekil 4.9 :	2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında jeo-test3 test alanından alınan meşe ağaçlarına ait örneklerin yansıtma eğrileri.	467
Şekil 4.10 :	2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında kil-test1 ve kil-test2 alanlarından alınan kil örneklerinin yansıtma eğrileri.	46
Şekil 4.11 :	2016 yılında arazi çalışmaları yapılmak üzere oluşturulan 13 adet test bölgesinden alınan örnek noktalarının Google Earth'te konumsal ve alansal dağılımı.	49
Şekil 4.12 :	2016 yılında seçilen 13 test bölgesinden 5., 6. ve 7. test bölgesi için oluşturulan arazi izi ve yükseklik grafikleri.	490
Şekil 4.13 :	Tez çalışma alanında 2016 yılında yapılan arazi çalışmaları ile oluşturulan 13 test bölgesinden alınan spektrometre ile ölçülen örneklerin yansıtma eğrilerinin ASTER bant-1 ila bant-9 spektral aralıklarında gösterimi.	512
Şekil 4.14 :	Tez çalışma alanında 2016 yılında spektrometre ile ölçülen örneklerin alındığı 13 adet test bölgesinin Google Earth üzerindeki arazi dağılımları ve yansıtma eğrileri.	523
Şekil 4.15 :	Tez çalışma alanında bulunan 13 adet test bölgesinden 2016 yılında spektrometre ölçmeleri yapılan, termal tesis alanı ve dışından alınan tüm çam örneklerinin yansıtma eğrilerinin ASTER uydusu yakın kızılötesi (SWIR) bant-1 ila bant-9 arasındaki gösterimi.	545
Şekil 4.16 :	Tez çalışma alanında 2016 yılı arazi çalışmalarında 1., 2. ve 12. test bölgelerinden alınan, spektrometre ölçmeleri yapılan meşe örneklerinin yansıtma eğrilerinin ASTER uydusu yakın kızılötesi (SWIR) bant-1 ila bant-9 arasındaki gösterimi.	556
Şekil 4.17 :	2016 yılında arazi çalışmalarında 1, 2, 3, 7, 8, 10 ve 11 numaralı test bölgelerinden spektrometre ölçmeleri yapılan toprak ve kayaç örnekleri yansıtma eğrilerinin ASTER uydusu yakın kızılötesi (SWIR) bant-1 ila bant-9 arasındaki gösterimi.	567
Şekil 4.18 :	Tez çalışmasında 2016 yılında yapılan arazi çalışmalarında 13 test bölgesinden alınan örneklerden en yüksek ve en düşük yansıtma değerlerini veren termal ve termal alan-dışı çam, meşe ve toprak örneklerinin, yansıtma eğrilerinin ASTER uydusu yakın kızılötesi (SWIR) bant-1 ile bant-9 arasında gösterimi (Alkan 2017).	578

- Şekil 4.19** : Spektral ayırma yöntemi ile oluşturulmuş ASTER uydusu K/Y/M=4/3/2 ve 9/8/6 görüntüleri. **590**
- Şekil 4.20** : 2016 yılında 13 test bölgesinde yapılan tez araştırma alanında, 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile oluşturulan EYB sınıflandırması sonuç görüntüsü..... **623**
- Şekil 4.21** : Tez çalışmasında tahmini potansiyel kil varlığının araştırılması amacıyla 2015 ve 2016 yıllarında test bölgelerinden alınan örneklerle kil-test3 alanında yapılan, 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile oluşturulan EYB sınıflandırması sonuç görüntüsü. **634**
- Şekil 4.22** : 2016 yılında 13 test bölgesinde yapılan tez araştırma alanında, 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile yapılan SKH sınıflandırması sonuç görüntüsü. **656**
- Şekil 4.23** : Tez çalışmasında potansiyel kil varlığının araştırılması amacıyla 2015 ve 2016 yıllarında test bölgelerinden alınan örnekler kullanılarak kil-test3 alanında yapılan, 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile oluşturulan SKH sınıflandırması sonuç görüntüsü. **667**
- Şekil 4.24** : EYB ve SKH sınıflandırma sonuçlarından elde edilen sınıflara ait alan dağılımları. **598**
- Şekil 4.25** : Tez çalışmasında potansiyel jeotermal alanların araştırılması amacıyla 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 12, 13 ve 14 numaralı termal bantları ile oluşturulan termal sınıflandırma sonuç görüntüsü..... **69**
- Şekil 4.26** : Tez çalışma alanı için ASTER uydusu bantları kullanılarak elde edilen oran görüntüleri ve sınıflandırma sonuç görüntüsü, A) Sınıflandırma sonuç görüntüsü, B) Mineral kompozit görüntüsü, C) NDVI bitki indeksi ve D) Kalsit mineralleri..... **72**
- Şekil 4.27** : 2016 yılında 1. ve 6. test alanları içinde kalan bölgede çalışılan; kil minerallerinin çıkarımına yönelik $(bant5 \times bant7) / (bant6)^2$ ve $K/Y/M = bant4/bant3/ kil_{oran}$ oran görüntüsü ile $K/Y/M = bant12/bant5/bant4$ (Rajendran, 2018) oran görüntüsünde kükürt içerikli minerallerin tez araştırma alanındaki dağılımı. **73**
- Şekil 4.28** : 2016 yılında 13 test bölgesine ayrılan tez araştırma alanında mineral anomali haritası üzerinde, mevcut jeotermal tesis ve jeotermal sondaj alanlarının MTA jeoloji haritası ve mineral anomali haritasında gösterimi (Alkan, 2017). **74**
- Şekil 4.29** : Tez çalışmasında dört farklı uydu ile yapılan YSA ile elde edilen sıcaklık haritalarında, termal tesis ve jeotermal sondaj alanları. **78**
- Şekil 4.30** : Orta–Karadeniz bölgesinde Çorum İlinde yapılan yüzey sıcaklık analizlerinde Landsat 5, Landsat 8 ve ASTER 3A, ASTER L1T uydu verilerinin termal kanallarından elde edilen yer yüzeyi sıcaklık dağılım haritaları (Alkan, 2017). **79**
- Şekil 4.31** : 2016 yılında 13 test bölgesine ayrılan tez araştırma alanında bulunan fay hatlarının sıcaklık değerleri ve ASTER DEM verisi üzerinde gösterilen sınıflandırılmış görüntü. **81**
- Şekil 4.32** : Tez çalışma alanında LANDSAT ve ASTER uydularının termal bantları kullanılarak 30 test noktasında yapılan YSA değerleri ile bu noktalara ait ASTER L1T verisine ait yükseklik-sıcaklık analizi..... **83**
- Şekil 4.33** : Tez çalışmasında kullanılan ASTER uydusuna ait VNIR ve SWIR bantlara ait en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapma değerleri.. **84**

Şekil 4.34 : ASTER uydusu 2., 3. ve 4. kanallara ait 3x3 matrisinde oluşturulan dokusal özelliklerin K/Y/M= 4/3/2 oran görüntüleri a) İkinci moment, b) Korelasyon, c) Ortalama, d) Varyans, e) Homojenlik, f) Kontrast, g) Farklılık, h) Entropi.....	86
Şekil 4.35 : Regresyon analizinde kullanılan tahmini potansiyel jeotermal bölgedeki test noktaları ve minerallerin konumsal dağılımı.	967
Şekil 4.36 : Tez çalışma alanında tahmini potansiyel jeotermal test alanında regresyon analizine seçilen 24 test noktasının ASTER uydusu bant-2 histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).....	978
Şekil 4.37 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda regresyon analizinde seçilen test noktalarının ASTER uydusu bant-3 üzerindeki histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).	989
Şekil 4.38 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda regresyon analizinde test noktalarının ASTER uydusu bant-4 üzerindeki histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).	100
Şekil 4.39 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda YSA sıcaklık haritaları ile çalışılan regresyon analizi için seçilen test noktalarındaki sınıflar ve sıcaklık değerleri.....	100
Şekil 4.40 : ASTER gece-çekim görüntüsü kullanılarak oluşturulan YSA sıcaklık haritasında, tahmini potansiyel jeotermal alanların regresyon analizinde kullanılan test noktalarının konumsal dağılımı.	101
Şekil 4.41 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda regresyon analizinde test noktalarının ASTER uydusu termal bantlarında sıcaklık ilişkisine dayalı regresyon analizi histogramları.	102
Şekil 4.42 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda sıcaklığa bağlı olarak çalışılan yüzey sıcaklık analizi sonuçlarının test edilmesi için yapılan regresyon analizinde 24 test noktasının ASTER uydusu bant-3 üzerindeki histogramı.	104
Şekil 4.43 : Regresyon analizinde kullanılan tahmini potansiyel kil bölgesindeki test noktaları ve minerallerin konumsal dağılımı.....	105
Şekil 4.44 : Tahmini potansiyel kil alanları regresyon analizinde seçilen test noktalarının ASTER uydusu bant-2 için histogramları (a- alunit, b-kaolin).	105
Şekil 4.45 : Tahmini potansiyel kil alanları regresyon analizinde seçilen test noktalarının ASTER uydusu bant-3 için histogramları (a- alunit, b-kaolin)	106
Şekil 4.46 : Tahmini potansiyel kil alanları regresyon analizinde seçilen test noktalarının ASTER uydusu bant-4 için histogramları (a- alunit, b-kaolin).	106
Şekil 4.47 : Spektral ayırma işlemi için ASTER uydusunun dokuz bantı kullanılarak yapılan regresyon analizi.....	109
Şekil 4.48 : ASTER uydusunun dokuz bantı ile yapılan dokusal analizde sekiz dokusal özelliğin standart sapma değerleri ve ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantlarının standart sapma uyumluluğunun araştırılması için çalışılan regresyon analizi.....	110

ORTA-KUZEY ANADOLU BÖLGESİNDE MADEN YATAKLARI VE JEOTERMAL ARAŞTIRMALAR İÇİN KULLANILAN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİNİN İSTATİSTİKSEL DOĞRULUK ANALİZİ

ÖZET

Türkiye jeotermal ve maden kaynaklarının çok azını kullanmakta olup açığa çıkarılmayı bekleyen büyük bir potansiyele sahiptir. Teknolojideki hızlı gelişmelerle birlikte dünyada jeotermal ve maden araştırmalarında, Uzaktan Algılama (UA) en etkin yöntemlerden biri olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, potansiyel jeotermal ve potansiyel kil varlığının farklı UA yöntemleri kullanılarak tespit edilmesi ve bunlara ait sınıflandırmalar yardımıyla bir metodoloji oluşturularak istatistiksel analizler yapmak olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı Orta-Kuzey Anadolu bölgesinin kuzeyinde kalan Çorum İli sınırları içerisinde yaklaşık 19996 hektarlık alanda yer almaktadır. Çalışma alanı özellikle kil madenciliği ve jeotermal sondaj faaliyetlerinin yoğun olduğu ve daha önce UA yöntemleri ile hiç çalışılmayan bir bölgeden seçilmiştir.

Tez araştırmasında iki yıl tekrarlanan arazi çalışmaları ile altı adet jeotermal ve kil test alanı, sonrasında Çorum ili merkezinde bulunan jeotermal test alanından türetilen 13 tane test bölgesi oluşturulmuştur. Arazi çalışmalarında mevcut termal tesislerin etrafından ve dışından alınan ve termal ve termal alan dışı örnekler olarak adlandırılan çam, meşe, toprak ve kayalık, sınıflandırma işlemlerinin sekiz ana sınıfını oluşturmuştur. 2015 ve 2016 yıllarında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında GPS ölçmeleri yapılan 483 örneğin 98 tanesi spektrometre ölçmelerinde kullanılarak bölgeye ait spektral kütüphane envanterine eklenmiştir. Spektral örnekler ASTER uydusu bant aralıklarında tanımlanarak tez çalışmasının temel konusu olan sınıflandırma işlemlerinde örneklerin çoğunlukla karışmadığı bant seçimlerinde referans olarak kullanılmıştır. Bu örnekler aynı zamanda da sınıflandırma yer kontrol noktaları olarak kullanılmıştır. ASTER uydusuna ait görünür ve yakın kızılötesi bantlardan 2, 3 ve 4 sınıfların ayırtedilebilirliği açısından sınıflandırma işlemlerinin ana bantları olarak seçilmiştir. Bu bantlar üzerine dokusal analizler yapılarak sekiz dokusal özellik elde edilmiştir. Tez çalışması için kullanılan sınıflandırma işlemlerinde ise en yüksek benzerlik ve spektral korelasyon haritalama algoritmaları ile çalışılmış ve doğruluk analizleri yapılmıştır.

Spektrometre ölçmeleri tez çalışmasının her aşamasında başvurulan özgün bir kaynak olarak kullanılmıştır. Bölgedeki potansiyel mineral varlığının araştırılması için kullanılan bant aritmetiği ve bant oranlama çalışmalarında termal/ termal alan-dışı örneklerin spektral yansıtma değerlerinden yararlanılarak tez çalışma alanına ait bant oran görüntüleri elde edilmiştir.

Potansiyel jeotermal alanlara işaret edebilecek yüzey sıcaklık değişimleri, LANDSAT 5-8 ve ASTER 3A-L1T uydularına ait dört termal bant kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla yapılan yüzey sıcaklık analizlerinde tek kanal algoritması kullanılarak yüzey

sıcaklık haritaları çıkartılmıştır. Bu sıcaklık farkları ASTER L1T uydusu termal kanalları kullanılarak yapılan termal sınıflandırma ile birlikte irdelenmiştir.

Bölgedeki fay hatlarının yoğunlaştığı alanlar, jeotermal alan belirtilerine ulaşılması açısından incelenmiş bu amaçla, yüzey sıcaklık analizlerinden elde edilen yüzey sıcaklık haritası kullanılarak fay hatları yüzey sıcaklık analizi yapılmıştır.

Tez çalışması potansiyel jeotermal alanlar ve potansiyel kil alanlarının belirlenmesine yönelik olarak kullanılan tüm yöntemlerin test edildiği regresyon analizleri ile tamamlanmıştır. Sınıflandırma işlemlerinin yer-doğrulama noktaları olarak kullanılan noktalardan seçilen regeresyon test noktaları ve YSA sıcaklık haritalarından elde edilen bu noktalara ait sıcaklık değerleri ile üç bölümden oluşan regresyon analizleri yapılmıştır.

Doğruluk analizi ve regresyon analizlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda tez çalışmasının sınıflandırılma çözümünde kullanılan, spektoradyometre sonuçları ile belirlenen ASTER 3A uydusu 2., 3. ve 4. bantları ile gece verisi olarak adlandırılan ASTER L1T uydusu termal bantlarının performansı da test edilmiştir. Tercih edilen bantların jeotermal potansiyel araştırmalarda 2, 3 ve 4. bantlar için % 93 , sıcaklık değişimlerinin belirlenmesinde 12, 13 ve 14 numaralı termal bantların % 97 oranında başarılı olduğu tespit edilmiştir.

STATISTICAL ACCURACY ANALYSIS OF REMOTE SENSING METHODS USED FOR MINERAL DEPOSITS AND GEOTHERMAL RESEARCH IN MIDDLE-NORTH ANATOLIAN REGION

SUMMARY

In recent years, mining and geothermal research carried out in the world and in our country has begun to become efficient in time and economy by combining the works with conventional classical methods with technology. Where terrestrial studies prevented by the difficulties of geography usage of satellite data has become mandatory. It is also of great importance that the current and accurate data for the research is obtained in scientific format.

The definition of geothermal energy can be made as a kind of energy which is created by the heat in the magmatic layer in the depth of the earth's crust which causes the water accumulated in the upper layers to warm up. The waters which leak in different ways are collected in rocks with permeable properties.

Hydrothermal systems can be formed by the heat transferred to the earth by the waters circulating in the earth's crust. The geothermal waters present in these systems can be considered as hot waters under pressure at different depths of the earth's crust, where the molten minerals are concentrated, above the atmospheric temperature average in the region.

Turkey uses very little amount of its geothermal and mineral resources and has a huge potential waiting to be revealed. Remote Sensing (RS) is being used as one of the most effective methods in geothermal and mining researches in the world in conjunction with the rapid developments in technology.

The goal of the thesis study is to develop new approaches to identify potential geothermal fields by using different RS methods to contribute to the mine and geothermal research in the world. In addition, RS methods were used in the determination of potential clay minerals in regional mineral deposits research.

In the vicinity of a limited number of thermal facilities operating in the area selected for the thesis study, it is possible to mention the existence of possible geothermal areas waiting to be exposed.

In the study area where potential geothermal water is aimed to investigate the thermal water-tree, evaporation-tree relationship, research has not been done by using the RS methods before. Especially, it was expected to obtain spectral differences in sulfur-bearing minerals in pine, oak trees, soil and rocks in the region.

The aim of this thesis study is to determine the potential geothermal and clay assets by using different RS methods and to make statistical analyse by constituting a methodology by means of classifications with them.

The study area is located on a 19996 hectare area in the province of Çorum lying in the north of Central-North Anatolia. The study area was selected especially from a

region where clay mining and geothermal drilling activities are intense and not studied by RS methods before.

In the thesis research, 6 geothermal and clay test areas have been created with two years of field surveys and afterwards 13 test area were formed from the geothermal test area located in the center of Çorum province.

In the field studies, pine, oak, soil and rock, named as thermal and non-thermal area samples, taken around and outside of the existing thermal facilities, formed eight main classes of classification processes. 98 of the 483 samples measured with GPS in the field surveys carried out in 2015 and 2016 were used in spectroradiometer measurements and added to the spectral library inventory of the region.

Spectral samples were defined in ASTER satellite band intervals and used as a reference in the band selections where the samples are generally not mixed, in the classification process, which was the main subject of the thesis study. These samples were also used as ground control points in the classification. 2, 3 and 4 of the visible and near infrared bands belonging to the ASTER satellite were selected as the main bands of the classification processes in terms of the distinguishability of the classes. Textural analysis was performed on these bands and eight textural properties were obtained. The maximum likelihood and spectral correlation mapper algorithms were used and accuracy analyzes were performed in classification process performed for the thesis study. The spectroradiometer measurements were used as a unique source for each stage of the thesis study.

Band ratio images of the thesis study area were obtained in the band arithmetic and band proportioning studies used for the investigation of the potential mineral presence in the region, by using the spectral reflectance values of the thermal / non-thermal area samples.

Surface temperature changes that could indicate potential geothermal areas were investigated by using four thermal bands belonging to LANDSAT 5-8 and ASTER 3A-L1T satellites. Surface temperature maps were obtained by using single channel algorithm in surface temperature analysis performed for that purpose. These temperature differences were scrutinized with the thermal classification made by using thermal canals of ASTER L1T satellite.

The areas where the fault lines in the region are concentrated have been examined in order to reach the geothermal field symptoms and fault lines surface temperature analysis was performed by using the surface temperature map obtained from surface temperature analyzes.

The thesis study was completed with the regression analysis of all methods used to determine potential geothermal areas and potential clay areas.

Regression analysis consisting of three parts were performed with the temperature values obtained from the Land Surface Temperature Analysis (LSTA) temperature maps belonging to regression test points selected out of the points used as ground control points in the classification process.

As a result of the evaluation of accuracy analysis together with regression analysis, the performance of ASTER L1T satellite thermal bands named as night time data and ASTER 3A satellite 2, 3 and 4 bands which were determined by spectroradiometer results used in the classification solution were also tested.

In the potential geothermal field studies, it was found that the bands 2, 3 and 4 were successful at 93% and the thermal bands 12,13 and 14 at the rate of 97% were found to be successful in determining the temperature changes.

The use of RS methods in the preliminary studies of geothermal and mining research is also of great importance in terms of the cost of drilling activities. RS methods which integrate topographic, geological and geomorphological features with the help of satellite images can be used in researches, surface symptoms can be examined and statistics and potential mineral and geothermal fields can be reached.

As a result, there is a potential geothermal area under the pine and oak trees that are selected as the study area. The trees affected by the geothermal fields, which are expected to be present in the geothermal fields together with the thermal water or evaporate, show high spectral differences compared to the trees grown outside the geothermal area.

Especially pine trees which are of evergreen tree class can be considered as strong examples that can point to geothermal existence. In addition, soil and rock samples found in potential geothermal areas also show high rates of spectral differences according to similar samples found in non-thermal areas.

In the region between the at least three fault lines intersecting at approximately right angles due to the uneven geographic structure, strong findings of potential geothermal existence can be observed. These findings can be revealed by band ratios, surface temperature analyzes, elevation-temperature analyzes and local-spectral spectroscopy studies. Thus, high accuracy results can be obtained by using several features together to develop new approaches.



1. GİRİŞ

Son yıllarda dünyada ve ülkemizde gerçekleştirilen maden ve jeotermal araştırmalar, alışlagelmiş klasik yöntemlerle yapılan çalışmalarını teknoloji ile birleştirerek zaman ve ekonomik açıdan verimli hale getirmeye başlamıştır. Yersel çalışmaların coğrafyanın zorlukları ile engellendiği durumlar uydu verilerinin kullanımı zorunlu hale getirmiştir. Araştırmalar için güncel ve doğru verinin bilimsel formatta elde edilmesi de büyük önem taşımaktadır.

Jeotermal enerjinin tanımı yerkabuğunun derininde bulunan mağma tabakasındaki mevcut ısının, daha üst tabakalarda birikmiş suların ısınmasına neden olmasıyla ortaya çıkan bir enerji türü olarak yapabiliriz. Yeraltına farklı şekillerde sızan sular, geçirimli özelliklere sahip kayalarda toplanır. Yerkabuğunda bulunan kırıklarda dolaşan sularla yeryüzüne aktarılan ısı ile hidrotermal sistemler oluşabilir. Bu sistemlerde bulunan jeotermal sular, yerkabuğunun farklı derinliklerinde, içinde erimiş minerallerin yoğunlaştığı, bulunduğu bölgedeki atmosferik sıcaklık ortalamasının üstünde olan basınç altındaki sıcak sular olarak değerlendirilebilir (Erkul, 2012). Jeotermal enerji dünyada artan ihtiyaca yönelik olarak önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmiştir (Külekeçi, 2009).

Yaklaşık 30 yıldır Uzaktan Algılama (UA) teknolojisi, multidisiplin olarak bilimsel yelpazesinde araştırmacılarını artırmıştır. Yeryüzeyinin doğru coğrafî konumlara dayalı jeolojik özellikleri ile birlikte incelenmesinde UA yöntemlerinin kapsamlı olarak kullanılması jeotermal ve maden araştırmalarına nitelik kazandırmıştır. Litolojik farklılıkların haritalanması, mineral perspektifin belirlenmesine yönelik araştırmalarda yaygın şekilde kullanılan UA yöntemleri ile yapılan çalışmalarda, ekonomik ve zamansal kazanımlarla yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır.

Türkiye jeotermal kaynaklarını çok az oranda kullanmakta olup açığa çıkarılmayı bekleyen güçlü potansiyel jeotermal kaynakları olan bir coğrafyada kalmaktadır (Alkan, 2017). UA literatürlerde jeotermal kaynakların öncelikli araştırmasında

kullanılmaya başlayan etkin yöntemlerden biri olarak yerini almıştır. Son yıllarda dünyada jeotermal kaynakların araştırılmasına yönelik olarak birçok bilim insanına ait çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının gerçekleştirilme hedefi dünyada yapılan maden ve jeotermal araştırmalara katkı sağlamak üzere, farklı UA yöntemlerini kullanarak potansiyel jeotermal alanların belirlenmesi için yeni yaklaşımlar geliştirmektir. Ayrıca bölgesel maden yatakları araştırmasında potansiyel kil minerallerinin tespitinde de UA yöntemlerinin kullanılması sağlanmıştır.

Tez çalışması için seçilen bölgede faaliyet gösteren sınırlı sayıda termal tesislerin yakınlarında açığa çıkarılmayı bekleyen muhtemel jeotermal alanların varlığından söz edilebilir. Potansiyel jeotermal suların termal su-ağaç , buharlaşma-ağaç ilişkisinin araştırılmasının amaçlandığı bu alanda daha önce UA yöntemleri kullanılarak araştırma yapılmamıştır. Özellikle kükürt içerikli minerallerin bölgedeki çam , meşe ağaçlarında, toprak ve kayalarda neden olabileceği spektral farklılıkların elde edilmesi beklenmiştir.

Jeotermal ve maden araştırmaları ön çalışmalarında UA yöntemlerinin kullanılması sondaj faaliyetlerindeki maliyet açısından da büyük öneme sahiptir. Uydu görüntüleri yardımı ile topoğrafik, jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin bütünleştirildiği UA ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemleri araştırmalarda kullanılabilir, yüzey belirtileri incelenebilir ve istatistiklerle potansiyel maden ve jeotermal alanlarına ulaşılabilir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın hedefi jeotermal uzaktan algılama araştırmalarına katkıda bulunmak üzere farklı uzaktan algılama yöntemlerini bir arada kullanarak potansiyel jeotermal alanların tespitine yönelik yeni yaklaşımlar geliştirmektir.

Tezin amacı farklı UA görüntü işleme yöntemleri ile tahmini potansiyel jeotermal varlığı ve maden yataklarının araştırılması, aynı zamanda da kullanılan yöntemlerin doğruluk analizleri ve regresyon analizleri ile kıyaslanmasıdır. Bu amaçla seçilen Orta-Kuzey Anadolu bölgesinin Çorum İli kuzey-doğu 1203 ha , kuzey-batı 2777 ha, kuzeyinde 1938 ha, güney-batısında kalan 6132 hektarlık alanda ve kuzey-batısında kalan 1823 hektarlık bölgelerini içeren toplam 16012 ha lık alanda jeotermal suların,

arazi yüzeyinde bulunan ağaç, kayaç ve toprak birimlerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmada jeotermal suların arazi yüzeyine (ağaç, kayaç ve toprak) etkileri UA yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Jeotermal suların geçtiği yerlerde özellikle kükürt içerikli minerallerin buharlaşma sonucu ağaç kök-yapraklarına ve arazi örtüsüne etkileri incelenmiştir.

Çalışma için öncelikli olarak yaprak dökmeyen ağaçlar (çam), ikinci grup olarak yaprak döken meşe ve orman içi toprak örneklerinin termal ve termal olmayan bölgede spektrometre ölçmeleri ile yansıtma eğrileri elde edilmiştir (Alkan, 2017). Ayrıca bölgede mevcut üç termal tesisin arasında ve/veya yakınında bulunan ametal madenlerden farklı niteliklere sahip geniş kil yataklarının da incelenmesi hedeflenmiştir.

Çalışma alanı içinde yer alan mevcut termal tesisler ve termal dışı alanlardan alınan örnekler ile yapılan spektral analizlerle jeotermal varlığı irdelenmiştir. Bu amaçla kullanılan yöntemlerin istatistiksel doğruluk analizleri yapılarak farklı UA yöntemlerinden hangilerinin diğerlerinden daha yüksek doğruluklu sonuçlar vereceği incelenmiştir.

Tez çalışma alanı özellikle kil madenciliği ve jeotermal sondaj faaliyetlerinin yoğun olduğu, UA çalışmalarının daha önce yapılmadığı Orta-Karadeniz bölgesinin kuzey kesiminde seçilmiştir. Kullanılan UA yöntemleri bölgenin topoğrafyası, jeolojik, meteorolojik ve morfolojik özelliklerine uygunluğu değerlendirilerek uygulanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Literatür araştırmasında son yıllarda dünyada ve Türkiye’de UA yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalar incelenmiştir. Özellikle tez çalışmasına konu olan jeotermal uzaktan algılama çalışmaları yöntemleri ile birlikte dikkatli bir şekilde incelenmiştir. Jeotermal araştırmalarda farklı UA yöntemlerinin bir arada kullanılması ve bu yöntemlerin yer doğruluklu örneklerle desteklenmesinin yüksek doğruluklu sonuçlar verebileceği göz önüne alınmıştır.

Türkiye’ de yapılan potansiyel jeotermal alanların araştırılmasında ise uzaktan algılama yöntemleri ile gerçekleştirilen çalışmaların çok az sayıda olması, yenilebilir enerji kaynaklara yönelik yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliği değerlendirilmiştir.

1.2.1 Dünyada yapılan araştırmalar

Dünyada son yıllarda jeolojik uzaktan algılamaya yönelik olarak yapılan araştırmalar, potansiyel jeotermal alanların belirlenmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Uzaktan algılama bilimi bu uygulamalarda etkin olarak kullanılmaktadır. Farklı uzaktan algılama yöntemlerine başvurularak algoritmaların kullanılabilirliği, kullanılan uydu verileri ve araziden elde edilen spektral veriler ile yapılan çalışmaların doğruluğu araştırılmıştır.

Jeotermal sistemlerle birlikte ele alınan minerallerin tespitine yönelik olarak Nijerya Yankari Park'ta yapılan bir çalışmada ASTER ve Hyperion uydu verilerinden yararlanılmış, jeotermal sistemle ilişkili hidrotermal alterasyon minerallerinin tespitine yönelik olarak; lineer spektral ayırma, spektral açđ haritalama gibi UA algoritmaları kullanılmıştır (Abubakar et al, 2017). UA'da spektral ayırma analizi yaklaşımı, Quickbird ve MODIS uydu verileri kullanılarak Kuzey Kutup bölgesinde yapılan bir çalışmada da uygulanmıştır (Yackel, J. et al., 2018).

Güney Hindistan Sittampundi Anorthositic kompleksinde yapılan diğer bir çalışmada; yüksek spektral çözünürlüklü multi-spektral ASTER uydusu VNIR ve SWIR verilerine ait dokuz bant ile çalışılmıştır. Bu çalışmada litolojik ayırlama için farklı multispektral uydu verileri oran görüntülerinin farklı minerallerin haritalanmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır (Arivazhagan et al., 2017).

Benzer çalışma ASTER uydu verisinin kurak bölgelerde mineral haritalama performansının araştırılması üzerine Umman'da gerçekleştirilmiştir. Mineral haritalama için ASTER bantları ile bilimsel literatürdeki bant oranlamalar ve bant matematiğini gözden geçirilmiştir (Rajendran & Nasir, 2018).

Umman' da yapılan diğer bir çalışmada kurak bölgelere örnek oluşturabilecek mineral kaynakları ASTER uydu görüntüleri kullanılarak haritalanmıştır. Bu çalışmada kireç taşlarının spektral imzaları çıkartılarak haritalanmış ve tahmini potansiyel kayaç alanları belirlenmiştir (Rajendran et.al., 2018).

Mineralojik çeşitliliğin belirlenmesi için yapılan çalışmada, Amerika kıtasının farklı yedi test bölgesine ait (Kaliforniya, Nevada, Kolarado, Idaho, Alaska, Arizona ve Meksika) minerallerin haritalanmasında spektrometre ölçmeleri yapılmış, oran görüntüleri ASTER uydusu termal bantları kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Hubbard et.al., 2018).

Kenya Rift Vadisinde yapılan diğerk bir çalışmada, Landsat uydu verisi yardımı ile demir ve kil açısından zengin hidrotermal mineraller haritaları uzaktan algılama ve GIS kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada hidrotermal mineralleri ve jeotermal faaliyetlerle ilişkili yapılar araştırılmıştır (Achieng et al., 2017).

Hidrotermal minerallerin haritalanmasına yönelik diğerk bir çalışmada, Bajestan bölgesine ait yapısal izlerin ve hidrotermal bozuşma gösteren minerallerin haritalanmasında ise SPOT ve ASTER uydu verileri kullanılmıştır (Ahmadirouhani et al., 2018).

Antartika dahil olmak üzere dünyanın hemen her kıtasında özellikle son yıllarda artan jeolojik ve jeotermal uzaktan algılama çalışmaları incelendiğinde, Avusturalya'nın Central New Sout Wales kesiminde yapılan jeolojik uygulamada alternatif olarak termal araştırmalarda yüzey sıcaklıklarının tespitinde yüksek doğruluklu sonuçlar veren ASTER uydusunun gece-çekim görüntülerinden yararlanılmıştır (Hewson et al., 2017).

Jeotermal araştırmalarda yüzey sıcaklık analizleri özellikle jeotermal alanlara yönelik ön fizibilite çalışmalarında büyük önem taşımaktadır. Farklı uyduların termal verileri kullanılarak elde edilen yüzey sıcaklık haritaları ile büyük araştırma alanlarından önemli sıcaklık bilgileri elde edilebilmektedir (Abubakar et al, 2017).

Aynı zamanda yüzey sıcaklık analizleri arazi örtü değerişimleri hakkında da bilgi vermektedir. Arazi örtüsünde zaman içinde izlenebilecek değerişimler tahmini jeotermal alanlar hakkında bazı bilgiler sağlayabilir. Dakka Metropolitan bölgesinde yapılan yüzey sıcaklık analizleri ile arazi örtüsündeki ısıl değerişimler Landsat uydusu termal verileri kullanılarak yapılmıştır. Bu bölge için arazi örtüsü için yüzey sıcaklıkları çıkartılmış ve gelecek on yıl için de sıcaklık tahminlerine dayalı modelleme yapılmıştır (Bayes, A. et al, 2013).

Yüzey sıcaklık analizleri için birçok yöntem çalışılmıştır. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılan tek kanal algoritması ASTER ve Landsat uydu verilerinin termal bantlarına uygulanarak yüzey sıcaklık haritalarının çıkarılmasında yaygın olarak başvurulan yöntem olmuştur (Munoz ve Sobrino, 2003).

1.2.2 Türkiye’de yapılan araştırmalar

Türkiye’ de jeotermal araştırmalara yönelik olarak sınırlı sayıda yapılan çalışmalara örnek olan jeotermal kaynakların keşfine yönelik olarak CBS tabanlı karar analizi yaklaşımı Afyonkarahisar Akarçay havzasında gerçekleştirilmiştir. Bu alışmada CBS ile jeotermal araştırmalar amaçlanarak çok ölçütlü karar analizi yapılmıştır (Yalçın ve Gül, 2017).

Aynı havzada yapılan potansiyel jeotermal araştırmalar için yapılan diğer bir çalışmada ise hidrotermal alterasyon minerallerinin belirlenmesinde UA yöntemleri kullanılmıştır. ASTER uydu verileri üzerine bant oranlama, temel bileşenler analizi ve Crosta tekniği, spektral açılama haritalama tekniği işlemleri uygulanmıştır. Bu çalışmada araziden alınan kayaa örnekleri spektrometre ile ölçülmüştür (Yalçın ve diğerleri, 2017).

Son yıllarda Türkiye’ de yapılan jeolojik uzaktan algılama çalışmalarında farklı maden yataklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak Sivas İli Zara İlçesi’nde hidrotermal alterasyon alanlarındaki kil minerallerinin ASTER uydu verileri yardımı ile oran görüntüleri elde edilmiştir (Canbaz, O. ve diğer., 2018).

Landsat 8 uydu verileri kullanılarak, jeotermal alanlar Afyonkarahisar Gazlıgöl’ de yüzey sıcaklık haritası ve yüzeydeki çizgisellikler yardımı ile araştırılmıştır (Yıldız ve diğerleri, 2017).

orum İli’nde yapılan potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine yönelik araştırmada ise ASTER uydusu verilerinin kızılötesi ve termal bantları kullanılarak farklı UA yöntemleri çalışılmıştır. Spektrometre ölçmeleri termal alan ve termal alan dışında bulunan am, meşe ve toprak için yapılarak spektral farklılıkları ortaya konmuştur. Bu çalışmada termal bantlar kullanılarak yüzey sıcaklık analizleri yapılmış, termal alan ve alan dışı örneklerle uyumluluğu araştırılmıştır (Alkan ve diğer., 2017).

Uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak Bor minerallerinin tespitine yönelik çalışmada farklı sınıflandırma yöntemleri ve bant oran görüntüleri Landsat 5 verisi ile çalışılmıştır (Uysal ve diğerleri, 2017).

Ağrı Dağ’ındaki buzul değişimlerin UA ve coğrafi bilgi sistemleri ile analizinde Landsat 4, 5 ve 8 uydularının farklı tarihli verileri kullanılarak bant oranlama teknikleri uygulanmıştır (Yalçın, 2017).

1.3 Hipotez

Bu tezdeki çalışma alanı olarak seçilen bölgeye özgü ağaçlardan çam ve meşe örtüsü altından geçen muhtemel bir tahmini potansiyel jeotermal alan varlığından söz edilebilir. Jeotermal alanlarda var olması beklenen minerallerin, termal sularla karışması ve buharlaşmasından etkilenen ağaçlar, jeotermal alan dışında yetişen ağaçlara göre daha yüksek yansıma yapmaktadır yani daha yüksek spektral farklılıklar göstermektedir denilebilir. Özellikle yaprak dökmeyen ağaç sınıfından olan çam ağaçları, jeotermal varlığına işaret edebilecek güçlü örnekler olarak kabul edilebilir. Ayrıca tahmini potansiyel jeotermal alanlarda bulunan toprak ve kayaç örnekleri de termal dışı alanlarda bulunan benzer örneklerine göre aynı şekilde yüksek oranda spektral farklılıklar göstermektedir denilebilir.

Özellikle engebeli coğrafi yapısı sebebi ile yaklaşık dik açılarla kesişen en az üç fay kolu arasında kalan bölgede potansiyel jeotermal varlığının güçlü bulgularına rastlanabilmektedir. Bu bulgular bant oranlamaları, yüzey sıcaklık analizleri, yükseklik-sıcaklık analizleri ve yersel ölçmeler, spektrometre çalışmaları ile ortaya çıkartılarak, yeni yaklaşımlar geliştirmeye yönelik birçok özelliği bir arada kullanarak yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilebilir.

Bu değerlendirmeler ışığında yersel-doğrulmalı spektral ölçmeler sınıflandırma doğruluğunu artırdığından, termal alan ve termal alan dışındaki örneklerin spektral farklılıkları tahmini potansiyel jeotermal alanların belirlenmesinde kullanılabilir.



2. JEOTERMAL VE MADEN ARAŞTIRMALARINDA KULLANILAN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ

2.1 Spektral Analiz, Spektral Kütüphane Oluşturma ve Spektral Ayırma

Uzaktan algılama yöntemleri ile yapılan çalışmalarda arazi örneklerinin spektral özelliklerine göre ayrılanabilmesi için her bir örneğe ait özgün değerlerin elde edilebilmesi sınıflandırılma işlemlerinde oldukça önemlidir. Bu amaçla yapılan spektrometre ölçmeleri ile elde edilen histogramlar her bir örnek sınıfın spektral imzası olarak adlandırılmaktadır. Spektral imzalarındaki yansıtma değerlerine göre tanımlanarak sınıflandırılabilen örnekler spektral kütüphanelerde saklanabilmektedir. Uydu görüntülerinde bu sınıfların belirlenebilmesi spektral analiz için başlangıç noktası ya da ön çalışma olarak değerlendirilebilir. İyi bir spektral analiz için iyi bir spektral kütüphanenin oluşturulması gerekmektedir (Url-1).

Spektral kütüphanede her bir örneğin meta verisini içeren değişken aralıklı ve değişken çözünürlüklü spektralleri barındırmaktadır. Böylelikle her bir örneğin spektral imzası saklanarak spektral bir envanter oluşturulabilmektedir. Spektrometre, ASTER ve USGS spektral kütüphaneleri gibi veri kaynaklarından elde edilen spektraller ENVI programı formatına dönüştürülerek yeniden örneklendirilebilmekte ve histogramları çıkarılabilmektedir (Url-2).

Spektral kütüphane verilerinin kullanıldığı spektral ayırma işlemi; multispektral görüntülerde tanımlanabilen sınıfların spektral özelliklerinin ayrılanarak bağlı çokluğunun belirlenmesi için kullanılan lineer bir yöntemdir. Spektral ayırma yönteminde uydu görüntüsünün her bir pikselindeki yansıtma değeri, piksel içinde mevcut olan her bir örneğin yansıtma değerinin doğrusal bir kombinasyonu olarak kabul edilir. Örneğin bir pikselde A, B ve C sınıflarından % 25 oranında A, % 25 oranında B ve % 50 oranında C örneğinin bulunduğu varsayılırsa bu pikselin yansıtma değerinin, A'nın % 25, B'nin % 25 ve C'nin %50 ağırlıklı ortalaması olduğu kabul edilebilmektedir (Boardman et al, 1989; (Url-3)).

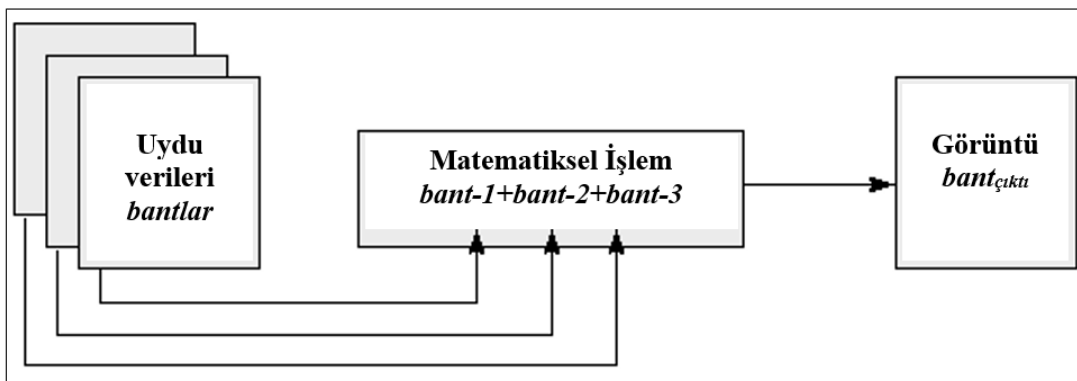
2.2 Bant Matematiği ve Bant Oranlamalar

Uzaktan algılama üzerine çalışan bilim insanları, ASTER uydusu gibi multi-spektral uydu görüntüleri kullanarak litoloji haritalama ve mineral çıkarımına yönelik olarak sayısız görüntü işleme yöntemleri geliştirmiş ve uygulamışlardır. En yaygın olarak başvurulan görüntü işleme metotları ise spektral indisler ve bant oranlarıdır (Askari et al, 2018). Bant oranlama ve matematiği işlemleri çoğunlukla uydu görüntülerinin kızılötesi bantlarına uygulanmaktadır. Bununla birlikte jeotermal araştırmalar için kullanılan ASTER termal bantları ile yapılan bant matematiği ve bant oranlama işlemleri de literatürlerde yerini almıştır.

Arazi yüzeyindeki minerallerin ayrımlanarak haritalanması için kullanılan bant aritmetiği ve bant oranlamaları, sınıflandırma işlemlerinden önce arazi örtüsü ile ilgili ayrıntıların çıkarımı ile bilgi ediniminde destekleyici n veri kabul olarak edilebilir.

Bir spektral bantı diğerine bölmek, göreceli bant yoğunlukları sağlayan bir görüntü üretir. Elde edilen görüntü bantlar arasındaki spektral farklılıkları artırır. Bant oranlarını hesaplamak için, bir bant paya diğer bant paydaya atanabilir. Bant oranı payda tarafından paylaştırılan pay miktarıdır.

Bir görüntüdeki bir veya daha fazla banta matematiksel bir işlev kullanılarak komut dosyası hazırlanabilir. Şekil 2.1’de örneklenen bant aritmetiği işleminde; bant-1, bant-2 ve bant-3 ile numaralandırılan bantların matematiksel toplamı ile elde edilen tek bantlı görüntü *bantıktı* olarak elde edilmektedir (Url-4). Aynı Şekilde birden fazla matematik işlem kullanılarak farklı spektral özellikte çıktılar oluşturulabilmektedir.



Şekil 2.1 : Bant matematiği uygulanmış çok bantlı uydu verisi ile elde edilen tek bantlı görüntü (Url-4).

2.3 Sınıflandırma İşlemleri, Yüzey Sıcaklık Analizleri ve Dokusal Analizler

2.3.1 Sınıflandırma yöntemleri

2.3.1.1 En yüksek benzerlik sınıflandırması

Uzaktan algılama yöntemleri ile yapılan sınıflandırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılan En Yüksek Benzerlik (EYB) sınıflandırması, her bir banttaki sınıf için istatistiklerin normal olarak dağıtıldığını ve belirli bir pikselin belirli bir sınıfa ait olma olasılığını hesapladığını varsayan bir kümeleme yöntemidir. Bir olasılık eşiği seçilmedikçe, tüm pikseller sınıflandırılır ve her piksel, en yüksek olasılığa sahip olan sınıfa atanır (Richards, 1999).

EYB sınıflandırmasının geliştirilmiş hali Bayesian sınıflandırmasıdır. Bu yöntem olasılık tahminlerinde iki ağırlık faktörünü kullanır. Birincisinde, belirlenen ön olasılık değeri görüntüdeki her sınıf için var olma olasılığıdır. İkincisi, her sınıfa uygulanan yanlış sınıflandırma değeri ile ilişkili bir ağırlıktır. İki ağırlık birlikte en uygun sınıflandırmayı elde eder.

EYB sınıflandırmasında kullanılan eşitlikler aşağıda özetlenmiştir.

$$g_i(x) \geq g_j(x) \text{ ise } j \neq i \text{ için } x \in w_i \quad (2.1)$$

w_i , i . sınıfı, $j=1, 2, \dots, m$ görüntüdeki sınıf sayısını ifade eder.

Eşitlikte verilen sınıflandırma kuralı gözönüne alınarak, x 'in i . sınıfa dahil olduğu belirlenir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu, ortalama vektör ve kovaryans matrisini tanımlayan eşitlikler ise şu şekildedir;

$$p(x|w_i) = (2\pi)^{-n/2} * |S_x|^{-0.5} * \exp \left[-0.5 \left((x - m_i)^T S_x^{-1} (x - m_i) \right) \right] \quad (2.2)$$

$$m_i = \frac{1}{K} * \sum_{k=1}^K x_k \quad ; \quad S_x = \frac{1}{K-1} * \sum_{k=1}^K \left((x - m_i)^T * (x - m_i) \right)$$

Burada $p(x|w_i)$ = olasılık yoğunluk fonksiyonu, x = Piksel vektörü, $||$ = Determinant, m_i = Sınıf ortalaması, n = Kullanılan bant sayısı, S_x = Varyans - kovaryans matrisi, $(x - m)^T S_x^{-1} (x - m)$ = Mahalanobis uzaklığı, K = Bir sınıfta bulunan toplam piksel sayısını göstermektedir. Bayes teoremi, sınıflandırma kuralına göre düzenlendiğinde;

$$\frac{p(x | w_i) * p(w_i)}{p(x)} > \frac{p(x | w_j) * p(w_j)}{p(x)} \quad j \neq i \quad \text{için} \quad x \in w_i \quad (2.3)$$

formülü elde edilir. Formülde her iki tarafın doğal logaritması alınır.

$$g_i(x) = \ln \{ p(x | w_i) * p(w_i) \} = \ln p(x | w_i) + \ln p(w_i) \quad (2.4)$$

eşitliğinde, olasılık yoğunluk fonksiyonu yerine yazılıp, bazı kısaltmalar yapılarak sınıflandırmada kullanılacak eşitlik çıkartılır.

$$g_i(x) = -\ln |S_x| - (x - m_i)^T S_x^{-1} (x - m_i) \quad (2.5)$$

Sırası ile beş eşitlik tüm pikseller için hesaplanıp, 2.1 formülünde yerine konularak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir (Url-5).

2.3.1.2 Spektral korelasyon haritalama

UA ile sınıflandırma işlemlerinde kullanılan diğer bir yöntem olan Spektral Korelasyon Haritalama (SKH), farklı perspektiflerden spektral şekiller arasındaki farkı hesaplayan, spektral şekillere dayalı değişim saptaması olarak adlandırılan yeni bir sınıflandırma algoritmasıdır. SKH spektral vektörler arasındaki Pearson korelasyonunun hesaplanmasına dayalı bir yöntemdir. SKH aşağıdaki bağıntı ile vektörler arasındaki [-1,1] aralığındaki Pearson korelasyonunu hesaplamaktadır (Yan et al, 2018).

$$SCM_{CD}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^L (X_1^i(x, y) - \bar{X}_1(x, y)) (X_2^i(x, y) - \bar{X}_2(x, y))}{\sqrt{\sum_{i=1}^L (X_1^i(x, y) - \bar{X}_1(x, y))^2 \sum_{i=1}^L (X_2^i(x, y) - \bar{X}_2(x, y))^2}} \quad (2.6)$$

Formülde X_1 ve X_2 tüm bantların ortalama değerini, L bant sayısını, i ise bant numarasını göstermektedir.

