

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOTERMAL ALANLARIN CBS VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE
ARAŞTIRILMASI: AKARÇAY HAVZASI (AFYONKARAHİSAR) ÖRNEĞİ**

MUSTAFA YALÇIN

**DOKTORA TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. FATMAGÜL KILIÇ GÜL**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JEOTERMAL ALANLARIN CBS VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE
ARAŞTIRILMASI: AKARÇAY HAVZASI (AFYONKARAHİSAR) ÖRNEĞİ**

Mustafa YALÇIN tarafından hazırlanan tez çalışması 28.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent BAYRAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi



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

ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca desteklerini sürekli üzerimde hissettiğim ve ömür boyu hissedeceğim, değerli katkıları ile çalışmalarına yön veren değerli danışman hocam Sayın Prof.Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Jeolojik çalışmalarda yardımcı olan Doç.Dr. Ahmet YILDIZ, Arş.Grv. Can Başaran ve Arş.Grv. İbrahim DÜMLÜPINAR'a, tez izleme komisyonunda yapıcı eleştirileri ve katkılarından dolayı Prof.Dr. Nebiye Musaoğlu ve Prof.Dr. Bülent BAYRAM'a, laboratuvar çalışmalarına katkılarından dolayı Doç.Dr. Şinasi KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda bana destek olan Afyon Kocatepe Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü araştırma görevlisi arkadaşlarımın nezdinde tüm öğretim elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Sağladığı katkılardan dolayı TÜBİTAK-BİDEP'e teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere ulaşmamda geçen emeklerinden dolayı anne ve babama, tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı desteklerini sürekli hissettiğim ve çalışmalarımda bana ilham ve enerji kaynağı olan eşim Gamze ve kızım Nisa Nur'a ithaf ediyorum.

Nisan, 2016

Mustafa YALÇIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xviii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	8
1.3 Hipotez.....	8
BÖLÜM 2	
JEOTERMAL ALANLAR: ÖZELLİKLERİ, UA, CBS	10
2.1 Jeotermal Sistemin Yapısı ve Yüzey Belirtileri	10
2.2 Jeotermal Alanların Araştırılması	12
2.3 UA ile Jeotermal Araştırmalar	13
2.3.1 UA ile Yer Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi	14
2.3.2 UA ile Mineral Alterasyon Zonlarının Belirlenmesi	15
2.3.2.1 Renk Kombinasyonu Tekniği	15
2.3.2.2 Bant Oranlama Tekniği.....	16
2.3.2.3 Temel Bileşenler Analizi ve Crosta Tekniği.....	18
2.3.2.4 Spektral Açık Haritalama Tekniği	20
2.4 CBS-ÇÖKA ile Jeotermal Araştırmalar	21
2.4.1 CBS-ÇÖKA Süreci.....	22
2.4.1.1 Problemin Tanımlanması	23

2.4.1.2	Ölçütlerin Belirlenmesi.....	24
2.4.1.3	Normalleştirmeler	24
2.4.1.4	Alternatifler	26
2.4.1.5	Ölçütlerin Ağırlıklandırılması.....	26
2.4.1.6	Karar Çözümlemeleri.....	27

BÖLÜM 3

VERİ İŞLEME VE ANALİZLER.....	29
-------------------------------	----

3.1	İş Akışı	29
3.2	Çalışma Alanı ve Özellikleri	31
3.2.2	Gazlıgöl Jeotermal Alanı	34
3.2.3	Heybeli Jeotermal Alanı	35
3.3	UA Uygulamalarında Kullanılan Veriler	35
3.3.1	ASTER Uydu Verileri.....	37
3.3.2	ASTER Ürünleri.....	38
3.3.2.1	ASTER Seviye 2B03 Ürünü.....	38
3.3.2.2	ASTER Seviye 1B Ürünü.....	39
3.3.3	ASTER Uydu Verilerinin İşlenmesi	39
3.3.3.1	Çapraz Karışma (Crosstalk) Düzeltmesi.....	39
3.3.3.2	Atmosferik Düzeltme	40
3.3.3.3	Mozaikleme.....	46
3.3.4	Spektroradyometre Verileri.....	46
3.4	CBS-ÇÖKA'da Kullanılan Veriler ve İşlenmesi	46
3.4.1	Yer Yüzey Sıcaklığı Verileri	47
3.4.1.1	Yer Yüzey Sıcaklığı Yükseklik Düzeltmesi	49
3.4.1.2	Ravinsonde Rasatları	50
3.4.1.3	SYM Üretimi İçin Kullanılan Veriler	52
3.4.2	Fay Hatları.....	55
3.4.3	Drenaj Hatları	57
3.4.4	Mevcut Jeotermal Kaynaklar	58
3.4.5	Jeolojik Formasyonlar	59

BÖLÜM 4

MİNERAL ALTERASYON ZONLARININ BELİRLENMESİ	60
--	----

4.1	Verilerin Hazırlanması ve İyileştirilmesi.....	60
4.1.1	Çerçeve Seçimi.....	60
4.1.2	Çapraz Karışma Düzeltmesi	61
4.1.3	Bant Birleştirme İşlemi	61
4.1.4	Atmosferik Düzeltme	62
4.1.5	Mozaikleme	64
4.1.6	Kısıtların Çıkarılması.....	65
4.2	Spektroradyometre Ölçmeleri.....	68
4.3	Mineral Alterasyon Zonları Belirleme Analizleri.....	71
4.3.1	Renk Kompoziti Tekniği	71

4.3.2	Bant Oranlama Tekniği	71
4.3.3	Spektral Açık Haritalama Tekniği.....	72
4.3.4	Crosta Tekniği	73
4.4	Jeotermal Oluşuma Neden Olabilecek Hidrotermal Alterasyon Zonlarının Belirlenmesi	83
4.5	Alterasyon Zonlarının ve Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi.....	83
BÖLÜM 5		
CBS-ÇÖKA ANALİZLERİ		87
5.1	Ölçüt Katmanlarının Hazırlanması	87
5.1.1	Yer Yüzey Sıcaklığı Anomalisi	87
5.1.1.1	ASTER Uydusunun Programlanması.....	87
5.1.1.2	ASTER Sıcaklık Verilerinin İşlenmesi.....	90
5.1.1.3	Yer Yüzey Sıcaklığına Ait Yersel Veriler	90
5.1.1.4	Sıcaklık Ölçer Cihazları ile Yer Yüzey Sıcaklığı Ölçmeleri	90
5.1.1.5	Meteoroloji Verileri.....	94
5.1.1.6	Ölçümlere Zaman Düzeltmesi Getirilmesi	94
5.1.1.7	Yer Yüzey Sıcaklığına Ait Yersel Veriler ile Uydu Verilerinin Karşılaştırılması.....	96
5.1.1.8	Kısıtlamaların Giderilmesi	99
5.1.1.9	Yer Yüzey Sıcaklığı Yükseklik Düzeltmesi	100
5.1.2	Fay Hatlarına Yakınlık	108
5.1.3	Drenaj Yoğunluğu	108
5.1.4	Jeotermal Kaynaklara Yakınlık	109
5.1.5	Jeolojik Göstergelere Yakınlık.....	109
5.2	Ölçüt Katmanlarının Normalleştirilmesi	111
5.3	Ölçüt Katmanlarının Ağırlıklandırılması	112
5.4	Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi	113
5.5	Karşılaştırmalar	113
5.6	UA ile CBS-ÇÖKA Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	115
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		118
KAYNAKLAR.....		126
EK-A		
TOPLANAN NUMUNELERE AİT BİLGİLER.....		133
EK-B		
SPEKTORADYOMETRE VERİLERİNİN ASTER'E ÖRNEKLENMESİ.....		134

EK-C

RENK KOMPOZİTİ TEKİNİĞNE GÖRE BELİRLENEN ALTERASYONLAR	135
C-1 Çerçeve 1	135
C-2 Çerçeve 2	136
C-3 Çerçeve 3	136

EK-D

BANT ORANLAMA TEKİNİĞİNE GÖRE BELİRLENEN ALTERASYONLAR	138
D-1 İleri Arjillik Alterasyonlar	138
D-2 Fillik Alterasyonlar	139
D-3 Propilitik Alterasyonlar	139
D-4 Fillik ve Arjillik Alterasyonlar – Mars ve Rowan	140

EK-E

ÇALIŞMA ALANINDAKİ VOLKANİK VE METAMORFİK KAYAÇLAR	141
--	-----

EK-F

UYDU GEÇİŞ ZAMANINDAKİ YÜKSEKLİKLERE GÖRE SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ	142
--	-----

EK-G

İKİLİ KARŞILAŞTIRMA İÇİN YAPILAN ANKET ŞABLONU.....	144
ÖZGEÇMİŞ.....	147

SİMGE LİSTESİ

r	Referans spektrum
t	Test spektrumu
n	Bant sayısı
α	Spektral açı
x'_{ij}	Normaleştirilmiş piksel değeri
x_{ij}	Piksel değeri
$x_j^{\max}$	Maksimum piksel değeri
$x_j^{\min}$	Minimum piksel değeri
λ	Tutarlılık vektörünün ortalama değeri
ρ	Pikselin yüzey reflektansı
ρ_e	Pikselin ortalama yüzey reflektansı
S	Atmosferin küresel albedosu
La	Atmosferden geri saçılan radyans