2.3.2 Yüzey sıcaklık analizleri

Yüzey sıcaklık analizleri arazi yüzeyindeki sıcaklık farklılıklarının irdelenmesi Jeotermal Uzaktan Algılama (JUA) araştırmalarında geniş bir konuya sahiptir. Yapılan araştırmalarda yüzey sıcaklıklarının belirlenmesinde birçok uydunun termal bantları kullanılarak farklı algoritmalar test edilmiştir.

Yüzey enerji dengesi bakımından dikkate alınan yer yüzeyi sıcaklıklarının belirlenmesine yönelik olarak; Oğuz tarafından 2014 yılında, Jimenez Munoz ve Sobrino'nun ASTER uydu görüntüsünden yer yüzey sıcaklığının hesaplanması için geliştirdiği tek kanal algoritmasına dayalı Visual Basic NET programlama dili ile bir araç hazırlanmıştır. Bu araç LANDSAT uydu görüntüleri içinde ayrı bir modülle termal çalışmalar üzerine çalışan bilim insanlarının kullanımına sunulmuştur.

Bu yazılım aracı beş modülden oluşturulmuştur ve aşağıda açıklanan hesaplamaları yapmaktadır:

- Uydu görüntülerine ait dijital sayıların (DN) radyans değerlerine dönüştürülmesi,
- Yüzey reflektans değerlerinin hesaplanması adımı,
- ASTER ve LANDSAT uydularının görünür ve kızılötesi bantları yardımı ile NDVI indekslerinin hesaplanması,
- Yeryüzeyi yayınlıklarının hesaplanması adımı,
- Yüzey sıcaklıklarının hesaplanarak °C olarak haritalanması ya da sıcaklık anomalilerinin oluşturulması,

Bu araç yardımıyla hesaplanarak elde edilen termal görüntüler aynı zamanda ENVI programı formatında kullanılabilme olanağı sunmaktadır.

2.3.3 Dokusal Analizler

Dokusal analiz komşu piksel çiftlerinin aralarındaki ilişkiyi niceliksel olarak tanımlamak üzere yapılan iki komşu piksel arasındaki açısal ilişki ve uzaklığın bir işlevi olan analizdir (Haralick et al,1973).

Komşu pikseller arasında, belli bir mesafeyle ayrılmış dört yön olduğu (0 °, 45 °, 90 ° ve 135 °) kabul edilmektedir . ENVI programı her bir pikselin sekiz komşu piksele sahip olduğunu düşünerek bir ortak oluşum matrisi hesaplamak üzere benzer bir yöntem kullanmaktadır. Bu özellikler ortalama, varyans, homojenlik, kontrast, benzersizlik, entropi, açısal ikinci moment ve korelasyondur (Url-6).

Ortalama, bir görüntüde piksellerin ortalama konumunu tek bir sayı ile ifade eden bir ölçüdür. Varyans, bir görüntüdeki heterojenliğin ölçüsüdür ve standart sapma gibi birinci dereceden istatistiksel değişkenlerle olan korelasyonunun gücüdür ve gri ton değerleri ile ortalama değerleri arasındaki farkla orantılıdır. Homojenlik, pikseller ve

çevreleri arasındaki benzerliği ölçen bir bütünlük ölçüsüdür. Kontrast, görüntüdeki lokal değişikliklerin sıklığını, bir piksel ile komşusu arasındaki yoğunluk kontrastını hesaplayarak ölçer. Benzersizlik ya da farklılık, bir görüntüdeki farklılıkları doğrusal olarak ölçen bir özelliktir. Entropi bir görüntü içinde dokusal rastlantısallığı ölçen bir özelliktir. Açısal ikinci moment özelliği, bir görüntünün bütünlüğünü ölçer. Korelasyon, görüntüdeki gri tonlu doğrusal bağımlılıkların ölçüsüdür ve bu özellik bir pikselin komşusu ile ne kadar ilişkili olabileceğini ölçmektedir (Bakas et al, 2018).



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Tez Çalışma Alanı

Tez çalışma alanının sınırları içinde bulunduğu Çorum İli, Orta Karadeniz Bölgesinde İç Anadolu Bölgesinin yüksek kesimlerinin devamı niteliğinde; büyük kısmı Yeşilirmak Havzası içinde yer almaktadır (Gülersoy, 2013). Çorum İlinin kuzeyinde Amasya İlinin Hamamözü İlçesi, güney-doğusunda Yozgat İli ve kuzey-doğusunda Mecitözü İlçesi ve Amasya İli arasında sağlık amaçlı jeotermal tesisler bulunmaktadır.

Jeolojik açıdan özellikle Çorum İli , Anadolu'nun tektonik gelişimine paralel olarak metamorfik kütlelerin, çakıltası, kireçtaşı ve kumtaşlarının kapladığı geniş bir alanda yer almaktadır. Bu jeolojik oluşumda metamorfik kuşakların yüksek sıcaklık barındırma olasılığı, potansiyel jeotermal alanların araştırılması açısından önemli görülmüştür (Öngür, 2005). Tez çalışma alanında madencilik faaliyetlerine ve jeotermal alan araştırmalarına ilişkin klasik yersel sondaj aktiviteleri dışında, Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ile hiç çalışılmamış olması bu çalışmanın önemini artırmıştır.

Bölgenin kuzeyinden geçen Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattının yanal kollarının çalışma alanının içine kadar ulaşması ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından güncellenmiş fay hatlarının belirgin vektörel yoğunluğu jeotermal bir aktivitenin bu bölgede de tespit edilebilirliği ihtimalini artırmıştır.

Çalışma alanının coğrafyası engebeli bir yapıya sahip olup arazi yükseklikleri 800 metreden 1300 metreye kadar ulaşmaktadır. Çalışma alanının kuzey-doğu ve güney-doğu yönlerinde yoğunlaşan fay hatlarının yükseklikleri birlikte değerlendirilerek jeotermal alan varlığına işaret edilebilirliği açısından ele alınmak istenmiştir. Tez çalışmasında üç tanesi mevcut jeotermal tesis alanlarından ve üç tanesi de mevcut kil alanlarından olmak üzere altı farklı test bölgesi seçilmiştir. 2015 ve 2016 yıllarında arazi keşifleri yapılarak seçilen test alanlarının ASTER uydu verisi üzerindeki konumsal dağılımı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. 2015 ve 2016 yıllarında tez araştırmaları yapmak üzere seçilen jeotermal test (jeo-test) ve kil test (kil-test)

bölgelerinin Google Earth (GE) üzerindeki işaretlenen konumları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Potansiyel jeotermal alan araştırmaları için seçilen üç test bölgesinin sınırları, bölgede bulunan mevcut termal tesisleri de içermektedir. Jeo-test alanlarında spektrometre ölçmelerinde kullanılan örnekler, bölgedeki bitki örtüsü-ağaç çeşitliliği dikkate alınarak belirlenmiştir. Kil test alanlarından kil-test3 seçilirken mevcut üç jeotermal tesis arasında kalan kil alanı gözönüne alınmıştır. Diğer kil test alanları kil-test1 ve kil-test2 ise bölgedeki toprak sanayisine yönelik madencilik faaliyetlerinin yoğun olarak yapıldığı Çorum İli merkezinin güney-batısı dikkate alınmıştır.

Tahmini potansiyel jeotermal alanların araştırılmasına yönelik olarak jeo-test1, jeo-test2 ve jeo-test3 alanlarından seçilen spektral örnekler mevcut termal tesislerin çok yakınında bulunan ağaç, toprak ve kayalardan oluşturulmuştur. Mevcut termal tesislerin dışından alınan aynı test bölgelerinde ait benzer türdeki örnekler termal tesislere en az 5 ila 10 km uzaklıkta bulunacak şekilde alınmıştır. Kil-test alanlarında spektrometre ölçmelerinde kullanılacak kil örnekleri ise bölgesel kil madenciliği faaliyetlerinde kullanılan üç farklı kil alanından alınmıştır (Şekil 3.3).

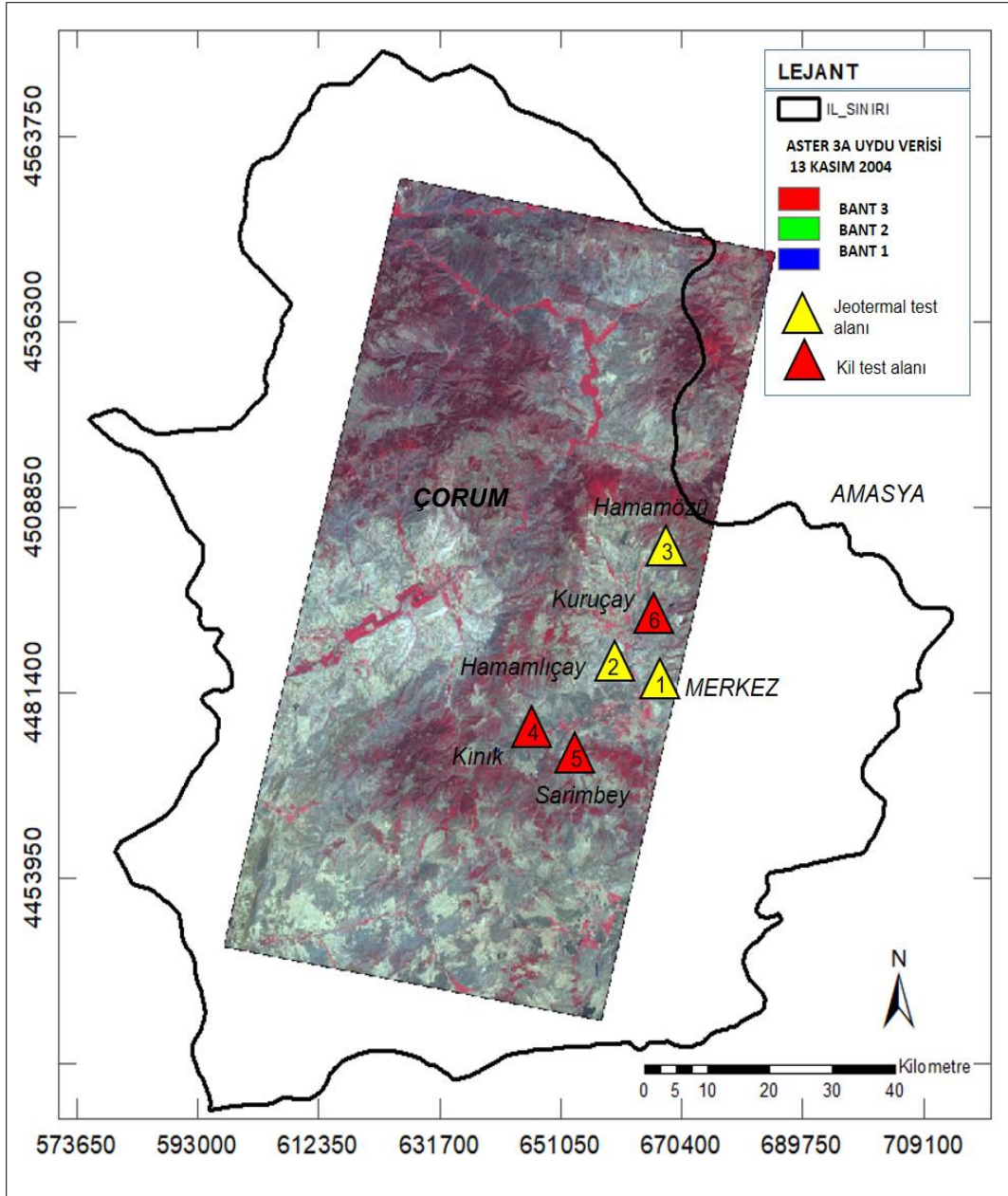
Tez çalışma alanında 2015 yılında seçilen test alanlarının Çorum İli merkezine uzaklıkları araştırma alanları dikkate alınarak Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Test Alanlarının Çorum İli merkezine açısal uzaklıkları.

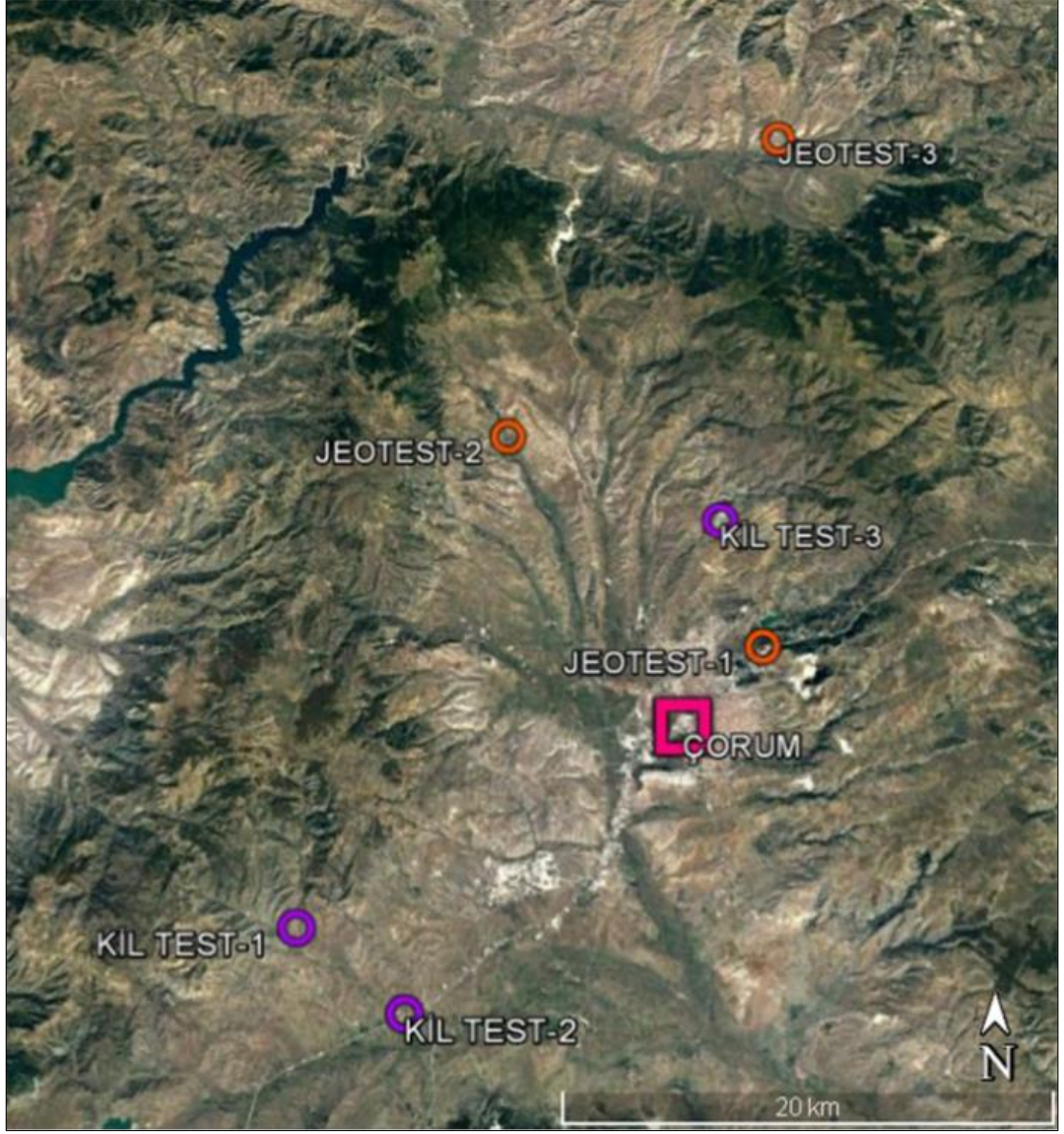
Test Alanı	Yön	İl Merkezine Uzaklık(m)	Araştırma Alanı
1	Kuzey-Doğu 54 ⁰	3700	Jeotermal Test
2	Kuzey-Batı 328 ⁰	13800	Jeotermal Test
3	Kuzey-Doğu 21 ⁰	29600	Jeotermal Test
4	Güney-Batı 239 ⁰	19500	Kil Test
5	Güney-Batı 222 ⁰	18300	Kil Test
6	Kuzey-Doğu 10 ⁰	8000	Kil Test

Tez çalışmasına konu olan potansiyel jeotermal ve potansiyel kil alanlarına yönelik olarak yapılan araştırmalar için seçilen jeo-test ve kil-test alanları 2015 yılında yapılan arazi çalışmaları sonrasında detaylı olarak incelenmiştir. Spektrometre lme sonuçları, mevcut jeotermal tesis alanı, jeotermal sondaj faaliyetleri, bölgedeki geniş alana yayılan arazi örtüsü çeşitliliği, aktif fay hareketleri ile birlikte değerlendirilmiş ve Şekil 3.2’de gösterilen 1 numaralı jeo-test alanına odaklanılmıştır. Ayrıca jeo-test1 alanının kuzey-batı ve kuzey-doğusunda kalan geniş kil alanları potansiyel jeotermal alanlarla aynı platformda keşişmektedir. Bu amaçla 2016 yılı arazi çalışmalarının, orum İli merkezinin kuzey-doğusunda kalan Şekil 3.4’te gösterilen yaklaşık 15 hektarlık alanda detaylı ve spesifik bir çalışma olması amaçlanmıştır.





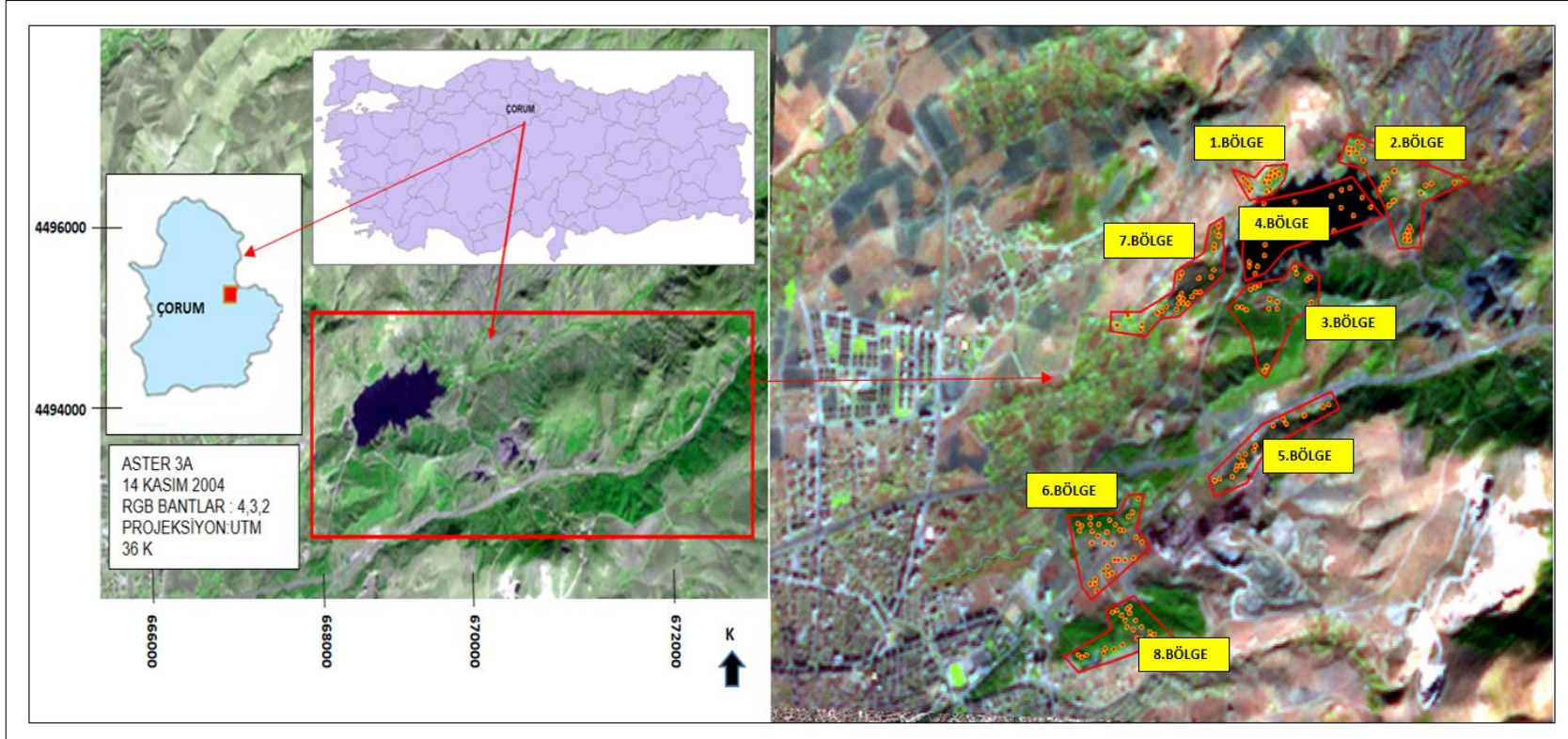
Şekil 3.1 : Orta-Kuzey Anadolu bölgesinin Çorum İlinde gerçekleştirilen tez çalışma alanında 2015 ve 2016 yıllarında araştırmaya konu olan test alanlarının ASTER uydu verisi üzerindeki konumsal dağılımı.



Şekil 3.2 : Orta-Kuzey Anadolu Bölgesi Çorum İli sınırları içerisinde gerçekleştirilen tez çalışma alanında 2015 ve 2016 yıllarında seçilen test alanlarının Google Earth üzerindeki konumsal dağılımı.



Şekil 3.3 : Tez çalışma alanından spektrometre ölçmelerine yönelik olarak 2015 ve 2016 yıllarında termal tesis civarından ve termal dışı alanlardan alınan çam, meşe, toprak, kayaç ile kil örneklerinin alındığı test bölgeleri.



Şekil 3.4 : Tez çalışması için 2016 yılı arazi çalışmalarında planlanan yaklaşık 15,000 m² lik alanda yer alan test bölgeleri.

3.2 Tez Çalışmasında Kullanılan Veriler

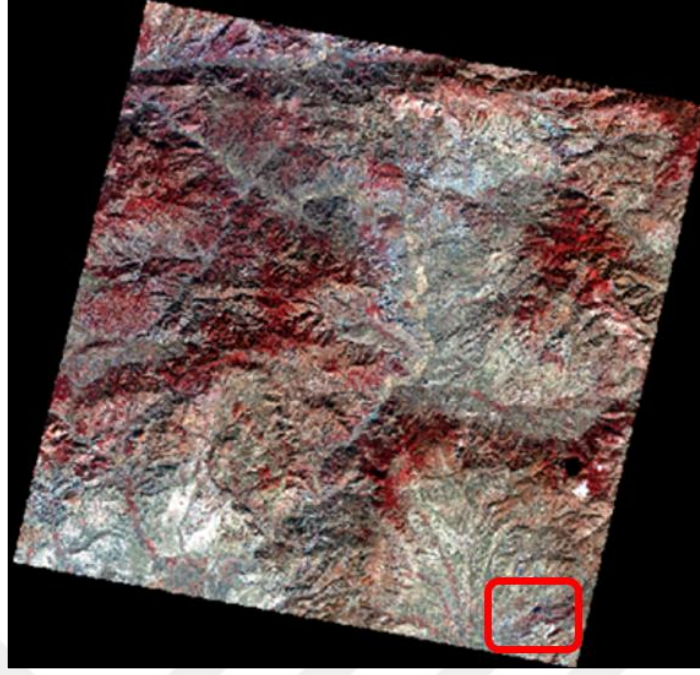
Tahmini potansiyel jeotermal ve potansiyel kil alanların belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilen tez çalışmasında beş farklı uydu verisinden yararlanılmıştır. ASTER uydusu gece ve gündüz çekimlerinden oluşan veri setleri, Landsat uydusunun termal bantları, tez araştırmasının farklı aşamalarında çalışılmış ve değerlendirmeler kıyaslamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemleri, bant matematiği, oran görüntüleri ve yüzey sıcaklık analizlerinde ASTER uydusunun görünür bölge kızılötesi, kızıl ötesi ve termal bantlarından yararlanılmış, Landsat uydularının termal bantları da Yüzey Sıcaklık Analizleri (YSA) ile sıcaklık haritalarının üretilmesi için kullanılmıştır. Kullanılan tüm uydu verilerinin çekim tarihleri, jeotermal bulguların yüksek oranda elde edilmesi amacı ile Kasım ayına denk gelecek şekilde seçilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan uydu verileri üzerine geometrik ve radyometrik düzeltmeler getirilmiştir. Tüm uydu verileri aynı projeksiyon sisteminde (WGS-84) 36. kuzey diliminde tanımlanmıştır. Sınıflandırma işlemleri öncesinde uydu verilerinin görünür yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bantlarına atmosferik düzeltmeler getirilmiş, termal bantları üzerine ise termal atmosferik düzeltmeler uygulanmıştır.

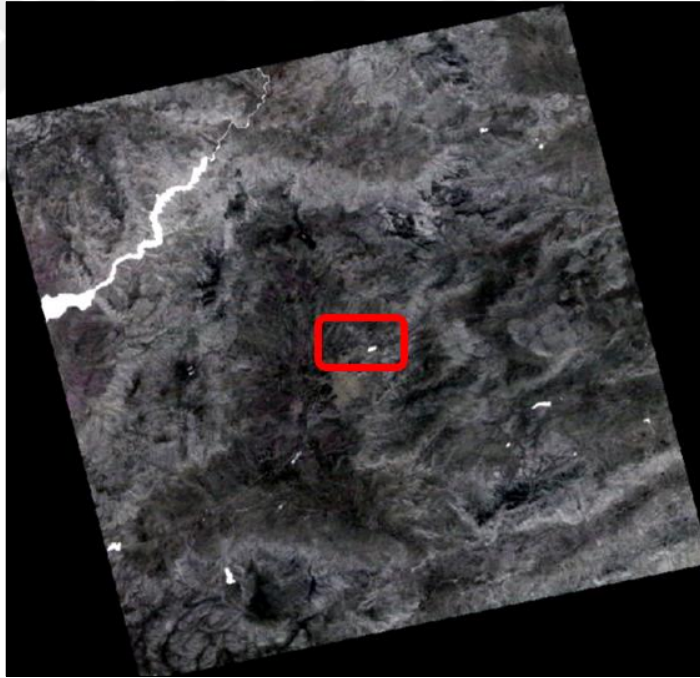
3.2.1 Terra-ASTER uydu verisi

Tez araştırmasında kullanılan ASTER uydu verisi son 10 yılda jeolojik ve jeotermal amaçlı araştırmalarda en çok kullanılan, beş tanesi termal olmak üzere 14 bant ile spektral çözünürlüğünün yüksek olması ve elde edilen sonuçların doğruluğu açısından da en fazla tercih edilen uydu verileri arasındadır. Tez çalışması için ASTER 3A uydusu ve ASTER L1T uydu verileri kullanılmıştır. ASTER uydu görüntülerinin kızılötesi bantları için radyometrik çözünürlük 8 bit, termal bantları içinse 12 bittir. Örnekleme algoritması kübik konvolüsyondur ve 60x60 km² çerçeve boyutundadır. ASTER 3A uydu verisi 13 Kasım 2004 tarihi 08:43'te elde edilmiştir ve granül ID'si 'AST3A10411130843151506120001' dir (Şekil 3.5).

ASTERL 1T uydu verisinin çekim tarihi 26 Kasım 2011, veri alım saati 19:43 gece, ürün katalog numarası 'ASTL1T00311262011194304201506081243 434559' olarak temin edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.5 : Tez çalışmasında kullanılan 14 Kasım 2004 tarihli ASTER 3A uydu görüntüsü (K/Y/M: 3/2/1).

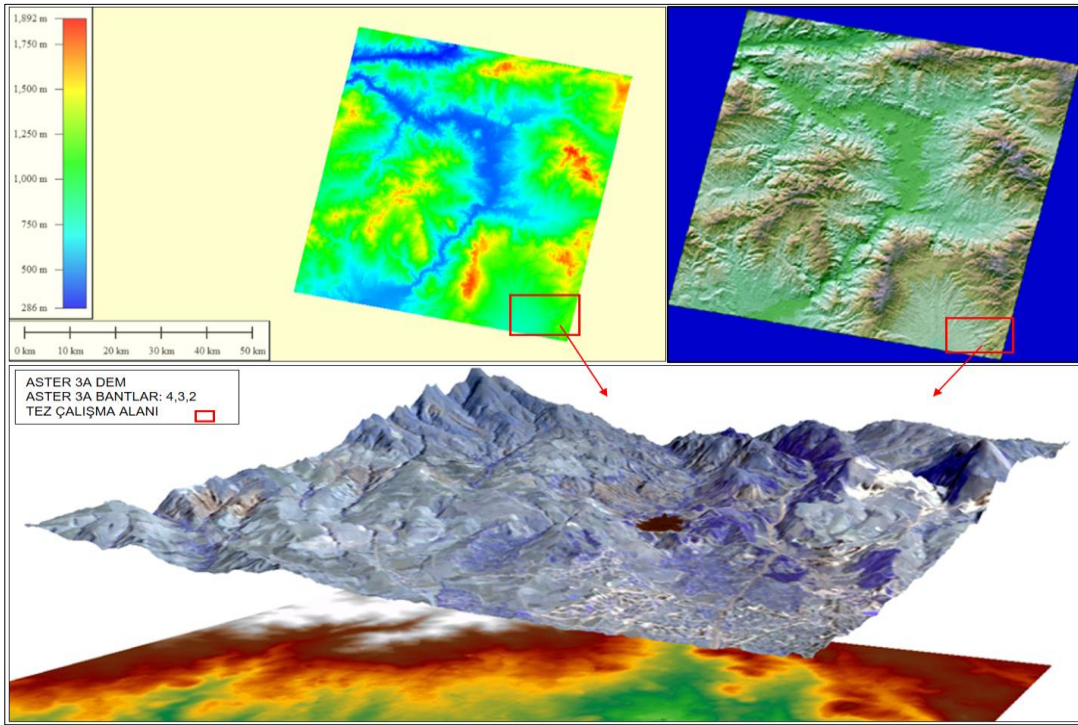


Şekil 3.6 : Tez çalışma alanı ve 26 Kasım 2011 tarihli ASTER L1T gece-zamanlı uydu verisi termal bantları (K/Y/M: 14/13/12).

Tez çalışmasında sınıflandırma işlemleri için ASTER 3A verisinin VNIR (bant1, bant2, bant3) ve SWIR (bant4, bant5, bant6, bant7, bant8, bant9) bant setleri kullanılmıştır. TIR (bant10, bant11, bant12, bant13, bant14) termal bantları ise YSA ve termal sınıflandırma için kullanılmıştır. ASTER L1T gece verisi termal bantları,

YSA doğrulunun hem ASTER 3A hemde LANDSAT termal verilerinden elde edilen analizlerle kıyaslanması için kullanılmıştır.

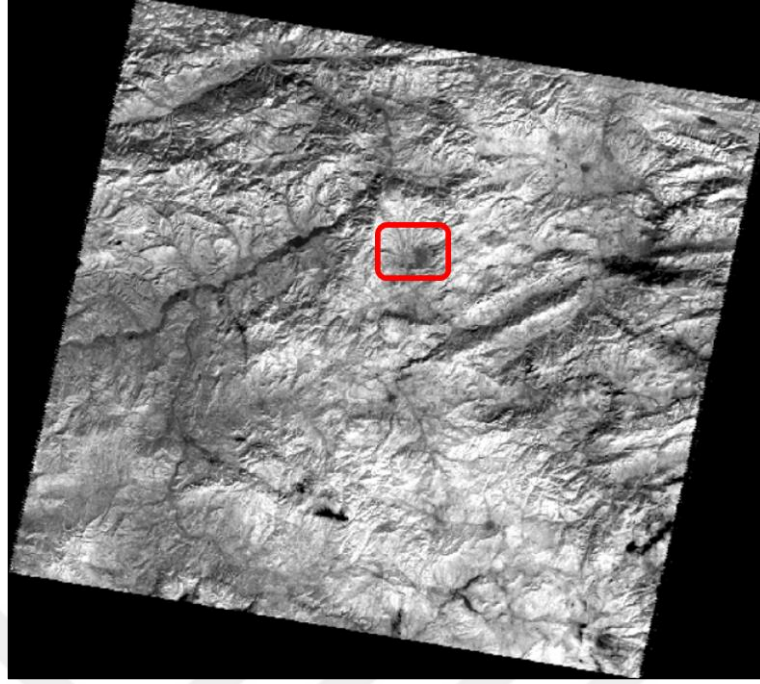
Sayısal yükseklik modeli için kullanılan ASTER 3A uydusu DEM verisi ise 14 Kasım 2004 tarihli 15 metre uzaysal çözünürlüğe sahiptir. Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda bulunan arazi örtüsünün bölgenin coğrafi yapısı ile birlikte değerlendirilebilmesi, fay hatlarının yükseklik-sıcaklık analizlerinin çıkartılması için bu modelden yararlanılmıştır (Şekil 3.7)



Şekil 3.7 : Fay hatlarının yükseklik-sıcaklık analizlerinde kullanılan 4 Kasım 2004 tarihli 15 metre yersel çözünürlüklü ASTER 3A DEM uydu verisi ile oluşturulan sayısal yükseklik modeli.

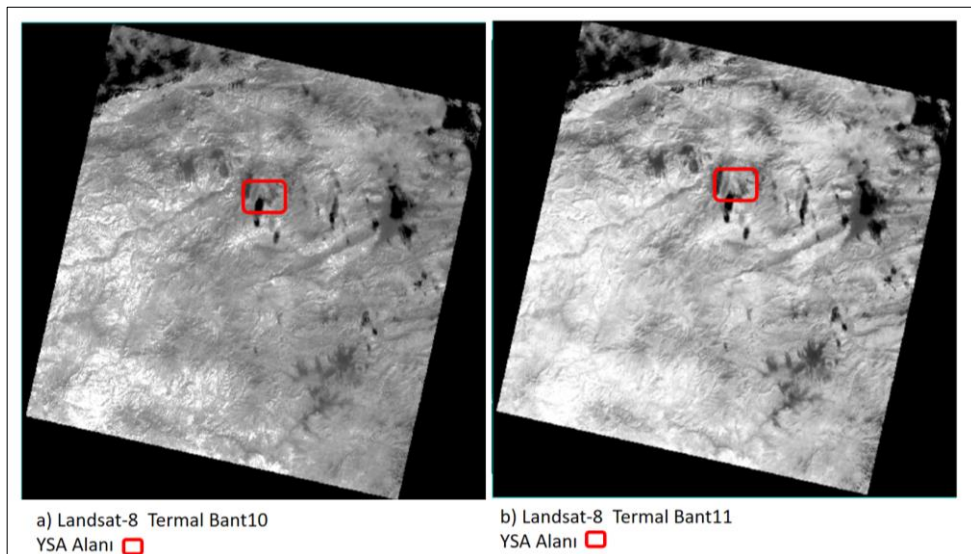
3.2.2 Landsat uydu verisi

Tahmini potansiyel jeotermal varlığına işaret eden önemli bulgulardan biri olan yüzey sıcaklığının belirlenmesine yönelik analizlerde 02 Kasım 2011 tarihli LT51760322010319MOR00 LANDSAT 5 Uydu verisi kullanılmıştır. Bu uydu verisi UTM projeksiyonunda, kuzey 36 diliminde , WGS 84 elipsoid ve datumundadır. Uzaysal çözünürlüğü ise 60 metredir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Yüze y sıcaklık analizlerinde kullanılan 2 Kasım 2011 tarihli LANDSAT 5 uydusu termal bantı (bant-6) ve tez çalışma alanı.

Tez çalışmasında tahmini potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine önemli derecede katkı sağlayan yüze y sıcaklıkları analizleri için kullanılan termal kanallardan ikincisi LANDSAT 8 uydusuna aittir. Bu amaçla kullanılan uydu görüntüsünün alım tarihi 13 Kasım 2015, granül numarası LC81760322015317LGN02, yersel çözünürlüğü 100 metredir (Şekil 3.9). Ayrıca NDVI (normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi) hesaplanırken 30 metre yersel çözünürlüklü bant-4 ve bant-5 kızılötesi bantları da kullanılmıştır.



Şekil 3.9 : Yüze y sıcaklık analizlerinde kullanılan 13 Kasım 2015 tarihli LANDSAT 8 uydusu termal bantları ve tez çalışma alanı; a) Bant 10 ve b) Bant11.

3.2.3 Küresel konumlama sistemi (GPS) verileri

Araziden alınan örnekleme noktalarına ait veriler, Geomax Zenith 25 GNSS alıcısı ile üç boyutlu (X, Y, Z) olarak ölçülmüştür (Şekil 3.10). Bu ölçmelerle geometrik doğruluklar irdelenmek istenmiştir. Kullanılan uydu görüntülerinin spektral çözünürlüğü yüksek ancak uzaysal çözünürlüğü 15 metredir. Görüntü füzyonu yapılarak ve/veya uzaysal çözünürlüğü yüksek uydu verileri ile de çalışılabilme olasılıkları düşünülerek GPS ölçmeleri yapılmıştır. Bu ölçmeler sonucu sınıflandırma işlemlerinde kullanılmak üzere test alanlarından 500'e yakın örneğin koordinatları elde edilmiştir.



Şekil 3.10 : Örneklem noktalarının koordinat ölçmelerinde kullanılan uydu alıcısı.

3.2.4 Tez çalışmasında kullanılan yazılımlar ve diğer materyaller

Tez çalışmasında MTA'dan temin edilen bölgeye ait 1/25 000 ölçekli G33 ve G34 numaralı jeolojik haritalar, araştırma alanının genel jeolojik yapısının incelenmesi için kullanılmıştır. Bu veriler sayısal vektör veri olarak ESRI programı ARC Map Modülünde açılarak kullanılmıştır. MTA dan alınan formasyon sınırlarını içeren sayısal veriler ile güncellenmiş fay hatlarının vektör verilerinden de yararlanılmıştır. Çalışma alanında sınıflandırma işlemleri sonucu elde edilen sınıflar üzerine bu vektör veriler eklenerek muhtemel jeotermal alanlarla fay hatlarının kesişiminde kalan sınıflar irdelenmiştir. CitySurf Globe V4.2.35 (PiriReis Bilişim Teknolojileri Ltd Şti / Çorum Belediyesi Katılımcı 3D Kent Bilgi Sistemi), Google Earth Pro (Google Inc.) yazılımları ve Samsung model cep telefonunda navigasyon uygulaması kullanılmıştır. Tez çalışma alanı içerisinde navigasyon uygulaması ile arazi izleri kullanılarak 300 den fazla örnek için yükseklik-uzaklık grafikleri elde edilmiştir ve arazi planlamasında bu iz ve grafiklerden yararlanılarak 1. Jeo-test bölgesine odaklanılmıştır.

Arazi çalışmalarında GPS kullanılarak koordinatlar ölçülmüş, tez çalışması planlaması aşamasında Çorum Belediyesi İmar işlerinden temin edilen ortofoto haritaları, örnekleme noktalarının konumlarının detaylı olarak tespiti için kullanılmıştır.

ViewSpect Pro 6 2.2.0 (ASD Inc) yazılımı ile spektral arazi verileri işlenmiş, grafikleri ve her bir örneğin spektral imza değerleri çıkartılmıştır.

ENVI 5.0 (Exelis Visual Information Solutions Inc.) programı yardımı ile spektral analizler yapılarak spektral kütüphane oluşturulmuş, bant oranlamalar ve bant matematiği işlemleri yapılmıştır.

ER Mapper 2014 (Intergraph Corporation) ile ASTER verisi görünür yakın kızılötesi (VNIR), kızıl ötesi (SWIR) ve termal (TIR) veri setlerine ayrılmıştır. Bu setlerle bant oranlama işlemleri ve bant aritmetiği çalışılmıştır.

ERDAS 2014 programı yardımı ile görüntü zenginleştirilmiş, En Yüksek Benzerlik (EYB) ve Spektral Korelasyon Haritalama (SKH) algoritmaları ile sınıflandırılmış görüntüler oluşturulmuştur.

ARC Map 10.3.1 modülü ile YSA çalışılarak sıcaklık haritaları oluşturulmuş, Arc Globe modülü ile sayısal arazi modeli çıkartılmış, vektör veriler ile birleştirilerek Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri yapılmıştır. Global Mapper ve Surfer yazılımları ile oluşturulan sayısal yükseklik modellerinde de CBS analizlerinden faydalanılmıştır. Netcad 7 GIS kullanılarak arazi çalışmalarında GPS okumaları ile elde edilen vektör veriler, örnekleme noktalarının konumsal doğruluğunun artırılması için raster verilerle birlikte kullanılmıştır.

ENVI programı ve EnMAP-Box 2.2.1 yazılımlarından ASTER 3A görüntüsü için dokusal analizlerin yapılması, bant istatistiklerinin çıkartılması ve regresyon analizlerinde yararlanılmıştır.

3.3 Metot

Tez çalışmasında, muhtemel potansiyel jeotermal alanların ve potansiyel kil alanlarının belirlenebilmesine ve bunlara ait görüntü sınıflandırılma işlemine yönelik istatistiksel analizler amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalara ait metodolojik iş akış planı Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Amaca yönelik olarak çalışılan süreç içerisinde izlenen adımlar:

- Sınıflandırma işlemleri öncesi test bölgelerinin, potansiyel jeotermal ve kil alanlarının belirlenmesinde kullanılacak multi-spektral uydu verisi üzerinden seçimi,
- Test bölgelerinin seçimi sonrası 2015 yılı arazi çalışmalarında altı farklı bölgede bulunan ağaç ve toprak örneklerinin konumlarının GPS ölçmeleri ile belirlenmesi,
- Arazi örneklerinin spektrometre ile ölçülmesi ile tez çalışma alanına ait spektral kütüphanenin oluşturulması,
- Spektral kütüphaneden elde edilen grafikler ile örneklerin ayırt edilebilirliğine yönelik olarak uygun spektral aralıklarının tespiti,
- 2016 yılında yapılacak arazi çalışmaları için yeni test bölgelerinin seçimi ve yüksekliğe bağlı arazi izinin oluşturulması,
- Yeni örneklerin 2016 yılında yapılan arazi çalışmalarında uzaysal koordinatlarının GPS ile belirlenmesi, spektrometre ölçmeleri ve spektral kütüphane envanterine eklenmesi,
- 2015 ve 2016 yılında spektrometre ölçmeleri yapılan tüm örneklerin spektral yansıtma değerleriyle analizi ve sınıflandırma işlemlerinde kullanılacak bantların seçimi,
- Spektrometre ölçmeleri sonrası spektral analizleri yapılarak oluşturulan, tez çalışma alanına ait spektral kütüphane envanterinde bulunan örneklerin ASTER uydu verisi spektral aralıklarında tanımlanması ve spektral ayırma işlemleri,
- Tez çalışmalarında kullanılan ASTER uydu verisi spektral bantlarına ait dokusal özellik analizleri,
- Tez çalışma bölgesinde, potansiyel jeotermal ve kil alanlarında var olması beklenen minerallerin çıkarımına yönelik olarak bant matematiği ve oranlama işlemleri,
- ASTER ve LANDSAT uydu verilerinin termal bantları ile yapılan yüzey sıcaklık analizleri ve tez çalışma bölgesine ait yüzey sıcaklık haritalarının oluşturulması,
- Sıcaklık haritaları yardımı ile bölgesel fay hatları üzerine yüksekliğe bağlı sıcaklık analizi modellenmesi,

-Tez çalışmasında jeo-test1 numaralı potansiyel jeotermal alanından türetilen 13 test bölgesini içeren alanda, EYB ve SKH sınıflandırma algoritmaları ile tematik harita üretimi,

-Tez çalışmasında kil-test3 numaralı potansiyel kil alanında, EYB ve SKH sınıflandırma algoritmaları ile tematik harita üretimi,

-Doğruluk ve regresyon analizleri.

Tez çalışmasında seçilen test bölgelerine ait örnekleme noktalarının ölçümleri 2015 ve 2016 yıllarının Kasım ayında, aynı tarihlere denk gelecek şekilde yapılmıştır. Laboratuvar ölçmelerinde spektral örnekler 20-25 tekrarlı olarak yapılmıştır. Bilgisayar destekli analizler tez çalışmasının her bir aşamasında kullanılarak araştırma-planlama, uygulama-analiz, değerlendirme-yorumlama, doğruluk-regresyon analizleri ile sonuçlandırılmıştır.

Jeotermal alanlarda var olması beklenen minerallerin çıkarımına yönelik olarak ASTER uydusu VNIR ve TIR bantları kullanılarak bant matematiği ve bant oranlama işlemleri yapılmış, yoğun fay kırıklarının bulunduğu kısımlarda da mineral varlığı araştırılmıştır. Sınıflandırma ve bant oranlamalar sonucu oluşturulan tematik haritalar üzerine eklenen fay hatları ile birlikte mineral-yoğun alanlar ve yüzeyde bozulmuş (altere olmuş) kısımlar incelenmiştir. Sıcaklık analiz sonuçları fay hatları üzerinden seçilen test noktaları için dört farklı uydu verisi ile birlikte modellenerek grafikleri çıkartılmıştır. Arazide konumları belirlenen örnekleme noktaları ASTER verisi ile çalışılan sınıflandırma işlemlerinde kullanılmıştır. Spektrometrik ölçmelerle termal ve termal dışı bölgede bulunan örneklerin spektral farklılıkları tespit edilmiş, örneklerin karışmadığı kanallar sınıflandırma bant seçiminde kullanılmıştır. Tüm bu işlemler için kullanılan uydu verileri Şekil 3.12' de gösterilmiştir (Url-7).

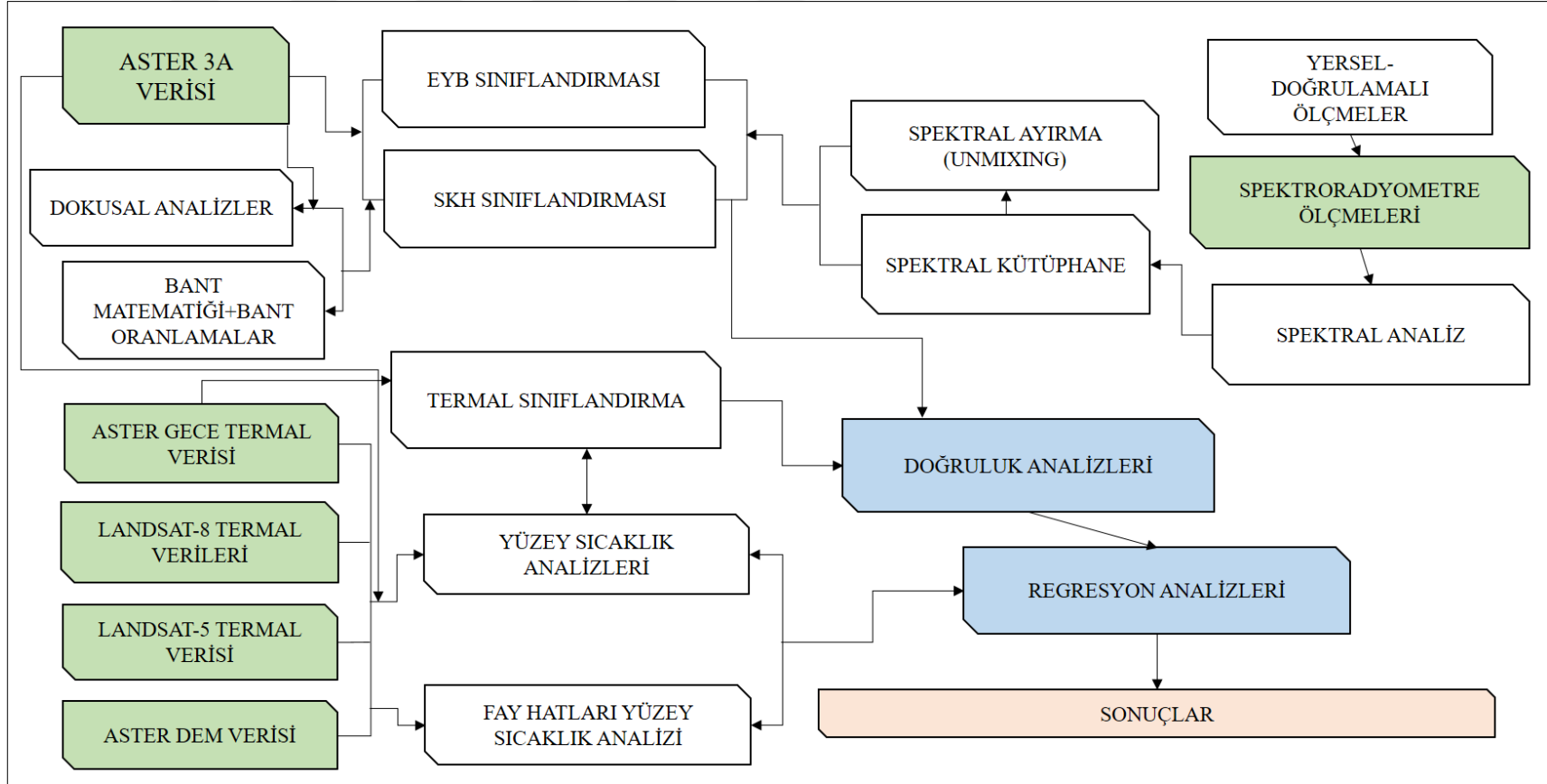
Uydu verileri üzerine geometrik, radyometrik ve atmosferik düzeltmeler getirilmiştir. Projeksiyon sistemi UTM ve kuzey 36 diliminde tanımlanmıştır. Sınıflandırma işlemleri öncesinde uydu verilerinin görünür yakın kızıl ötesi ve kızıl ötesi tüm bantlarına atmosferik düzeltme, termal bantlarına ise termal atmosferik düzeltmeler getirilmiştir.