KISALTMA LİSTESİ

AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
AHY	Analitik Hiyerarşi Yöntemi
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCS	Crosstalk Correction Software
ÇÖKA	Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi
DSİ	Devlet Su İşleri
ERSDAC	Earth Remote Sensing Data Analysis Center
FLAASH	Fast Line of Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes
GPS	Global Positioning System
HGK	Harita Genel Komutanlığı
JUAM	Jeotermal Uygulama ve Araştırma Merkezi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MLS	Mid-Latitude Summer
MLW	Mid-Latitude Winter
MTA	Maden Tetkik ve Arama
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NASA	National Aeronautics and Space Administration
QA	Quality Assesment
SAH	Spektral Açık Haritalama
SAS	Sub-Arctic Summer
SAW	Sub-Arctic Winter
STH	Standart Topografik Harita
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
SWIR	Kısa Dalga Kızılötesi
T	Tropical
TES	Temperature and Emissivity Seperation
TIR	Termal Kızılötesi
UA	Uzaktan Algılama
US	U.S. Standart
UTM	Universal Transversal Mercador
VNIR	Görünür Bölge
WGS84	World Geodetic Systems 84
WMO	World Meteorological Organization
XRD	X-Işını Kırınım Yöntemi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	2010 Yılı dünya birincil enerji arzında kaynakların payı [1] 1
Şekil 1. 2	2011 Yılı Türkiye birincil enerji arzında kaynakların payı [1] 2
Şekil 1. 3	Dünya Jeotermal Sahaları [4] 3
Şekil 1. 4	Türkiye jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası [5] 3
Şekil 2. 1	İki bantlı görüntüler için SAH geometrisi 20
Şekil 2. 2	ÇÖKA adımları 23
Şekil 2. 3	Analitik Hiyerarşi Yöntemi Modeli 28
Şekil 3. 1	İş akış çizelgesi..... 30
Şekil 3. 2	Çalışma alanı 31
Şekil 3. 3	Afyonkarahisar ili jeotermal alanları [6] 34
Şekil 3. 4	ASTER bantları ve özellikleri [33] 37
Şekil 3. 5	ASTER SWIR bantlarının odak düzlemi..... 40
Şekil 3. 6	PCE-320 Çiğ Noktası Ölçer cihazı..... 48
Şekil 3. 7	Türkiye ravinsonde istasyonları ve WMO numaraları[73] 51
Şekil 3. 8	Ravinsondenin hazırlanması [73] 51
Şekil 3. 9	Raster SYM[75]..... 54
Şekil 3. 10	Düzensiz üçgenler ağı [75] 54
Şekil 3. 11	Tepe ve çukur hatalarının giderilmesi 55
Şekil 3. 12	SYM oluşturmak için kullanılan veriler 55
Şekil 3. 13	Çalışma alanında MTA fay verileri 56
Şekil 3. 14	Çalışma alanındaki drenaj hatları 57
Şekil 3. 15	Çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar 58
Şekil 3. 16	Çalışma alanı jeoloji haritası 59
Şekil 4. 1	Önerilen ve seçilen çerçeveler 61
Şekil 4. 2	Mozaikleme sonrası oluşan yeni çerçeveler 65
Şekil 4. 3	Çalışma alanındaki sulak alanlar 66
Şekil 4. 4	Çalışma alanındaki yerleşim yerleri 67
Şekil 4. 5	1,2 ve 3 numaralı çerçevelere ait NDVI değerleri dağılımı 68
Şekil 4. 6	Alterasyon zonlarından toplanan numuneler 69
Şekil 4. 7	Spektroradyometre ölçümlerinin yapılması 70
Şekil 4. 8	SAH’a göre belirlenen alterasyon sınıfları..... 72
Şekil 4. 9	Çalışmada kullanılan alterasyon minerallerinin yansıtım grafikleri 74
Şekil 4. 10	Crosta Tekniğine göre belirlenen alterasyon mineralleri 82
Şekil 4. 11	Crosta Tekniği ve SAH sonuçlarının karşılaştırılması 84
Şekil 4. 12	Hidrotermal alterasyon zonları..... 85

Şekil 4. 13	Hidrotermal alterasyon zonlarına göre önerilen potansiyel jeotermal alanlar	86
Şekil 5. 1	Çalışma alanı ve çerçeve seçenekleri	88
Şekil 5. 2	Çalışma Alanı ve Ölçüm Yapılan Noktalar ve MGM İstasyonlarının Konumları	96
Şekil 5. 3	Yer Yüzey Sıcaklığı Haritası	100
Şekil 5. 4	Topolojik hatalar	101
Şekil 5. 5	Çalışma alanı SYM	102
Şekil 5. 6	Yer Yüzeyi Sıcaklık Değerlerine Getirilen Düzeltme Değerleri Haritası.....	104
Şekil 5. 7	Hava sıcaklıklarına göre deniz seviyesine indirgenmiş yer yüzeyi sıcaklık değerleri	105
Şekil 5. 8	Yükseklik sınıflarına göre yer yüzeyi sıcaklığı anomali haritası	107
Şekil 5. 9	Yer yüzeyi sıcaklığı anomali sınıfları haritası	107
Şekil 5. 10	Fay hatlarına yakınlık katmanı	108
Şekil 5. 11	Drenaj Yoğunluğu Katmanı	109
Şekil 5. 12	Mevcut Jeotermal Alanlara Yakınlık	110
Şekil 5. 13	Çalışma Alanına Ait MTA Jeoloji Verileri.....	110
Şekil 5. 14	Jeolojik Formasyonlara Yakınlık Katmanı.....	111
Şekil 5. 15	Normalleştirilmiş Ölçüt Katmanları	112
Şekil 5. 16	Akarçay(Afyonkarahisar) Potansiyel Jeotermal Alanlar Haritası	114
Şekil 5. 17	Karşılaştırma Amaçlı oluşturulan Akarçay(Afyonkarahisar) Potansiyel Jeotermal Alanlar Haritası.....	115
Şekil 5. 18	Akarçay(Afyonkarahisar) Önerilen Potansiyel Jeotermal Alanlar.....	116
Şekil 5. 19	Akarçay(Afyonkarahisar) Önerilen Alternatif Jeotermal Sahalar	117

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1 Jeotermal Potansiyelin Bölgelere Göre Dağılımı [7].	4
Çizelge 2. 1 ASTER bantları ile kullanılan oranlar [36]	16
Çizelge 2. 2 Tercih ölçeği [52]	27
Çizelge 3. 1 Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz jeotermal sahalarındaki kaynaklar [6]	33
Çizelge 3. 2 Gazlıgöl jeotermal sahasındaki kaynaklar [6]	35
Çizelge 3. 3 Heybeli jeotermal sahasındaki kaynaklar [6]	35
Çizelge 3. 4 Algılayıcılar ve özellikleri	36
Çizelge 3. 5 Terra ASTER Ürünleri	38
Çizelge 3. 6 Atmosferik Modeller ve Özellikleri [71]	43
Çizelge 3. 7 Enlem ve Aylara göre Atmosferik Modellerin Dağılımı [71]	44
Çizelge 3. 8 Hava Durumu ve Görünürlük [71]	45
Çizelge 3. 9 MGM Afyonkarahisar 5. Bölge Müdürlüğüne ait istasyonlar, lokasyonları, toprak Sıcaklığı ve toprak Nemi ölçülen istasyonlar	49
Çizelge 3. 10 SYM oluşturmak için kullanılabilecek veriler ve özellikleri	52
Çizelge 3. 11 HGK-STH detay sınıfları [74]	53
Çizelge 4. 1 Kullanılan çerçevelere ait konum ve zaman bilgileri	62
Çizelge 4. 2 Uydu çekim tarihlerinde Afyonkarahisar'a ait en yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları [81]	63
Çizelge 4. 3 Kullanılan çerçeveler ve mozaikleme sonucunda oluşan yeni çerçeveler	64
Çizelge 4. 4 ASTER bantlarına ait spektral bilgiler	70
Çizelge 4. 5 Alunit minerali temel bileşenler analizi bantları	75
Çizelge 4. 6 Klorit minerali temel bileşenler analizi bantları	76
Çizelge 4. 7 Alunit minerali temel bileşenler analizi bantları	77
Çizelge 4. 8 İllit minerali temel bileşenler analizi bantları	78
Çizelge 4. 9 Kaolinit minerali temel bileşenler analizi bantları	79
Çizelge 4. 10 Muskovit minerali temel bileşenler analizi bantları	80
Çizelge 4. 11 Montmorillonit minerali temel bileşenler analizi bantları	81
Çizelge 5. 1 Çerçevelere göre uydu geçişleri	89
Çizelge 5. 2 Seçilen Çerçeveler ve Programlama Tarihleri	89
Çizelge 5. 3 Farklı Meteoroloji İstasyonlarının Uydu Geçiş Zamanına Göre Değişimleri (Uydu Geçiş 29.11.2014, 22:55:00)	95
Çizelge 5. 4 11.09.2014 Tarihli ASTER Uydu Görüntüsü Ve Yersel Ölçümlerden Elde Edilen Sıcaklıkların Karşılaştırılması	97