Görüntü sınıflandırma işlemleri için ASTER 3A verisinin VNIR ve SWIR bant setlerinden bant-2, bant-3 ve bant-4 kullanılmıştır. TIR bant setinden b-10, b-12, b-13 ise YSA, sıcaklık harita üretimi, yükseklik-sıcaklık analizleri için ve termal

sınıflandırma için kullanılmıştır. ASTER gece verisi TIR (bant-10 ila bant-14) ise YSA doğrulunun, ASTER 3A ve Landsat termal verilerinden elde edilen analizlerle kıyaslanması için kullanılmıştır.

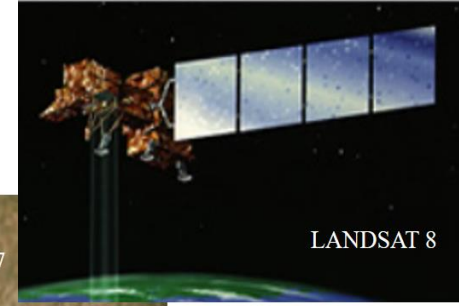
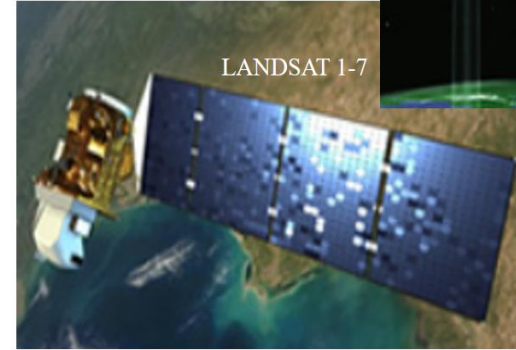
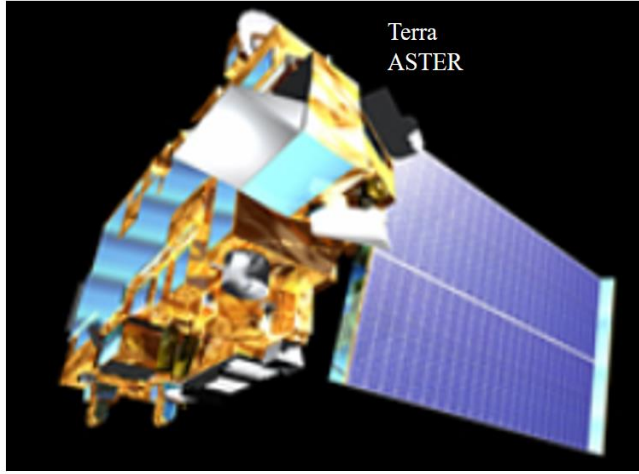
Spektral örneklerin iki farklı dönemde, ilk dönemin artırılmış tekrarı olacak şekilde ölçülmesi Şekil.13 ve Şekil.14'te gösterilen spektrometreler yardımı ile gerçekleştirilmiştir.





Şekil 3.11 : Tez çalışmasında kullanılan Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ile metodolojiyi içeren iş akış planı.

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
LANDSAT 8	13 Kasım 2015	08:21	Termal	10	10.30-11.30	100 metre
				11	11.50-12.50	100 metre



TERRA
(ASTER-MODİS)

Başlangıç ve Sonlanma Tarihi	1999			
Yersel Çözünürlük (m)	Aster	15 30 90	Modis	20 500 1000
Radyometrik Çözünürlük (bit)	Aster	8 8 12	Modis	8
Şerit Genişliği (km)	Aster	60	Modis	2330
Bantlar(μm) (SWIR BANTLAR 2008 sonrası yoktur !)	Aster	VNIR: 0.52-0.60,0.63-0.69,0.76-0.86 (S) SWIR: 1.60-1.70,2.145-2.185,2.185-2.225,2.235-2.285, 2.295-2.365,2.360-2.430 TIR: 8.125-8.475,8.475-8.825,8.925 9.275,10.25-10.95 10.95-11.65		
Görüntüleme Sıklığı (gün)	48 (16)			
<i>PAN= siyah-beyaz, MS= renkli, μm= mikron</i>				

Şekil 3.12 : Tez çalışmasında kullanılan ASTER ve LANDSAT uydu verilerinin alım tarihleri, bant özellikleri, bant sayıları, spektral ve geometrik çözünürlükleri (Url-7).



Şekil 3.13 : Tez çalışmasında 2015 ve 2016 yılında alınan spektral örneklerin ölçme ve değerlendirilmesi için kullanılan FieldSpec3 spektroyometresi ve aparatları.



Şekil 3.14 : Tez çalışmasında 2016 yılında alınan spektral örneklerin ölçme ve değerlendirilmesi için kullanılan FieldSpec4 spektroyometresi ve aparatları.



4. UYGULAMALAR

4.1 Genel

Uzaktan Algılama teknolojisi kullanılarak yapılan tez çalışmasında jeotermal varlığının araştırılmasına yönelik uygulamalar, altı ana başlık altında toplanmıştır. Bu çalışmalar;

1. Spektrometre ölçmeleri , spektral analizler ve spektral kütüphane oluşturulması,
2. Bant oranlamalar ve bant matematiği işlemleri,
3. Görüntü sınıflandırma işlemleri,
4. Yüze sıcaklık analizleri, fay hatları yükseklik-sıcaklık analizi,
5. Dokusal analizler,
6. Doğruluk ve regresyon analizleri.

Tez çalışma alanının topoğrafik yapısının irdelenmesi ve potansiyel jeotermal alanlara yönelik arazi keşfi yapmak üzere arazi izi oluşturulmuştur. Örnekleme noktalarının nerelerden alınacağı, nerelerde spektrometre örneklerinin seçileceği ve hangilerinin sınıflandırma işlemlerinde kullanılacağını belirlemek üzere konumsal planlama için GPS ölçmeleri de yapılmıştır. Bu planlama sırasında termal tesis etrafından alınan örnekler ve termal dışı bölgelerden alınan örnekler olarak çalışma iki kısma ayrılmıştır.

4.2 Arazi Çalışmaları ve Spektrometre Ölçmeleri

Arazi ölçmeleri iki aşamalı olarak 2015 ve 2016 yıllarında Kasım ayının ilk haftasından başlayarak Kasım ayının ortalarına kadar örnek sayıları artırılarak gerçekleştirilmiştir. 2015 yılında yapılan arazi çalışmaları birbirinden farklı bölgelerden seçilen örneklerin incelenmesine yönelik makro düzeyde bir ön araştırma olarak da değerlendirilebilir. Altı test bölgesinin seçim kriteri; coğrafi konumları, arazi örtü yapısı, jeolojik genel yapısı değerlendirilerek belirlenmiştir. Altı test bölgesinden

üç tanesi mevcut jeotermal alanlarından, diğer üç tanesi de mevcut kil alanlarından seçilmiştir (Şekil 4.1).

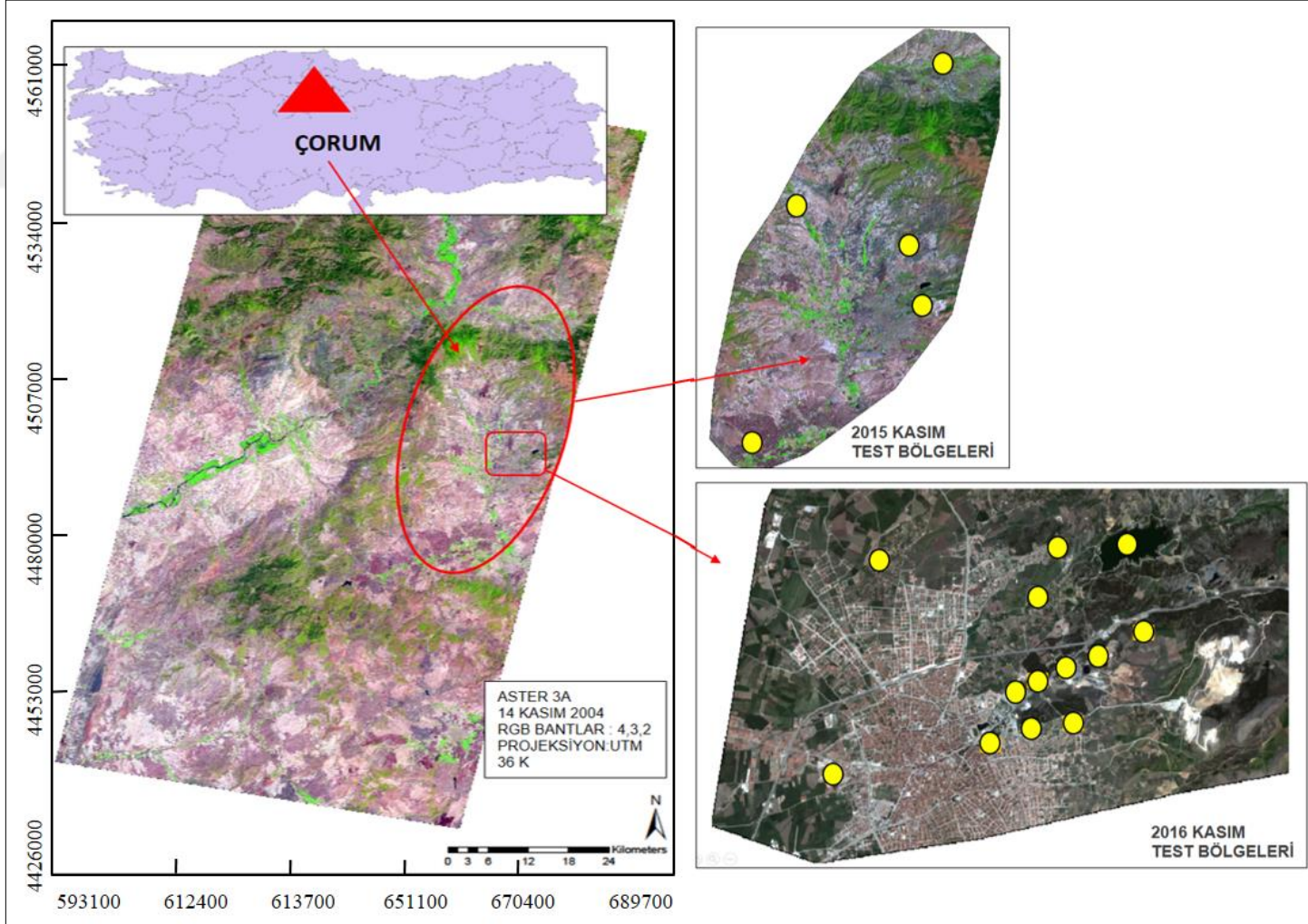
2016 yılında yapılan arazi çalışmaları, 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarının devamı ve artırılmış tekrarı niteliğinde olmuştur. 2015 yılında belirlenen altı test bölgesine, 2016 yılında 13 test bölgesi daha ilave edilmiştir. 2015 ve 2016 yılları Kasım ayının ilk haftasında başlayarak ortalarında tamamlanan arazi çalışmaları ile test bölgelerinde 548 örnekleme noktasında GPS ölçmeleri yapılmıştır. Bu noktaların konum verileri Türkiye ulusal sabit uydu istasyonları (TUSAGA-AKTİF) ağına dayalı olarak GPS ile alınmış ve ulusal koordinat sistemine dönüştürülmüştür.

GPS ile çalışılma nedenlerinden biri örnekleme noktalarının Google Earth, City Surf Globe ve Ortofoto haritalarındaki konumsal doğruluğunun test edilmesi, bir diğeri de yüksek uzaysal çözünürlüklü görüntülerle ASTER uydu görüntüsündeki konumsal doğruluğun kıyaslanmasına yönelik olmuştur. Örnekleme amaçlı yapılan arazi ölçmeleri ile örneklerin yersel doğruluğu dolayısı ile görüntü sınıflandırma doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.

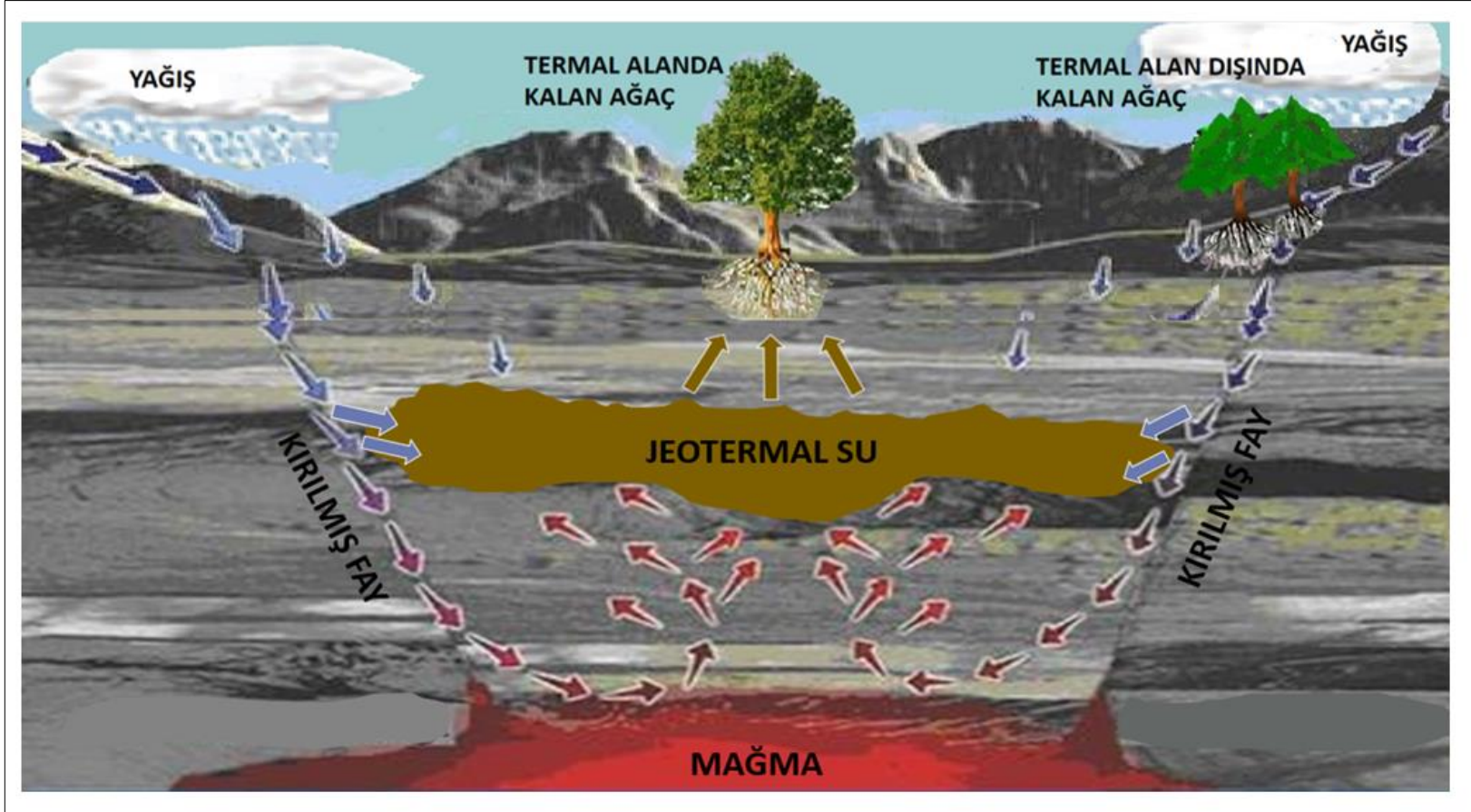
Spektrometre ölçmeleri için özellikle yapraklarını dökmeyen iğne yapraklı ağaçlar ele alınmıştır. Çalışma bölgesinin tipik doğal örtüsünde bulunan karaçam (pinus nigra) ve ikinci grup olarak aynı bölgelerde bulunan meşe (quercus) ağaçları ile toprak ve kayaç örnekleri görüntü sınıflandırma işlemlerinin örnek sınıflarını oluşturmak üzere seçilmişlerdir. 2016 yılında seçilen 13 test bölgesinin sınırları içerisinde bulunan termal tesis ve jeotermal sondaj çalışma alanları da göz önüne alınarak; çam, meşe, toprak ve kayaç türlerinden mümkün olduğunca çok sayıda örnek alınmıştır.

Tez çalışması için seçilen test bölgelerindeki konumları belirlenen örneklerin jeotermal suların etkilenip etkilenmediği irdelendiğinde; mevcut jeotermal tesis etrafından alınan örnekler ile tesislere uzak mesafeden seçilen aynı sınıftaki örneklerden özellikle çam sınıfında bulunanların spektral değerleri arasında yüksek farklılıklar gözlemlenmiştir (Alkan, 2017).

Jeotermal su içeriğinde bulunan özellikle kükürt içerikli minerallerin buharlaşma sonucu, arazi örtüsünü oluşturan elemanlardan en önemlisi olan ağaç köklerinin dolayısı ile de yapraklarının etkilenmesi söz konusudur (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 : Tez çalışma alanı için 2015 Kasım ve 2016 Kasım yıllarında seçilen test bölgelerinin konumsal dağılımı.



Şekil 4.2 : Jeotermal suların jeotermal alanda kalan ağaç köklerine olan etkisi (Modifiye edilmiş şekil, Url-8).

4.2.1 2015 yılında yapılan arazi çalışmaları

Tez çalışmasına yönelik olarak 2015 yılında yapılan arazi çalışmaları, tez çalışmasında kullanılan ASTER uydu verilerinin alındığı 14 Kasım tarihine denk getirilmesi amacı ile Kasım ayının ilk haftasında başlamış ve 15 Kasım da tamamlanmıştır. Bu tarihler yağışsız geçen bir döneme rastlamıştır.

2015 yılında Şekil 3.2 gösterildiği şekilde üç adet jeotermal ve üç adet kil test alanı seçilerek arazi çalışmaları yapılmıştır. Test alanlarındaki örnek nokta sayıları ve örneklerin alan değerleri Çizelge 4.1' de gösterilmiştir.

Şekil 3.2'de gösterilen Jeo-test1 olarak adlandırılan (1) numaralı jeotermal test alanı, Çorum İli merkezinin kuzey-doğusunda, merkeze 3700 metre uzaklıkta mevcut termal tesis ve jeotermal sondaj alanlarının bulunduğu yerde kalmaktadır. Mevcut termal tesis etrafından ve jeotermal sondaj çalışmalarının yapıldığı alandan termal-çam ve termal-meşe sınıflarını oluşturan örnekler alınmıştır. Termal tesise en az 5 km uzaklıktaki jeotermal bölgenin dışında kalan alandan ise termal alan-dışı çam ve meşe sınıflarına dahil edilen örnekler alınmıştır. Jeo-test1 alanından alınan toprak sınıfını oluşturan örnekler kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yüzey kireçtaşı kayasına ait blok şeklinde alınan örnekler kayaç sınıfını oluşturmuştur.

Jeo-test2 olarak adlandırılan (2) numaralı jeotermal test alanı, Çorum İli sınırları içerisinde merkeze 13050 metre uzaklıkta kuzey-batıda kalmaktadır. Bu bölgede bulunan Hamamlıçayköy termal tesis alanı jeolojik örtü biriminde, kalsiyum karbonat $CaCO_3$ (kireçtaşı) yüzeylemesi göstermektedir. Mevcut termal tesisin kuzey-batısında MTA kaynaklarında belirtilmiş Çatak, Türkler Köyü ve Hamamlıçayköy uzanımlı fay hatları mevcuttur. Mevcut termal tesis etrafından ve termal tesisin dışından alınan ağaç ve kayaç örnekleri, termal-alan ve termal alan-dışı örnekler olarak alınmıştır.

Jeo-test3 olarak adlandırılan (3) numaralı jeotermal test alanı, orta-kuzey Anadolu'nun Amasya-Çorum İlleri sınırında kalan Hamamözü İlçesinde jeotermal tesislerinde bulunduğu bir bölgede kalmaktadır. Mevcut termal tesis civarından ve tesise 4500 metre uzaklıkta alınan ağaç ve kayaç örnekleri de termal ve termal-dışı ağaç ve kayaç sınıflarına eklenmiştir.

Kil-test1 olarak adlandırılan (4) numaralı test alanı, kil-test2 olarak adlandırılan (5) numaralı test alanı, kil-test3 olarak adlandırılan (6) numaralı test alanlarından alınan

toprak örnekleri kil-1, kil-2 ve kil-3 sınıflarını oluşturulmuştur. Çorum İli merkezinin güney-batısında kalan kil-test1 ve kil-test2 olarak adlandırılan 4 ve 5 numaralı test alanlarında mevcut bir jeotermal tesis ya da jeotermal sondaj alanları bulunmamaktadır. Buradan alınan kil örnekleri ile Çorum İli genelinde tahmini potansiyel kil varlığının araştırılmasına yönelik olarak çalışılmıştır. Kil-test3 olarak adlandırılan (6) numaralı test alanı toprak sanayi madencilerinin faaliyet gösterdiği bölgede aynı zamanda üç mevcut jeotermal tesisin arasında kalmaktadır. Bu test alanının seçilme amacı ise kil ve jeotermal ilişkisinin araştırılması yöneliktir.

Çizelge 4.1 : Orta-kuzey Anadolu Bölgesi Çorum İli sınırlarında yapılan tez çalışmasının 2015 yılı arazi çalışmalarında alınan örnekleme noktalarının sayısı ve alansal dağılımı.

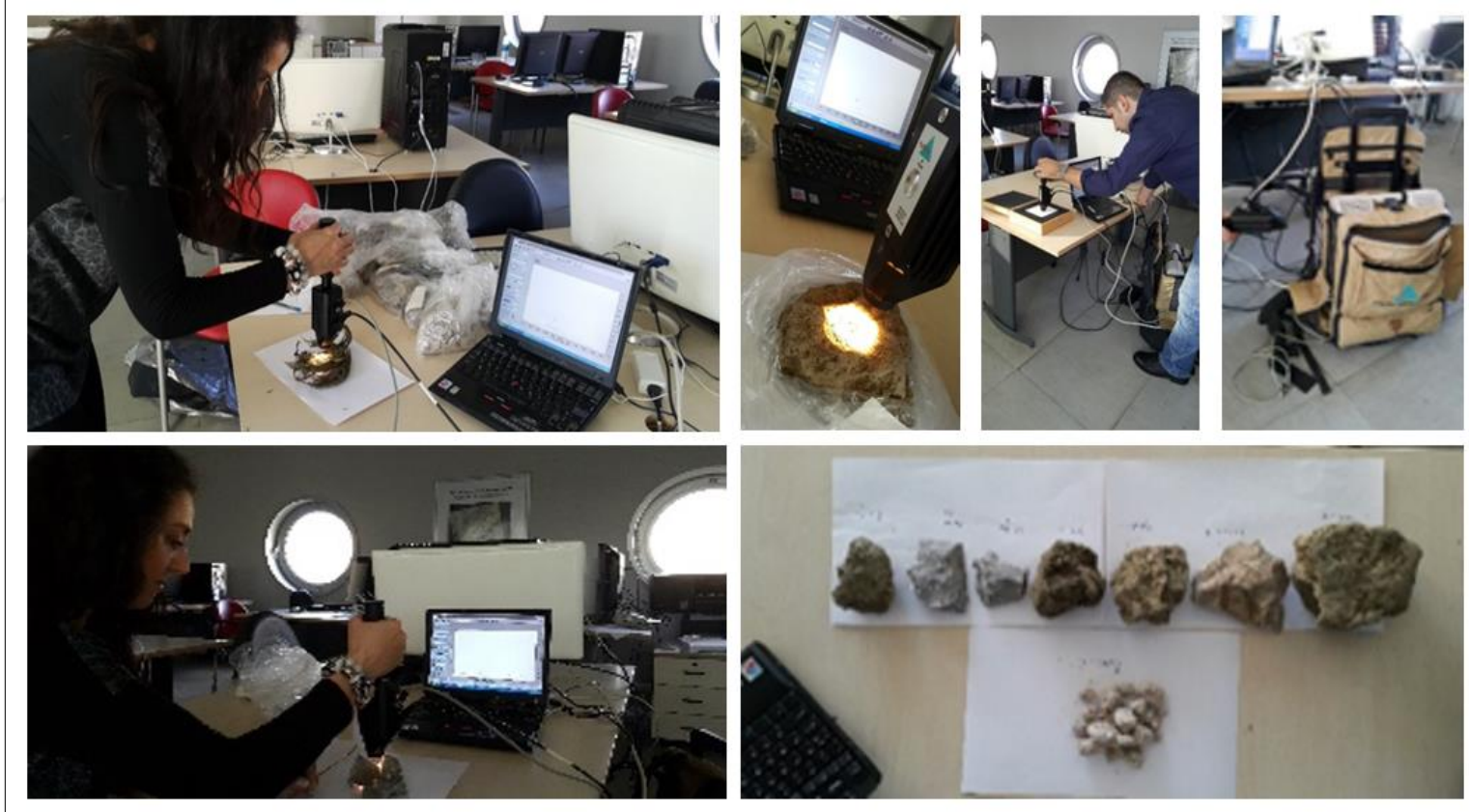
Test Alanı	Örnek Nokta Sayısı	Spektrometre ile Ölçülen Nokta Sayısı	Alan (ha)
(1) Jeotest-1	42	5	6132
(2) Jeotest-2	20	7	2777
(3) Jeotest-3	19	6	2139
(4) Kilest-1	21	4	1203
(5) Kilest-2	25	7	1823
(6) Kilest-3	18	4	1938
TOPLAM	145	33	16012

4.2.2 2015 yılında yapılan laboratuvar çalışmaları

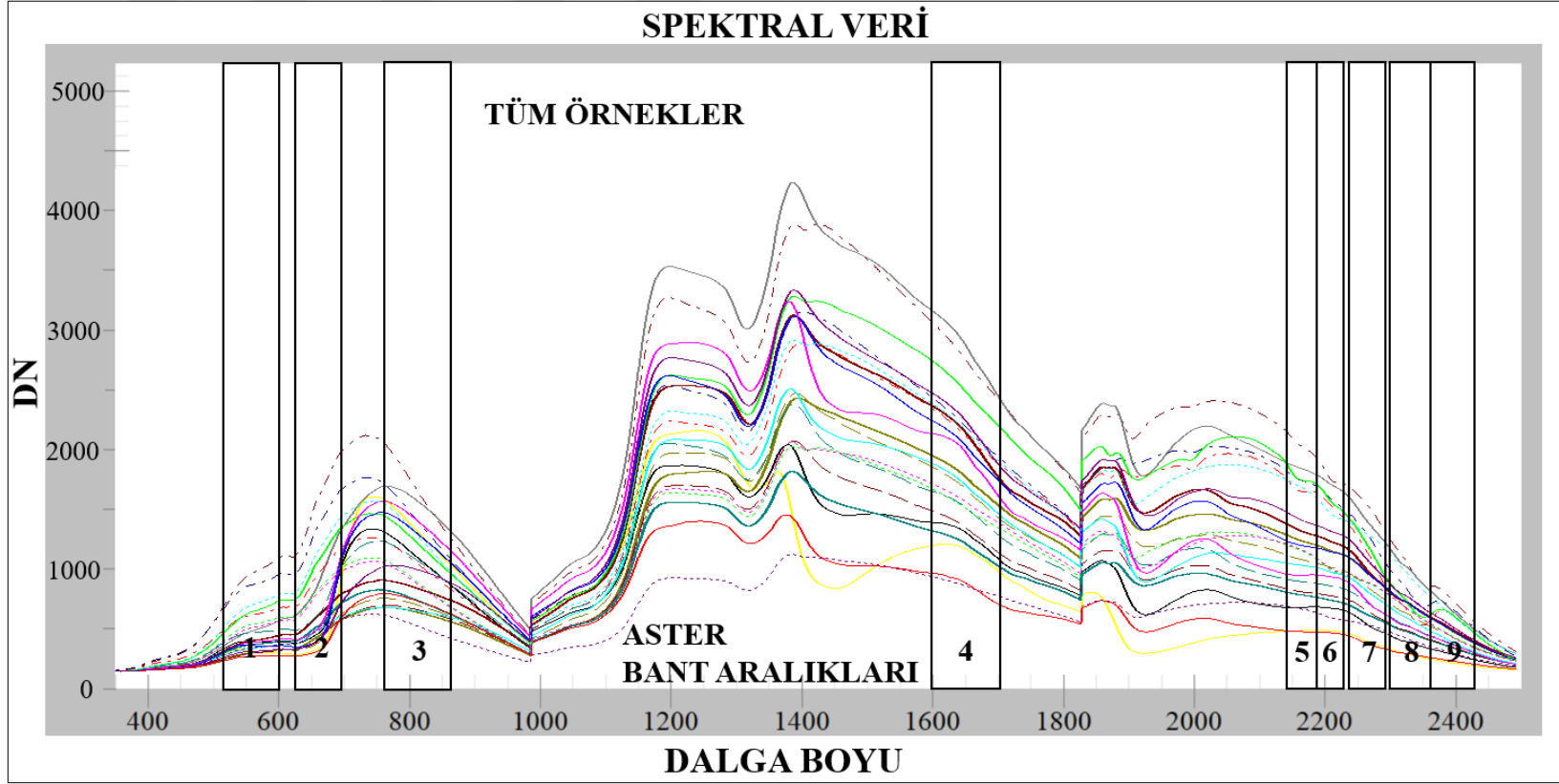
Jeo-test1, jeo-test2, jeo-test3 ile kil-test1, kil-test2 ve kil-test3 olarak adlandırılan altı test alanında spektrometre ölçmeleri yapılmak üzere seçilen örneklerin, 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarının tamamlanmasının hemen ardından laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. (Şekil 4.3).

Spektrometre ölçmelerinde her bir spektral örnek için, gürültü kirliliğinin azaltılması amacı ile bütün ölçmeler 20 tekrarlı olarak yapılmıştır. Çalışılan örneklerin spektrum ortalama değerleri hesaplanmış ve grafikleri çıkartılmıştır. Bu değerler hem DN olarak hem de reflektans olarak elde edilmiş, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterildiği gibi ASTER uydusunun 1’den 9’a kadar bant aralığında örtüştüğü spektral aralıklar gösterilmiştir.

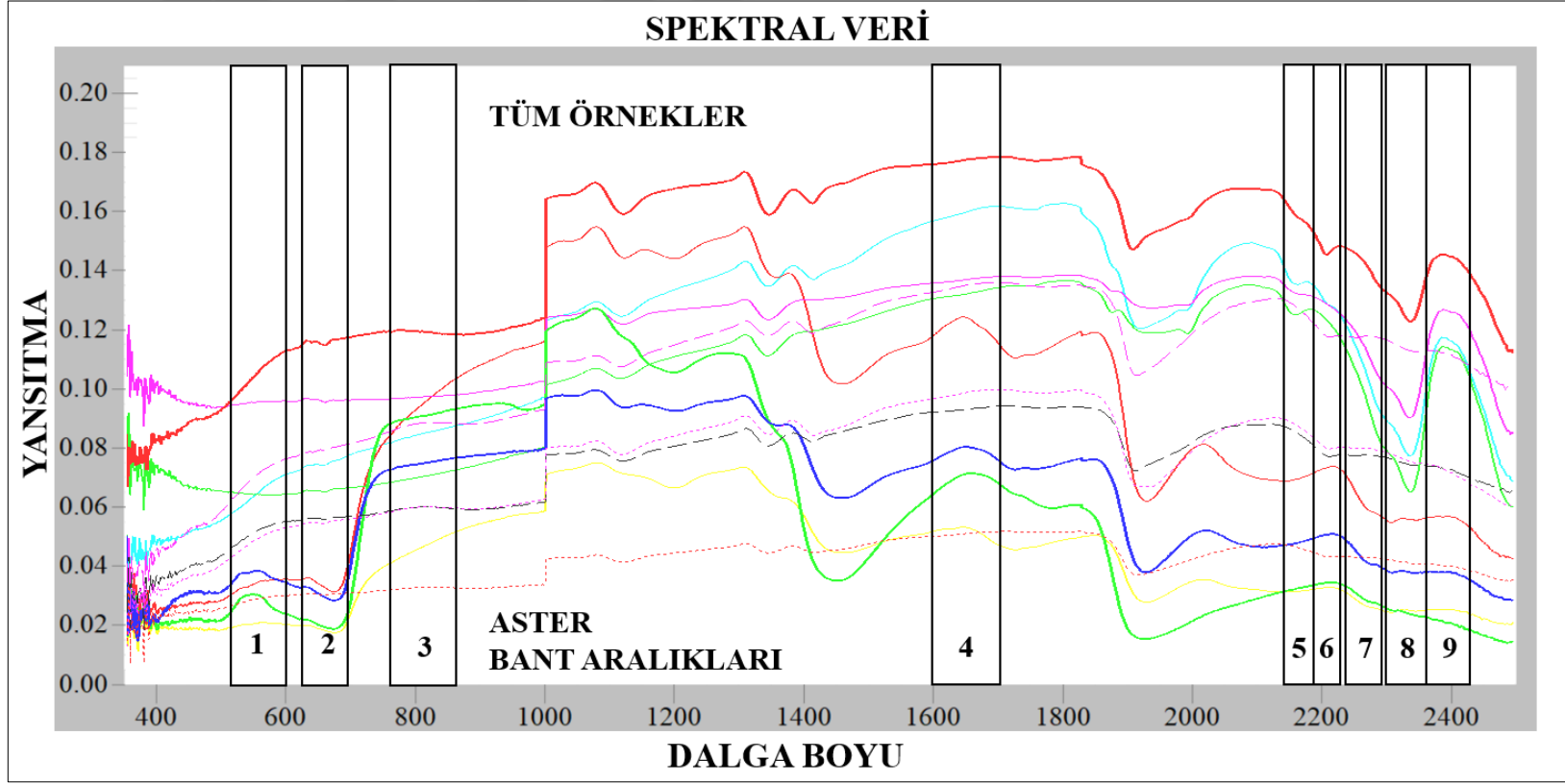
Test alanlarında bölgesel arazi örnekleri kullanılmıştır. Her bir bölgeye ait örneklerin spektral grafikleri, test alanları dağılımları ile Şekil 4.6’de gösterilmiştir. Bu örnekler daha sonra türlerine göre ayrılarak termal bölgeden alınan ve termal dışından alınan örnekler olarak gruplandırılmıştır.



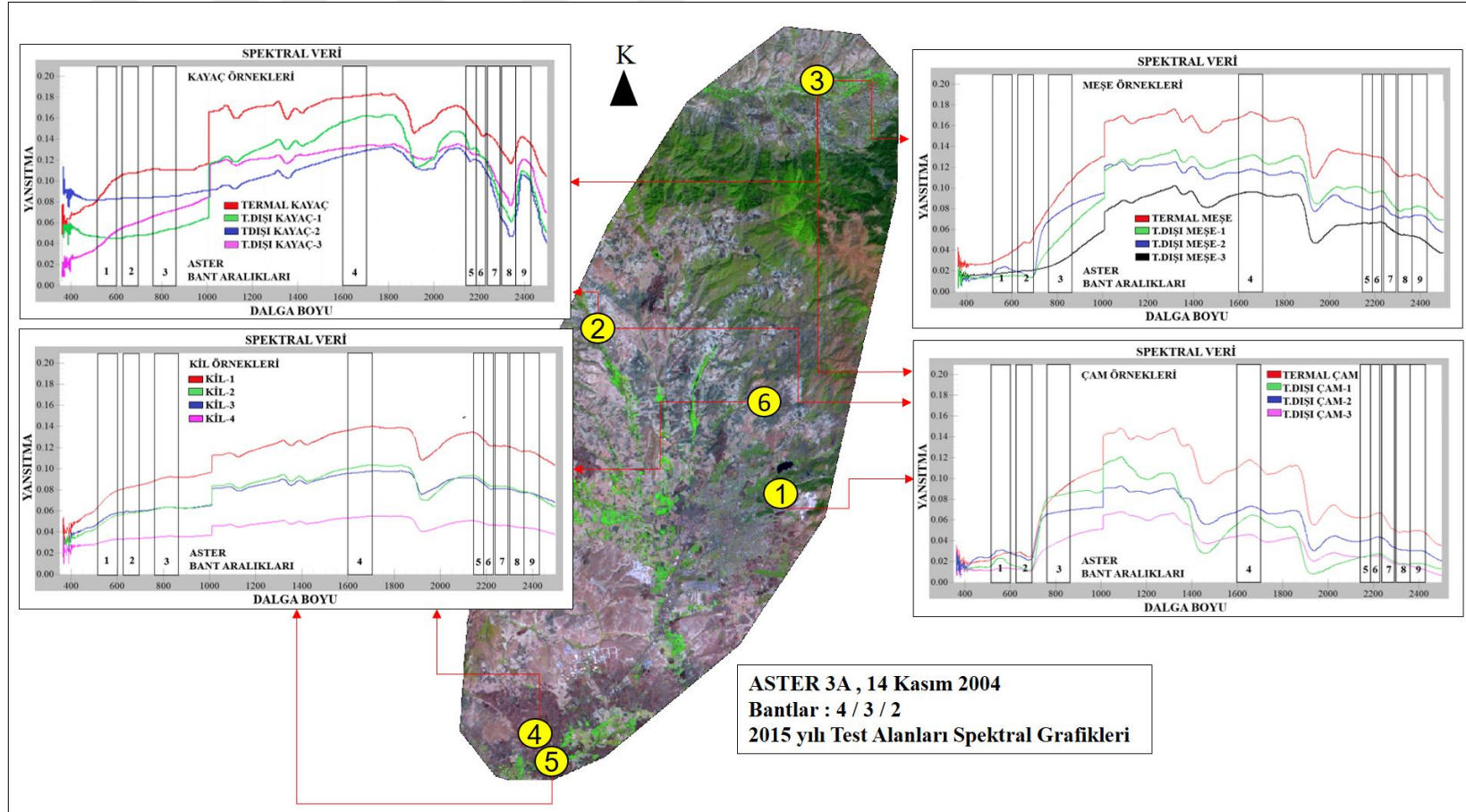
Şekil 4.3 : İTÜ UHUZAM laboratuvarında, 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında altı test bölgesinden alınan farklı türdeki örneklerin spektrometre ölçmeleri için yapılan laboratuvar çalışmaları.



Şekil 4.4 : Altı test bölgesinden 2015 yılında alınan örneklerin ASTER uydusu 1 ila 9. bantlarında tanımlanan spektral aralıkları.



Şekil 4.5 : Tez çalışma alanında 2015 yılında alınan altı test bölgesine ait örneklerin yansıtma değerlerinin ASTER uydusu 1 ila 9. bant spektral aralıklarında gösterimi.



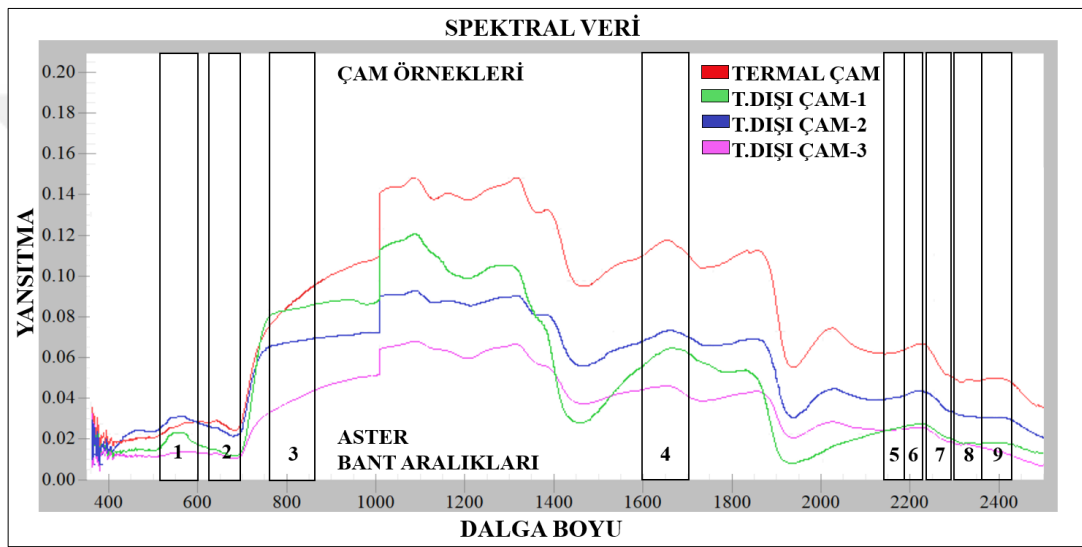
Şekil 4.6 : Tez çalışması için 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında altı test alanından alınan spektrometre ölçmeleri yapılmış, bölgelere özgü örneklerin arazi dağılımı ve yansıtma eğrileri.

Jeo-test1 ve jeo-test2 olarak numaralandırılan test alanlarından alınan, termal-çam termal alan-dışı çam örneklerinin spektral grafikleri Şekil 4.7 de gösterilmiştir.

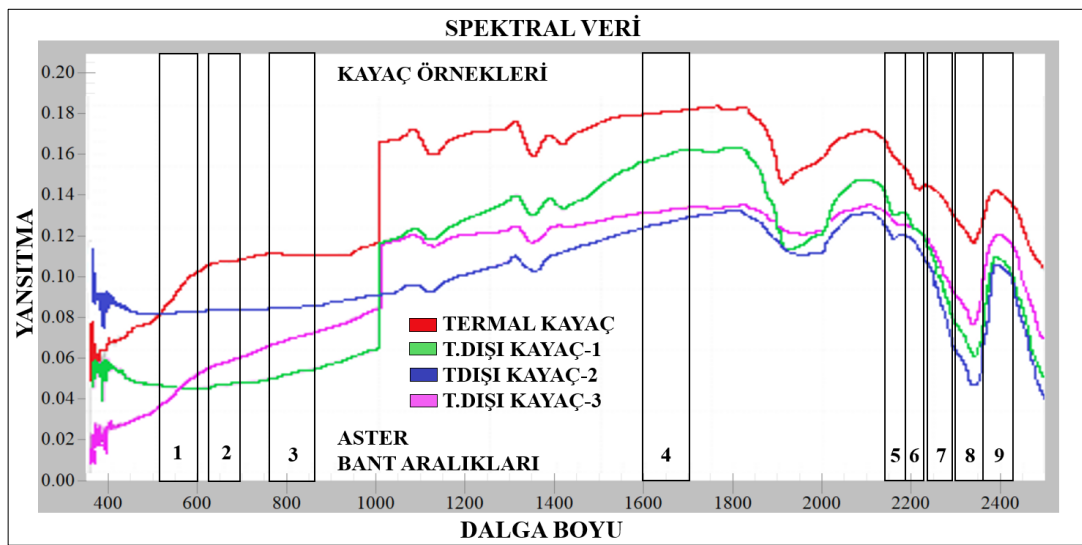
Jeo-test1 ve jeo-test2 olarak numaralandırılan test alanlarından mevcut jeotermal tesis alanından alınan kayaç örneklerinin spektral grafikleri Şekil 4.8 de gösterilmiştir.

Jeo-test3 olarak numaralandırılan test alanından alınan meşe ağaçlarına ait örneklerin yansıtma eğrileri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

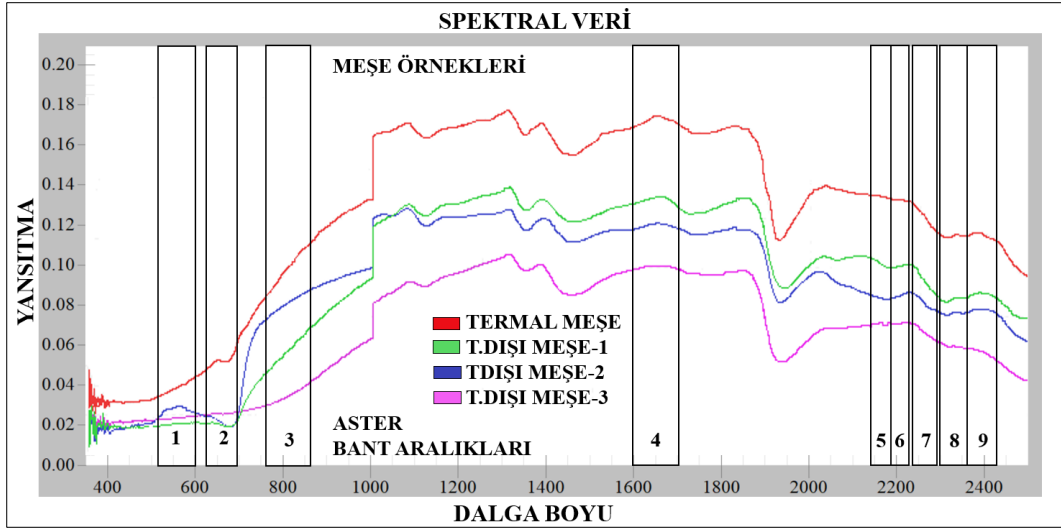
Kil-test1 ve kil-test2 test alanlarında, farklı noktalardan alınan kil örnekleri de spektral kütüphaneye ilave edilmiştir (Şekil 4.10).



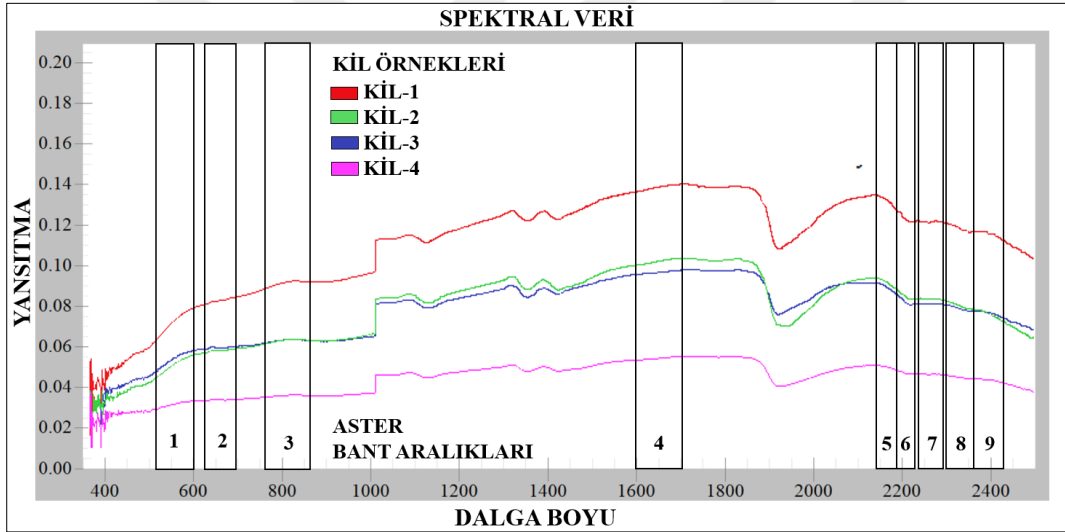
Şekil 4.7 : 2015 yılında jeo-test1 ve jeo-test2 test alanlarından alınan termal ve termal alan-dışı çam örneklerinin yansıtma eğrileri.



Şekil 4.8 : 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında jeo-test1 ve jeo-test2 test alanlarından alınan kayaç örneklerinin yansıtma eğrileri.



Şekil 4.9 : 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında jeo-test3 test alanından alınan meşe ağaçlarına ait örneklerin yansıtma eğrileri.



Şekil 4.10 : 2015 yılında yapılan arazi çalışmalarında kil-test1 ve kil-test2 test alanlarından alınan kil örneklerinin yansıtma eğrileri.

4.2.3 2016 yılında yapılan arazi çalışmaları

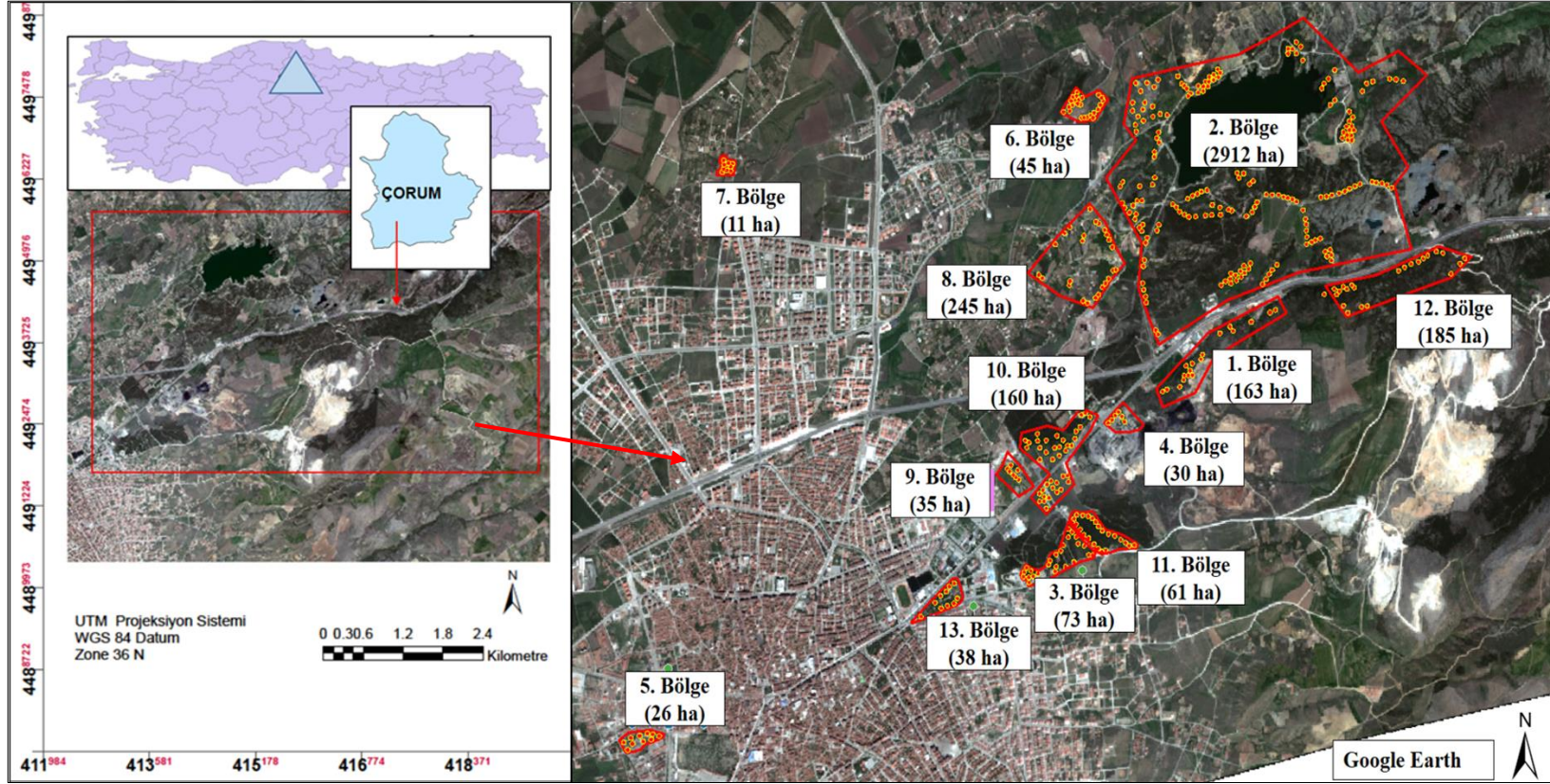
2016 yılında yapılan çalışmalar 2015 yılında yapılan çalışmalar ile aynı tarihlere denk gelecek şekilde planlanarak Kasım ayının ilk haftasından başlayarak 14 Kasım 2016 tarihinde tamamlanmıştır. 2016 yılında yapılan çalışmalar, 2015 yılında yapılan çalışmaların devamı niteliğinde olmuştur. Aynı zamanda Şekil 3.2’de gösterildiği gibi jeo-test1 olarak numaralandırılan jeotermal test bölgesine odaklanılan bir çalışma periyodu olmuştur. Örnek ağaç sınıfı olarak özellikle iğne yapraklılar seçilmiştir. Bölgenin Orman Genel Müdürlüğü (OGM) atlasında da belirtildiği üzere hakim ağaç türü karaçamdır. Farklı bölgelerden, aynı yaş gruplarından, mevcut termal tesis içinden

ve termal alan dışından alınan çam örnekleri tez çalışmasında tahmini potansiyel jeotermal alanların araştırılması amacı ile temel sınıfı oluşturmaktadır. Çam sınıflarının yanısıra test bölgelerinde bulunan meşe ağaçları da genellikle çamların yanında, karışık orman olarak nitelendirilen kısımlarda en fazla rastlanan ağaç olması nedeni ile tercih edilmiştir. Ayrıca termal tesis alanlarından ve termal alan-dışından alınan toprak ve kayaç grupları da sınıflandırma örneklerine dahil edilmiştir.

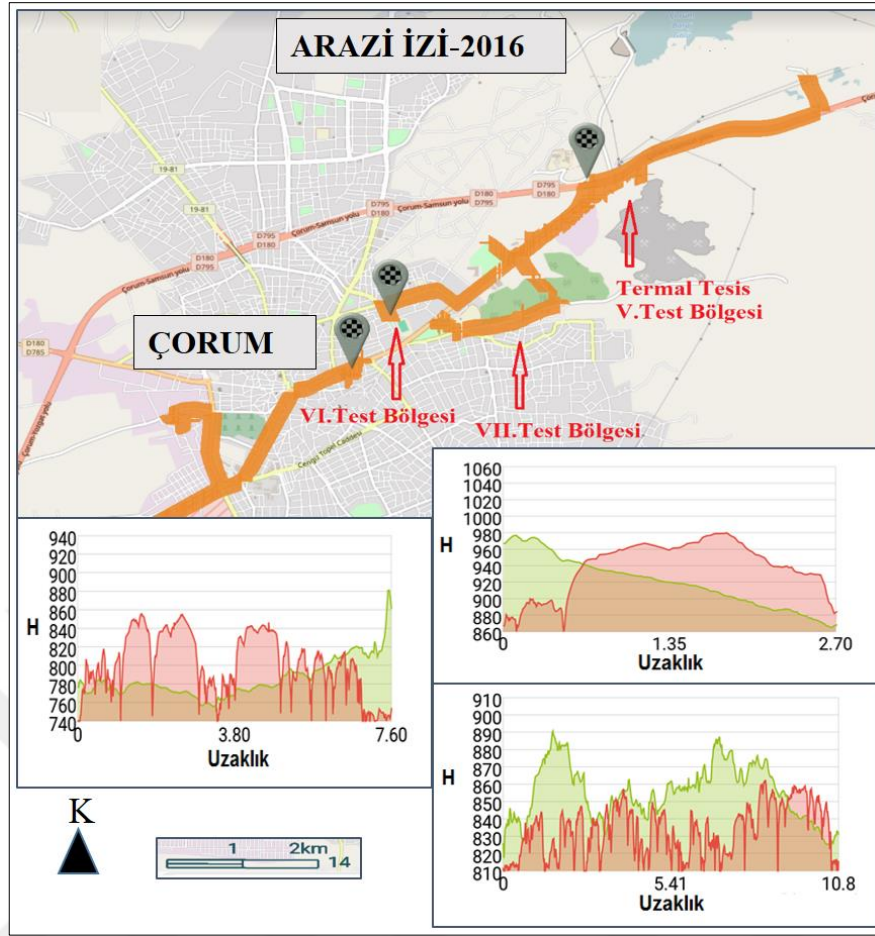
2016 yılı arazi çalışmalarından elde edilen örnekler, 2015 yılında spektrometre ölçmelerinde kullanılan örneklere eklenmiştir. Tez çalışması hedefine uygunluğu doğrultusunda jeo-test1 olarak numaralandırılan test alanı daha spesifik bir araştırma için Şekil 4.11’de gösterilen 13 test bölgesine ayrılarak, örnekleme noktalarının sayısı artırılmıştır.

2016 yılında yapılan arazi çalışmalarında bazı test bölgelerinin planlanması ve örneklerin seçimine yönelik bir arazi izi oluşturulmuştur. Arazi izi oluşturulan örnek sınıfların üç boyutlu koordinatları GPS yardımı ile ölçülmüştür. Engibeli coğrafyası ile dikkat çeken bölgede, farklı yüksekliklerde seçilen örneklerin yüksekliğe bağlı olarak gösterebileceği olası spektral farklılıklarının ve bulunduğu yüksekliklerdeki sıcaklık değişimlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Yükseklikleri 700 metrelerden 1300 metreye kadar değişkenlik gösteren 5., 6. ve 7. test bölgesinde bu uygulama yapılarak yükseklik grafikleri çıkartılmıştır (Şekil 4.12).

2015 yılında jeotermal ve kil alanlarını içeren altı test alanından 33 tanesi spektrometre ölçmelerinde kullanılmak üzere toplam 145 nokta kullanılmıştı. 2016 yılında ise 13 test bölgesinden, 65 tanesi spektrometre ölçmelerinde kullanılmak üzere 403 nokta alınmıştır. Bu noktaların örnek sayısına bağlı alan dağılımları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : 2016 yılında arazi çalışmaları yapılmak üzere oluşturulan 13 adet test bölgesinden alınan örnek noktalarının Google Earth’te konumsal ve alansal dağılımı.



Şekil 4.12 : 2016 yılında seçilen 13 test bölgesinden 5., 6. ve 7. test bölgesi için oluşturulan arazi izi ve yükseklik grafikleri.

Çizelge 4.2 : 2016 yılında arazi çalışmalarında 13 test bölgesinden alınan yer kontrol noktaları ve spektrometre ile ölçülen noktaların alansal dağılımı.

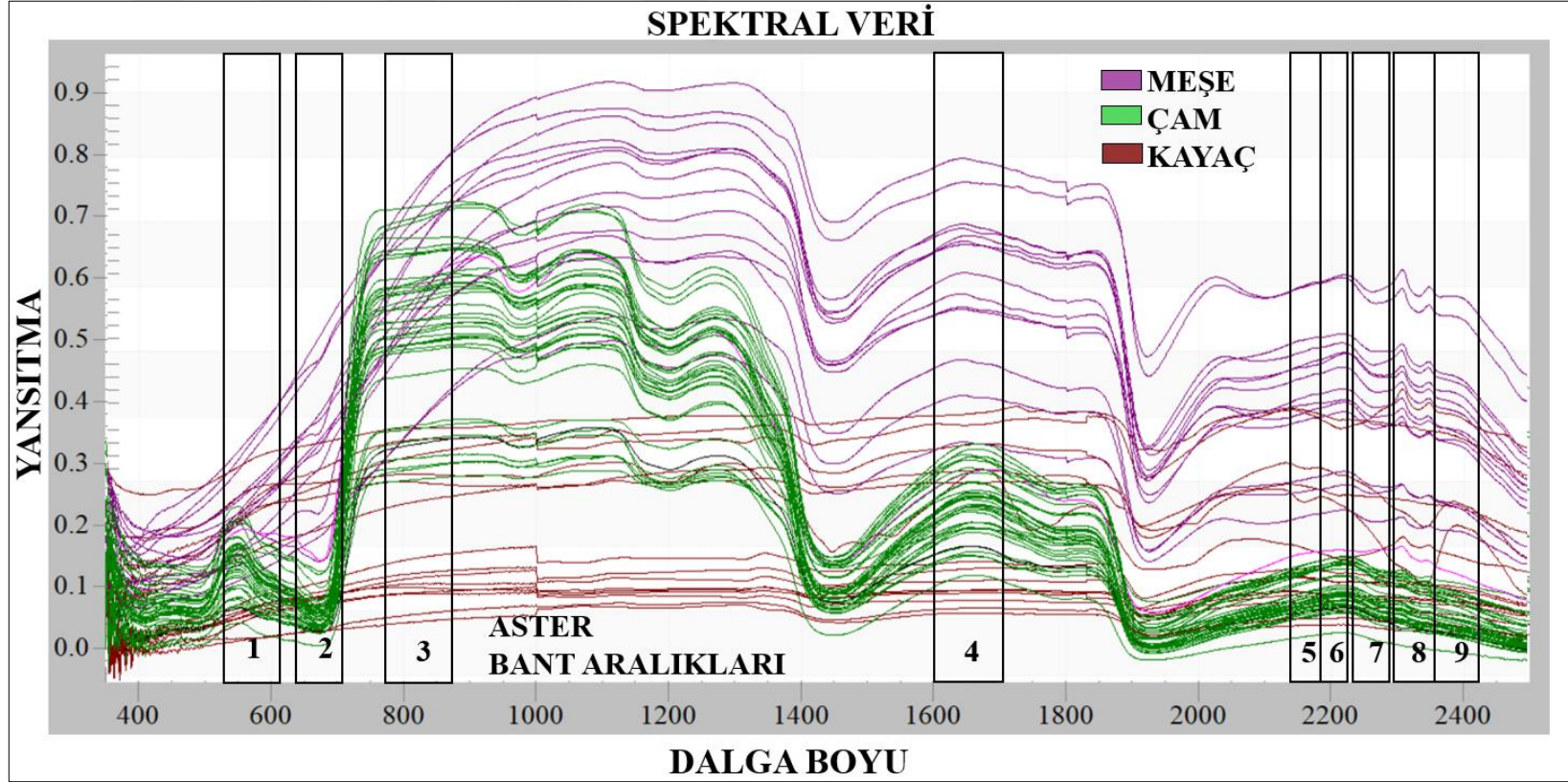
Test Bölgesi	Örnek Nokta Sayısı	Spektrometre ile Ölçülen Nokta Sayısı	Alan (ha)
1	38	13	163
2	91	13	2912
3	25	10	73
4	6	2	30
5	10	2	26
6	24	1	45
7	10	1	11
8	25	2	245
9	7	2	35
10	41	4	160
11	22	3	61
12	29	6	185
13	10	6	38
TOPLAM	338	65	3984

4.2.4 2016 yılında yapılan laboratuvar çalışmaları

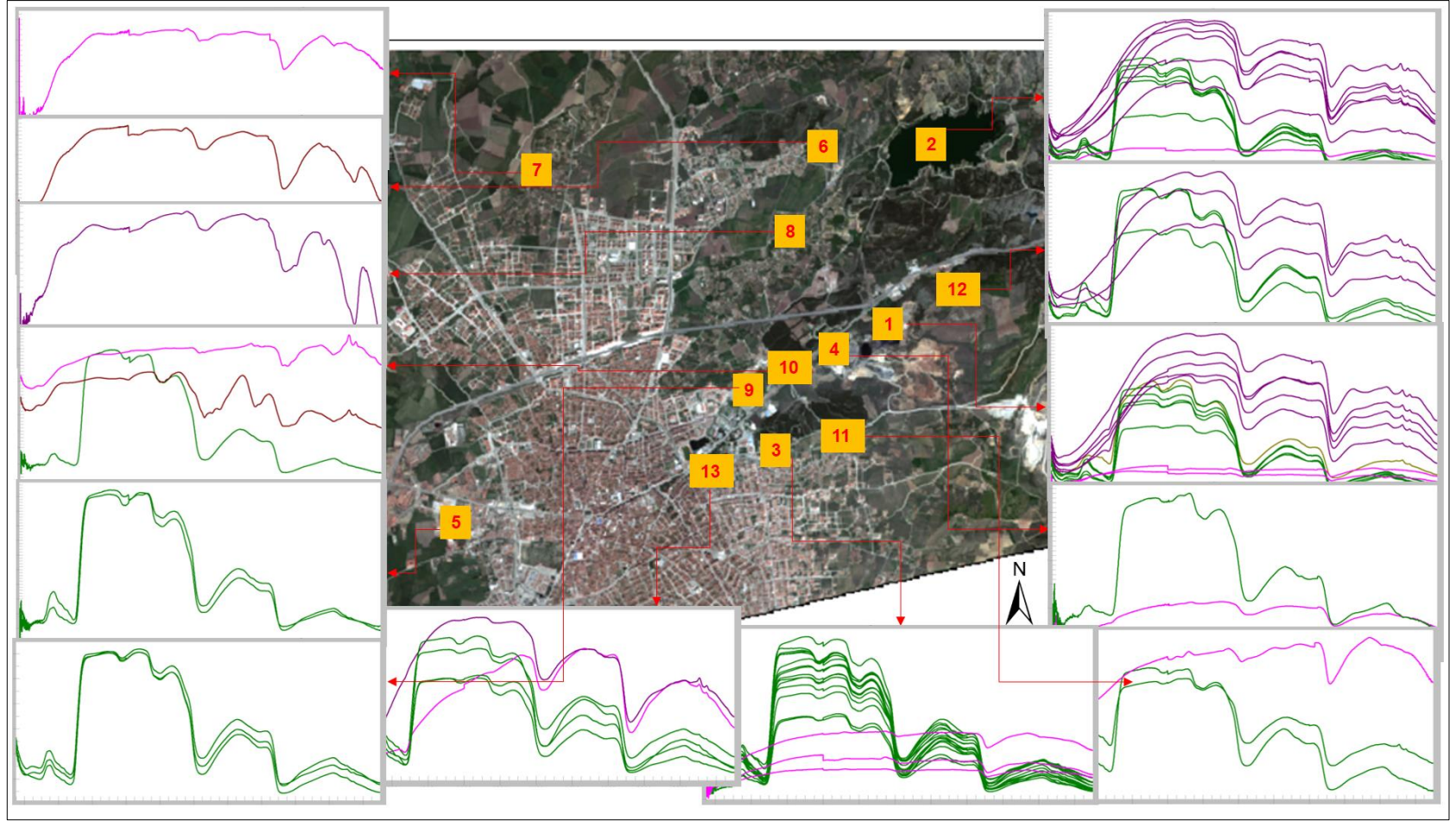
Tez çalışmasına yönelik olarak 2016 yılında yapılan laboratuvar çalışmaları arazi çalışmalarının bitirildiği 14 Kasım 2016 tarihinden hemen sonra ara verilmeksizin gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek için spektrometre ile 25 tekrarlı ölçüm ile elde edilen değerlerin, istatistiksel ortalaması alınmış ve her bir örnek için ayrı ayrı spektrum ortalama değeri elde edilmiştir. Bu değerler 2015 yılı laboratuvar çalışmalarında yapıldığı gibi; örneklerin yansıtma eğrileri çıkartılarak ASTER uydusu bant aralıklarında örtüştüğü spektral aralıklar gösterilmiştir (Şekil 4.13).

13 test bölgesinden alınan örneklerin yansıtma değerleri ve histogramları elde edilmiş, tez çalışma alanı üzerindeki arazi dağılımları ve yansıtma eğrileri Şekil 4.14' te gösterilmiştir.

Test bölgelerinin her birinden alınan, spektrometre ölçmeleri yapılan örnekler tez çalışma alanına ait spektral kütüphaneye eklenmişlerdir. Mevcut termal tesisin bulunduğu 1. test bölgesinde ölçmeleri yapılan örnekler termal çam, meşe, kayaç ve toprak, 2. test bölgesinden alınan örnekler termal-dışı çam, meşe, kayaç ve toprak türlerinden seçilmiştir. Jeotermal sondaj alanının bulunduğu 3. test bölgesindeki örnekler termal çam ve toprak olarak spektral kütüphaneye eklenmişlerdir. Jeotermal sondaj araştırmalarına çok yakın bir uzaklıkta bulunan 4. test bölgesindeki örnekler termal çam, 5. test bölgesinden alınan çam örnekleri ise termal alan-dışı çam örneklerine dahil edilmiştir. 6. test bölgesinden, geniş bir alana yayılmış olan örtü kaya olarak nitelendirilen alandan kayaç örneği alınmıştır. 7. test bölgesi örneği ise termal dışı alandan alınan toprak örneği olmuştur. 8. test bölgesinden kayaç ve toprak örnekleri alınmıştır. 9. test bölgesinden alınan örnekler jeotermal sondaj çalışma alanından alınan termal-çam, 10. test bölgesindeki tür de termal-çam örneğidir. Termal tesis dışında kalan 11. test bölgesindeki türler ise termal alan-dışı çam ve termal alan-dışı meşe olarak örnek sınıflara eklenmiştir. 12. test bölgesi termal tesisin hemen kuzey-doğusunda kalan ve muhtemel fay hattının bulunduğu blok alanında kalmaktadır. Bölgenin karışık orman türünü oluşturan çam ve meşe örnekleri, fay hatlarının potansiyel jeotermal varlığına işaret edebilirliği açısından örnek sınıflara alınmıştır. 13. test bölgesi termal tesisin güney hattında kalmaktadır ve bulunduğu konumun güney-doğu yönünde MTA jeolojik haritalarında fay yoğunluğu göstermektedir, aynı zamanda da jeotermal sondaj alanına yakın bir uzaklıkta kalmaktadır. Bu test bölgesinden alınan türler termal-çam sınıfına alınmıştır.



Şekil 4.13 : Tez çalışma alanında 2016 yılında yapılan arazi çalışmaları ile oluşturulan 13 test bölgesinden alınan spektrometre ile ölçülen örneklerin yansıtma eğrilerinin ASTER bant-1 ila bant-9 spektral aralıklarında gösterimi.



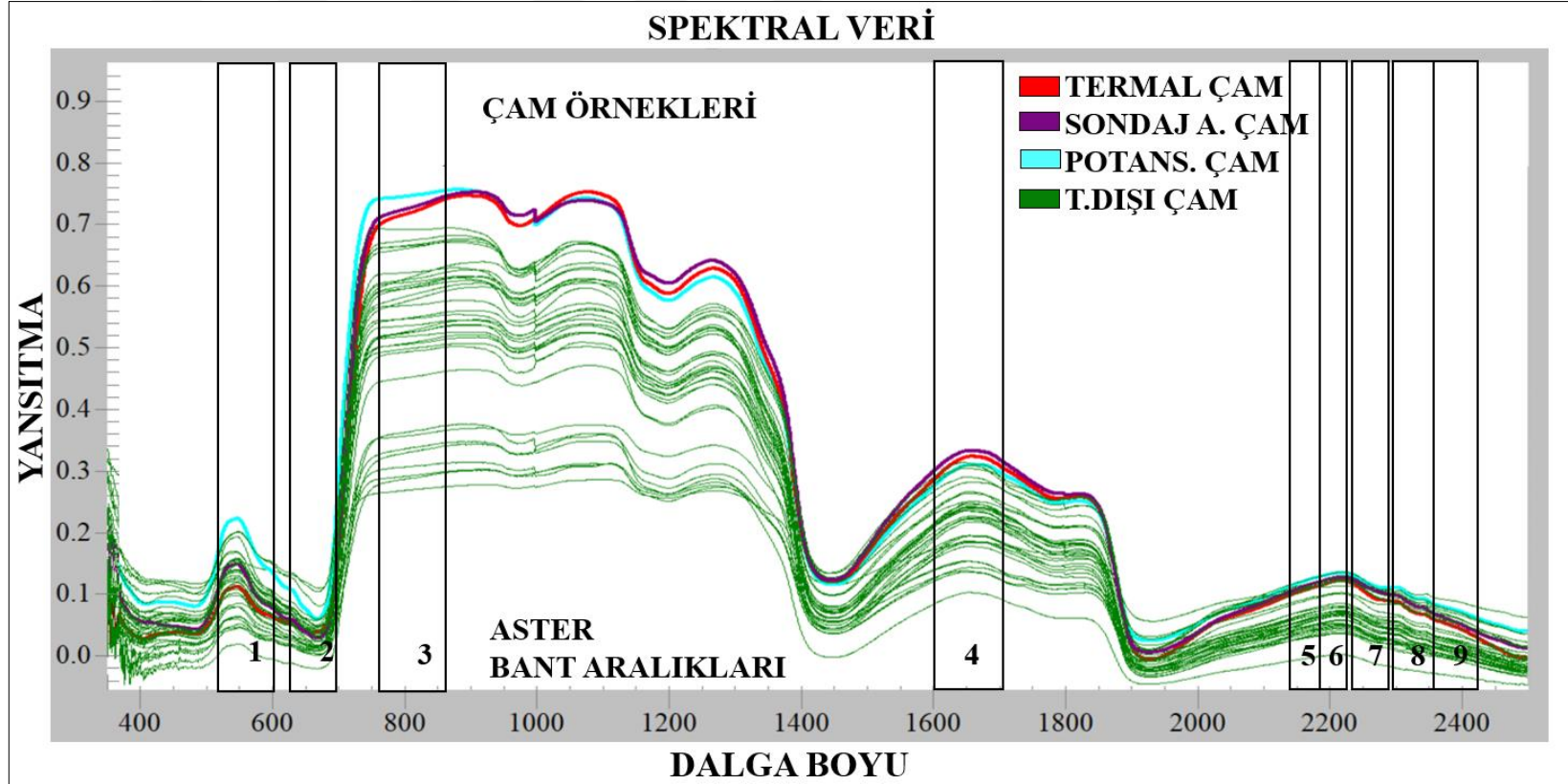
Şekil 4.14 : Tez çalışma alanında 2016 yılında spektrometre ile ölçülen örneklerin alındığı 13 adet test bölgesinin Google Earth üzerindeki arazi dağılımları ve yansıtma eğrileri.

Spektroradyometre ölçmeleri sonrasında elde edilen örnek sınıflar, kendi türleri arasında termal alan ve termal alan-dışında kalan olarak, spektral farklılıklarının araştırılması için ayrılmıştır. Bu amaçla öncelikle tüm test bölgelerinin bir arada değerlendirilmesi için çam örnek sınıflarının spektral yansıtma eğrileri çıkartılmıştır (Şekil 4.15).

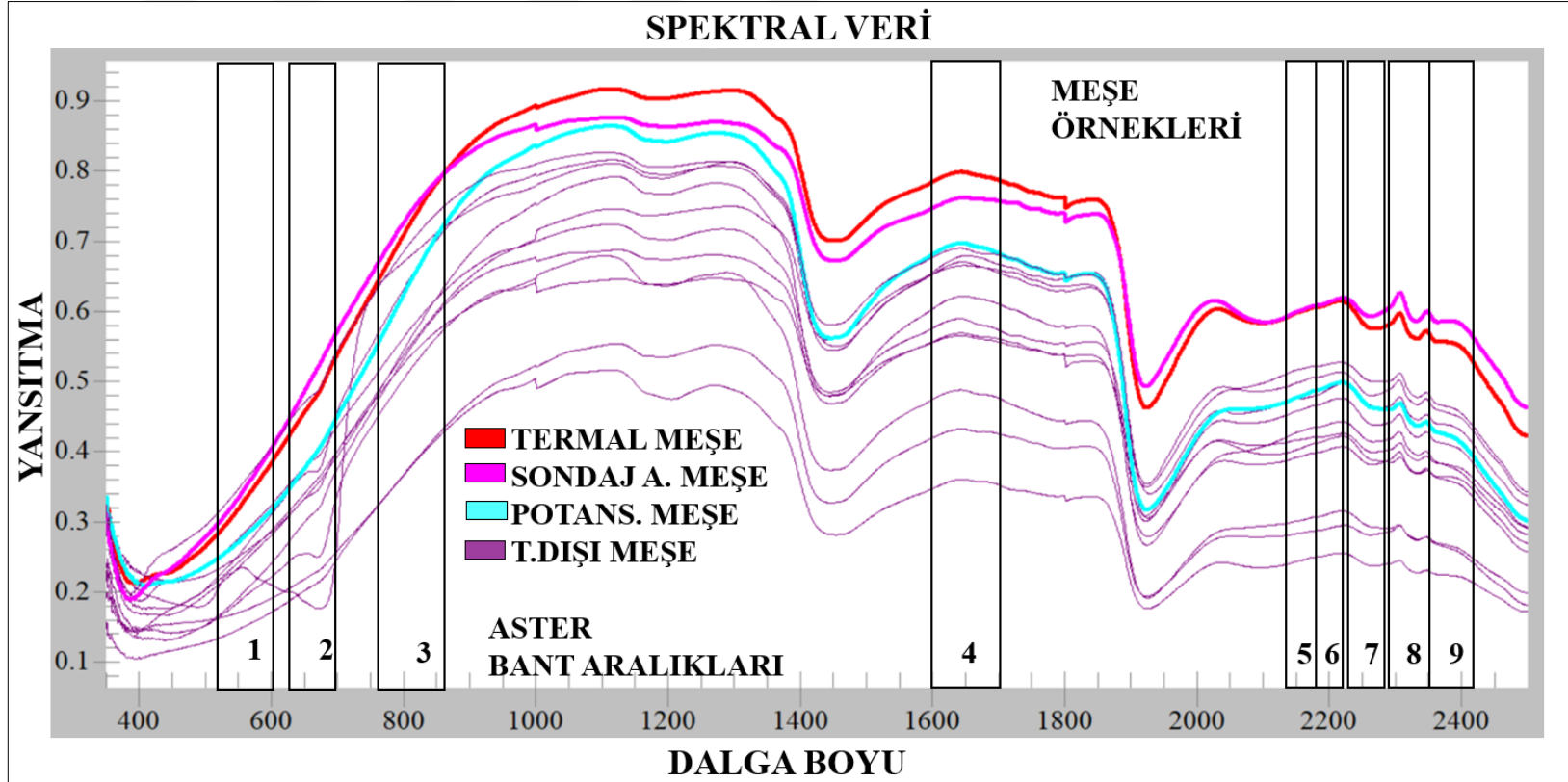
Bölgede çam grupları ile karışık ormanları oluşturan meşe türleri, ikinci ağaç sınıfı olarak 1., 2. ve 12. test bölgelerinden alınan tüm meşe örneklerinin spektral yansıtma eğrileri çıkartılmıştır (Şekil 4.16).

Mevcut jeotermal tesis alanı ve dışından çam ve meşe örnekleri ile birlikte alınan toprak ve kayalık örneklerinin, jeotermal sondaj çalışma alanlarından alınan toprak ve kayalık örneklerinin yedi test bölgesi için spektral eğrileri çıkartılmıştır (Şekil 4.17).

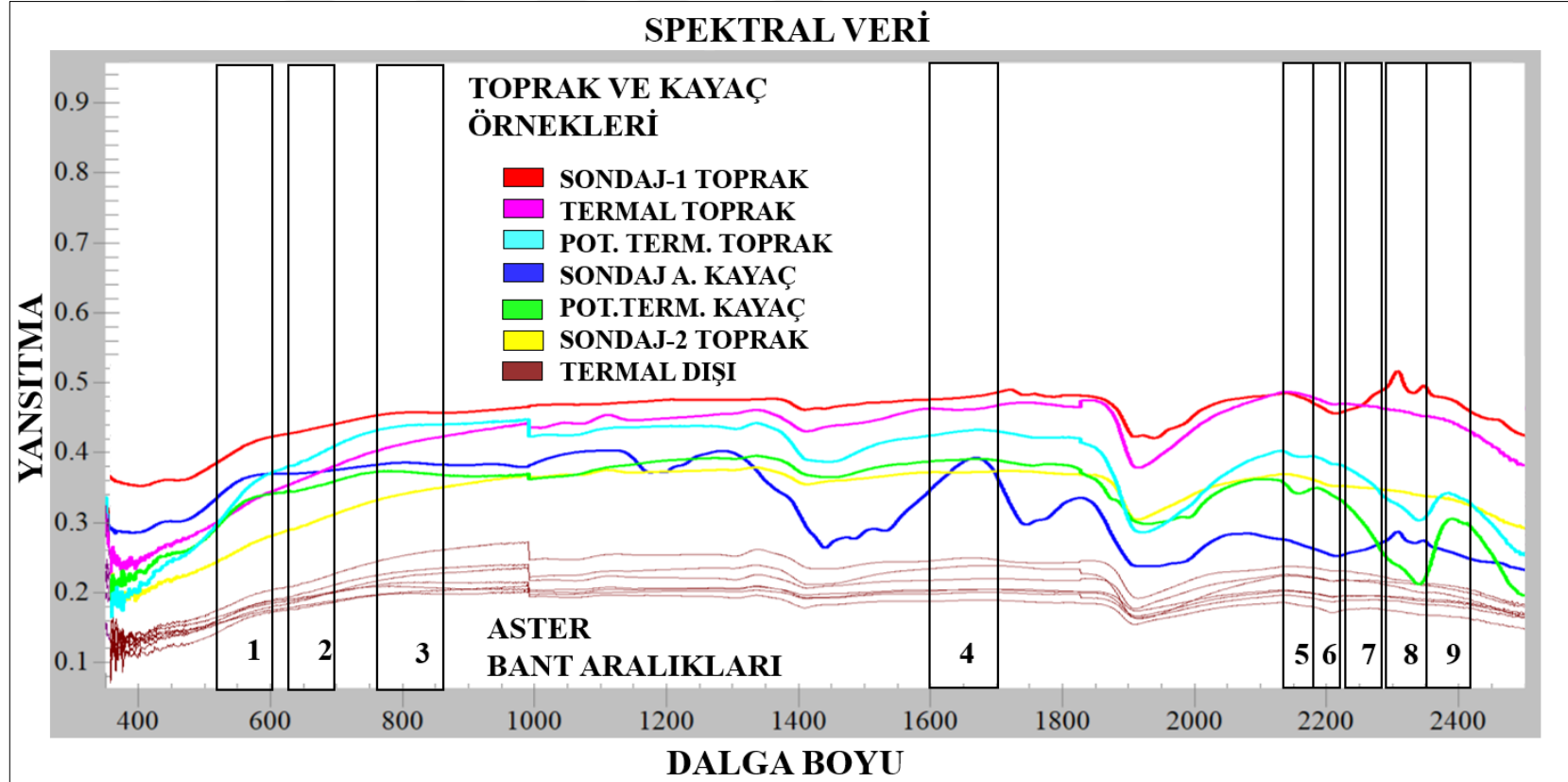
2016 yılında yapılan spektroradyometre ölçmelerinde 13 test bölgesinden alınan örnek sınıfların özeti niteliğinde elde edilen, en yüksek ve en düşük yansıtma değerlerine göre termal-çam, meşe, toprak ile termal alan dışı çam, meşe, toprak olarak spektral eğrileriyle Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



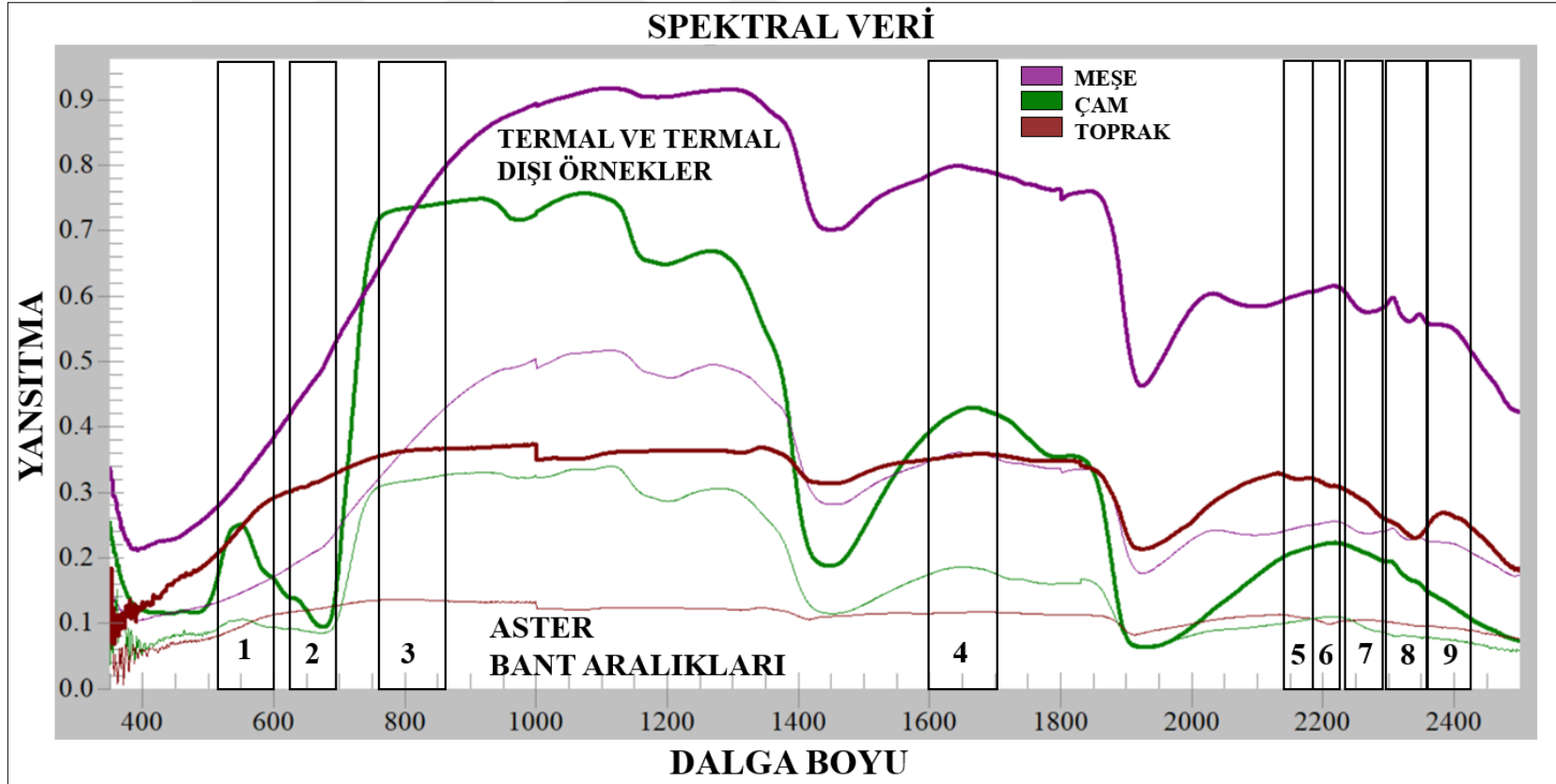
Şekil 4.15 : Tez çalışma alanında bulunan 13 adet test bölgesinden 2016 yılında spektrometre ölçmeleri yapılan, termal tesis alanı ve dışından alınan tüm çam örneklerinin yansıtma eğrilerinin ASTER uydusu yakın kızılötesi (SWIR) bant-1 ila bant-9 arasındaki gösterimi.



Şekil 4.16 : Tez çalışma alanında 2016 yılı arazi çalışmalarında 1., 2. ve 12. test bölgelerinden alınan, spektrometre ölçmeleri yapılan meşe örneklerinin yansıtma eğrilerinin ASTER uydusu yakın kızılötesi (SWIR) bant-1 ile bant-9 arasındaki gösterimi.



Şekil 4.17 : 2016 yılında yapılan arazi çalışmalarında 1, 2, 3, 7, 8, 10 ve 11 numaralı test bölgelerinden spektrometre ölçmeleri yapılan toprak ve kayaç örnekleri yansıtma eğrilerinin ASTER uydusu yakın kızılötesi (SWIR) bant-1 ila bant-9 arasındaki gösterimi.



Şekil 4.18 : Tez çalışmasında 2016 yılında yapılan arazi çalışmalarında 13 test bölgesinden alınan örneklerden en yüksek ve en düşük yansıtma değerlerini veren termal ve termal alan-dışı çam, meşe ve toprak örneklerinin, yansıtma eğrilerinin ASTER uydusu yakın kızılötesi (SWIR) bant-1 ile bant arasında gösterimi (Alkan 2017).

4.3 Spektral Analiz, Spektral Kütüphane Oluşturma, Spektral Ayırma

Tahmini potansiyel jeotermal alanların ve kil varlığının araştırılmasına yönelik olarak yapılan tez çalışmasında spektral analiz yapılabilmesi için Orta Karadeniz Bölgesinin Çorum İlinde, 2015 ve 2016 yılında spektrometre ile ölçülen tüm örnekler kullanılarak, bölgedeki arazi örtüsü için örnek bir spektral envanter çıkartılmış ve spektral kütüphane oluşturulmuştur.

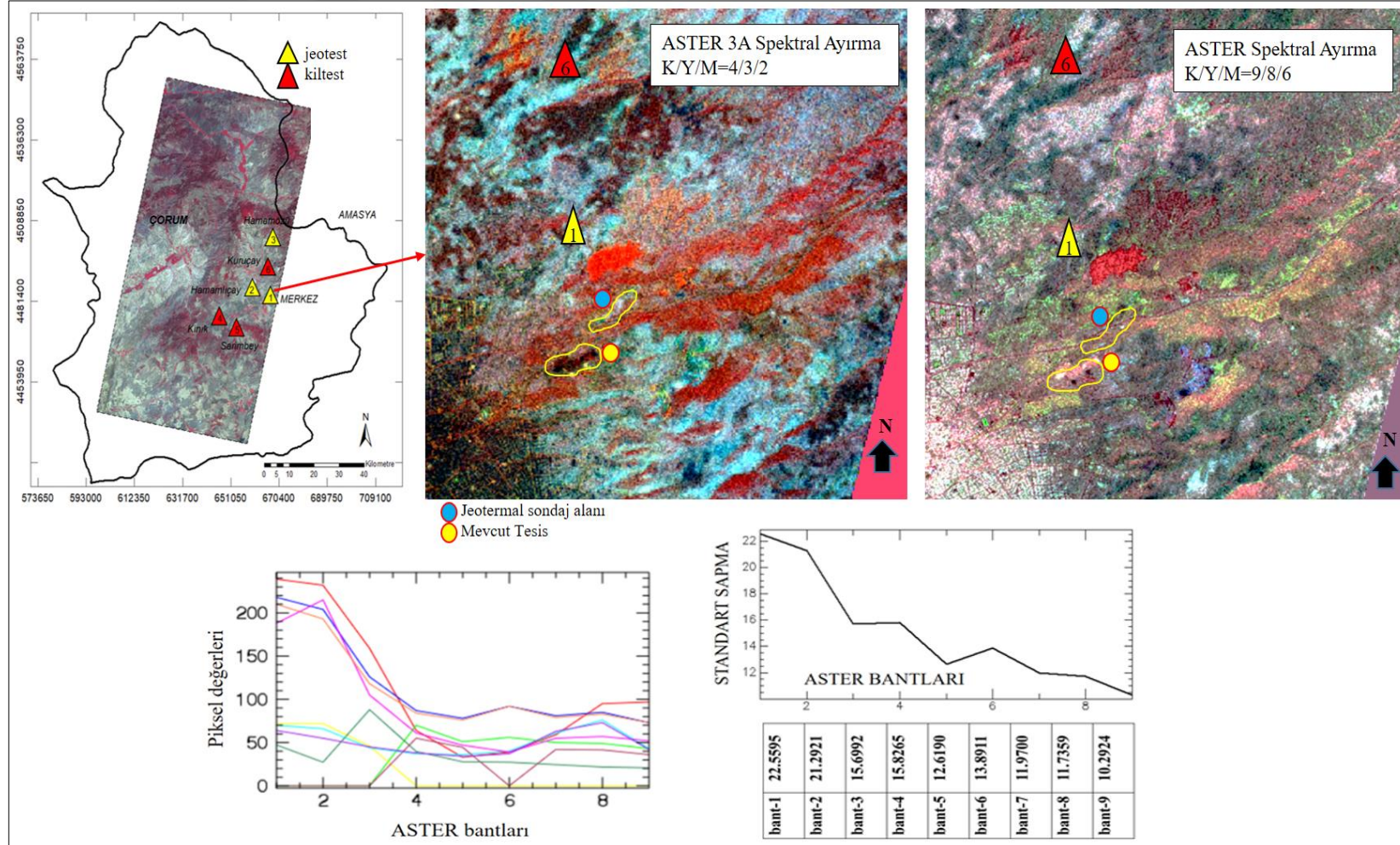
Görüntü sınıflandırma işlemlerine yol gösterecek olan ana sınıfları oluşturan çam, meşe, toprak ve kayalık örneklerinin spektral imzaları olarak adlandırılan, tekrarlı ölçmelerin spektrum ortalama değerleri spektral kütüphane verilerini oluşturmaktadır. Spektral örnekler Şekil 4.4 ve Şekil 4.13'te gösterilen, 2015 yılında seçilen altı test bölgesi ve 2016 yılında seçilen 13 test bölgesinde bulunan farklı ağaç ve bitki örnekleri, spektrum ortalama değerleri ile tahmini potansiyel jeotermal varlığının araştırılmasına yönelik olarak spektral kütüphane envanterine dahil edilmiştir .

Tez araştırmaları için 2015 ve 2016 yıllarında gerçekleştirilen spektrometre sonuçlarından elde edilen örnekler ile oluşturulan spektral kütüphane, tez çalışmasının her aşamasında başvuru önemli bir referansı oluşturmaktadır. Tez araştırmasının en önemli bölümlerinden biri olan spektrometre ölçme sonuçları ile elde edilen spektral kütüphane, tez çalışmasına yönelik olarak yapılan görüntü sınıflandırma işlemlerindeki örnek sınıfların ve sınıflandırma bantlarının seçiminde kullanılan kaynak olma özelliğindedir.

Bu amaçla araziden seçilen örneklerin spektrometre ölçmeleri kullanılarak ENVI programının spektral kütüphane oluşturma modülü yardımı ile, her bir örneğin spektral imzası olarak nitelendirilen spektral değerleri çıkartılarak ASTER uydusu bant aralıklarında örtüştürülmüştür.

Spektral analiz işlemlerinden bir diğeri de lineer spektral ayırma yöntemidir. Spektral özelliklerine bağlı olarak ASTER multispektral görüntüsünde tanımlanabilen arazi örneklerinin bağlı çokluğunu belirlemek üzere bu yöntem kullanılmıştır.

ASTER uydusunun VNIR ve SWIR veri setindeki dokuz bant ile spektral ayırma algoritması kullanılarak oluşturulan görüntü üzerinden elde edilen saf piksellere ait yansıtma eğrileri ve standart sapma değerleri Şekil 4.19' da gösterilmiştir.



Şekil 4.19 : Spektral ayırma yöntemi ile oluşturulmuş ASTER uydusu K/Y/M=4/3/2 ve K/Y/M=9/8/6 görüntüleri.

4.4 Uydu Verisi Görüntü Sınıflandırma İşlemleri

Çalışma alanında tahmini potansiyel jeotermal ve kil alanlarının araştırılmasına yönelik olarak arazi çalışmaları ile elde edilen; 2015 ve 2016 yılında belirlenen tüm test bölgelerinde GPS ile ölçülen 483 nokta, sınıflandırma işlemleri için örnekleme noktalarını oluşturmuştur.

Görüntü sınıflandırma işlemleri, tez çalışma amacına yönelik olarak iki farklı alanda gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi kil madenciliği araştırmalarını içeren potansiyel kil alanlarının belirlenmesi, ikincisi ise tahmini potansiyel jeotermal alanların belirlenmesi doğrultusunda olmuştur. Bu amaca yönelik olarak kullanılacak sınıflandırma yöntemlerinin seçimi için farklı algoritmalar araştırılmış, tez çalışması için En Yüksek Benzerlik (EYB) ve Spektral Korelasyon Haritalama (SKH) algoritmaları seçilmiştir.

Sınıflandırma işlemleri öncesinde ise spektrometre ölçmeleri ve GPS ölçmeleri yapılarak termal alan ve alan-dışı çam, meşe, toprak, kayaç olmak üzere sekiz farklı sınıfa atanan örneklerin koordinat değerleri, ASTER uydu görüntüsü ile aynı projeksiyonda vektör veri olarak hazırlanmıştır.

Sınıflandırma işlemlerinde spektrometre sonuçlarından elde edilen ve örneklerin birbirine mümkün olduğunca karışmadığı bant aralıklarına dayalı olarak bant seçimleri yapılmıştır. Özellikle termal-çam, termal-meşe, termal-toprak ve termal kayaç olarak adlandırılan örnek sınıfları için ASTER uydusunun görünür kızılötesi (VNIR) 2 ve 3 numaralı bantları ile yakın kızılötesi (SWIR) 4 numaralı bantı sınıflandırma işlemlerinde en uygun bantlar olmuştur.

Ayrıca, tez çalışma alanında arazide oluşabilecek sıcaklık farklılıkları ve sapmaların jeotermal araştırmalarda önemi dikkate alınmıştır. Bu amaçla ASTER uydusunun 12, 13 ve 14 numaralı termal bantları kullanılarak termal sınıflandırma işlemi yapılmıştır.

4.4.1 En yüksek benzerlik sınıflandırması (EYB)

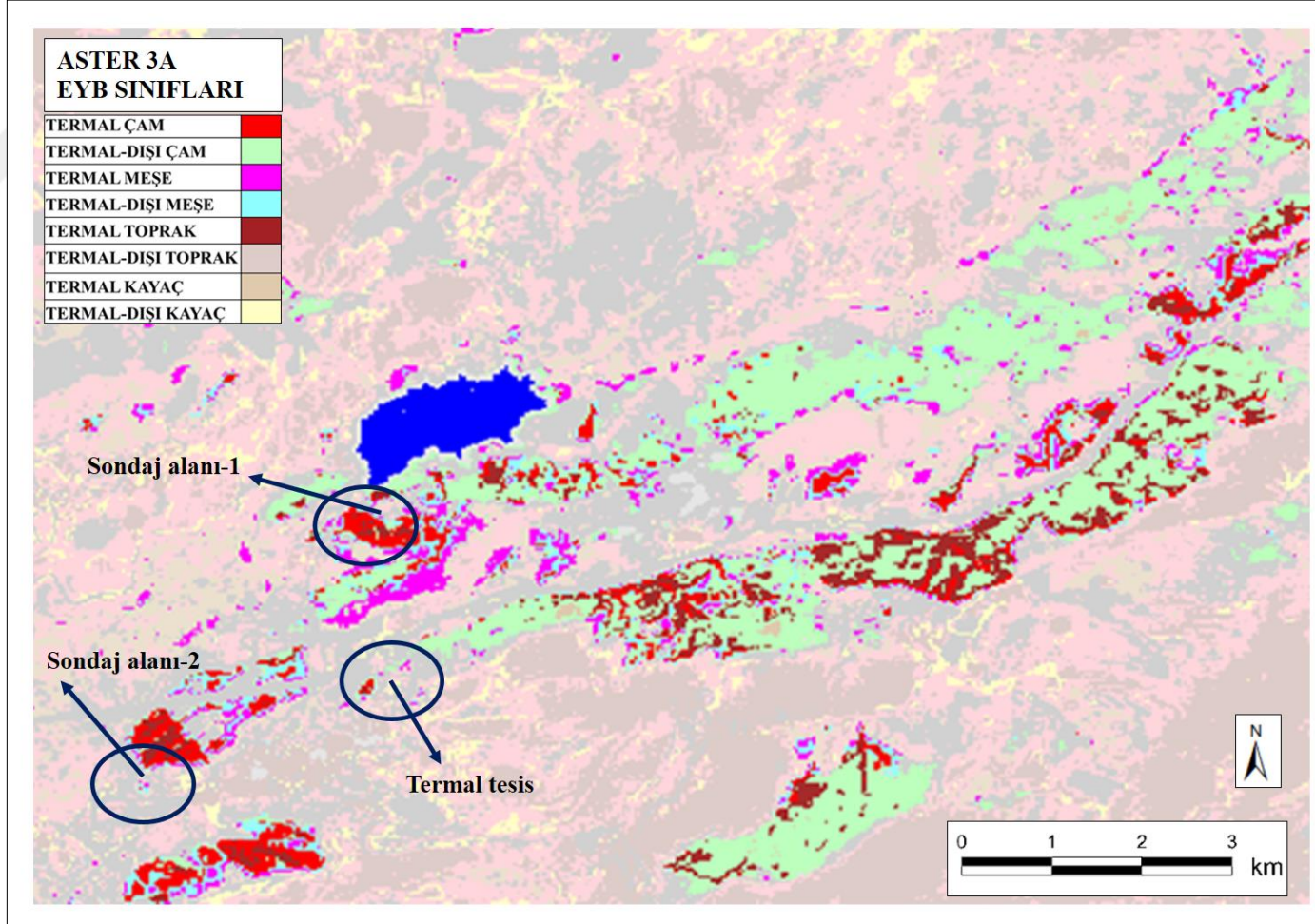
2015 ve 2016 yıllarında arazi çalışmalarında elde edilen yer kontrol noktalarından yararlanılarak yapılan ilk sınıflandırma çalışmasında UA araştırmacılarının yaygın olarak çalıştığı EYB yöntemi kullanılmıştır.

Sınıflandırma hem tahmini potansiyel jeotermal ve hem de tahmini potansiyel kil alan araştırması için yapılmıştır. Tahmini potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine

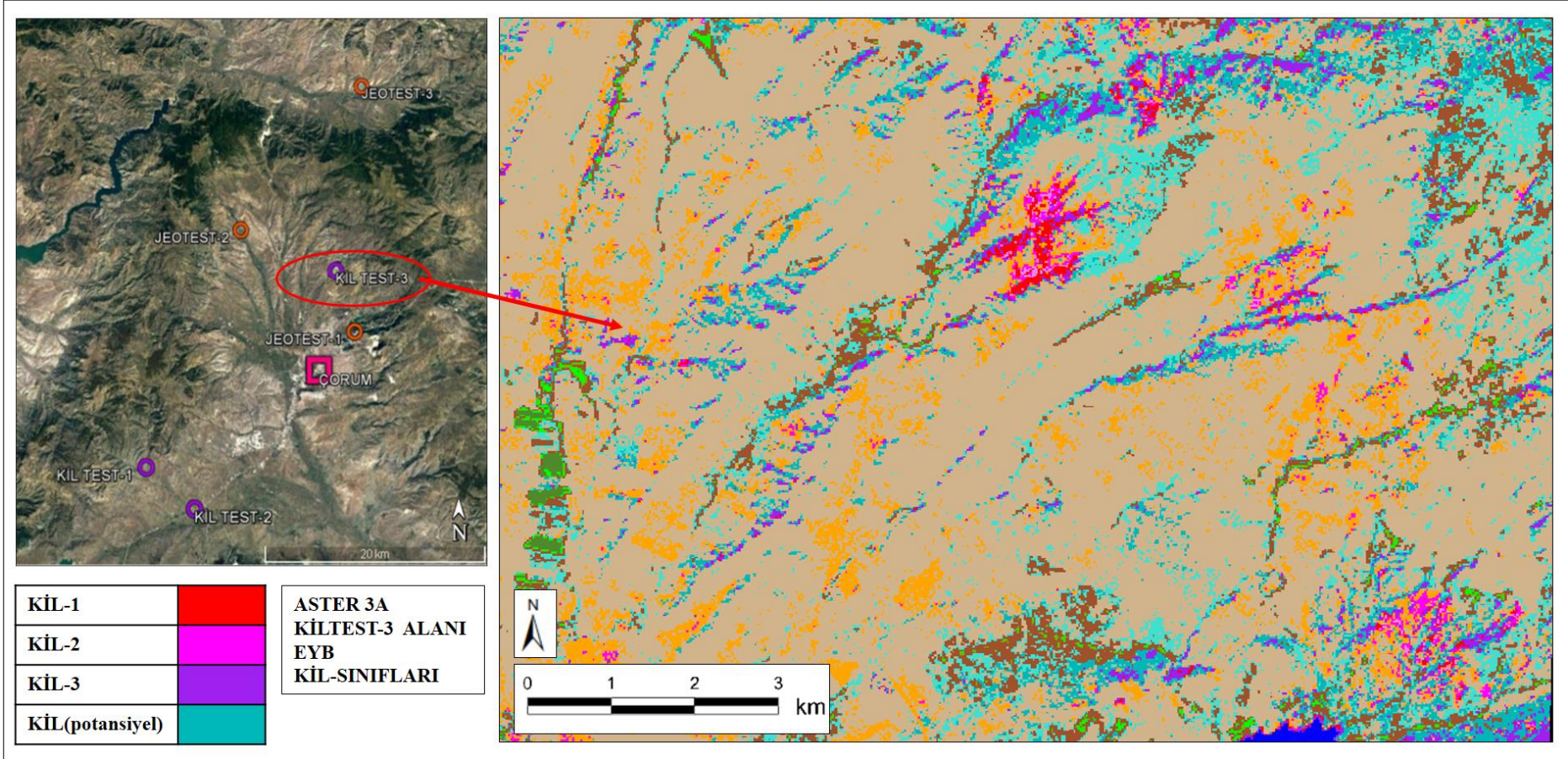
yönelik olarak, 2015 yılında jeo-test1 olarak numaralandırılan test alanından 2016 yılında türetilen 13 test bölgesini kapsayan alanda sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Test bölgelerinden seçilen arazi örneklerinin spektrometre sonuçlarına göre optimum oranda karışmadığı ve ayırt edilebildiği ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantları sınıflandırma işleminde kullanılmıştır.

Termal çam, termal meşe, termal toprak, termal kayaç ve termal alan-dışı çam, termal alan-dışı meşe, termal alan-dışı toprak, termal alan-dışı kayaç olarak seçilerek, Şekil 4.20'de gösterildiği gibi sekiz ana sınıf ile EYB sınıflandırması çalışılmıştır. Bu sınıflandırmada test bölgelerinde GPS ve spektrometre ölçmelerinden elde edilen örnek sınıfları da içeren 500'e yakın örnekleme noktası kullanılmıştır.

Tez kapsamında potansiyel kil alanların araştırılmasına yönelik olarak 2015 ve 2016 yılında yapılan arazi çalışmaları ile alınan 100 civarında kil örnek noktası EYB sınıflandırmasında örnekleme noktaları olarak kullanılmıştır. Kil sınıflandırma alanı, jeotermal sınıflandırma yapılan alanın yaklaşık 2 km kuzeyinde bulunmaktadır. Spektrometre sonuçlarında Şekil 4.17'de gösterildiği gibi kayaç ve toprak örneklerinin çoğunlukla karışmadığı ASTER uydusu 2., 3. ve 4 bantları sınıflandırma işleminin bantlarını içermiştir. 2015 yılı arazi çalışmalarında seçilen, Şekil 3.2' de gösterilen kil-test1, kil-test2 ve kil-test3 olarak numaralandırılan test alanlarından alınan kil örnekleri ana sınıfları oluşturmuştur. Şekil 4.11'de gösterilen 2016 yılında seçilen 13 test bölgesinden 1, 2, 3, 7, 8, 10, ve 11 olarak numaralandırılan yedi test bölgesinden alınan toprak örnekleri de tahmini potansiyel kil sınıfı olarak alınmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.20 : 2016 yılında 13 test bölgesinde yapılan tez araştırma alanında, 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile oluşturulan EYB sınıflandırması sonuç görüntüsü



Şekil 4.21 : Tez çalışmasında tahmini potansiyel kil varlığının araştırılması amacıyla 2015 ve 2016 yıllarında test bölgelerinden alınan örneklerle kil-test3 alanında yapılan, 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile oluşturulan EYB sınıflandırması sonuç görüntüsü.

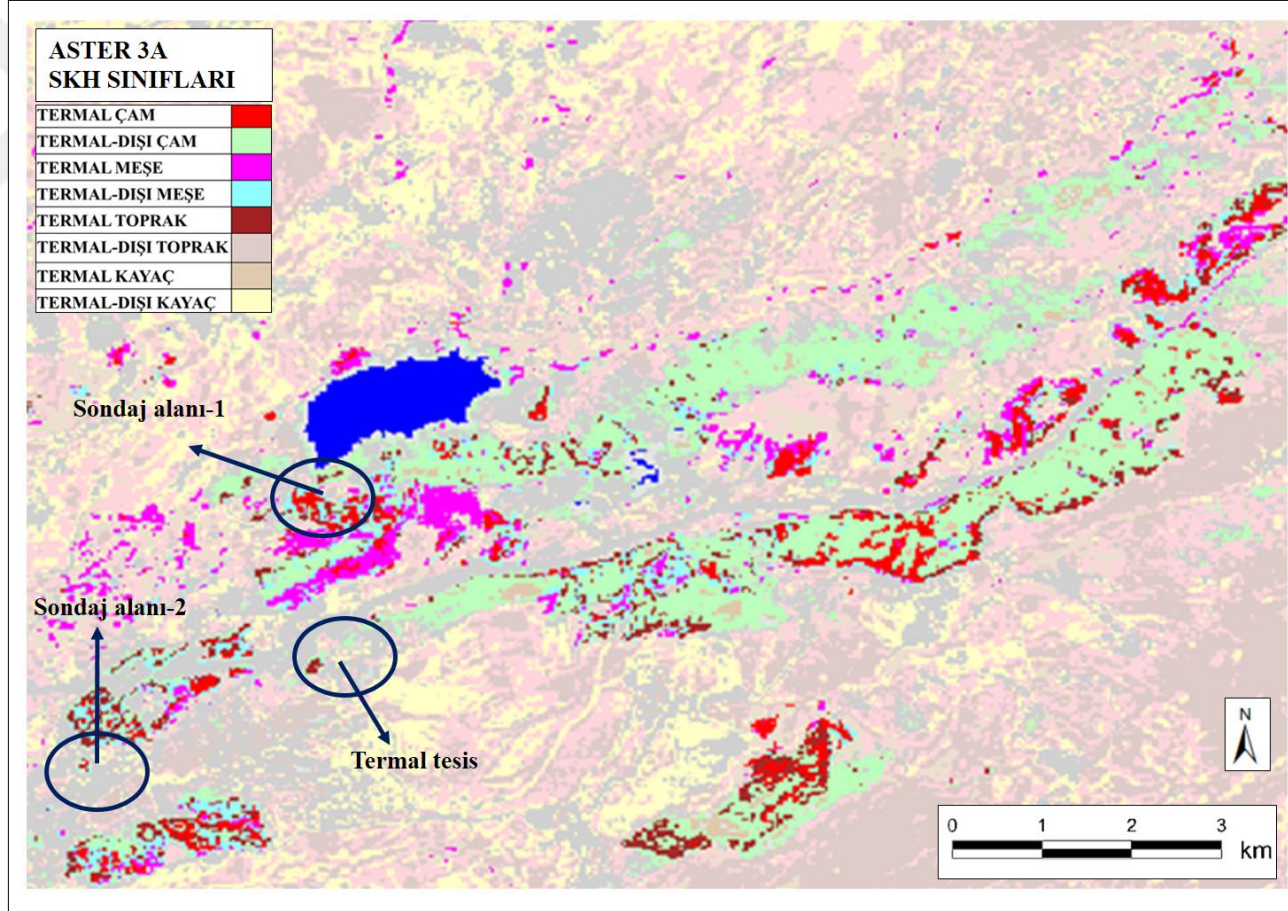
4.4.2 Spektral korelasyon haritalama (SKH)

2015 ve 2016 yıllarında arazi çalışmalarında elde edilen örnekleme noktalarından yararlanılarak yapılan ikinci sınıflandırma uygulamasında spektral korelasyon haritalama algoritmasına başvurulmuştur. Sınıflandırma hem tahmini potansiyel jeotermal ve hem de tahmini potansiyel kil alan araştırması için yapılmıştır.

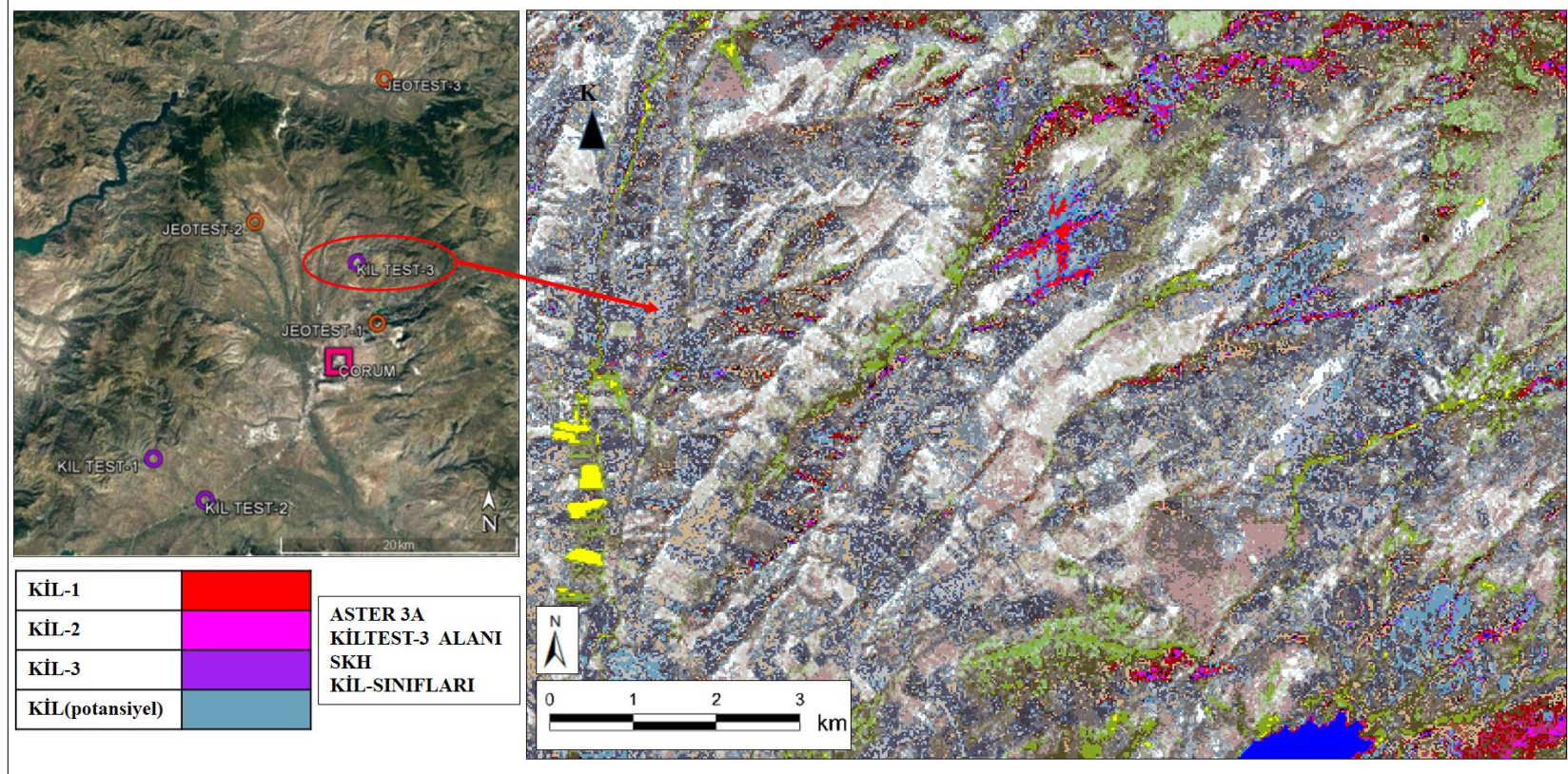
Tahmini potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine yönelik olarak 2015 yılında jeo-test1 olarak numaralandırılan test alanından 2016 yılında türetilen 13 test bölgesini kapsayan alanda sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Test bölgelerinden seçilen arazi örneklerinin spektrometre sonuçlarına göre yüksek oranda karışmadığı, EYB sınıflandırmasında olduğu gibi ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantları sınıflandırma bantları olarak seçilmiştir.

Termal olarak adlandırılan çam, meşe, toprak, kayalık ve termal alan-dışı çam, meşe, toprak, kayalık olarak seçilen Şekil 4.22'de gösterildiği gibi sekiz ana sınıf ile SKH sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Bu sınıflandırmada da, test bölgelerinde GPS ve spektrometre ölçmelerinden elde edilen örnek sınıfları da içeren yaklaşık 500 örnekleme noktası kullanılmıştır.

Tez kapsamında tahmini potansiyel kil alanların araştırılmasına yönelik olarak 2015 ve 2016 yılında yapılan arazi çalışmaları ile alınan yaklaşık 100 kil örnek noktası da SKH sınıflandırma işleminde örnekleme noktası olarak kullanılmıştır. Spektrometre sonuçlarında örneklerin ayırt edilebilirliği gözönüne alınarak ASTER uydusu 2.,3. ve 4. bantları bu sınıflandırma işleminde de kullanılmıştır. 2015 yılı arazi çalışmalarında seçilen, Şekil 3.2' de gösterilen kil-test1, kil-test2 ve kil-test3 olarak numaralandırılan test alanlarından alınan kil örnekleri, SKH sınıflandırmasının da ana sınıflarını oluşturmuştur. Şekil 4.11'de gösterilen 2016 yılında seçilen 13 test bölgesinden 1, 2, 3, 7, 8, 10, ve 11 olarak numaralandırılan yedi test bölgesinden alınan toprak örnekleri de tahmini potansiyel kil sınıfı olarak bu sınıflandırma yönteminde de kullanılmıştır (Şekil 4.23).

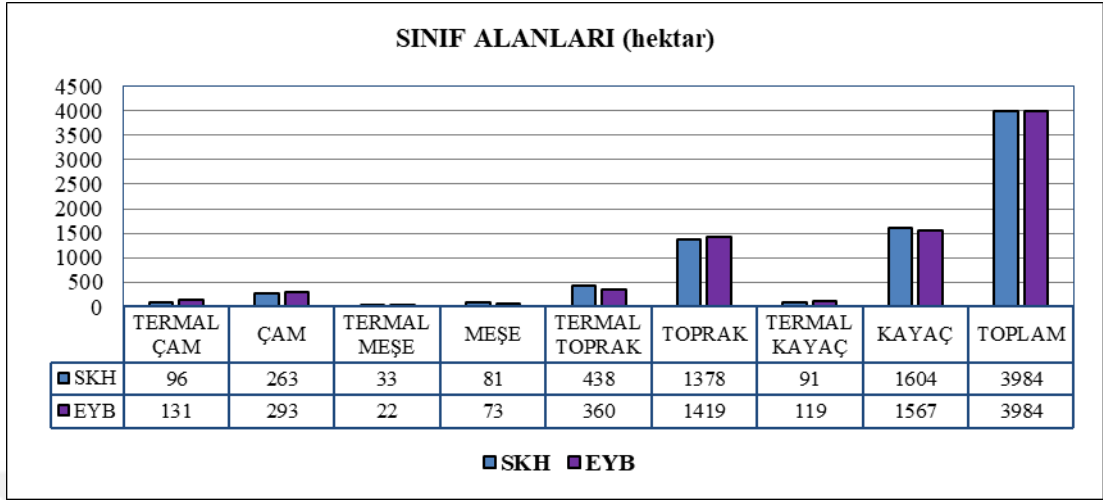


Şekil 4.22 : 2016 yılında 13 test bölgesinde yapılan tez araştırma alanında, 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile yapılan SKH sınıflandırması sonuç görüntüsü.



Şekil 4.23 : Tez çalışmasında potansiyel kil varlığının araştırılması amacıyla 2015 ve 2016 yıllarında test bölgelerinden alınan örnekler kullanılarak kiltest-3 alanında yapılan, 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile oluşturulan SKH sınıflandırması sonuç görüntüsü.

EYB ve SKH sınıflandırmalarında kullanılan sınıflara ait alan değerleri hektar cinsinden çıkartılmış ve iki yöntemle yapılan çalışma Şekil 4.24’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.24 : EYB ve SKH sınıflandırma sonuçlarından elde edilen sınıflara ait alan dağılımları.

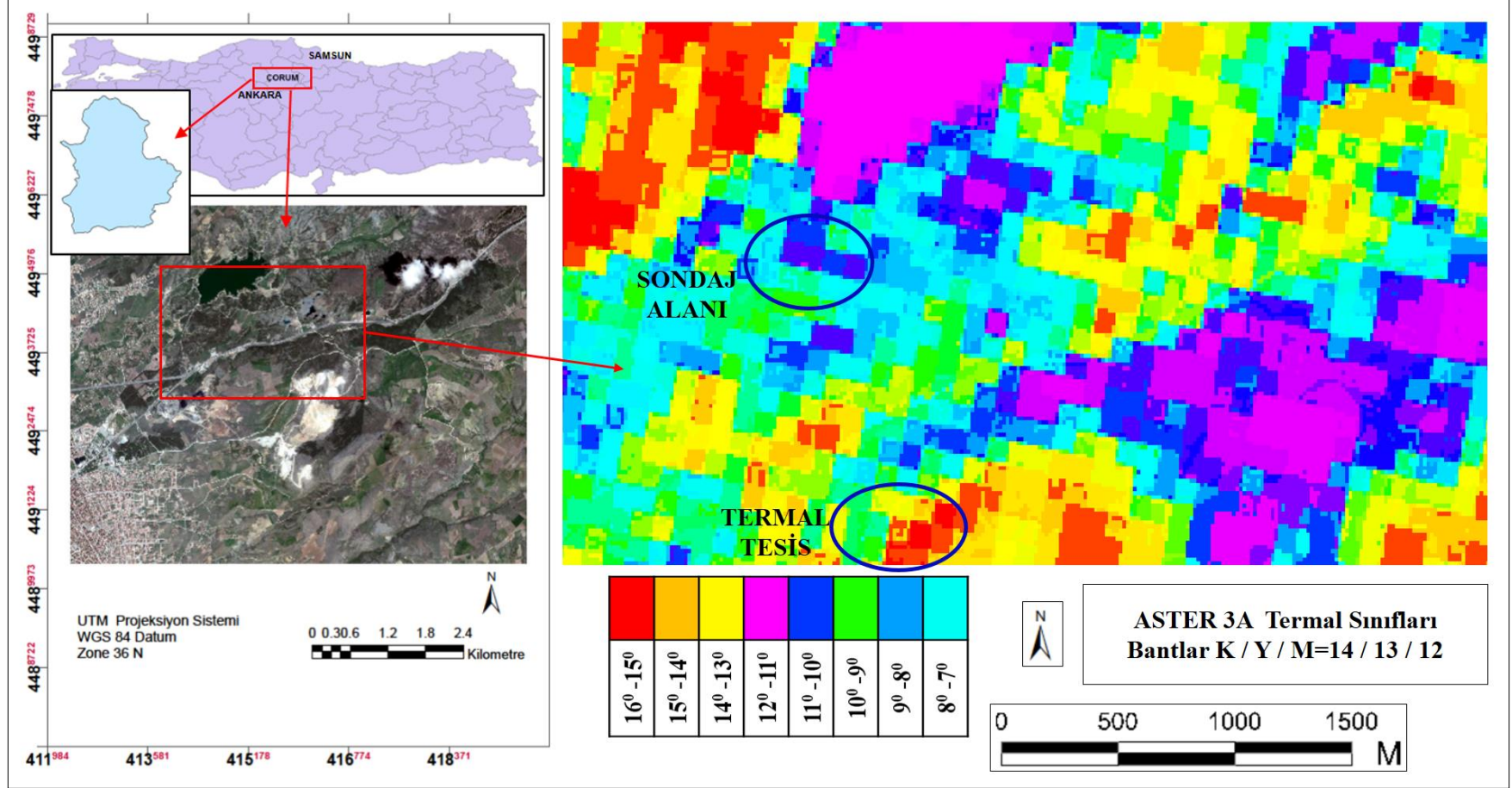
4.4.3 Termal sınıflandırma

Tahmini potansiyel jeotermal araştırmalarında yeryüzeyi sıcaklığı dikkate alınması gereken önemli bir değişkendir. Bölgedeki tahmini jeotermal varlığına işaret edebilecek ısıf farklılıklar, termal kanallar kullanılarak tespit edilebilir. Tez araştırmasına konu olan tahmini potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalardan biri de, ASTER uydu verisinin termal bantları kullanılarak yapılan termal sınıflandırmadır.

Tez çalışma alanı içinde kalan arazi yüzeyinde tespit edilebilir sıcaklık farklılıkları ve sapmaların tespit edilebilmesi için termal sınıflandırma çalışılmıştır. Bu amaçla ASTER uydusunun beş adet termal bantından Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi atmosferik geçirgenliği ve standart sapması en yüksek olan 12, 13 ve 14 numaralı bantları kullanılarak Şekil 4.25'de gösterilen termal sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırma yüzey sıcaklık analizlerinden elde edilen yüzey sıcaklıkları ile kıyaslanarak, kullanılabilirliği açısından doğruluğu irdelenmiştir.

Çizelge 4.3 : ASTER termal bantları standart sapma değerleri.

Bant no	St.Sapma
10	397.46
11	430.84
12	465.54
13	555.27
14	584.58



Şekil 4.25 : Tez çalışmasında potansiyel jeotermal alanların araştırılması amacıyla 14 Kasım 2004 tarihine ait ASTER uydusunun 12, 13 ve 14 numaralı termal bantları ile oluşturulan termal sınıflandırma sonuç görüntüsü.

4.5 Bant Matematiği ve Bant Oranlamalar

Tez çalışmasında ele alınan UA görüntü işleme yöntemlerinden bant oranlama ve bant matematiği , ASTER 3A uydusunun hem VNIR, SWIR bantları hemde TIR bantları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için çoğunlukla literatürlere geçen bant matematiği ve oranlama formülleri kullanılmıştır. Bant matematiği ve bant oranlama yöntemleri tez çalışma alanında;

- Tahmini potansiyel jeotermal ve tahmini potansiyel kil varlığına işaret edebilecek minerallerin incelenmesi,
- Tahmini potansiyel jeotermal sularda bulunan minerallerin buharlaşma yolu ile etkilediği ağaç kökleri ve arazi yüzeyinin araştırılması için kullanılmıştır.

ASTER bantlarının farklı spektral aralıktaki bantları kullanılarak elde edilen oran görüntüleri, sınıflandırma sonuç görüntüsü ile birlikte değerlendirilmiştir (Şekil 4.26). Aynı zamanda oran görüntülerinde hem mevcut termal tesis hemde bölgedeki jeotermal sondaj çalışma alanlarındaki yüzey belirtileri de incelenmiştir.

2015 yılında jeo-test1 olarak numaralandırılan 1. test alanında kükürt içerikli minerallerin, kil-test3 olarak numaralandırılan 6. test alanında kalan bölgede kil minerallerinin çıkarımı amacıyla;

$$bant_{kil} = (bant5 \times bant7) / bant6^2 \quad (4.1)$$

formülü ile $K / Y / M = bant4 / bant3 / bant_{kil}$ özgün oran görüntüsü tahmini potansiyel kil alan araştırması için çalışılmıştır. $K / Y / M = bant12 / bant5 / bant4$ oran görüntüsü potansiyel jeotermal alanlar için kükürt içerikli minerallerin çıkarımı için kullanılmıştır (Şekil 4.27).

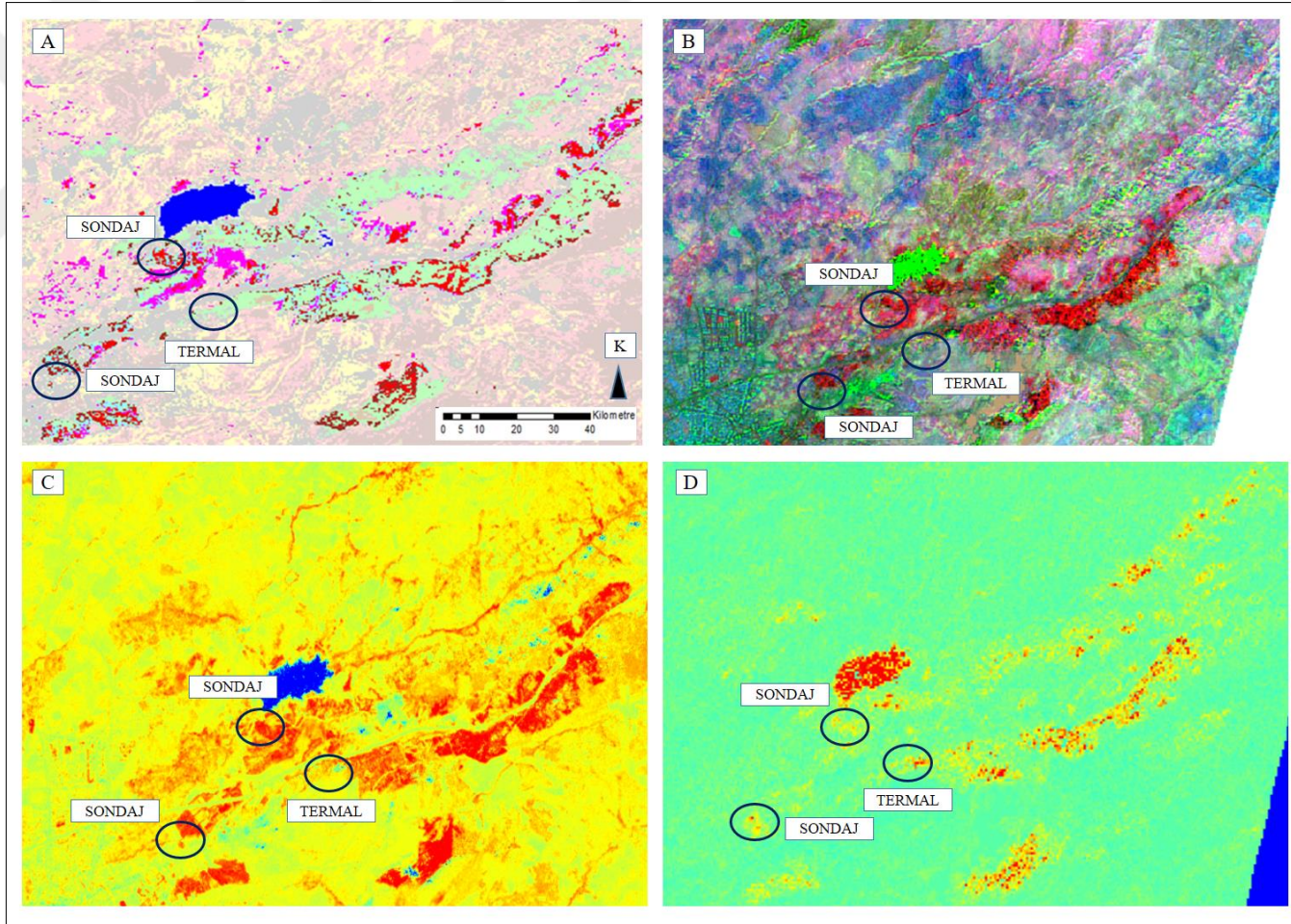
Tez çalışma alanında tahmini potansiyel jeotermal ve kil alanlarına işaret edebilecek minerallerin araştırılması için çeşitli bant matematiği/bant oranlama formüllerine başvurulmuştur. Kil mineralleri, kükürt mineralleri, kalsit-karbonat mineralleri, mineral kompozit ve normalleştirilmiş bitki indeksi (NDVI) için elde edilen oran görüntülerinde kullanılan formüller, referansları ile Çizelge 4.4 te gösterilmiştir.

MTA'dan temin edilen bölgeye ait jeoloji haritası ve fay hatları, karbonat ve kuvars vektör verileri ile mineral anomali haritası, tez çalışma alanında bulunan mevcut tesis

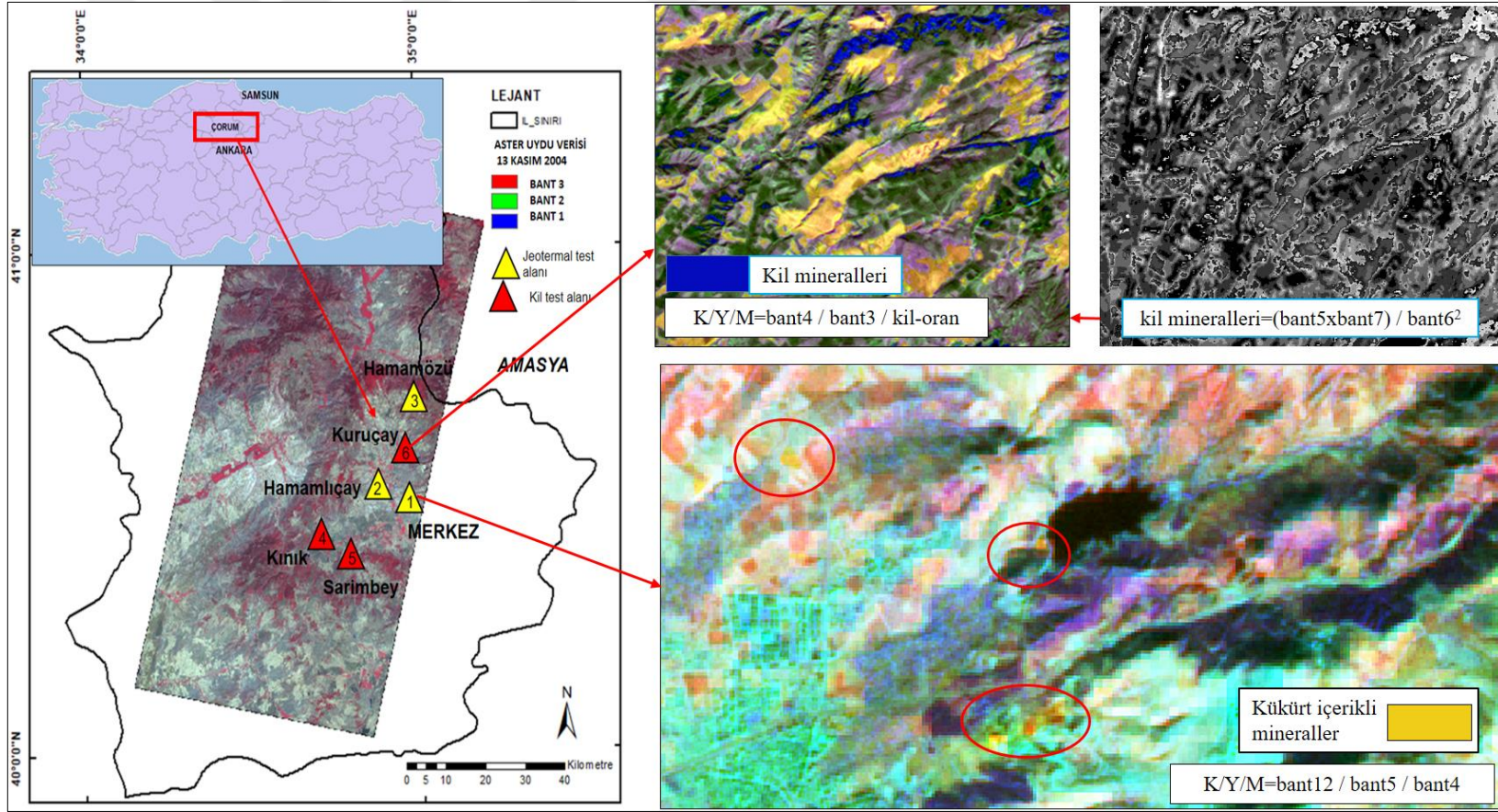
ve jeotermal sondaj çalışma alanları ile incelenerek birarada yorumlanabilmiştir (Alkan,2017) (Şekil 4.28).

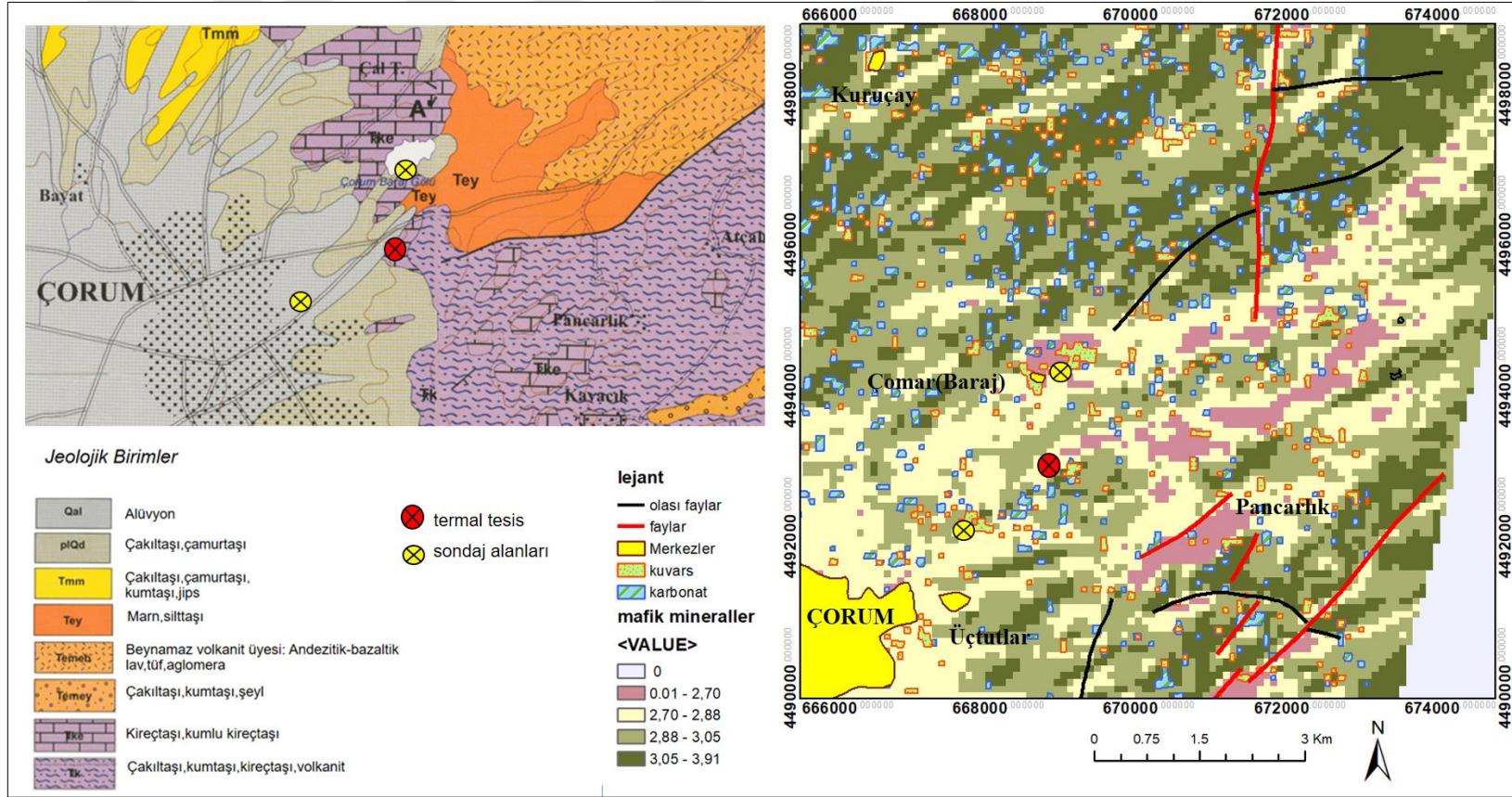
Çizelge 4.4 : Tez çalışmasında kullanılan 14 Kasım 2004 tarihli ASTER uydu görüntüsünün farklı bantları kullanılarak yapılan bant oranlamaları ve referansları.

Aster Bantları	İndeks	Formül	Referans
SWIR	Kil M.	$(\text{bant5} \times \text{bant7}) / \text{bant6}^2$	ER MAPPER
Hepsi	Kükürt A.	$\text{bant12} / \text{bant5} / \text{bant3}$	Rajendran, 2018
VNIR+SWIR	Kalsit	$(\text{bant6} / \text{bant8}) \times (\text{bant9} / \text{bant8})$	Askari et al, 2018
VNIR+SWIR	Mineral K.	$(\text{bant4} / \text{bant6}, \text{bant4} / \text{bant3}, \text{bant2} / \text{bant1})$	ERDAS
VNIR	NDVI	$(\text{bant3} - \text{bant2}) / (\text{bant3} + \text{bant2})$	ER MAPPER



Şekil 4.26 : Tez çalışma alanı için ASTER uydusu bantları kullanılarak elde edilen oran görüntüleri ve sınıflandırma sonuç görüntüsü, A) Sınıflandırma sonuç görüntüsü, B) Mineral kompozit görüntüsü, C) NDVI bitki indeksi ve D) Kalsit mineralleri.





Şekil 4.28 : 2016 yılında 13 test bölgesine ayrılan tez araştırma alanında mineral anomali haritası üzerinde, mevcut jeotermal tesis ve jeotermal sondaj alanlarının MTA jeoloji haritası ve mineral anomali haritasında gösterimi (Alkan, 2017).

4.6 Yüzey Sıcaklık Analizleri

Yüzey sıcaklık analizleri (YSA) bilimsel çalışmalarda farklı amaçlarla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu amaçlardan birisi, bu tez çalışmasında tahmini potansiyel jeotermal varlığının yeryüzeyi üzerinde ısıl belirtilerinin araştırılması üzerine olmuştur.

Uydu çekim tarihlerinin Kasım ayına ait olmasının tahmini potansiyel jeotermal alanların tespitinde sıcaklık bulguları açısından bu analize katkısının büyük olabileceği düşünülmüştür. Meteorolojik verilerle irdelenen bu çalışma için, ASTER ve LANDSAT uydularının dört farklı verisinden alınan termal bantları kullanılmıştır. ASTER 3A ve ASTER L1T verisinin termal bantları (bant-13) ile LANDSAT 5 verisinin termal kanalı (bant-6), LANDSAT 8 verisinin termal kanalı (bant-10) kullanılmıştır. YSA çalışmasında uydu veri edinim tarihleri ve geometrik çözünürlükleri Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Tez çalışma alanındaki tahmini potansiyel jeotermal araştırmalarına yönelik, yüzeyde oluşabilecek ani sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan yüzey sıcaklık analizi, Şekil 3.2’de gösterilen 2015 yılında seçilen jeo-test1, jeo-test2, jeo-test3, kil-test3 alanları ile 2016 yılında odaklanılan 13 test bölgesini içerek şekilde çalışılmıştır. Bu alanda kullanılan uydu verilerinden tez çalışmasının ana verisi ASTER 3A uydusunun elde edildiği 2004 Kasım ayında, Çizelge 4.5’de gösterilen Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verileri dikkate alındığında toprak-üstü sıcaklık ortalaması 11 derece civarında kalmaktadır (kil alanları dahil).

Yüzeyde oluşabilecek ısıl sapmaların jeotermal bulgulara işaret edilebilirliğinin araştırılması amacıyla tez çalışmasında seçilen test bölgeleri üzerine yapılan YSA’da, dünyada ve Türkiye’ de yapılan bilimsel çalışmalarda yaygın kullanılan algoritmalarından tek kanal algoritması ile dört farklı uydu verisine ait sıcaklık dağılım haritaları elde edilmiştir.

Ayrıca tez çalışmasında 2016 yılında belirlenen Şekil 4.13’te gösterilen 13 test bölgesinin içinde bulunduğu arazi örtüsünün engebeli coğrafyası ve jeolojik yapısı ile bölgeye ait fay hatları dikkate alınarak yükseklik-sıcaklık analizi çalışılmıştır. Bu analizin çalışılma nedeni ise, bölgedeki farklı yüksekliklerde MTA tarafından güncellenmiş aktif fay hatlarının tahmini potansiyel jeotermal alanlara işaret edilebilirliğinin, yükseklik-sıcaklık ilişkisi ile test edilmesi amacını taşımasıdır. Tez

çalışma alanında tahmini potansiyel jeotermal varlığına işaret edilebilirliği açısından belirgin, yüksek yer yüzeyi sıcaklık bulgularına ulaşmak üzere bu analiz yapılmıştır.

Yüzey sıcaklık analizlerinde tüm uydu termal verileri üzerine tek kanal algoritması uygulanarak yapılan YSA için, LANDSAT ve ASTER uydu görüntülerinden yer yüzeyi sıcaklığını hesaplayan LANDSAT uydusu LST modülü ve ASTER uydusu LST modülü kullanılmıştır (Alkan, 2017). Kullanılan modül yardımı ile uydu verileri üzerine uygulanan YSA adımları bölüm 2.3.2 de açıklandığı gibi yapılmış ve elde edilen Kelvin cinsindeki sıcaklık değerleri Celcius'a çevrilmiştir. Bu analizler ile tez çalışma alanına ait sıcaklık haritaları oluşturulmuş ve sıcaklık değerleri renk skalaları ile gösterilmiştir (Şekil 4.29 ve 4.30).

Yüzey sıcaklık analizlerinde yararlanılan 02 Kasım 2011 tarihli Landsat 5-TM uydusunun termal bantı ve LANDSAT-8 uydusunun 10 numaralı termal bantı ayrı ayrı kullanılarak yüzey sıcaklık haritaları çıkartılmıştır. Tek kanal algoritmasında NDVI hesaplama adımlarında Landsat-5 için bant-2 ve bant-3, Landsat-8 için bant-4 ve bant-5 kızılötesi bantları kullanılmıştır.

Diğer bir YSA çalışması da 13 Kasım 2004 tarihli 8:45 çekim saatli ve 90 metre uzaysal çözünürlüklü ASTER 3A uydusu bant-13 ısı kanalını üzerine olmuştur. En yüksek atmosferik geçirgenliğe sahip optimal bantlardan biri olması nedeniyle bant-13 kanalı ile tek kanal algoritması çalışılmıştır (Munoz ve Sobrino, 2010).

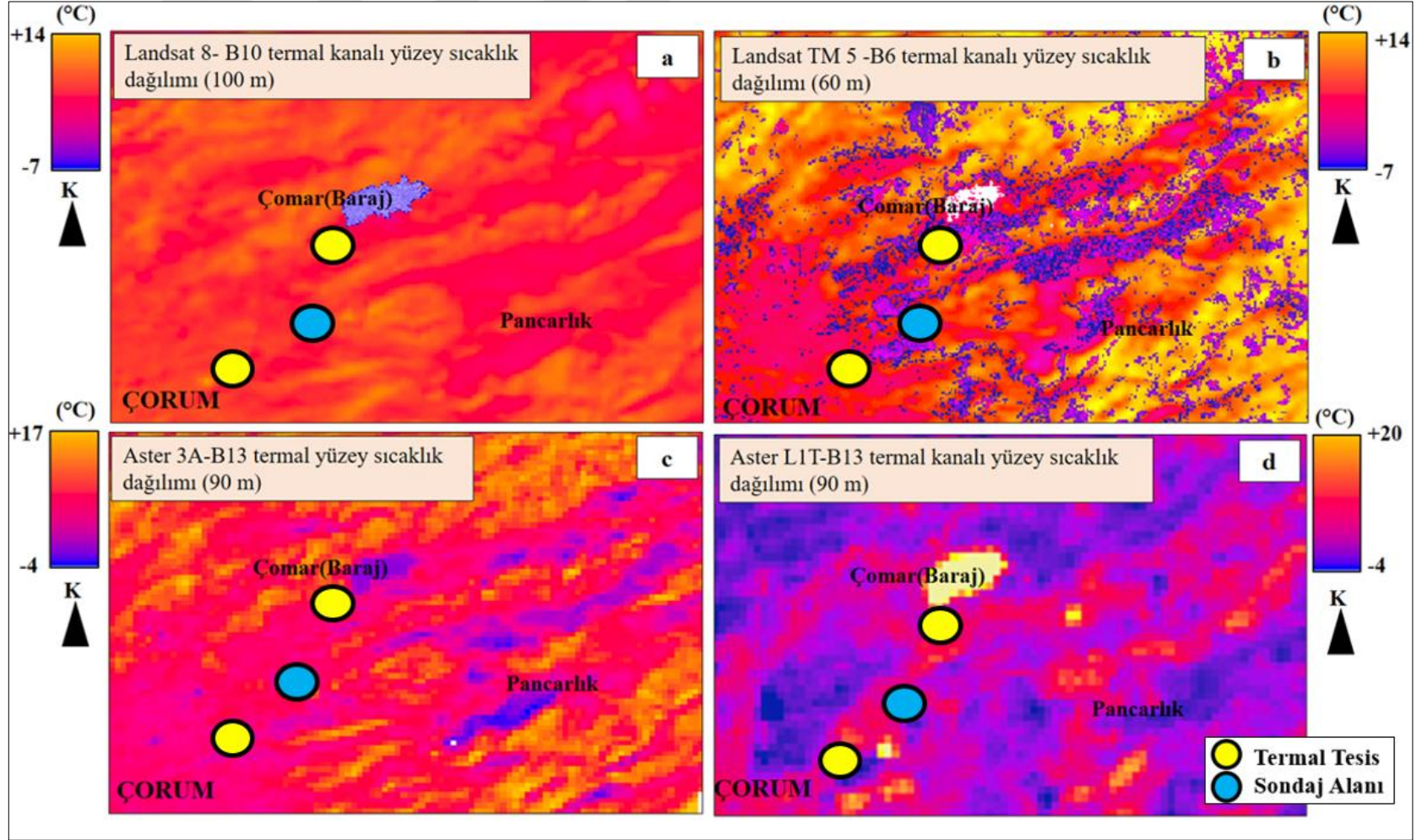
Yüzey sıcaklık analizleri için kullanılan son uydu görüntüsü ise 15 Kasım 2015 tarihli 19:45 çekim saatli ASTER L1T uydu verisi olmuştur. Bu verinin kullanılma nedeni güneş etkilerinden kaçınarak Kasım ayında sıcaklık değerlerinin düştüğü saatlerden verimli olarak yararlanılmasıdır. Bu uydu verisinin termal bantı (bant-13) için de tek kanal algoritması kullanılmıştır.

YSA ile elde edilen yüzey sıcaklık haritaları ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan sıcaklık verilerinin kıyaslanabilirliği incelenmiştir. MGM'den alınan 2004 Kasım ayına ait meteorolojik değerler Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

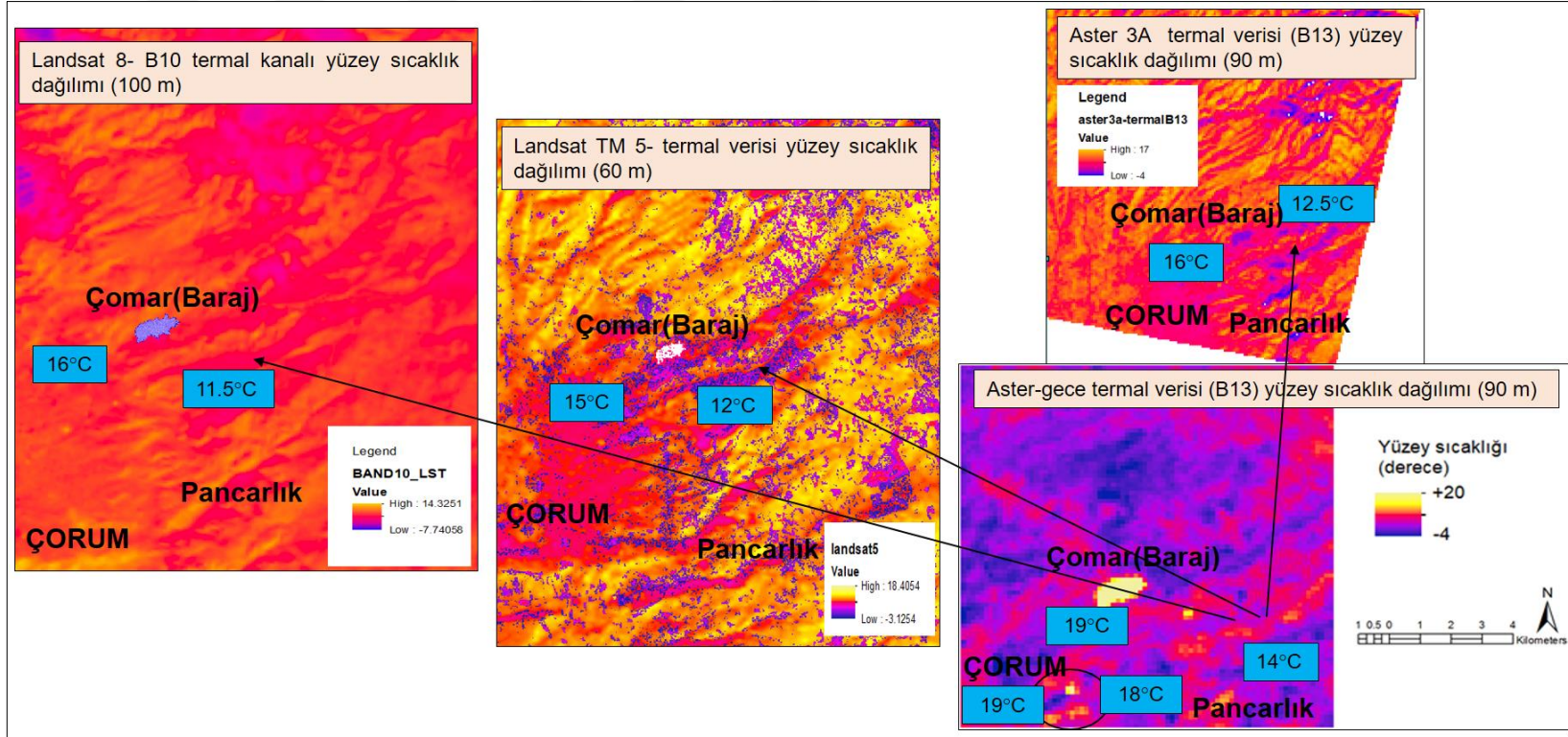
Çizelge 4.5 : 2004 Kasım ayına ait MGM bölgesel meteorolojik değerler.

İstasyon No	Yıl	Ay	Gün	Lokal 50 cm Toprak Sıcaklığı (°C)
17084	2004	11	6	13.4
17084	2004	11	7	7.8
17084	2004	11	8	11.8
17084	2004	11	9	11.6
17084	2004	11	10	11.9
17084	2004	11	11	12.2
17084	2004	11	12	12.1
17084	2004	11	13	11.8
17084	2004	11	14	12.1
17084	2004	11	15	11.8
17084	2004	11	16	11.5
17084	2004	11	17	11.4
17084	2004	11	18	11.6
17084	2004	11	19	10.7
17084	2004	11	20	9.8

*17084 =Çorum İstasyonu



Şekil 4.29 : Tez çalışmasında dört farklı uydu ile yapılan YSA ile elde edilen sıcaklık haritalarında, termal tesis ve jeotermal sondaj alanları.



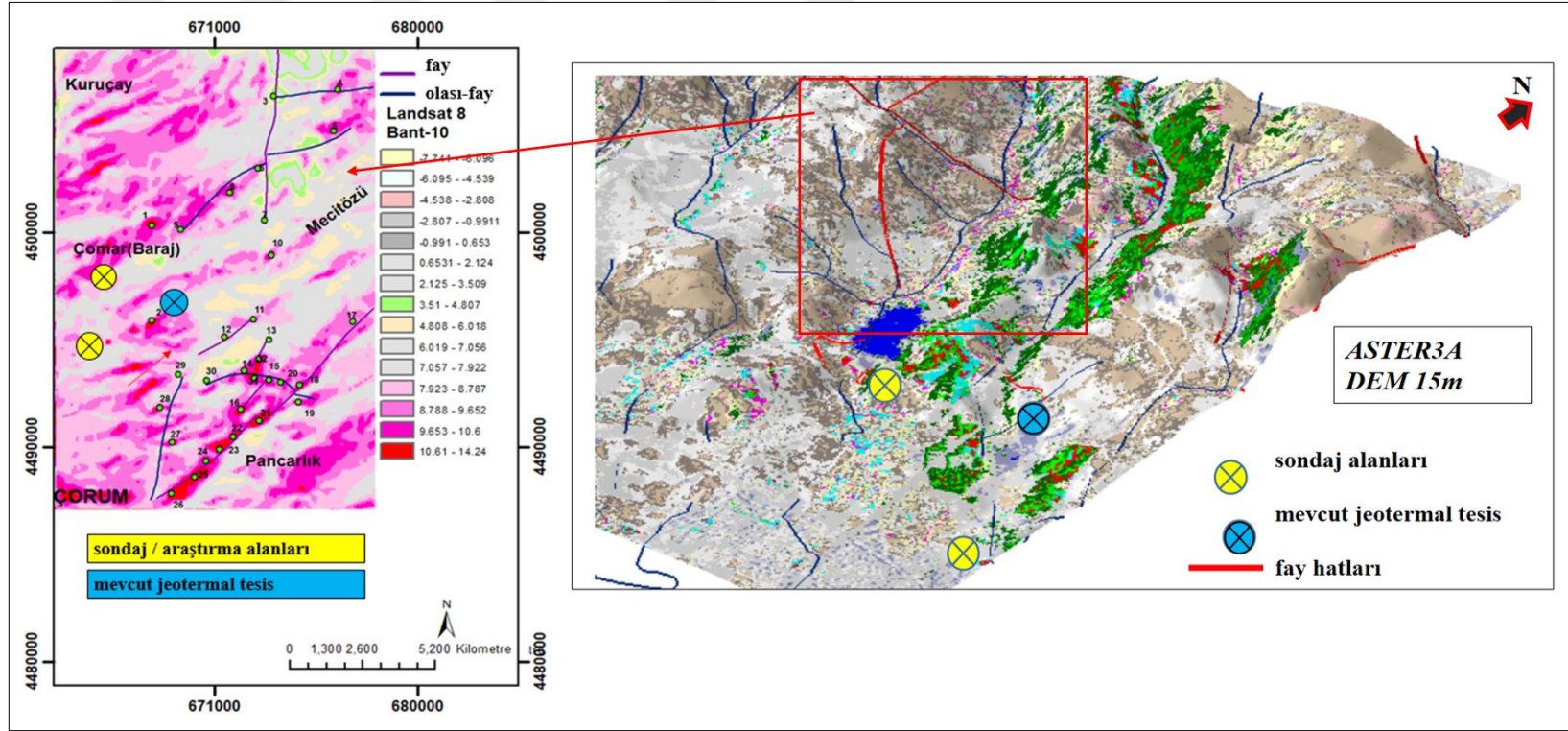
Şekil 4.30 : Orta-Karadeniz Bölgesinde Çorum İlinde yapılan yüzey sıcaklık analizlerinde Landsat 5, Landsat 8 ve ASTER 3A, ASTER L1T uydu verilerinin termal kanallarından elde edilen yer yüzeyi sıcaklık dağılım haritaları (Alkan, 2017).

4.6.1 Fay hatları yükseklik-sıcaklık analizi

Yüzey sıcaklıklarına dayalı olarak Çorum İli merkezli termal tesisin kuzey-batı bölgesinde bulunan yapısal ve olası yapısal fayların yoğun olduğu bölgede YSA kullanılarak yüzey sıcaklık modeli çıkartılmıştır. Bu amaçla 30 adet test noktası seçilmiştir. LANDSAT 5-8, ASTER 3A-L1T uydularına ait dört farklı termal veri için sıcaklık değerleri ve yükseklikleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Test noktalarının yükseklik değerleri, 15 metre çözünürlüklü ASTER 3A DEM verisinden alınmıştır (Şekil 3.7).

Landsat-8 termal kanalı ile yapılan sıcaklık haritasında yer yüzeyi sıcaklık değerleri, renk skalasında Celcius ($^{\circ}\text{C}$) cinsinden elde edilmiştir. Mevcut jeotermal tesis ve jeotermal sondaj alanları, fay hatları ve test noktalarının konumsal dağılımı ASTER DEM verisinde gösterilmiştir (Şekil 4.31).

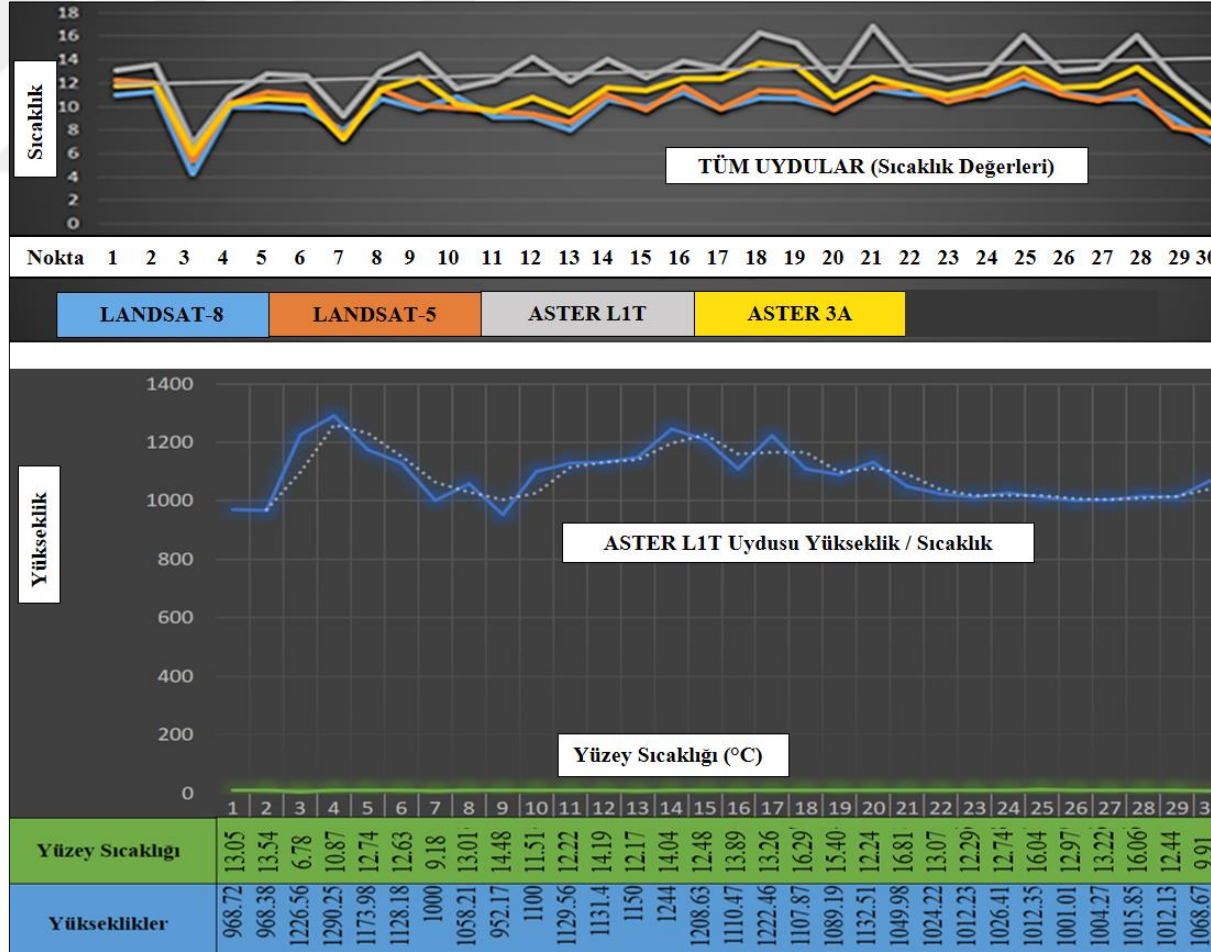
Coğrafi olarak engebeli olan bu bölgenin yüksek kesimlerinde MTA tarafından tescillenmiş fay hatları bulunmaktadır. Tahmini potansiyel jeotermal alanların araştırılabilmesi açısından bölgede bulunan ve test bölgeleri ile örtüşen bu fay hatları da sıcaklık analizi ile değerlendirilmek istenmiştir. MTA tarafından güncellenen fay hatları vektör verileri ile Kandilli Rasathanesi'nden temin edilen veriler uydu görüntüsü üzerine işlenmiştir. Bu çalışma için kullanılan test noktaları, MTA'nın verilerinde yapısal ve olası yapısal olarak tanımlanan fay hatları üzerinden ve tez çalışma alanının güney doğusunda kalan üç fay kolunun bir arada bulunduğu bir yapıdan seçilmiştir. Her bir uydu verisi üzerine yapılan sıcaklık analizlerinden elde edilen, test noktalarına ait sıcaklık verileri bir arada değerlendirilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.31 : 2016 yılında 13 test bölgesine ayrılan tez araştırma alanında bulunan fay hatlarının sıcaklık değerleri ve ASTER DEM verisi üzerinde gösterilen sınıflandırılmış görüntü.

Çizelge 4.6 : Fay hatlarından seçilen test noktalarının yükseklikleri ve dört farklı uyduya ait sıcaklık haritalarından elde edilen sıcaklık değerleri.

Nokta No	Yüzey sıcaklığı Landsat 8 (°C)	Yüzey sıcaklığı Landsat 5 (°C)	Yüzey sıcaklığı ASTER Gece (°C)	Yüzey sıcaklığı ASTER Gündüz (°C)	Yükseklik (m)
1	11.00	12.25	13.05	11.77	968.72
2	11.30	12.01	13.54	11.89	968.38
3	4.26	5.38	6.78	6.01	1226.56
4	9.94	10.24	10.87	10.22	1290.25
5	10.00	11.17	12.74	10.64	1173.98
6	9.72	10.88	12.63	10.47	1128.18
7	7.92	7.40	9.18	7.25	1000.00
8	10.63	11.47	13.01	11.45	1058.21
9	9.84	10.11	14.48	12.47	952.17
10	10.84	9.88	11.51	10.23	1100.00
11	9.13	9.65	12.22	9.55	1129.56
12	9.13	9.32	14.19	10.76	1131.40
13	8.03	8.63	12.17	9.52	1150.00
14	10.61	10.99	14.04	11.59	1244.00
15	9.94	9.73	12.48	11.39	1208.63
16	11.23	11.66	13.89	12.34	1147.27
17	9.84	9.84	13.26	12.41	1218.46
18	10.77	11.38	16.29	13.73	1173.87
19	10.64	11.20	15.40	13.38	1107.19
20	9.78	9.77	12.24	10.80	1181.51
21	11.52	11.63	16.81	12.47	1105.98
22	11.03	11.69	13.07	11.66	1057.22
23	10.96	10.45	12.29	11.01	1048.23
24	10.98	11.10	12.74	11.67	1064.41
25	11.97	12.58	16.04	13.25	1028.35
26	11.19	11.06	12.97	11.56	1011.01
27	10.66	10.54	13.22	11.74	1019.27
28	10.66	11.32	16.06	13.29	996.15
29	8.94	8.25	12.44	11.07	1002.13
30	7.03	7.74	9.91	8.60	1158.67

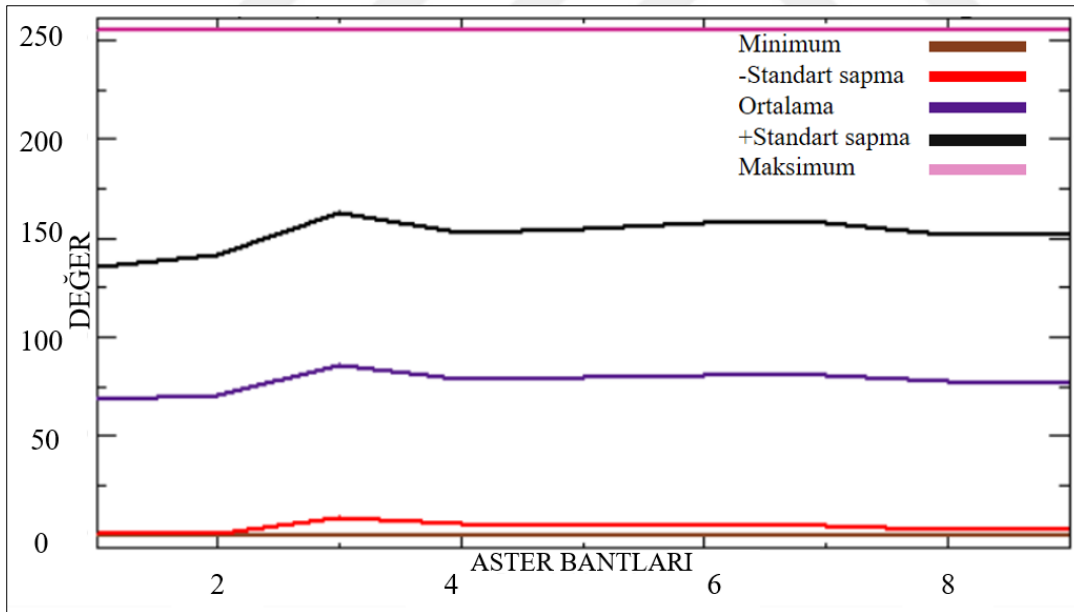


Şekil 4.32 : Tez çalışma alanında LANDSAT ve ASTER uydularının termal bantları kullanılarak 30 test noktasında yapılan YSA değerleri ile bu noktalar ait ASTER L1T verisine ait yükseklik-sıcaklık analizi.

4.7 Dokusal Analizler

Uzaktan Algılama yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntünün bir bileşeni olarak dokusal analiz, sınıflandırma çalışmalarında önemli bir rol oynayabilir. Kayaçlar spektral yansıma ve emilimleri açısından dokusal özellikleri ile ayrılabilir (Masoumi et al, 2017).

Tez çalışmasında kullanılan ASTER uydusu bantlarına yapılan dokusal özellik analizi için ENVI yazılımından yararlanılmış ve sekiz doku kullanılmıştır. Bunlar ortalama, varyans, homojenlik, kontrast, farklılık, entropi, ikinci moment ve korelasyon olarak ayrılmıştır. Dokusal analiz için 3x3 boyutlu matris oluşturulmuştur. Spektrometre ölçme sonuçları ile sınıflandırmada kullanılan bantlar olan ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantları bu analiz için de kullanılmıştır. ASTER uydu verisi için hesaplanan bant istatistiklerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda; 3. ve 4. kızılötesi bantları, standart sapma değerleri en yüksek iki bant olduğu için tercih edilmiştir (Şekil 4.33 ve Çizelge 4.7).



Şekil 4.33 : Tez çalışmasında kullanılan ASTER uydusuna ait VNIR ve SWIR bantlarına ait en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yapılan dokusal analizde ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları için minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerlerini oluşturan ve Çizelge 4.8'de gösterilen toplam 24 dokusal özellik, veri kümesini oluşturmuştur .

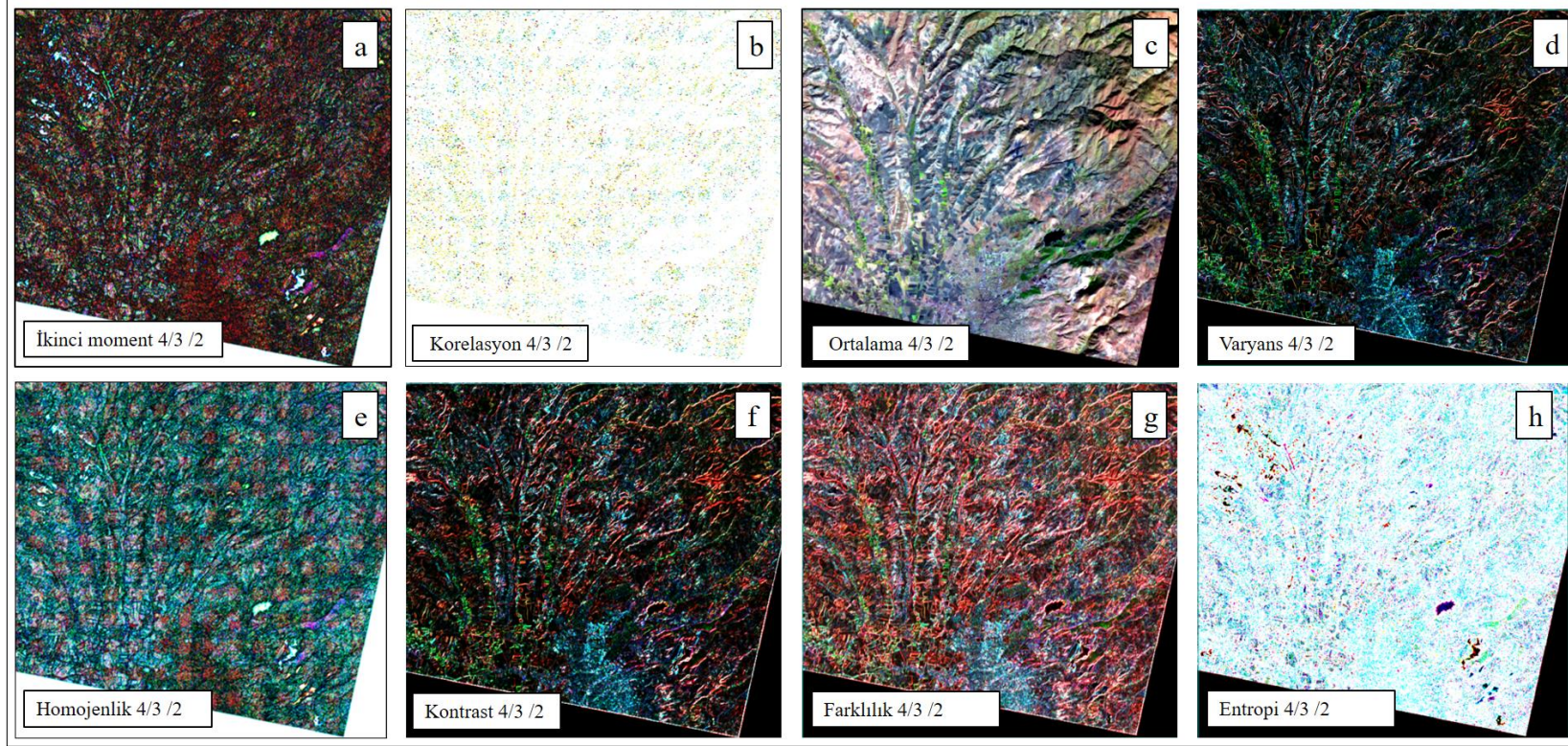
Dokusal özellik analizinde ASTER uydu görüntüsü üzerindeki piksellerin, gri tonlamasındaki değişimlerinin 3x3 boyutundaki uzaklıkları ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Tez çalışma alanında ASTER bantlarının kullanılabilirliğinin sekiz özellik ile araştırıldığı dokusal analizde; bant-2, bant-3 ve bant-4'e ait spektral değerleri yardımı ile 24 adet yeni özellik-bantı elde edilmiştir. Bu özelliklerin her bir bant için kendi aralarında kullanılması ile oran görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 4.34).

Çizelge 4.7 : ASTER uydusu bant-2, bant-3 ve bant-4 için istatistik değerleri.

Bantlar	En küçük değer	En büyük değer	Ortalama değer	Standart sapma
bant 2	0	208	47.889445	18.065233
bant 3	0	183	36.233687	12.843425
bant 4	0	89	36.233687	13.178368

Çizelge 4.8 : ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantlarına ait dokusal özellik istatistikleri.

ASTER	ÖZELLİK	BANTLAR	Minimum	Maksimum	Ortalama	S.Sapma
bant-2	ortalama	1	0	63	30.53202	15.071463
	varyans	2	0	980	16.03534	27.72821
	homojenlik	3	0	1	0.332112	0.276069
	kontrast	4	0	1716.333	34.96711	57.56229
	farklılık	5	0	34.55555	3.851101	3.080525
	entropi	6	0	2.197225	1.867212	0.685594
	2.moment	7	0	1	0.221541	0.273491
	korelasyon	8	-	41106.9688	13.3765	-182.35
bant-3	ortalama	9	0	63	32.47985	15.299821
	varyans	10	0	928.1729	17.47389	29.493989
	homojenlik	11	0	1	0.329492	0.277173
	kontrast	12	0	1643.444	38.61223	61.212737
	farklılık	13	0	35.22223	4.097616	3.153361
	entropi	14	0	2.197225	1.831274	0.681549
	2.moment	15	0	1	0.228494	0.272856
	korelasyon	16	-	43731.0273	5.775401	-74.8413
bant-4	ortalama	17	0	63	32.0312	15.066153
	varyans	18	0	746.9136	6.426721	17.909342
	homojenlik	19	0	1	0.537207	0.228107
	kontrast	20	0	1658.778	15.494	37.199958
	farklılık	21	0	31.77778	2.191839	1.947575
	entropi	22	0	2.197225	1.58845	0.675879
	2.moment	23	0	1	0.28221	0.269791
	korelasyon	24	31847.6738	25.3125	-138.674	732.024908



Şekil 4.34 : ASTER uydusu 2., 3. ve 4. kanallara ait 3x3 matrisinde oluşturulan dokusal özelliklerinin K/Y/M= 4/3/2 oran görüntüleri, a) İkinci moment, b) Korelasyon, c) Ortalama, d) Varyans, e) Homojenlik, f) Kontrast, g) Farklılık, h) Entropi.

4.8 Doğruluk Analizleri

4.8.1 Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için yapılan doğruluk analizleri

Tez çalışma alanında spektrometre ölçmeleri sonuçlarına bağlı olarak seçilen ve sınıfların birbirine yüksek oranda karışmadığı ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları, yapılan tüm sınıflandırma işlemlerinin kanalları olarak seçilmiştir. Potansiyel jeotermal alanların araştırılmasına yönelik olarak iki farklı sınıflandırma yöntemi (EYB ve SKH) kullanılarak doğruluk analiz sonuçları kıyaslanmıştır. EYB ve SKH nin karşılaştırıldığı sınıflandırma doğruluk analizleri, performans ölçütleri ile özetlenmiştir. EYB sınıflandırmasında sekiz ana sınıf için genel sınıflandırma doğruluğu % 94.80 olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma için kullanılan yer-doğruluklu örnekleme noktaları ve sekiz sınıf için hesaplanan doğruluk analizi sonuçları Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. EYB sınıflandırmasında sekiz ana sınıf için elde edilen genel Kappa istatistik değeri 0.9382 olarak elde edilmiştir. Tüm sınıfların ayrı ayrı Kappa değerleri de Çizelge 4.10’da gösterilmiştir. Görüntü sınıflandırma doğruluğunu ağırlıklı olarak hesaplayan Kappa aşağıdaki formülle elde edilmiştir;

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} * x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} * x_{+i}} \quad (4.2)$$

Formülde r = Sınıf sayısını, x_{ii} = Hata matrisinin köşegen elemanlarını, x_{i+} = Satır toplamını ; x_{+i} = Sütun toplamını, N = Hata matrisindeki toplam piksel sayısını göstermektedir (Url-5).

Tahmini potansiyel jeotermal alan için yapılan diğer sınıflandırma yöntemi SKH için, EYB sınıflandırmasında da kullanılan, sekiz sınıf kullanılmıştır. SKH sınıflandırma yönteminde genel sınıflandırma doğruluğu %90.50 sonucunu vermiştir. Sekiz sınıf için elde edilen doğruluk analizi değerleri Çizelge 4.11’ te gösterilmiştir.

SKH sınıflandırmasında sekiz sınıf için elde edilen genel Kappa istatistik değeri 0.8874 olarak elde edilmiştir. Tüm sınıfların ayrı ayrı Kappa değerleri de Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için yapılan EYB sınıflandırma işlemi sonuçlarından elde edilen doğruluk analizi değerleri.

Örnek Sınıf	Referans Nokta	Sınıflandırılmış Nokta	Onaylanan Nokta	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)
Çam	44	44	39	92.86	88.64
Termal Çam	35	35	33	100.00	94.29
Meşe	30	30	27	96.43	90.00
T. Meşe	29	29	28	100.00	96.55
Toprak	98	98	96	97.96	94.12
T. Toprak	37	37	34	91.89	97.14
Kayaç	91	91	89	94.34	95.24
T. Kayaç	63	63	62	98.41	98.27
TOPLAM	427	427	408		

Çizelge 4.10: Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda yapılan EYB sınıflandırma işlemi sonuçlarından elde edilen doğruluk analizi Kappa değerleri.

Örnek Sınıf	Kappa Değeri
Çam	0.8744
Termal Çam	0.9382
Meşe	0.8932
Termal Meşe	0.9632
Toprak	0.9244
Termal Toprak	0.9688
Kayaç	0.9374
Termal Kayaç	0.9821

Çizelge 4.11 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için yapılan SKH sınıflandırma işlemi sonuçlarından elde edilen doğruluk analizi değerleri.

Örnek Sınıf	Referans Nokta	Sınıflandırılmış Nokta	Onaylanan Nokta	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)
Çam	44	44	42	90.70	88.64
Termal Çam	35	35	30	93.75	85.71
Meşe	30	30	26	96.30	86.67
T. Meşe	29	29	26	86.67	89.66
Toprak	98	98	94	94.95	92.16
T. Toprak	37	37	31	91.18	88.57
Kayaç	91	106	88	93.33	93.33
T. Kayaç	63	63	56	98.25	90.32
TOPLAM	427	427	410		

Çizelge 4.12 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda yapılan SKH sınıflandırma işlemi sonuçlarından elde edilen doğruluk analizi Kappa değerleri.

Örnek Sınıf	Kappa Değeri
-------------	--------------

Çam	0.8741
Termal Çam	0.8460
Meşe	0.8580
Termal Meşe	0.8890
Toprak	0.8989
Termal Toprak	0.8762
Kayaç	0.9126
Termal Kayaç	0.8889

4.8.2 Tahmini potansiyel kil alanları için yapılan doğruluk analizleri

Tez çalışma alanında potansiyel kil alanlarının belirlenmesi için yapılan sınıflandırma işlemleri için de EYB ve SKH sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. İki farklı sınıflandırma yönteminde de ASTER uydusu SWIR bant-2, bant-3 ve bant-4 numaralı kanalları kullanılarak doğruluk analiz sonuçları kıyaslanmış, performans ölçütleri ile özetlenmiştir. EYB sınıflandırmasında üç sınıf için genel sınıflandırma doğruluğu % 92.58 olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma için kullanılan toplam 54 yer-doğrulamalı nokta ve üç kil sınıfı için hesaplanan doğruluk analizi sonuçları Çizelge 4.13 de gösterilmiştir. EYB sınıflandırmasında üç kil sınıfı için elde edilen genel Kappa istatistik değeri 0.9097 olarak elde edilmiştir. Bu sınıfların her birine ait Kappa değerleri Çizelge 4.14’de gösterilmiştir.

SKH sınıflandırması kullanılarak elde edilen doğruluk analiz sonuçlarında ise aynı üç sınıf için genel sınıflandırma doğruluğu % 91.96 olarak elde edilmiştir. Bu sınıfların herbirinin performans ölçütleri Çizelge 4.15’te gösterilmiştir. Kappa değeri 0.9135 olarak elde edilmiştir. Üç kil sınıfının kappa değerleri Çizelge 4.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 : Tahmini potansiyel kil alanı EYB sınıflandırması doğruluk analiz sonuçları.

Örnek Sınıf	Referans Nokta	Sınıflandırılmış Nokta	Onaylanan Nokta	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)
KİL-1	24	24	23	92.31	91.24
KİL-2	20	20	19	96.75	94.28
KİL-3	18	18	18	94.33	92.23
TOPLAM	54	52	50		

Çizelge 4.14 : Tahmini potansiyel kil alanı EYB Kappa değerleri.

Örnek Sınıf	Kappa Değeri
KİL-1	0.9171
KİL-2	0.9220

KİL-3	0.8901
-------	--------

Çizelge 4.15 : Tahmini potansiyel kil alanı SKH Kappa değerleri.

Örnek Sınıf	Referans Nokta	Sınıflandırılmış Nokta	Onaylanan Nokta	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)
KİL-1	26	24	23	95.37	93.19
KİL-2	20	19	18	94.25	92.61
KİL-3	18	17	15	91.44	90.08
TOPLAM	54	50	46		

Çizelge 4.16 : Tahmini potansiyel kil alanı SKH kappa değerleri.

Örnek Sınıf	Kappa Değeri
KİL-1	0.9226
KİL-2	0.8983
KİL-3	0.9195

4.9 Regresyon Analizleri

Tahmini potansiyel jeotermal ve kil alanlarının belirlenmesi için uydu verileri ile sınıflandırma ve doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçları irdelemek amacı ile istatistiksel tekli ve çoklu regresyon analizleri; her bir kanal ve her bir sınıf için uygulanmıştır.

Tekli regresyon analizinde $Y_i = a_i + b_i X_i$ formülünde denklem katsayısı a, b ve analizin uygunluğunu gösteren korelasyon değeri R'dir ve aşağıda gösterilen formül yardımı ile hesaplanmıştır (Coşkun,1992). (X_i, Y_i) , $i=1, 2, \dots, n$ veri noktaları için X_i değişkeni herbir ASTER bantı için termal ve termal olmayan sınıflara karşılık gelen piksel değerleri, Y_i değişkeni mineral gruplarının bant oranlamalarında hesaplanan piksel değerleri olarak alınmıştır.

$$a = (\sum Y_i) (\sum X_i^2) - (\sum X_i) (\sum X_i Y_i) / n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 \quad (4.3)$$

$$b = n \sum X_i Y_i - (\sum X_i) (\sum Y_i) / n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 \quad (4.4)$$

$$R^2 = ((a \sum Y_i + b \sum X_i Y_i) - 1 / n (\sum Y_i)^2) / ((\sum Y_i)^2 - (1/n (\sum Y_i)^2)) \quad (4.5)$$

$$R = + \sqrt{R^2} \quad (4.6)$$

Çoklu regresyon analizinde ise;

$$Y_i = a_i + b_i X_{1i} + c_i X_{2i} + d_i X_{3i} + e_i X_{4i} + \dots \quad (4.7)$$

formülü kullanılmıştır. Formülde a, b, c, d ve e regresyon katsayılarını ifade ederken, test noktalarındaki mineral değerleri X_i bağımsız değişkeni, aynı noktalardaki her bir bantın yansıtma değerleri de Y_i olarak alınmıştır (Coşkun ve diğ., 2008).

Regresyon analizi ile tahmini potansiyel jeotermal ve tahmini potansiyel kil alanlarında var olması beklenen mineral unsurların, yapılan çalışmalar ile bağlantısı incelenmiştir. İncelenen mineraller karbonat (Ca), kalsit (CaCO_3), kuvars (SiO_2), alunit ($(\text{KAl}_3)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) ve kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) olmuştur. Bölgedeki mineralojik çeşitliliğe dayanılarak seçilen minerallerin, MTA'dan temin edilen vektör değerlerine karşılık gelen bant oran görüntülerindeki piksel değerleri ve ASTER bantları piksel değerlerini içeren iki farklı veri kümesi kullanılmıştır.

Regresyon analizi yapılan diğer bir çalışma tahmini potansiyel jeotermal alan araştırmalarına yönelik olarak, ASTER uydusunun termal bantları ile oluşturulan sıcaklık haritalarından regresyon test noktalarına ait sıcaklık değerlerinin test edilmesine yönelik olmuştur.

Ayrıca spektral ayırma işlemi ve dokusal analiz sonuçları da regresyon analizinde değerlendirilmiştir.

4.9.1 Tahmini Potansiyel jeotermal alanlar için yapılan regresyon analizleri

Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için yapılan regresyon analizinde, sınıflandırma işlemlerinde yer-doğrulama test noktalarından seçilen 24 nokta kullanılmıştır (Şekil 4.35). Test noktalarının her biri için ASTER bantları (1-14) ve mineral gruplarının 2., 3. ve 4. bantlarındaki piksel değerleri alınarak regresyon katsayıları çıkartılmıştır (Çizelge 4.17).

Regresyon analizinde, mineral çıkarımına yönelik bant oran görüntüsü ve MTA'nın aynı mineral gruplarına ait vektör verilerinden yararlanılarak test noktalarının piksel değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.18). Çoklu regresyonda 24 noktada yapılan analiz ile elde edilen R değerleri Çizelge 4.19' da, gösterilmiştir.

Çizelge 4.17 : Regresyon analizinde kullanılan tahmini potansiyel jeotermal bölgedeki test noktalarının ASTER (1-14) bantları piksel değerleri.

Nokta No	Y (m)	X (m)	Bant 1	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 5	Bant 6	Bant 7	Bant 8	Bant 9	Bant 10	Bant 11	Bant 12	Bant 13	Bant 14
1	667759.08	4491719.42	55	34	107	48	54	53	55	43	57	1168	1268	1352	1606	1695
2	667787.19	4492544.19	86	78	136	97	109	108	112	102	107	1191	1282	1408	1641	1708
3	668490.91	4493580.94	55	42	120	57	61	59	63	51	66	1119	1216	1318	1563	1642
4	668958.61	4493653.08	133	124	199	117	109	114	112	116	116	1147	1245	1348	1589	1670
5	669430.47	4494485.64	95	89	199	112	102	89	98	94	97	1168	1268	1377	1620	1707
6	668567.13	4494644.71	164	168	182	170	172	176	163	160	166	1031	1116	1214	1470	1552
7	668401.60	4494553.23	81	89	153	126	123	139	134	124	127	1032	1112	1202	1469	1547
8	667232.37	4494300.41	90	97	147	122	123	127	128	116	136	1109	1203	1303	1545	1629
9	670967.43	4493997.54	67	62	107	107	109	102	106	94	107	990	1056	1145	1390	1479
10	668608.94	4494998.07	199	225	245	206	200	220	228	211	216	1018	1102	1196	1447	1524
11	667274.05	4494485.22	208	229	240	235	242	250	242	234	236	1172	1277	1384	1639	1716
12	670817.87	4492807.16	95	102	171	187	200	182	191	183	195	1082	1163	1256	1511	1593
13	669708.42	4494191.59	72	66	79	82	88	89	92	79	97	1068	1168	1239	1489	1572
14	669092.41	44993142.37	72	66	79	63	82	72	71	57	77	1146	1240	1347	1596	1680
15	668298.62	4493354.26	58	66	79	63	75	72	71	65	77	1161	1257	1365	1614	1688
16	669346.37	4494058.77	67	58	96	67	75	65	77	65	66	1080	1172	1267	1514	1593
17	672108.13	4493937.47	41	34	68	28	32	28	27	21	37	1075	1168	1283	1528	1612
18	672737.11	4494688.87	29	18	49	23	39	23	33	27	18	1072	1156	1262	1506	1582
19	668041.41	4494439.03	159	168	177	191	200	201	199	197	206	1175	1282	1384	1640	1720
20	666722.47	4494298.74	95	102	101	151	152	170	156	138	166	1159	1254	1345	1587	1662
21	669722.67	4492587.22	67	69	147	82	88	78	77	73	66	1044	1135	1231	1474	1560
22	667938.68	4493683.54	187	185	177	181	193	188	191	175	186	1036	1113	1186	1454	1521
23	669137.94	4493382.17	107	110	136	117	123	121	128	124	166	1464	1561	1670	1939	1983
24	667637.50	4493758.87	90	86	125	141	138	133	142	130	157	1468	1606	1736	1984	2065

Çizelge 4.18 : Tez çalışma alanında araştırılan minerallerin 24 test noktası için piksel değerleri.

Nokta No	Y (m)	X (m)	Kuvars			Kalsit			Kaolin			Karbonat			Alunit		
			Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 2	Bant 3	Bant 4
1	667759.08	4491719.42	140	98	73	8	0	171	123	98	88	131	137	122	0	0	107
2	667787.19	4492544.19	175	98	220	102	39	51	131	78	161	158	78	186	51	39	102
3	668490.91	4493580.94	68	78	151	235	19	93	158	78	142	140	117	142	0	0	142
4	668958.61	4493653.08	68	19	112	76	19	93	140	117	176	114	98	161	110	39	196
5	669430.47	4494485.64	119	117	102	110	78	127	70	98	98	105	78	161	59	19	255
6	668567.13	4494644.71	52	117	14	70	39	78	8	0	176	96	19	39	102	19	191
7	668401.60	4494553.23	105	78	63	96	78	0	52	58	49	49	78	43	136	58	107
8	667232.37	4494300.41	96	39	181	96	19	107	114	39	196	52	19	196	127	58	137
9	670967.43	4493997.54	26	78	93	114	78	127	70	78	220	35	19	78	59	78	191
10	668608.94	4494998.07	123	78	107	131	58	127	43	58	166	175	117	117	187	98	156
11	667274.05	4494485.22	131	98	137	123	78	142	140	78	132	105	98	132	161	58	127
12	670817.87	4492807.16	140	98	147	123	58	156	167	78	176	114	98	171	170	78	122
13	669708.42	4494191.59	102	117	93	0	0	0	0	0	0	127	98	98	51	98	117
14	669092.41	44993142.37	0	0	0	119	98	132	0	0	0	0	0	0	25	39	53
15	668298.62	4493354.26	0	0	0	0	0	0	131	98	147	140	58	156	153	58	88
16	669346.37	4494058.77	59	78	102	0	0	0	59	58	117	0	0	0	25	39	176
17	672108.13	4493937.47	211	58	240	0	0	0	131	98	137	137	98	131	8	0	161
18	672737.11	4494688.87	228	117	220	0	0	0	228	78	255	158	78	132	0	0	161
19	668041.41	4494439.03	167	78	176	158	78	112	123	78	186	167	78	166	119	98	132
20	666722.47	4494298.74	114	58	156	105	58	73	158	78	186	140	78	132	98	156	127
21	669722.67	4492587.22	127	78	147	85	58	73	0	0	0	0	0	0	136	78	127
22	667938.68	4493683.54	146	129	140	234	254	255	178	158	145	96	78	161	85	98	142
23	669137.94	4493382.17	142	98	127	58	78	34	147	137	110	161	78	93	142	58	102
24	667637.50	4493758.87	142	98	102	161	78	93	112	78	110	98	98	76	102	78	142

Çizelge 4.19 : Test noktalarındaki minerallerlerin çoklu regresyon analizi katsayı ve değerleri.

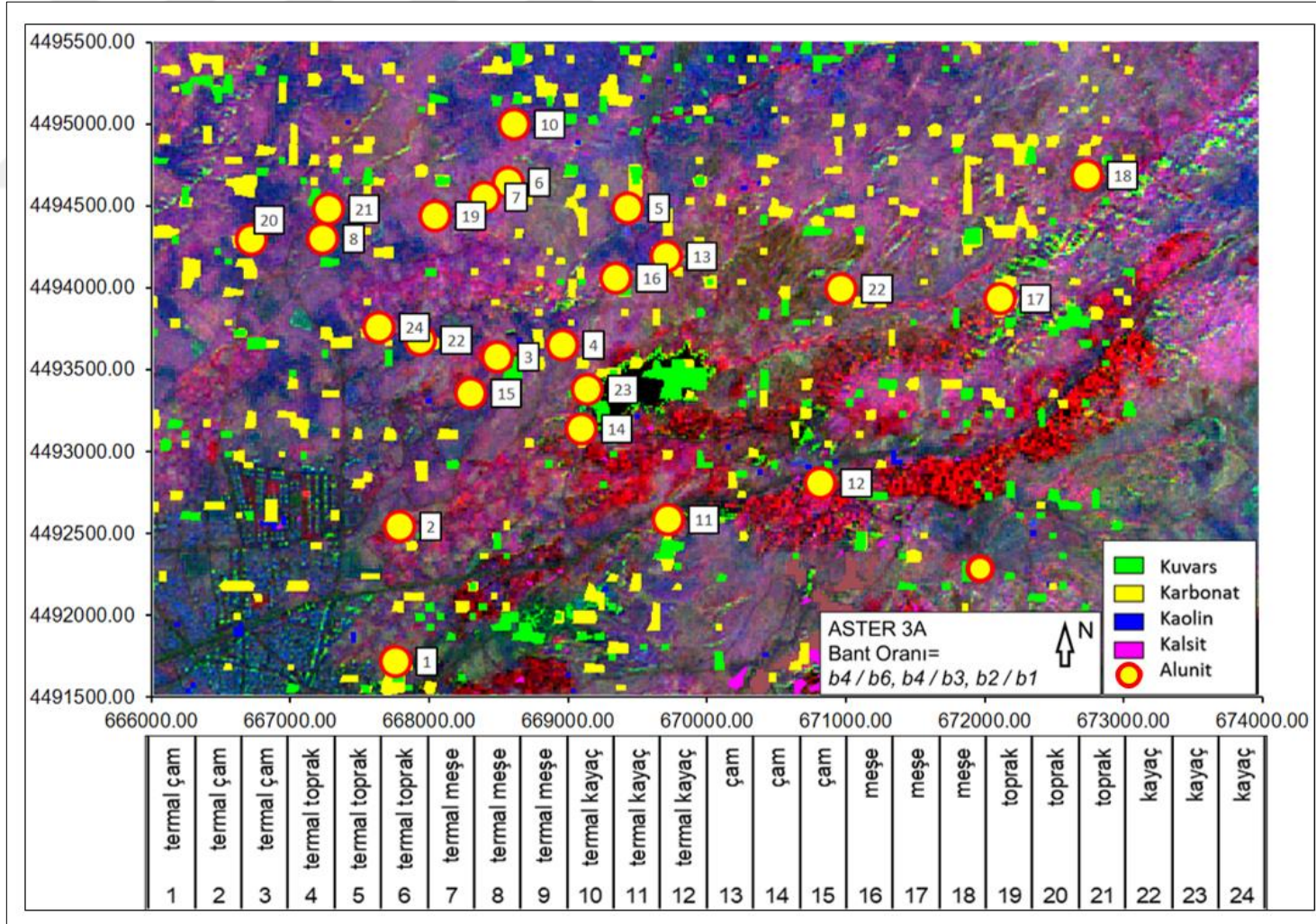
Bant No	Regresyon Katsayıları															R
	Kuvars			Kalsit			Kaolin			Karbonat			Alunit			
	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3	Bant-4	
1	-0.5260	-0.0138	0.4676	-0.2901	0.7989	0.2748	-0.1422	-0.4521	0.1503	0.5067	0.4490	-0.2884	0.5129	-0.3321	0.2054	0.880997
2	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	-0.5832	0.899036
3	-0.2209	0.0808	0.3199	0.0542	0.1624	0.2840	-0.2946	-0.0348	0.0006	0.1273	0.3534	-0.0708	0.7323	-0.5066	0.3509	0.940765
4	-0.1237	0.2601	0.0890	0.0158	0.3360	0.1665	-0.1115	-0.3430	0.2773	0.0062	0.4453	-0.0728	0.5907	0.1144	0.0688	0.935504
5	-0.1903	0.3092	0.1362	-0.0426	0.4067	0.1966	-0.0274	-0.4330	0.2681	0.0670	0.3609	-0.0919	0.5713	0.0719	-0.0434	0.929487
6	-0.2425	0.2399	0.1883	-0.0582	0.4937	0.1461	-0.1609	-0.4520	0.3750	0.0433	0.6199	-0.1147	0.6011	0.1028	-0.0932	0.924790
7	-0.1882	0.3176	0.1611	-0.0089	0.3792	0.1486	-0.2086	-0.2932	0.3704	-0.0001	0.5559	-0.0948	0.5849	0.1131	-0.1226	0.934110
8	-0.1632	0.2790	0.1500	-0.0083	0.3629	0.1518	-0.1637	-0.2942	0.3181	0.0613	0.4590	-0.0999	0.6361	0.0434	-0.0443	0.930352
9	-0.1624	0.3111	0.1187	0.0549	0.2386	0.1684	-0.2033	-0.0903	0.2868	0.1435	0.3325	-0.1117	0.5847	0.1749	-0.1549	0.922550
10(TIR)	2.4986	0.0700	-2.1144	1.9133	-3.2610	0.1311	0.6057	3.0520	-1.3095	1.0301	-3.6150	-0.1358	-0.0267	1.0462	-0.2058	0.758936
11(TIR)	2.8792	-0.0394	-2.4275	2.1534	-3.6518	0.1449	0.7204	3.1873	-1.4928	1.0798	-3.9151	-0.0944	-0.0716	1.2298	-0.0998	0.756850
12(TIR)	3.1921	-0.2144	-2.6027	2.3755	-3.8725	0.0822	0.6963	3.3685	-1.5171	1.1482	-4.2318	-0.0786	-0.0514	1.1291	-0.0916	0.750208
13(TIR)	3.1669	-0.1247	-2.6230	2.3387	-3.7546	0.0602	0.6899	3.4057	-1.4900	1.1367	-4.1453	-0.1246	0.0071	1.0646	-0.1682	0.759499
14(TIR)	3.2967	-0.2306	-2.7273	2.3557	-3.8233	0.0951	0.6639	3.2807	-1.4522	0.9724	-4.0240	-0.0522	-0.0570	1.1232	-0.0832	0.751819

Aynı veriler için uygulanan tekli regresyon analizinden elde edilen aynı mineral gruplarına ve bantlara ait regresyon analizi R değerleri Çizelge 4.20’ de gösterilmiştir.

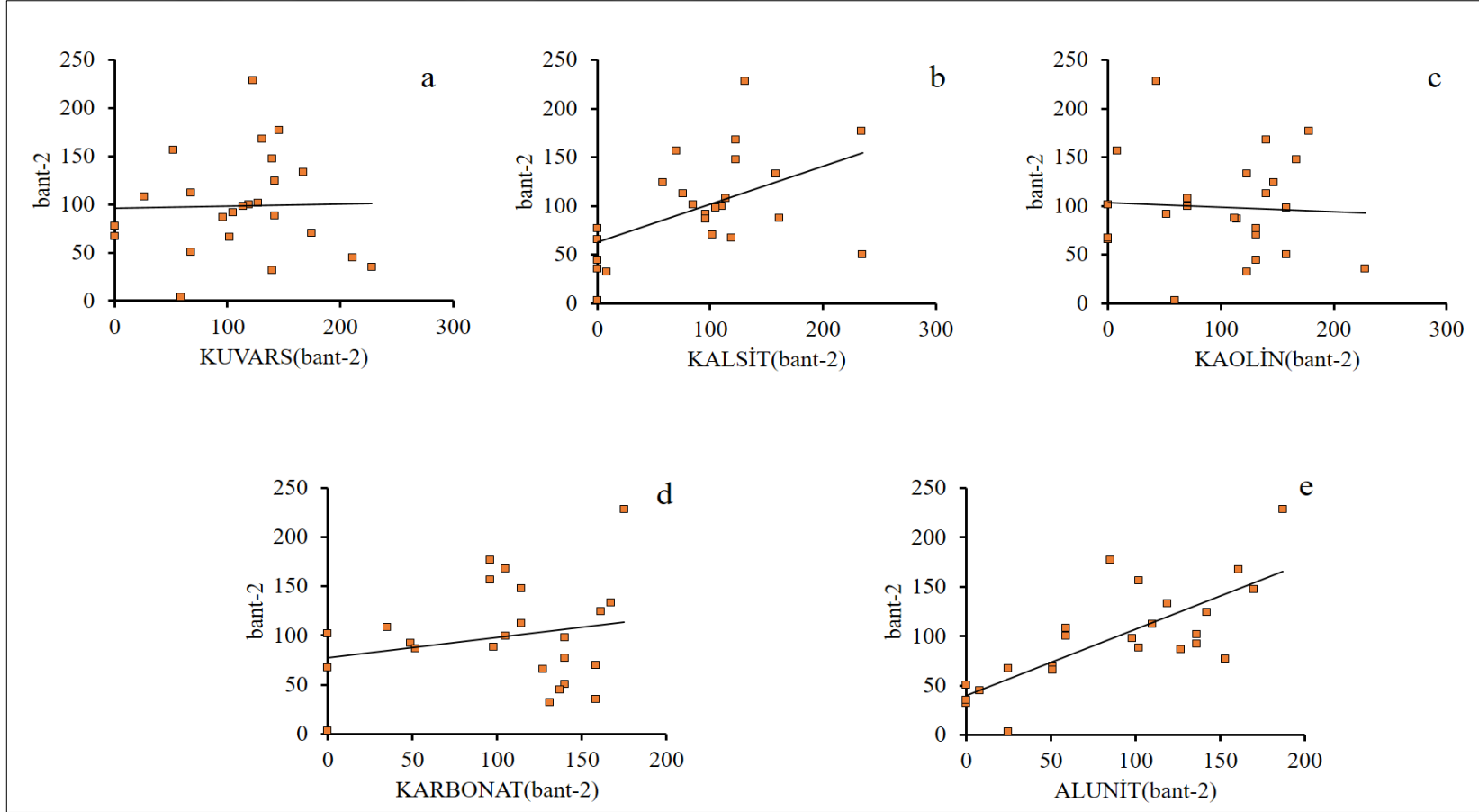
Çizelge 4.20 : Tekli regresyon analizinden elde edilen mineral gruplarına ait regresyon analizi R değerleri.

İncelenen Bant	Regresyon Değerleri				
	Kuvars	Kalsit	Kaolin	Karbonat	Alunit
	R	R	R	R	R
1	0.264231	0.592965	0.393639	0.204685	0.645822
2	0.223425	0.551947	0.376598	0.202145	0.713443
3	0.239300	0.564987	0.399052	0.284022	0.773136
4	0.277424	0.601956	0.325007	0.206277	0.797248
5	0.273577	0.613849	0.282817	0.198948	0.769465
6	0.233737	0.573883	0.292571	0.205141	0.783037
7	0.262842	0.589494	0.304329	0.221821	0.784529
8	0.255851	0.568634	0.318384	0.231290	0.794597
9	0.231801	0.577295	0.298272	0.249849	0.789356
10(TIR)	0.309847	0.155324	0.471902	0.315211	0.255983
11(TIR)	0.318906	0.154853	0.462276	0.316401	0.245386
12(TIR)	0.324267	0.316357	0.439581	0.307660	0.246414
13(TIR)	0.338411	0.175769	0.457534	0.318596	0.266809
14(TIR)	0.341598	0.160543	0.441295	0.302921	0.251677

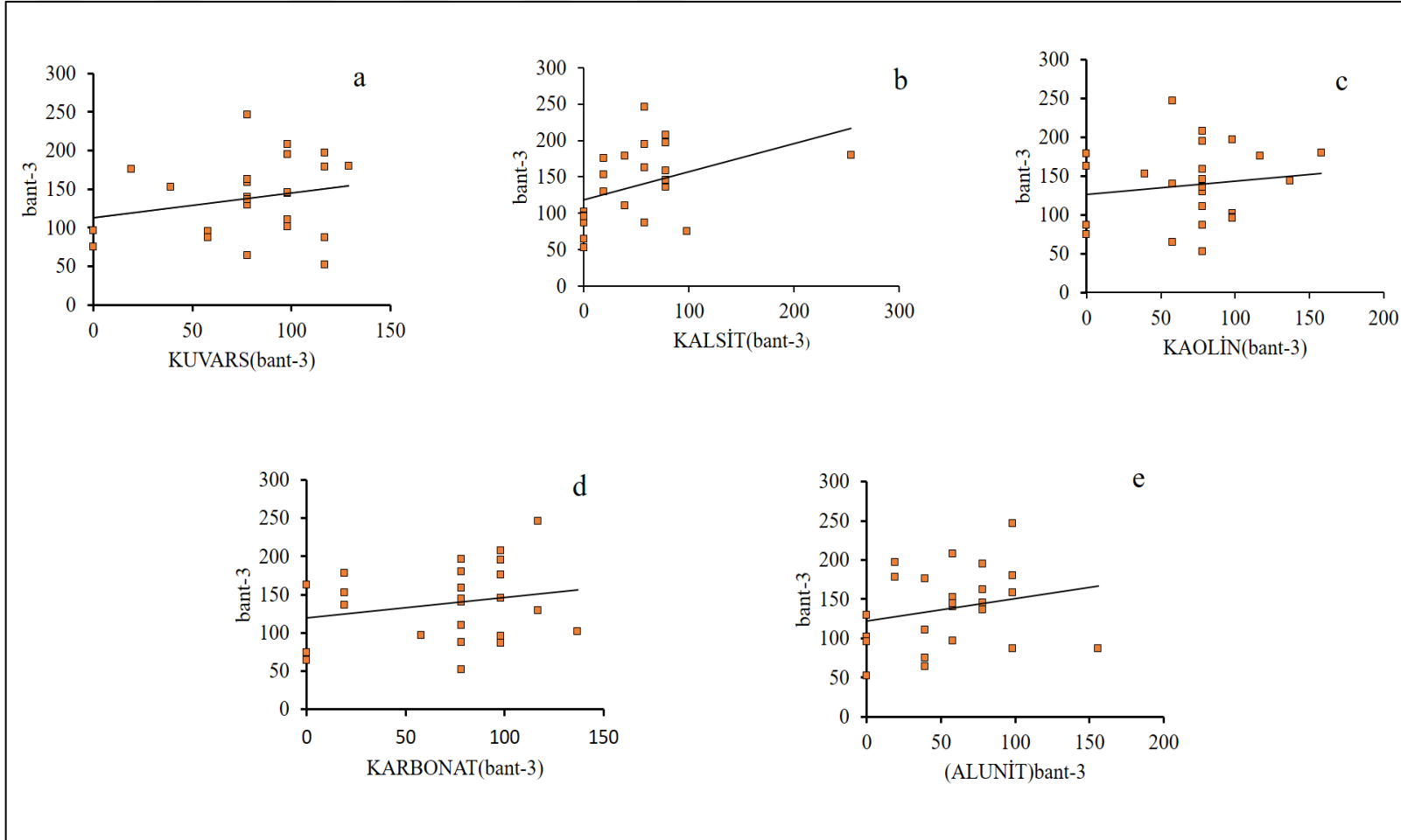
Regresyon analizinde test edilen minerallerin ASTER 2, 3 ve 4 bantlarından elde edilen piksel değerleri ile ASTER uydusunun VNIR, SWIR, TIR (bant-1 ila bant- 14) bantlarına karşılık gelen değerleri için histogramları çıkartılmıştır. Spektroradyometre ölçmeleri sonuçlarına göre sınıflandırma işlemlerinin bantları olarak seçilen ASTER uydusunun 2., 3. ve 4. bantları ile kuvars, kalsit, kaolin, karbonat ve alunit minerallerinin uyumu Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’deki histogramlarla gösterilmiştir.



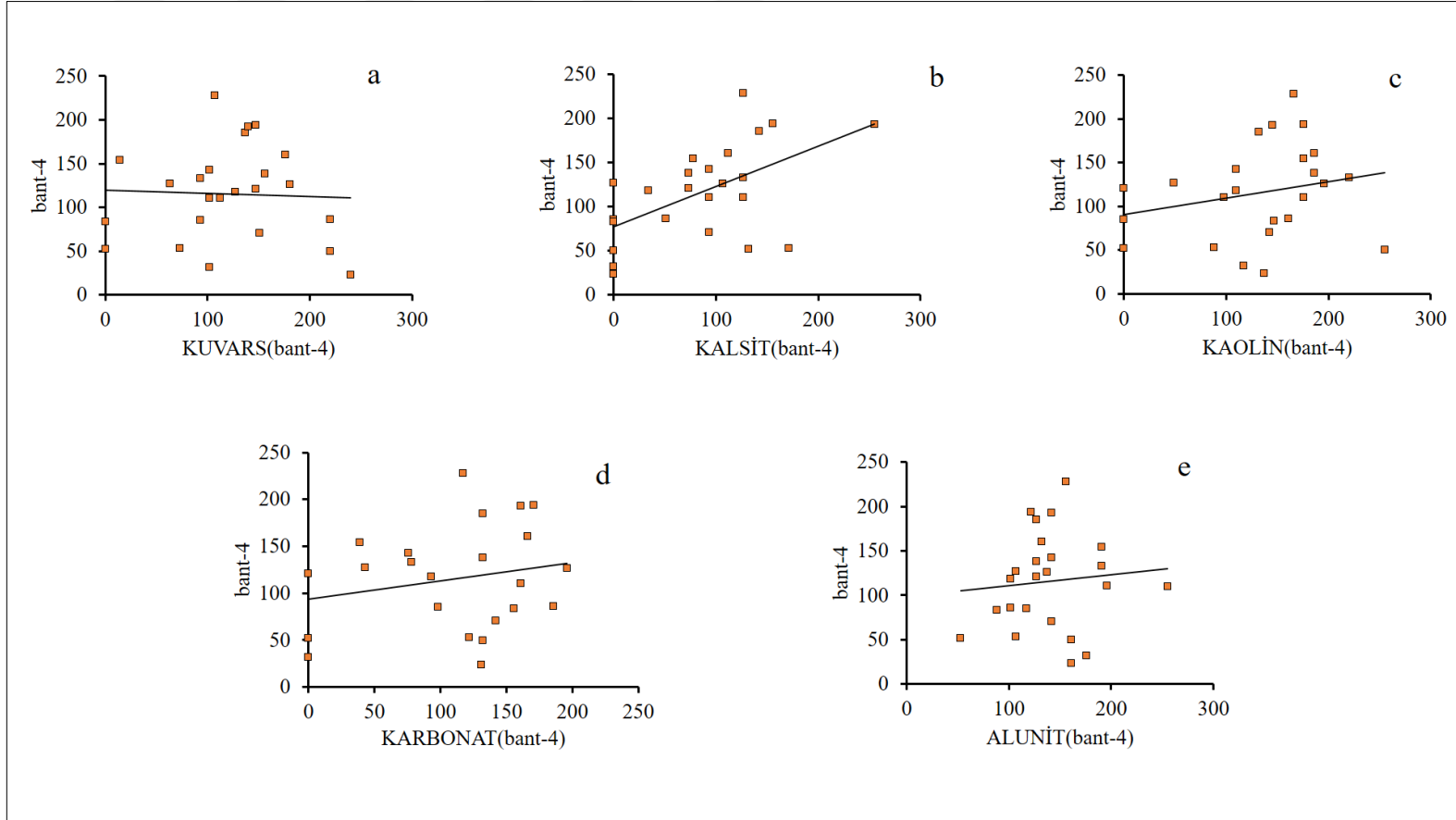
Şekil 4.35 : Regresyon analizinde kullanılan tahmini potansiyel jeotermal bölgedeki test noktaları ve minerallerin konumsal dağılımı.



Şekil 4.36 : Tez çalışma alanında tahmini potansiyel jeotermal test alanında regresyon analizine seçilen 24 test noktasının ASTER uydusu bant-2 histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).

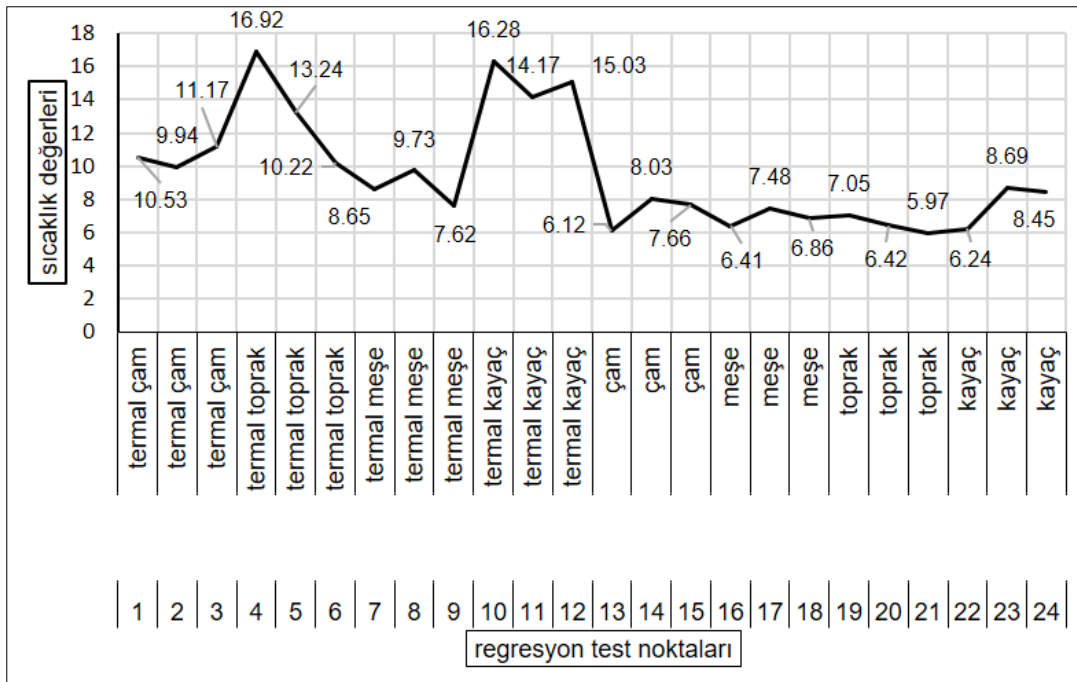


Şekil 4.37 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda regresyon analizinde seçilen test noktalarının ASTER uydusu bant-3 üzerindeki histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).

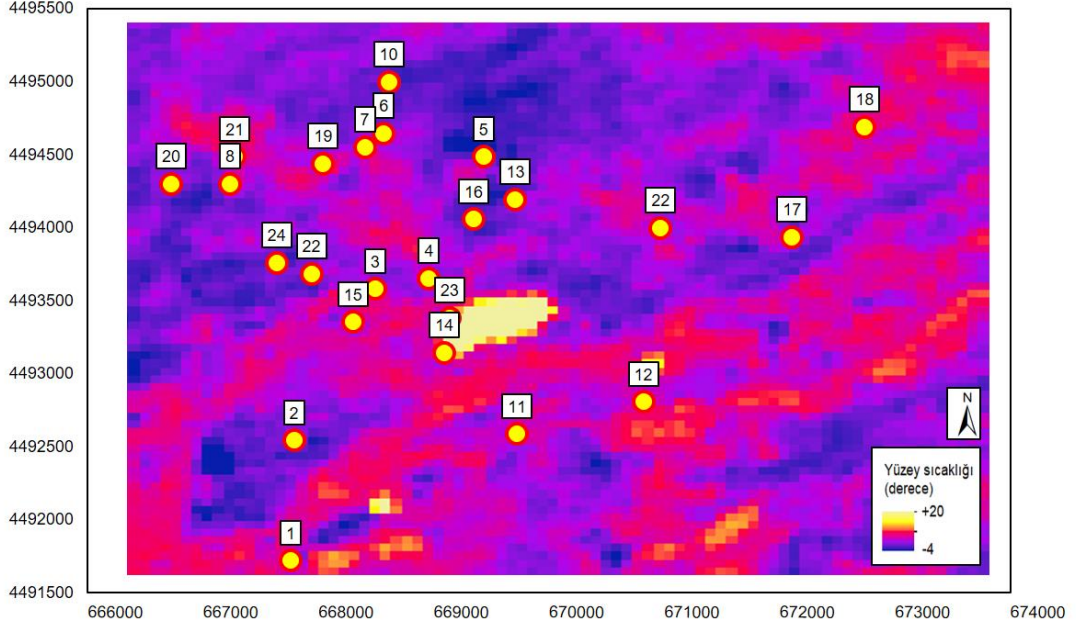


Şekil 4.38 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda regresyon analizinde test noktalarının ASTER uydusu bant-4 üzerindeki histogramları (a-kuvars, b-kalsit, c-kaolin, d- karbonat, e-alunit).

Tez çalışmasının diğ er bir araştırma konusu olan sıcaklık analiz sonuçları için de regresyon analizi yapılmıştır. YSA ile elde edilen sıcaklık haritalarından potansiyel jeotermal alanda seçilen regresyon test noktalarındaki sıcaklık değ erleri çıkartılarak, ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantları ve 10 ila 14. termal bantı için analiz yapılmıştır. Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda YSA sıcaklık haritaları ile çalışılan regresyon analizi için seçilen test noktalarının sınıfları ve sıcaklık değ erleri Ş ekil 4.39'da, konumları ise Ş ekil 4.40'da gösterilmiştir. Regresyon analizi için seçilen YSA test noktalarının ASTER uydusu termal bantlarında sıcaklık uyumu ise Ş ekil 4.41'de gösterilmiştir.

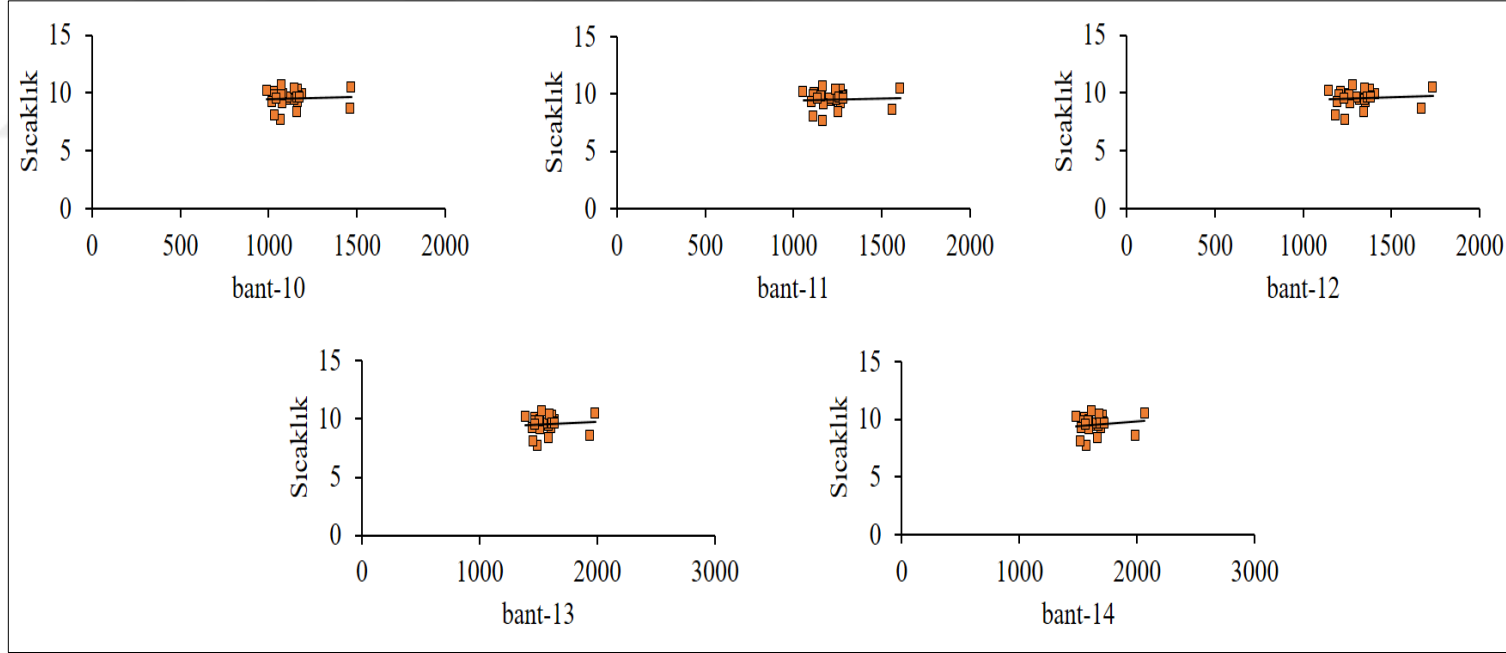


Ş ekil 4.39 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda YSA sıcaklık haritaları ile çalışılan regresyon analizi için seçilen test noktalarındaki sınıflar ve sıcaklık değ erleri.



Şekil 4.40 : ASTER gece-çekim görüntüsü kullanılarak oluşturulan YSA sıcaklık haritasında, tahmini potansiyel jeotermal alanların regresyon analizinde kullanılan test noktalarının konumsal dağılımı.

Aynı noktalara ait koordinat, sınıf ve sıcaklık değerleri Çizelge 4.23'te listelenmiş, regresyon analizi sonucu elde edilen R değerleri Çizelge 4.24 'te gösterilmiştir. Bu regresyon analizinde ASTER uydusu termal bantlarından elde edilen değerler göz önüne alınmakla birlikte VNIR 3. bantı diğer VNIR-SWIR bantlarından daha yüksek bir değer alması nedeniyle bu banta ait sıcaklık uyumu histogramı da ayrıca çıkartılmıştır (Şekil 4.42).



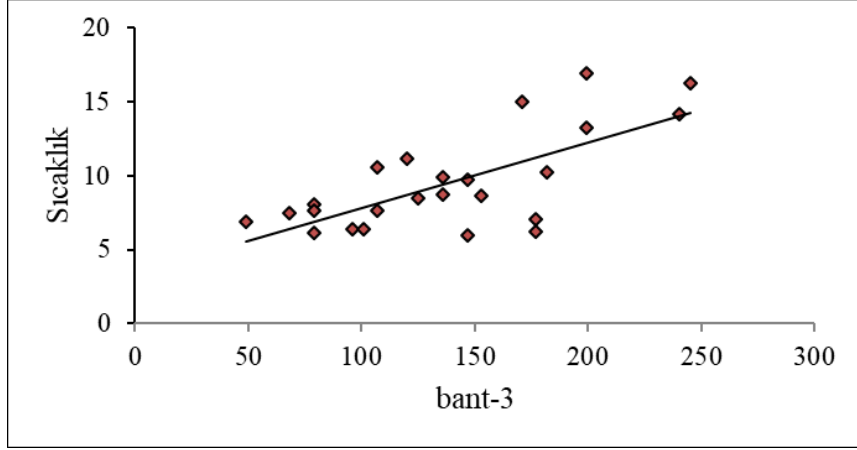
Şekil 4.41 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda regresyon analizinde test noktalarının ASTER uydusu termal bantlarında sıcaklık ilişkisine dayalı regresyon analizi histogramları.

Çizelge 4.21 : YSA sıcaklık haritalarından seçilen regresyon test noktalarının koordinatları, sıcaklık değerleri ve sınıfları.

Nokta No	Y(m)	X(m)	Tür	Sıcaklık
1	667759.08	4491719.42	termal çam	10.53
2	667787.19	4492544.19	termal çam	9.94
3	668490.91	4493580.94	termal çam	11.17
4	668958.61	4493653.08	termal toprak	16.92
5	669430.47	4494485.64	termal toprak	13.24
6	668567.13	4494644.71	termal toprak	10.22
7	668401.60	4494553.23	termal meşe	8.65
8	667232.37	4494300.41	termal meşe	9.73
9	670967.43	4493997.54	termal meşe	7.62
10	668608.94	4494998.07	termal kayaç	16.28
11	667274.05	4494485.22	termal kayaç	14.17
12	670817.87	4492807.16	termal kayaç	15.03
13	669708.42	4494191.59	çam	6.12
14	669092.41	4493142.37	çam	8.03
15	668298.62	4493354.26	çam	7.66
16	669346.37	4494058.77	meşe	6.41
17	672108.13	4493937.47	meşe	7.48
18	672737.11	4494688.87	meşe	6.86
19	668041.41	4494439.03	toprak	7.05
20	666722.47	4494298.74	toprak	6.42
21	669722.67	4492587.22	toprak	5.97
22	667938.68	4493683.54	kayaç	6.24
23	669137.94	4493382.17	kayaç	8.69
24	667637.50	4493758.87	kayaç	8.45

Çizelge 4.22 : YSA sıcaklık haritalarından seçilen regresyon test noktalarına ait regresyon katsayıları ve R değerleri.

İncelenen Bant	Regresyon Katsayıları	R	1-R
1	0.029447	0.443768	-
2	0.025107	0.436303	-
3	0.044246	0.705239	-
4	0.024279	0.423539	-
5	0.022025	0.375468	-
6	0.020770	0.382150	-
7	0.022674	0.403790	-
8	0.024275	0.428878	-
9	0.021136	0.381997	-
10(TIR)	0.000274	0.009765	0.990235
11(TIR)	0.000298	0.011540	0.988460
12(TIR)	0.000638	0.026389	0.973611
13(TIR)	0.000523	0.021708	0.978292
14(TIR)	0.000715	0.028817	0.971183



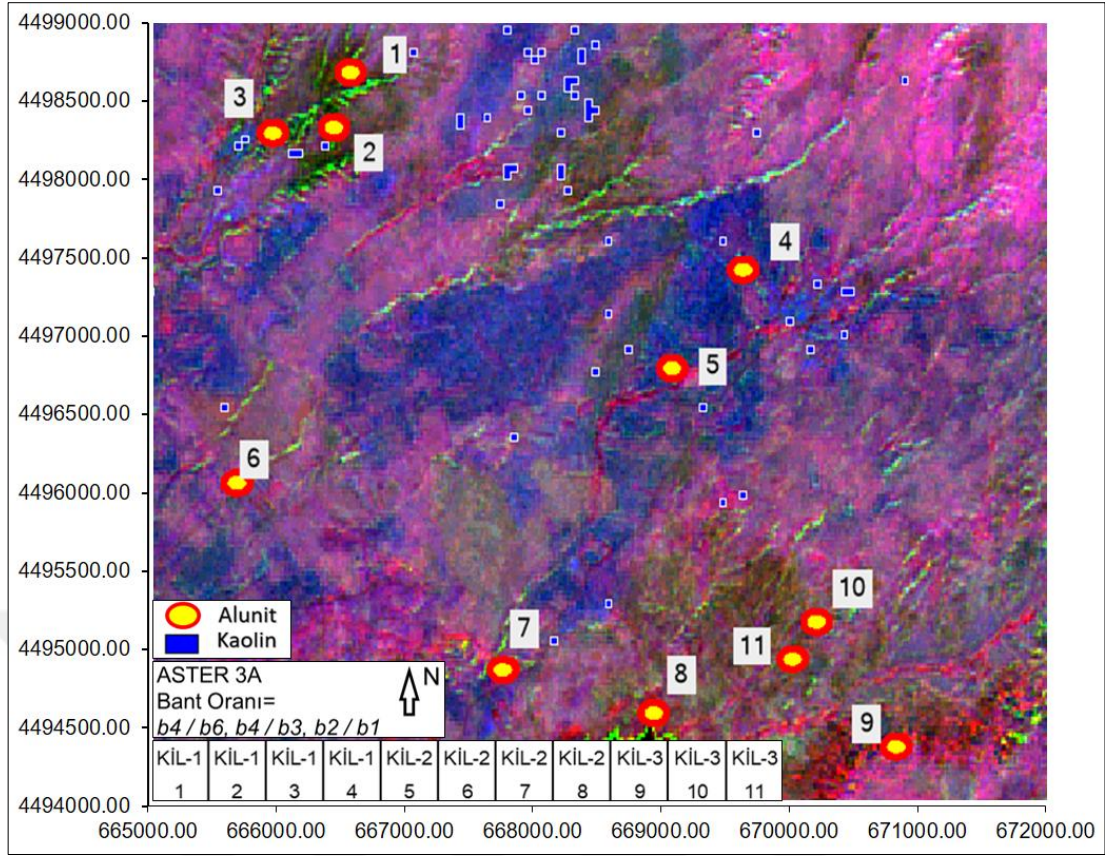
Şekil 4.42 : Tahmini potansiyel jeotermal alanlarda sıcaklığa bağlı olarak çalışılan yüzey sıcaklık analizi sonuçlarının test edilmesi için yapılan regresyon analizinde 24 test noktasının ASTER uydusu bant-3 üzerindeki histogramı.

4.9.2 Potansiyel kil alanları için yapılan regresyon analizler

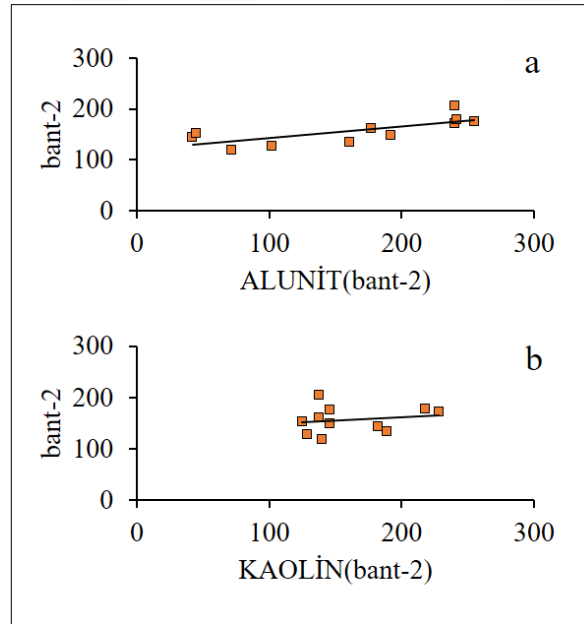
Muhtemel potansiyel kil alanları için yapılan regresyon analizinde, sınıflandırma işlemlerinde yer-doğrulmalı test noktalarından seçilen 11 nokta kullanılmıştır. Şekil 4.43’de gösterilen test noktalarının herbiri için ASTER bantları (1-14), alunit ve kaolin mineral gruplarının 2, 3 ve 4 bantlarındaki piksel değerleri alınarak regresyon katsayıları çıkartılmıştır. Test noktalarının türleri, koordinatları ve piksel değerleri Çizelge 4.25’te listelenmiştir.

Regresyon analizinde ASTER 2, 3 ve 4 bantlarında test edilen minerallerin ASTER uydusunun VNIR, SWIR, TIR (bant1-bant14) bantlarındaki, toplam 14 bantı için oluşturulan histogramları Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46’te gösterilmektedir.

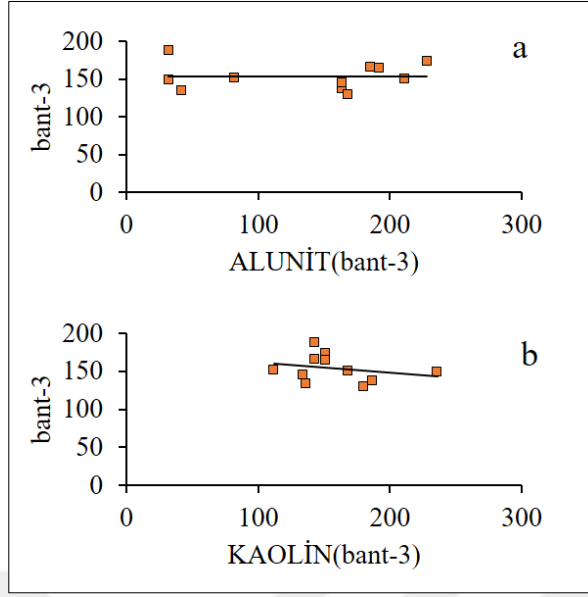
Muhtemel potansiyel kil alanları için yapılan analiz sonucunda, ASTER bantlarının herbirine (1ila 14) karşılık gelen tekli regresyon değerleri de Çizelge 4.26’ da gösterildiği gibi alunit ve kaolin mineral grupları için çıkartılmıştır. Termal bantlarda piksel değerleri yutulmaya karşılık geldiği için için $R = 1 - R$ değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.27). Ayrıca tekli regresyon analizi kil test noktaları içinde yapılmıştır. Tekli regresyon analizi katsayı ve değerleri Çizelge 4.28 ‘de, termal bantlar için yapılan analiz de Çizelge 4.29’da gösterilmiştir.



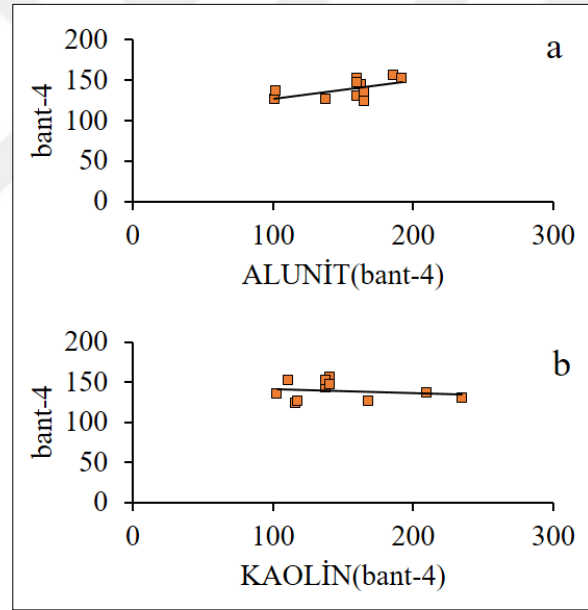
Şekil 4.43 : Regresyon analizinde kullanılan tahmini potansiyel kil bölgesindeki test noktaları ve minerallerin konumsal dağılımı.



Şekil 4.44 : Tahmini potansiyel kil alanları regresyon analizinde seçilen test noktaların ASTER uydusu bant-2 için histogramları (a- alunit, b-kaolin).



Şekil 4.45 : Tahmini potansiyel kil alanları regresyon analizinde seçilen test noktalarının ASTER uydusu bant-3 için histogramları (a- alunit, b-kaolin).



Şekil 4.46 : Tahmini potansiyel kil alanları regresyon analizinde seçilen test noktalarının ASTER uydusu bant-4 için histogramları (a- alunit, b-kaolin).



Çizelge 4.23 : Regresyon analizinde kullanılan tahmini potansiyel kil bölgesindeki test noktalarının ASTER (1-14) bantları piksel değerleri.

Nokta No	Tür	Y	X	Bant 1	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 5	Bant 6	Bant 7	Bant 8	Bant 9	Bant 10	Bant 11	Bant 12	Bant 13	Bant 14
1	KİL1	667123.00	4498741.28	182	157	147	112	138	127	134	130	146	1090	1168	1266	1514	1602
2	KİL1	667015.62	4498399.04	159	124	101	67	102	89	98	79	107	1070	1150	1241	1500	1586
3	KİL1	666599.56	4498365.49	208	209	166	122	152	139	142	146	157	1004	1073	1157	1424	1520
4	KİL1	669746.86	4497513.23	178	196	205	156	152	170	163	183	186	1159	1261	1350	1612	1692
5	KİL2	669270.41	4496895.85	133	154	142	103	131	127	142	146	157	1195	1299	1394	1650	1734
6	KİL2	665606.39	4495694.64	121	121	101	92	123	121	134	130	136	1114	1214	1319	1575	1663
7	KİL2	668136.31	4495030.29	133	148	142	117	131	127	134	124	146	1024	1096	1187	1434	1512
8	KİL2	669149.61	4494775.28	159	148	136	107	109	108	112	108	127	1011	1098	1192	1435	1516
9	KİL3	670766.88	4494553.83	107	110	107	72	82	84	84	79	77	1092	1179	1295	1533	1613
10	KİL3	670236.74	4495325.56	147	148	158	112	123	127	120	116	127	1050	1144	1232	1480	1567
11	KİL3	670068.98	4495090.69	190	172	125	97	116	121	120	130	136	1084	1171	1263	1518	1607

Çizelge 4.24 : Kil test noktalarındaki minerallerin çoklu regresyon analizi değerleri.

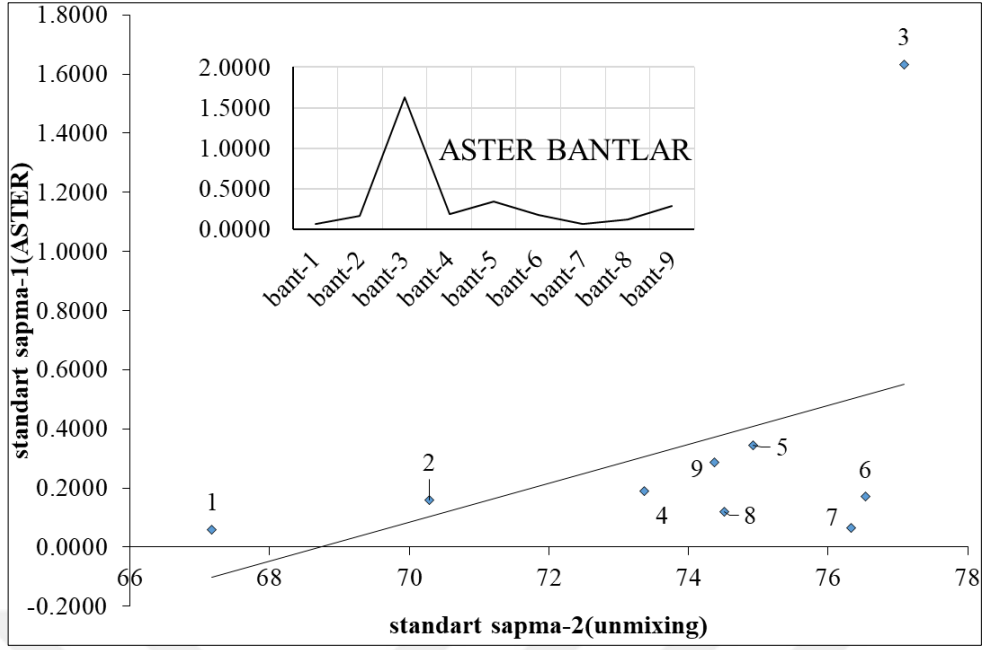
İncelenen Bant	Regresyon Katsayıları						R
	Alunit			Kaolin			
	Bant-2	Bant-3	Bant-4	Bant-2	Bant-3	Bant-4	
1	0.4121	-0.0974	-0.1239	1.1671	-2.8066	1.3084	0.813984
2	0.2214	-0.0698	0.0988	-0.1820	-0.3517	0.1104	0.588498
3	-0.0002	0.0077	0.3145	-0.0538	-0.5039	0.3759	0.382683
4	-0.0802	-0.0788	0.4562	-1.0932	1.7999	-0.9022	0.524558
5	-0.0102	-0.0649	0.3980	-1.2546	2.4200	-1.2783	0.636826
6	-0.0411	-0.0720	0.5284	-1.3080	2.1773	-1.0847	0.663949
7	-0.0965	-0.0903	0.5826	-1.8857	3.7323	-1.9419	0.732141
8	-0.0828	-0.1186	0.7637	-2.1725	3.9310	-1.9497	0.723183
9	-0.0692	-0.1369	0.6317	-2.0685	4.1514	-2.2544	0.675613
10(TIR)	-0.3096	0.1086	1.1262	-1.9223	4.2145	-1.4094	0.593116
11(TIR)	-0.4335	0.1189	1.4901	-2.2952	4.9460	-1.6840	0.578997
12(TIR)	-0.5028	0.1378	1.5419	-2.4324	5.2414	-1.6762	0.615881
13(TIR)	-0.4331	0.1745	1.6228	-2.4630	5.2367	-1.7255	0.619254
14(TIR)	-0.3791	0.1740	1.6393	-2.3599	4.9497	-1.5738	0.636892

Çizelge 4.25 : Kil tekli regresyon analizi katsayı ve değerleri.

İncelenen Bant	Regresyon Değerleri	
	Alunit	Kaolin
	R	R
1	0.721147	0.219599
2	0.431902	0.235894
3	0.247653	0.267212
4	0.313435	0.307909
5	0.480907	0.376904
6	0.419507	0.354419
7	0.456329	0.428729
8	0.441856	0.380839
9	0.465892	0.375981
10(TIR)	0.241735	0.432205
11(TIR)	0.235573	0.357752
12(TIR)	0.191396	0.411272
13(TIR)	0.285065	0.392228
14(TIR)	0.323607	0.402787

4.9.3 Diğer regresyon analizleri

Tez çalışması için ASTER VNIR ve SWIR bantları kullanılarak yapılan, ön sınıflandırma niteliği taşıyan spektral ayırma işlemlerinden elde edilen sonuç görüntülerin test edilmesi için regresyon analizlerinden yararlanılmıştır. Bunun için elde spektral ayırma sonuç verilerine ait standart sapma değerleri ile ASTER uydu bantlarına ait standart sapma değerleri iki ayrı veri grubu olarak analize alınmıştır (Şekil 4.47). Analiz sonucu elde edilen regresyon istatistikleri Çizelge 4.30' da yer almaktadır.



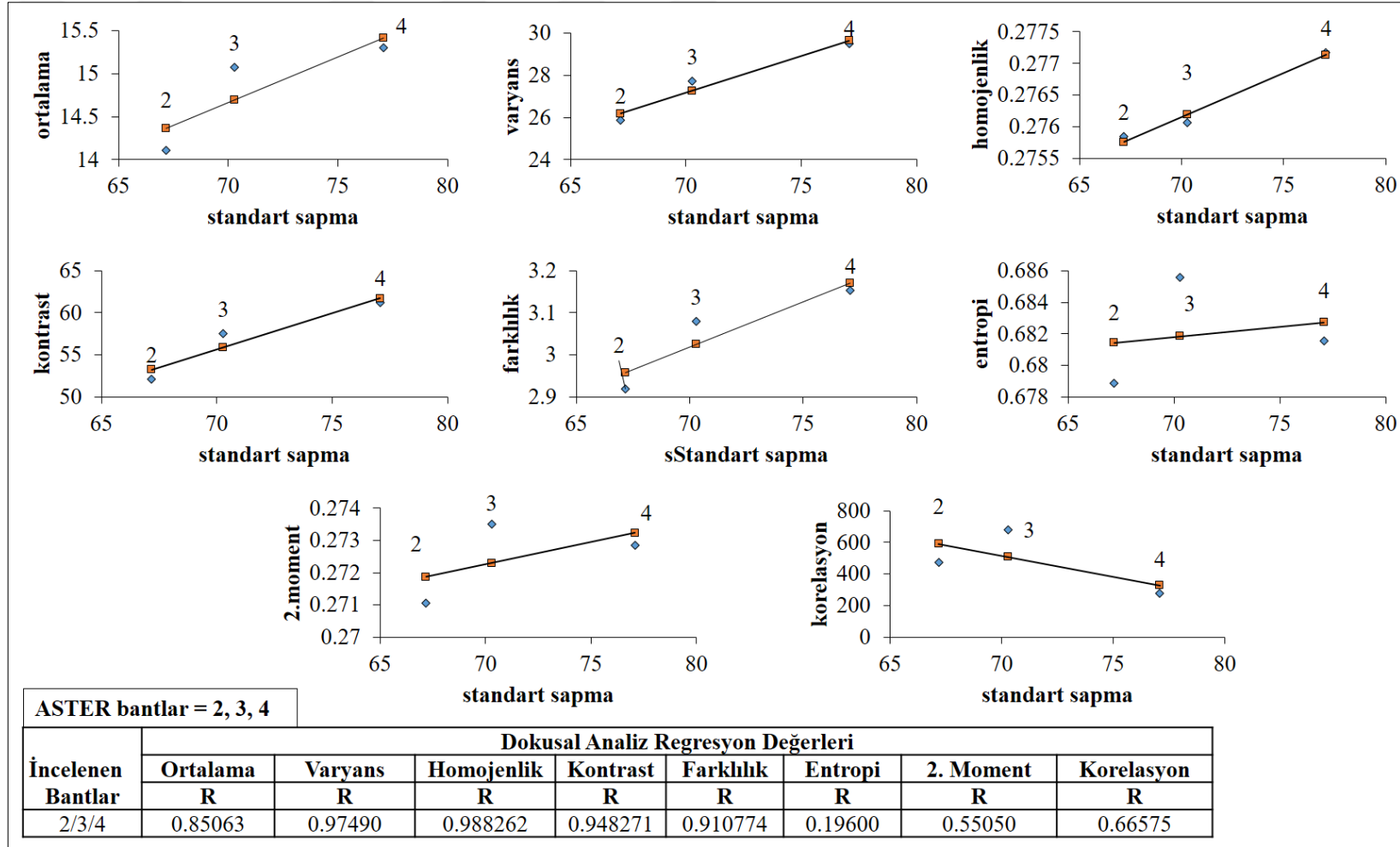
Şekil 4.47 : Spektral ayırma işleminin test edilmesine yönelik olarak ASTER uydusunun dokuz bantı kullanılarak yapılan regresyon analizi.

Çizelge 4.26 : Spektral ayırma işlemi sonucu oluşan görüntü üzerine yapılan regresyon analizi istatistik sonuçları.

Regresyon İstatistikleri	
R	0.428084
R²	0.183256
Standart hata	0.478293
İncelenen bant sayısı	9

Tez çalışmasında kullanılan ASTER uydusu bantlarına (VNIR+SWIR bantları; bant-2, bant-3 ve bant-4) yapılan dokusal analizler sonucunda elde edilen 24 özellik bantı Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Dokusal farklılıkların tespit edilebilirliğinin test edilebilmesi için bu bantlardan her bir özelliğin toplam sekiz standart sapma değeri ASTER bantlarının standart sapma değeri ile regresyon analizine alınmıştır.

Şekil 4.48’ de regresyon istatistikleri özeti ve sekiz özellik için elde edilen regresyon uyum histogramları gösterilmiştir.



Şekil 4.48 : ASTER uydusunun dokuz bantı ile yapılan dokusal analizde sekiz dokusal özelliğin standart sapma değerleri ve ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantlarının standart sapma uyumluluğunun araştırılması için çalışılan regresyon analizi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Orta-Kuzey Anadolu Bölgesinin Çorum İli sınırları içerisinde tahmini potansiyel jeotermal ve tahmini potansiyel kil alanlarının araştırılmasına yönelik olarak gerçekleştirilen tez çalışması sonuçları değerlendirildiğinde;

ASTER uydu verisi üç adet görünür-yakın kızılötesi, altı adet kızılötesi ve beş adet termal bantlara sahip olması, maden araştırmaları ve jeotermal araştırmalarda iyi sonuç vermesi nedeni ile yaygın olarak kullanıldığından bu tez çalışmasında tercih edilmiştir. 2015 ve 2016 yılları Kasım aylarına ait ASTER uydu verisi çalışmanın amacına yönelik olarak kullanılmıştır.

2015 yılında yapılan arazi çalışmaları ile belirlenen üç adet mevcut jeotermal ve üç adet mevcut kil bölgelerini içeren altı test alanı belirlenmiş, 33 tanesi spektrometre ölçmelerinde kullanılmak üzere 145 örnekleme noktası seçilmiş ve GPS ölçmeleri ile uzaysal koordinatları ölçülmüştür. 2016 yılında, 2015 yılında seçilen jeotest-1 olarak adlandırılan test alanından 13 adet test alanı daha türetilmiş ve 65 tanesi spektrometre ölçmelerinde kullanılmak üzere 483 örnekleme noktası tez çalışmasına eklenmiştir. İki yılda toplam olarak 19 996 hektarlık alanda örnekleme noktalarının ölçmeleri yapılmıştır.

Spektrometre ölçmeleri görüntü sınıflandırma işlemlerine yol gösterecek olan ana sınıfları oluşturan, mevcut termal tesislerin etrafından ve tesislerin dışından seçilen noktalardan alınan termal ve termal alan-dışı çam, meşe, toprak ve kayaç olarak alınan örnekler için yapılmıştır. Örneklerin her birinin histogramları çıkartılarak ASTER uydusu bant aralıkları ile örtüştürülmüş, yüksek yansıma yaptıkları, birbirlerine karışmadıkları spektral aralıklar belirlenmiş, ayrıca kendi türleri arasındaki spektral farklılıkları ele alınarak yorumlanabilmiştir. En yüksek ve en düşük yansıtma değerleri ile incelenen örneklerin 2., 3. ve 4. bant aralıklarında daha net ayrılabilirdiği gözlenmiştir.

2015 yılında seçilen altı test bölgesi ve 2016 yılında seçilen 13 test bölgesinde bulunan farklı ağaç ve bitki örneklerinin spektrum ortalama değerleri ile elde edilen spektral

imzalarını temsil eden sonuç histogramları tez çalışma alanına ait spektral kütüphaneyi oluşturmuştur. Aynı zamanda tez çalışma alanında kalan, bölgeye ait özel türler de envanter oluşturacak şekilde spektral kütüphaneye eklenmiştir.

Spektral kütüphane envanterinden toplanan örneklerin ASTER bant aralıklarında tanımlanabilmesi ve bu örneklerin görüntü üzerindeki bağıl çokluğunu belirlemek üzere lineer spektral ayırma yöntemine başvurulmuştur. Spektral ayırma algoritması ile yapılan işlem için ASTER uydusunun yedi kızıl ötesi bantı kullanılmıştır. Ön sınıflandırma olarak değerlendirilebilecek spektral ayırma sonuç görüntülerindeki tahmini potansiyel jeotermal yüzey belirtileri, mevcut tesis ve sondaj alanı dikkate alınarak incelenmiştir.

Spektroradyometre ölçmelerinde örneklerin karışmadığı ve ayırt edilebildiği en iyi sonucu veren ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantları tez çalışmasında kullanılan tüm sınıflandırma işlemlerinin bantları olarak seçilmiştir. Görüntü sınıflandırma işlemlerinde Uzaktan Algılama (UA) araştırmacılarının en yaygın olarak tercih ettiği En Yüksek Benzerlik (EYB) algoritması kullanılmıştır. İkinci yöntem ise son yıllarda kullanılmaya başlayan ve cisimler arasındaki spektral korelasyona dayalı Spektral Korelasyon Haritalama (SKH) sınıflandırma işlemi olmuştur. İki sınıflandırma işlemlerinde de spektroradyometre ölçmeleri ile belirlenen termal çam, meşe, toprak, kayaç ve termal alan-dışı çam, meşe, toprak, kayaç örneklerinden oluşan sekiz ana sınıf kullanılmıştır. 500'e yakın yer-doğrulmalı örnekleme noktalarının kullanıldığı sınıflandırmalarda, genel doğruluk analizi sonuçları EYB'de % 94.80 ve SKH' de % 90.50 olarak elde edilmiştir. EYB yöntemi % 4.30 oranında daha güvenilir bir sonuç vermiştir. Her bir örnek sınıfın iki yöntemde de sınıflandırma doğrulukları yüksek oranlarda sonuç vermiştir. Bu sonuçlara göre yer-doğrulmalı olarak alınan örnekleme noktaları ile yapılan sınıflandırma işlemleri sonuç görüntüsünde, termal sınıfların bulunduğu yerlerde tahmini potansiyel jeotermal varlığından söz edilebilir.

Tahmini potansiyel kil alanlarının araştırılmasına yönelik olarak yapılan sınıflandırma işlemlerinde de EYB ve SKH yöntemleri kullanılmıştır. 2015 yılında seçilen üç kil test alanından kiltest-3 olarak numaralandırılan test alanında görüntü sınıflandırma işlemleri ve doğruluk analizleri yapılmıştır. Doğruluk analizi sonuçlarında EYB sınıflandırmasının genel sınıflandırma doğruluğu % 92.58, SKH sınıflandırmasının ise %91.96 olarak elde edilmiştir. Kil sınıflarından kil-1 ve kil-2 , kil-3 sınıfına göre daha yüksek sınıflandırma doğruluğu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bu

bölgede tahmini potansiyel kil varlığından söz edilebilir. Ayrıca özellikle SKH sınıflandırması sonuç görüntüsünde; mevcut jeotermal tesis ve jeotermal sondaj alanlarının yakınlarında tahmini potansiyel kil varlığına işaret edebilecek kil-1 ve kil-2 sınıflarına ait arazi yüzeyi bulguları gözlemlenmiştir. Tahmini potansiyel kil minerallerinin bu alanlarda tahmini potansiyel jeotermal suların etkilediği düşünülmektedir.

Tez çalışma alanındaki sıcaklık farklılıklarının analizi için, ASTER uydusu termal bantları kullanılarak, termal görüntü sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Atmosferik geçirgenliği yüksek olan 12., 13. ve 14. termal bantlar sınıflandırma işleminde kullanılmışlardır. Tahmini potansiyel jeotermal alanların varlığına işaret edebilirliğinin araştırılmasına yönelik olarak çalışılan bu sınıflandırma işlemindeki yüzey sıcaklık sınıfları, Yüzey Sıcaklık Analizi (YSA) ile oluşturulan sıcaklık haritalarından elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Sınıflandırma sonucu oluşturulan 11 adet sınıf ile diğer sınıflandırma yöntemlerinde seçilen termal-çam, meşe toprak ve kayalık sınıflarının bulunduğu konumlardaki sıcaklık değerleri incelenmiş ve diğer sınıflandırma sonuç görüntülerindeki termal sınıfların bulunduğu alanlarla karşılaştırılmıştır. Bu sınıflandırma işlemi sonuç görüntüsünde tahmini potansiyel jeotermal alanlara işaret edebilecek sıcaklık bulgularının elde edilebilmesi mümkün görünmektedir.

Tez çalışma alanında tahmini potansiyel jeotermal ve tahmini potansiyel kil varlığına işaret edebilecek minerallerin çıkarımına yönelik olarak yapılan bant matematiği ve bant oranlama işlemlerinde ASTER uydusu görünür yakın kızılötesi ve kızılötesi bantları kullanılmıştır. Bu çalışma, tahmini potansiyel jeotermal varlığına ve tahmini potansiyel kil alanlarına işaret edebilecek, bölgeye özgü minerallerin belirlenebilmesinde yardımcı veri olarak kullanılmıştır. Killer topraklarda, sedimentlerde, kayalarda ve birçok hidrotermal alterasyon zonunda bol miktarda bulunmaktadır. Topraklarda kimyasal bozuşma, sularındaki sedimentin çökmesi sonucu hidrotermal ayrışma ile kil mineralleri oluşmaktadır.

Tahmini potansiyel jeotermal alanların varlığının belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise yüzey sıcaklık farklarının araştırılması için yapılan Yüzey Sıcaklık Analizi (YSA) işlemleridir. Sıcaklık dağılım haritalarını elde etmek üzere Kasım ayında elde edilen dört farklı uydu verisinin (ASTER-3A, ASTER-gece, LANDSAT ve LANDSAT8) termal bantları üzerine tek kanal algoritması

uygulanmış, sonuç görüntülerde yüksek sıcaklık gösteren aynı noktaların sıcaklık değerleri kıyaslanmıştır. ASTER uydusu gece verisi ile elde edilen sıcaklık değerleri, diğer üç uydunun sıcaklık değerlerinden 4-5 derece yüksek çıkmıştır. Meteorolojik verilerde çalışma alanı sıcaklığı Kasım ayı ortalamaları için 11 derece civarındadır. Tahmini potansiyel jeotermal olarak belirlenen alanların yükseklikleri ise 1000 metrenin üzerinde kalmasına rağmen, bu tez çalışmasında potansiyel termal olarak tahmin edilen alanlardaki sıcaklık değeri ise tez çalışma alanı için elde edilen YSA sıcaklık haritalarında 19 derece civarında bulunmuştur. Elde edilen sonuçlarda, kullanılan YSA algoritmasının tez çalışma alanı için uygunluğundan, tahmini potansiyel jeotermal olarak belirlenen alanlarda jeotermal varlığına ait yüksek sıcaklık bulgularından söz edilebilmektedir.

Tez çalışma alanını da içine alan, engebeli coğrafi yapıya sahip olan bölgede yoğun fay hatları bulunmaktadır. Tahmini potansiyel jeotermal alanlara işaret edebilirliğini test etmek ve fay hatlarında olası yüksek sıcaklık farklılıklarını belirlemek üzere, fay hatları yükseklik-sıcaklık analizi yapılmıştır. Dört farklı uyduya ait YSA ile elde edilen sıcaklık haritaları kullanılarak, 30 test noktasında yer yüzeyi sıcaklıkları araştırılmıştır. Yapılan analiz sonucunda mevcut termal tesisin güneyinde yoğunlaşan olası ve yapısal fay hatlarında yüksek sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca test noktalarında, farklı yüksekliklerde benzer sıcaklık değerlerine bir çok noktada rastlanmıştır. Kasım ayı verileri ile yapılan bu analiz sonucunda bu noktalarda tahmini potansiyel alanlara ait belirtilerin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Tez çalışmasında sekiz adet dokunun incelendiği dokusal analizler için kullanılan bantlar, spektrometre ölçmeleri sonuçlarında örneklerin karışmadığı ASTER uydu verisinin 2., 3., ve 4. bantlarıdır. ASTER bantlarına ait dokusal analiz için bu bantlar kullanılarak yeni 24 özellik bantı elde edilmiştir. Bu bantlara ait genel istatistik değerleri hesaplanmıştır. ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantlarına ait özelliklere ait istatistiksel veriler elde edilerek analiz yapılmıştır. Özellikle korelasyonun değeri çok yüksek çıkmıştır. İkinci moment, korelasyon, ortalama, varyans, homojenlik, kontrast, farklılık ve entropi ile adlandırılan sekiz dokusal özelliğe ait oran görüntülerinin sonuç verdiği farklı yüzey belirtileri incelenmiş, tez çalışma alanındaki potansiyel tahmini jeotermal alanların bulunduğu kısımlar ile bir arada değerlendirilebilmiştir. ASTER bantları ile yapılan dokusal analiz istatistik sonuçlarında; korelasyon, kontrast ve

varyans doku özelliklerinin standart sapma değerleri diğer özelliklere göre daha yüksek sonuç vermiştir.

Tez çalışmasında kullanılan farklı UA yöntemleri, tekli ve çoklu regresyon analizleri ile test edilmiştir. Regresyon analizleri üç bölümde yapılmıştır.

Tahmini potansiyel jeotermal alanların belirlenmesine yönelik olarak arazi çalışmalarında örnekleme noktası olarak ölçülen noktalardan 24 tanesi regresyon test noktaları olarak belirlenmiş, oran görüntüsü ve minerallerin vektör değerleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Özellikle görüntü sınıflandırma işlemlerinin bantları olan ASTER uydusu 2., 3. ve 4. bantlarının regresyon analizi ile incelenerek uyumluluğu test edilmiştir. Çoklu regresyon analizinde jeotermal su içeriğinde bulunan kuvars, kalsit, kaolin, karbonat ve alunit minerallerinin üç bant için elde edilen R değerleri bant-1 için 0.94, bant-2 ve bant-3 için de 0.93 olarak elde edilmiştir. Aynı veriler kullanılarak yapılan tekli regresyon analizinde ise kuvars, kalist, kaolin, karbonat ve alunit minerallerinin hesaplanan R değerleri sırasıyla 0.24, 0.56, 0.39, 0.28 ve 0.76 sonuç vermiştir. Bu sonuçlara göre Kalsit ve Alunit mineral değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu minerallerin bulunduğu yerlerin tahmini potansiyel varlığına işaret edebilirliğinden söz edilebilmektedir.

Tahmini potansiyel jeotermal alanlar için seçilen 24 regresyon test noktası sıcaklık değerleri, YSA sıcaklık uyumu için regresyon analizinde kullanılmıştır. Bu noktaların ASTER termal bantlarındaki değerleri yutulma bantları olmasından dolayı 1-R olarak hesaplanmış ve bu değerler ortalama olarak 0.97 olarak sonuç vermiştir. Bu sonuca göre kullanılan termal bantların YSA analizi ile uyumlu olduğu, kullanılan tek kanal algoritmasının da uygun olduğunu gösterdiği söylenebilir. Ayrıca bu analizle sınıflandırma işlemlerinde seçilen termal / termal alan-dışı örneklerin bulunduğu yerlerdeki sıcaklıklar değerleri arasındaki farklar bu alanlarda da jeotermal varlığından söz edilebilir.

Tahmini potansiyel kil alanları regresyon analizinde arazi ölçmeleri ile doğrulanan 11 test noktası kullanılmıştır. Kiltest-3 alanındaki potansiyel kil minerallerinin araştırmasına yönelik olarak kullanılan UA yöntemlerinin uygunluğu açısından yapılan regresyon analizinde; ASTER uydusu bant-2, bant-3 ve bant-4 uyumu test edilmiş, bu bantlar için yapılan çoklu regresyon analizinde R değerleri sırası ile 0.38, 0.52 ve 0.63 olarak sonuç vermiştir. ASTER uydusu diğer bantları 1, 7 ve 8'in R

değerleri ise sırası ile 0.81, 0.73 ve 0.72 çıkmıştır. Tekli regresyon sonuçlarında ise tüm bantların R değerleri yaklaşık olarak 0.35 olarak elde edilmiştir. Termal bantların çoklu regresyon 1-R değerleri 0.40, tekli regresyonda ise 0.60 olarak hesaplanmıştır. Tahmini potansiyel kil alanları için yapılan çoklu regresyon analizi sonuçlarına göre kullanılan yöntemler ve bantların uyumlu olduğu söylenebilir. Ayrıca regresyon analizi sonuçlarına göre tahmini potansiyel kil araştırmalarında alternatif olarak 7., 8. ve 9. bantların kullanılabilirliğinden söz edilebilmektedir.

İncelenen diğer regresyon analizleri, spektral ayırma ve dokusal analiz sonuçlarının irdelenmesi için yapılmıştır. Spektral ayırma ile elde edilen dokuz bantlı sonuç görüntüsünün standart sapma değerleri ile ASTER uydusu bantlarının standart sapma değerleri bir arada test edilmiştir. Regresyon analizi ile hesaplanan R değeri 0.43 çıkmıştır . Dokusal analiz için regresyon analizi sonuçlarında sekiz özellikten ortalama, varyans, homojenlik, kontrast ve farklılık için R değerleri 0.90 civarında, açısız ikinci moment 0.55 ve korelasyon da 0.66 sonuç vermiştir. Bu analizde entropi 0.19 ile en düşük değeri göstermiştir. Bu sonuçlara göre spektral ayırma ve dokusal analiz yöntemlerinin tez çalışmasında tercih edilen ASTER bantları ile uyumlu olduğu dolayısı ile de tahmini potansiyel ve tahmini kil alanlarının araştırılmasında kullanılabilirliğinden söz edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında yersel verilerle desteklen Uzaktan Algılama görüntü işleme yöntemleri kullanılarak, tahmini potansiyel jeotermal alanların belirlenebileceği gösterilerek hipotezde beklenen amaçlara ulaşılmıştır.



KAYNAKLAR

- Aboelkhair, H., Ninomiya, Y., Watanabe, Y., & Sato, I.** (2010). Processing and interpretation of ASTER TIR data for mapping of rare-metal-enriched albite granitoids in the Central Eastern Desert of Egypt: *Journal of African Earth Sciences*, 58 (1), 141–151.
- Abubakar, A. J., Hashim, M. & Pour, A. B.** (2017). Spectral mineral mapping for characterization of subtle geothermal prospects using ASTER data, *Journal of Physics: Conference Series*, 852 (1), 012024.
- Abubakar, A. J., Hashim, M. & Pour, A. B.** (2018). Identification of hydrothermal alteration minerals associated with geothermal system using ASTER and Hyperion satellite data: a case study from Yankari Park, NE Nigeria, *Geocarta International*, DOI: 10.1080/10106049.2017.1421716.
- Abubakar, A. J., Hashim, M. & Pour, A. B. & Shehu, K.** (2017). A review of geothermal mapping techniques using remotely sensed data, *Science World Journal*, 12 (4), 72-82.
- Achieng, J., Mutua, J., Mibei, G., Olaka, L., Waswa, A.K.** (2017). Mapping of Hydrothermal Minerals Related to Geothermal Activities Using Remote Sensing and GIS: Case Study of Paka Volcano in Kenyan Rift Valley, *International Journal of Geosciences*, 8 (5), 711-725.
- Ahmadirouhani, R., Karimpour, M., Rahimi, B., Malekzadeh-Shafaroudi, A., Beiranvand, P. & Pradhan, B.** (2018), Integration of SPOT-5 and ASTER satellite data for structural tracing and hydrothermal alteration mineral mapping: implications for Cu–Au prospecting, 9 (3), 237-262.
- Ahmet, B. , Kamruzzaman, M. , Zhu, X. , Rahman, M.S. & Choi, K.** (2013). Simulating Land Cover Changes and Their Impacts on LandSurface Temperature in Dhaka, Bangladesh, *Remote Sensing*, 5 (11), 5969-5998.
- Akın, U. , Ulugergerli , E. U. & Kutlu, S.** (2014), Türkiye Jeotermal Potansiyelinin Isı Akısı Hesaplamasıyla Değerlendirilmesi, *MTA Dergisi*, 149 (149), 201-210.
- Alkan, Ö ., Coşkun, H. G., Çelik, H., Alkan, M. N., Kandil, S., Okur, Y., & Eraydın, E.** (2018). Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (2017), 171-182.
- Arivazhagan, S. & Anbazhagan, S.** (2017). ASTER Data Analyses for Lithological Discrimination of Sittampundi Anorthositic Complex, Southern India, *Geosciences Research*, 2 (3), 196-209.
- Askari, G., Pour, A. B., Pradhan, B., Sarfi, M. & Nazemnejad, F.** (2018). Band Ratios Matrix Transformation (BRMT): A Sedimentary Lithology Mapping Approach Using ASTER Satellite Sensor, *Sensors*, 18 (10), 3213, 2-24.

- Ayoobi, I. & Tangestani, M., H.** (2018). Evaluation of subpixel unmixing algorithms in mapping the porphyry copper alterations using EO-1 Hyperion data, a case study from SE Iran, *IO* (2018), 120-127.
- Bakas, J., Naskar, R. & Dixit, R.** (2018). Detection and localization of inter-frame video forgeries based on inconsistency in correlation distribution between Haralick coded frames, *Multimedia Tools and Applications*, <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6570-8>.
- Canbaz, O., Gürsoy, Ö. & Gökçe, A.** (2018). Detecting Clay Minerals in Hydrothermal Alteration Areas with integration of ASTER image and spectral data in Kösedag-Zara (Sivas), Turkey, *Journal of the Geological Society of India*, 91 (4), 483-488.
- Canik, B.** (2000). *Jeotermal Enerji*, A.Ü.F.F. Döner Sermaye işletmesi Yayınları , 59.
- Carrino, T. A. & Crosta , A. P. , Toledo, C.L.B. , Silva, A. M. & 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*, 110, 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.
- Coşkun, H. G.** (1992). *Uydu Verileri ile İstanbul Boğazı, Haliç ve Marmara'da Su Kirliliğinin Makro Düzeyde Belirlenmesi* (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Coşkun, H.G.& Kandil, S.** (2016). Uydu verileri ile veri entegrasyonu, havza gelişimi ve jeotermal enerji analizi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu, 9, 111-114, Afyonkarahisar, Nisan 27-29.
- Coşkun, H.G., Tanık Ayşegül, A., Uğur & Çigizoğlu, H.K.** (2008). Determination of Environmental Quality of a Drinking Water Reservoir by Remote Sensing, GIS and Regression Analysis, *Water Air Soil Pollut*, 194 (1-4), 275–285.
- Çelik, H.,** (2017). *Taşkın Modellemeye Lidar Verisi ile Performans Analizleri* (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çölkesen, İ.,** (2015). *Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak benzer spektral özelliklere sahip doğal nesnelerin ayırt edilmesine yönelik bir metodoloji geliştirme* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deng, C. & Wu, C.** (2013). Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach, *Remote Sensing of Environment*, 131, 262-274.
- Gad, S. , Kusky, T.** (2007). ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian–Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt, *Gondwana Research*, 11 (3), 326-335.

- Erkul, H.** (2012). Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10 (19), 1-30.
- Elsaid, M. , Aboelkhair, H. , Dardier, A. & 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 Geoscience*, 7, 4615–4628.
- Gad, S. & Kusky, T.** (2007). ASTER Spectral Rationing for Lithological Mapping in the Arabian-Nubian Shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt; *Gondwana Research*, 11 (3), 326-335.
- Gökten, Y., E., Kelling, G. & Meydan, M.** (2013). The kinematic significance of rotation-related deformation features in a fault-defined wedge associated with the North Anatolian fault, central Turkey, *Journal of Geodynamics*, 65, 228-243.
- Guha, A. & 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.
- Gürsoy, Ö., Kaya, Ş., Çakır, Z.** (2013). Uydu Görüntüleri ile Yersel Spektral Ölçme Verilerinin Entegrasyonu, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 6 (1), 45-51.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K. & Dinstein, I.** (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics Society*, 3 (6), 610–621.
- Haselwimmer, C. & Prakash, A.** (2013). Thermal Infrared Remote Sensing of Geothermal Systems, *Remote Sensing and Digital Image Processing*, 17, 453-473.
- Hewson, R., Robson, D., Carlton, A. & Gilmore, P.** (2017). Geological Application of ASTER Remote Sensing within Sparsely Outcropping Terrain, Central New South Wales, Australia, *Cogent Geoscience*, 3 (1), 2-22.
- Hubbard, B. E., Hooper, D. M., Solano, F., & Mars, J. C.** (2018). Determining mineralogical variations of aeolian deposits using thermalinfrared emissivity and linear deconvolution method, *Aeolian Research*, 30, 54-96.
- Jimenez-Munoz, J., C., and Sobrino, J., A.** (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *J. Geophys. Res.*, 108, 4688-4694.
- Külekcı, Ö.C.** (2009). “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi, Çevrebilimleri Dergisi, 2 (2), 83-91.
- Liu, L. & Zhang, Y.** (2011). Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong, *Remote Sensing*, 3, 1535-1552.

- Masoumi, F., Eslamkish, T., Abkar, A., A., & Honarmand, M.** (2017). Integration of spectral, thermal, and textural features of ASTER data using Random Forests classification for lithological mapping, *129*, 445-457.
- Meer.,F., Hecker, C., & 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.
- MGM** (2017). Veri Satış Portalı (ebimportal@mgm.gov.tr), Sipariş No: 205591 7 Haziran 2017.
- MTA** (2017). Jeoloji Haritası Çorum- Fay Hatları Dijital Verileri (Doğan Jeotermal).
- Munoz, J.C.J, & Sobrino, J.A** (2010). Single-Channel Algorithm for Land-Surface Temperature Retrieval From ASTER Data, *Ieee Geoscience And Remote Sensing Letters*, *7* (1), 176-179.
- Ninomiya, Y., Fu, B. & Cudahy, T.J.** (2005). Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data, *Remote Sensing of Environment* , *99* (1-2), 127 – 139.
- Noomen, M. F. & Skidmore, A. K.** (2009). The effects of high soil CO₂ concentrations on leaf reflectance of maize plants, *International Journal of Remote Sensing*, *30* (2009), 481 - 497.
- Noorolahi Y., Itoi R., Fujii H., Tanaka T.** (2006). GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan, *Computers & Geosciences* *33* (2007), 1008 –1021.
- 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.
- Oğuz, H.** (2015). A Software Tool for Retrieving LandSurface Temperature from ASTER Imagery, *Tarım Bilimleri Dergisi*, *21* (2015), 471-482.
- Öngür, T.** (2005). Jeotermal Sahalarda Jeolojik ve Jeofizik Arama İlke ve Stratejileri, Jeotermal Enerji Seminer Kitabı, 21-38.
- Özdemir, A., Yaşar, E., & Çevik, G.** (2017). An importance of the geological investigations in Kavaklıdere geothermal field (Turkey), *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, *3* (1), 29–49.
- Pournamdari, M. & Hashim, M.** (2013). Detection of chromite bearing mineralized zones in Abdasht ophiolite complex using ASTER and ETM remote sensing data, *Arabian Journal of Geosciences*, *7* (5), 1973-1983.
- Pour, A., B. & Hashim M.** (2012). The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits, *Ore Geology Reviews*, *44*, Sayfa: 1-9.
- Pour, A., B., Hashim M., Park, Y. & Hong, J., K.** (2017). Mapping alteration mineral zones and lithological units in Antarctic regions using spectral

bands of ASTER remote sensing data, *Geocarto International*, 33 (12), 1281-1306.

- Qin, Z.H., Zhang, M.H., Karnieli, A. & Berliner, P.** (2001). Mono-window Algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM 6 data. *Dili Xuebao/Acta Geographica Sinica*, 56 (4), 456-466.
- Rajendran, S., & Nasir, S.** (2014). Hydrothermal altered serpentized zone and a study of Nimagnesioferrite–magnetite–awaruite occurrences in Wadi Hibi, Northern Oman Mountain: Discrimination through ASTER mapping, *Ore Geology Reviews* 62, 211–226.
- Rajendran, S. & Nasir, S.** (2017). Characterization of ASTER spectral bands for mapping of alteration zones of volcanogenic massive sulphide deposits, *Ore Geology Reviews*, 88, 317-335.
- Rajendran, S. & Nasir, S.** (2018). ASTER capability in mapping of mineral resources of arid region: A review on mapping of mineral resources of the Sultanate of Oman, *Ore Geology Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.04.014>.
- Rajendran, S., Nasir, S. & Alzebdeh, K.** (2018). Spectral Signature Characterization and Remote Mapping of Oman Exotic Limestones for Industrial Rock Resource Assessment, *Geosciences*, 8 (145), 2-18.
- Rajendran, S., Al-Khirbasha, S., Pracejusa, B., Nasira, S., Al-Abria, A. H., Kusky, T.M., Ghulam, A.** (2012). ASTER detection of chromite bearing mineralized zones in Semail Ophiolite Massifs of northern Oman Mountains: Exploration strategy, *Ore Geology Reviews*, 44, Sayfa: 121-135.
- Reath, K., A. & Ramsey, M. S.** (2013). Exploration of geothermal systems using hyperspectral thermal infrared remote sensing, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 265, 27–38.
- Sabins, F. F.** (1999). Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews* 14(3-4), 157–183.
- Sadeghi, B., Khalajmasoumi, M., Afzal, P., Moarefvand, P., Yasrebi, A. B., Wetherelt, A., Foster, P., & Ziazarifi, A.** (2013). Using ETM and ASTER sensors to identify iron occurrences in the Esfordi 1:1000 000 mapping sheet of Central Iran, *Journal of African Earth Sciences*, 85, 103-114.
- Shafaroudi, M., Karimpour, M.H., Stern, C.R. & Mazaheri, S.A.** (2009). Hydrothermal Alteration mapping in SW Birjand, Iran, Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Image Processing, *Journal of Applied Sciences*, 9 (5), 829-842.
- Sun, G., Chen, X., Ren, J., Zhang, A. & Jia, X.** (2017). Stratified spectral mixture analysis of medium resolution imagery for impervious surface mapping, *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 60, 38-48.
- Teng, Y., Zhang, Y., Ti, C., & Zhang, J.** (2018). Hyperspectral Image Resolution Enhancement Approach Based on Local Adaptive Sparse Unmixing and Subpixel Calibration, *Remote Sensing*, 10 (4), 592.

- Url-1** < <https://www.harrisgeospatial.com/docs/SpectralLibraries.html>>, erişim tarihi 30.09.2018.
- Url-2** <<https://www.harrisgeospatial.com/docs/Spectrallibbrowser.html>>, erişim tarihi 30.09.2018.
- Url-3** <<https://www.harrisgeospatial.com/docs/LinearSpectralUnmixing.html>>, erişim tarihi 30.09.2018.
- Url-4** <<https://www.harrisgeospatial.com/docs/bandmath.html>>, erişim tarihi 30.09.2018.
- Url-5** <http://www.acikders.org.tr/pluginfile.php645/mod_resource/content/0/Ek_Kaynaklar/siniflandirma.pdf>, erişim tarihi 11.10.2018.
- Url-6** <<https://www.harrisgeospatial.com/docs/TextureFilters.html>>, erişim tarihi 30.09.2018.
- Url-7** <https://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu_goruntuleri.asp>, erişim tarihi 11.10.2018.
- Url-8** < <http://www.engingrup.net/tr/enther-enerji> >, erişim tarihi 25.08.2018.
- Uysal, M., Turgut, B., Polat, N., Dereli, M. A. & Yalçın, M.,** (2017), Uzaktan Algılama Teknikleri ile Açık Maden Ocaklarında Bor Minerallerinin Tespiti, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 270-276.
- Van Der Linden, S., Rabe, A., Held, M., Jakimow, B., Leitao, P.J., Okujeni, A., Schwieder, M., Suess, S. & Hostert, P.** (2015).The EnMAP-Box—A Toolbox and Application Programming Interface for EnMAP Data Processing. *Remote Sensing*, 7(9) , 11249-11266.
- Vaughan, R. G., Keszthelyi, L., P., Lowenstern, J. B., Jaworowski, C. & Heasler, H.** (2012). Use of ASTER and MODIS thermal infrared data to quantify heat flow and hydrothermal change at Yellowstone National Park, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volumes:233-234 , 72–89.
- Yan, Li., Xia, W., Zhao, Z. & Wang., Y.** (2018). A Novel Approach to Unsupervised Change Detection Based on Hybrid Spectral Difference, *Remote Sensing*, 10 (6), 841.
- Yackel, J. J., Nandana, V., Mahmuda, M., Scharienb, R., Kanga, J.,W., & Geldsetzera, T.** (2018). A spectral mixture analysis approach to quantify Arctic first-year sea ice melt pond fraction using QuickBird and MODIS reflectance data, *Remote Sensing of Environment*, 204, 704-716.
- Yang, J.,& He, Y.** (2017). Automated mapping of impervious surfaces in urban and suburban areas:Linear spectral unmixing of high spatial resolution imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 54, 53-64.
- Yalçın, M.** (2017). Ağrı Dağı Buzul Değişimlerinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 166-170.

- 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.
- Yalçın, M. ve Gül, F. K., Yıldız, A., Musaoğlu, N., Bayram, B., Polat,N. & Başaran, C.** (2017). Jeotermal Keşifler İçin Hidrotermal Alterasyon Minerallerinin Uzaktan Algılama Teknikleri İle Tespit Edilmesi: Akarcay Havzası (Afyonkarahisar) Örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 138-146.
- Yavasoglu, H., Tari, E., Tüysüz, O., Çakır, Z. & Erfintav, S.** (2011). Determining and modeling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements, *Journal of Geodynamics*, 51(5), 339-343.
- Yıldız, A., Bağcı, M., Başaran, C., Çonkar, F.E. & Ayday, C.** (2017). Landsat 8 Uydu Verilerinin Jeotermal Saha Araştırmalarında Kullanılması: Gazligöl (Afyonkarahisar) Çalışması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 277-284.
- Yıldız, H., Mermer, A., Ünal, E. & Akbaş, F.** (2012). Türkiye Bitki Örtüsünün NDVI Verileri ile Zamansal ve Mekansal Analizi, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21 (2), 50-56.
- Yokoya, N., Zhu, X., X. & Plaza, A.** (2017). Multisensor Coupled Spectral Unmixing for Time-Series Analysis, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55 (5).
- Yousefi H., Noorollahi Y., Ehara S., Itoi R., Yousefi A., Fujimitsu Y., Nishijima Y., Sasaki K.** (2009). Developing the geothermal resources map of Iran, *Geothermics*, 39 (2010), 140–151.
- Yurteri, C. & Şimşek, Ş.** (2017). Hydrogeological and hydrochemical studies of the Kaman-Savcılı Büyükoba (Kırşehir) Geothermal Area, Turkey, *Geothermics*, 65, 99-112.
- Zhou, Y., Rangarajan, A. & Gader, P., D.** (2018). A Gaussian Mixture Model Representation of Endmember Variability in Hyperspectral Unmixing, *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(5), 2242-2254.



EKLER

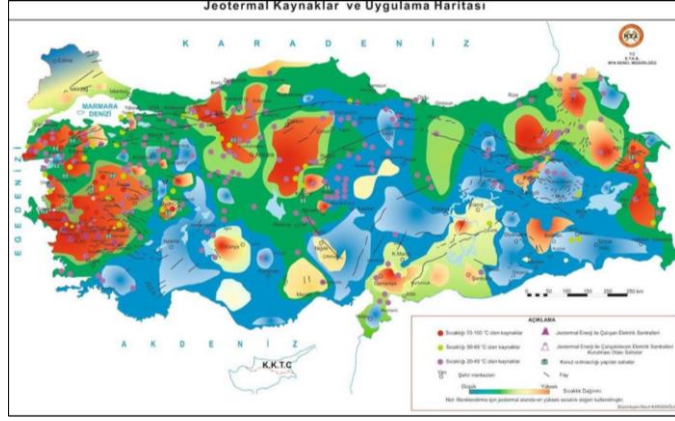
EK A: Haritalar

EK B: Meteorolojik Veriler





EKA



(a)



(b)



(c)

Şekil A.1 : Tez çalışması için yararlanılan MTA Türkiye Jeotermal Haritaları, (a)Jeotermal kaynaklar ve uygulama, (b)Jeotermal kaynaklar dağılımı ve (c)Jeotermal enerji kaynakları.

EK B

Günlük 07 Lokal 50 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)				
Istasyon No	Yıl	Ay	Gün	50 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)
17084	2004	11	6	13.4
17084	2004	11	7	7.8
17084	2004	11	8	11.8
17084	2004	11	9	11.6
17084	2004	11	10	11.9
17084	2004	11	11	12.2
17084	2004	11	12	12.1
17084	2004	11	13	11.8
17084	2004	11	14	12.1
17084	2004	11	15	11.8
17084	2004	11	16	11.5
17084	2004	11	17	11.4
17084	2004	11	18	11.6
17084	2004	11	19	10.7
17084	2004	11	20	9.8

**17084 Çorum İstasyonu*

(a)

Günlük 07 Lokal Yerin Hali				
Istasyon No	Yıl	Ay	Gün	0700 Yerin Hali
17084	2004	11	6	3
17084	2004	11	7	3
17084	2004	11	8	0
17084	2004	11	9	0
17084	2004	11	10	0
17084	2004	11	11	0
17084	2004	11	12	0
17084	2004	11	13	0
17084	2004	11	14	0
17084	2004	11	15	0
17084	2004	11	16	1
17084	2004	11	17	2
17084	2004	11	18	3
17084	2004	11	19	3
17084	2004	11	20	3

(b)

Çizelge B.1 : MGM 17084 Çorum İstasyonu Kasım 2004 verileri ; (a) Günlük 07 lokal 50 cm. toprak sıcaklığı (°C), (b) Günlük 07 lokal yerin hali, (c) Aylık 07 lokal maksimum 50 cm. toprak sıcaklığı (°C) ve (d) Günlük 07 lokal yağış miktarı (mm).

Aylık 07 Lokal Maksimum 50 cm. Toprak Sıcaklığı (°C)			
Istasyon No	Yıl	Ay	50 cm. Max. Toprak Sıcaklığı (°C)
17084	2004	11	14.0

(c)

Günlük 07 Lokal Yağış Miktarı (mm)				
Istasyon No	Yıl	Ay	Gün	Günlük Saat 07 Lokal Yağış Miktarı (mm)
17084	2004	11	6	-9999
17084	2004	11	7	-9999
17084	2004	11	8	-9999
17084	2004	11	9	-9999
17084	2004	11	10	-9999
17084	2004	11	11	-9999
17084	2004	11	12	-9999
17084	2004	11	13	-9999
17084	2004	11	14	-9999
17084	2004	11	15	-9999
17084	2004	11	16	1.2
17084	2004	11	17	2.6
17084	2004	11	18	-9999
17084	2004	11	19	-9999
17084	2004	11	20	-9999
*-9999: Yağış Yoktur.				

(d)

Çizelge B.1(Devam) : MGM 17084 Çorum İstasyonu Kasım 2004 verileri ;
(a) Günlük 07 lokal 50 cm. toprak sıcaklığı (°C), (b) Günlük 07 lokal yerin hali, (c) Aylık 07 lokal maksimum 50 cm. toprak sıcaklığı (°C) ve (d) Günlük 07 lokal yağış miktarı (mm).



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Öykü Alkan
Doğum Tarihi ve Yeri : 27.12.1967 ve Çorum
E-posta : oyku.alk@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1990, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü.
- **Yükseklisans** : 1993, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programı.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 1990-2018 yılları arasında Alkan Harita Mühendislik İnşaat Limited Şirketi'nde çalıştı (Şirket sahibi olarak çalışmaya devam ediyor).

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Alkan, Ö.**, Coşkun, H. G., Çelik, H., Alkan, M. N., Kandil, S., Okur, Y. & Eraydın, E. (2017). Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (2017), 171-182.
- **Alkan, Ö.**, Coşkun, H. G. (2016). Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Kil Minerallerinin Belirlenmesinde Performans Analizi, VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, 05-07 Ekim 2016, Adana, Bildiriler Kitabı [1053].
- **Alkan, Ö.**, Alkan, M. N., Coşkun, H. G. (2016). Jeotermal Kolların belirlenmesinde Arazi-Doğrulamalı Spektrometrik Ölçmelerin Konumsal Performans Analizi, Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, 19-21 Ekim 2016, Bildiriler Kitabı.

- **Alkan, Ö .,** Coşkun, H. G., Çelik, H., Okur, Y. &Alkan, M. N. (2017). Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi, *TUFUAB IX. Teknik Sempozyumu, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği*, 27-29 Nisan 2017, ISBN:978-605-67429-0-3, 19 (Makaleye seçilen bildiri).
- **Alkan, Ö .,** Coşkun, H. G., Çelik, H., Okur, Y., Alkan, M. N. (2017). Evaluation of Fault Lines Together with Geothermal Areas by Using Remote Sensing Methods and GIS, *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 11-13 Ekim 2017, 4274, Sayfa:328 (Bildiri).
- **Alkan, Ö .,** Coşkun, H. G., Çelik, H., Alkan, M. N. (2017). Specification of Land Cover Effect in Geothermal Field Using Remote Sensing Methods And GIS, *International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences*, 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale, 18 –21 Ekim 2017 (Sunum).