Çizelge 5. 5	20.09.2014 Tarihli ASTER Uydu Görüntüsü Ve Yersel Ölçümlerden Elde Edilen Sıcaklıkların Karşılaştırılması.....	98
Çizelge 5. 6	29.09.2014 Tarihli ASTER Uydu Görüntüsü Ve Yersel Ölçümlerden Elde Edilen Sıcaklıkların Karşılaştırılması	98
Çizelge 5. 7	İndirgemedede Kullanılan İstasyonlar ve Yükseklik Aralıkları.....	103
Çizelge 5. 8	Çalışma Alanı Uydu Geçiş Zamanlarına Göre Yükseklik Sınıfları	106
Çizelge 5. 9	İkili karşılaştırma matrisi ve belirlenen ağırlıklar	113
Çizelge 5. 11	Karşılaştırma amaçlı ikili karşılaştırma matrisi ve belirlenen ağırlıklar..	114
Çizelge 5. 11	Jeotermal kaynakların üretilen jeotermal potansiyeli olasılığı haritasındaki değerleri	115



JEOTERMAL ALANLARIN CBS VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE ARAŞTIRILMASI: AKARÇAY HAVZASI (AFYONKARAHİSAR) ÖRNEĞİ

Mustafa YALÇIN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL

Enerji üretiminin oldukça önemli olduğu günümüz dünyasında, çevre ve atmosfere zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjinin üretimi büyük önem taşımaktadır. Afyonkarahisar, Ege bölgesindeki önemli jeotermal potansiyele sahip illerdendir. İl sınırları içerisindeki jeotermal sahalardaki çok sayıda kaynak ve kuyulardan, termal turizmi, konut ısıtmacılığı, seracılık, balneolojik uygulamalarda yararlanılmaktadır. Uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) geniş alanların bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan yöntemlerdir. Tarım, orman, jeoloji vb. alanlarda kullanımı hem zaman hem de ekonomik katkı sağlamaktadır. Hidrotermal alterasyon zonları ve yer yüzey sıcaklığı potansiyel jeotermal alanlar için önemli göstergelerdir. Geniş alana yayılan bu tür verilerin hazırlanmasında, mevcut ve potansiyel jeotermal alanların araştırılmasında UA ve CBS yöntemlerinin birlikte kullanılmasının, sonuçların tüm jeotermal göstergeleri içermesi böylece daha kontrollü ve doğru sonuçlara ulaşma ve hedef alanların daraltılması açısından sağlayacağı fayda açıktır. Bu çalışmada, potansiyel jeotermal alanlarının UA ve CBS ile belirlenmesi ve

mevcut alanlar ile karşılaştırılarak sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bölge olarak, Afyonkarahisar-Akarçay Havzası seçilmiştir. Bölgede kullanılan Heybeli, Gazlıgöl, Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz olmak üzere, üç adet jeotermal saha bulunmaktadır. Uzaktan algılama ile uydu görüntülerinden hidrotermal alterasyon zonları, yer yüzey sıcaklığı belirlenmiş; yer yüzey sıcaklığı anomalisi, jeotermal kaynaklara yakınlık, fay hatlarına yakınlık, drenaj yoğunluğu ve jeotermal formasyon göstergelerine yakınlık ölçütleri kullanılarak CBS tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi (ÇÖKA) ile potansiyel jeotermal alanlar tespit edilmiştir. CBS-ÇÖKA ile önerilen potansiyel jeotermal alanlar, mevcut jeotermal sahalar ile karşılaştırıldığında, jeotermal sahalarındaki 6 adet jeotermal kaynağın tamamı aşırı yüksek jeotermal potansiyeli olarak belirlenen sahalar içerisinde kalmaktadır. UA ile belirlenen hidrotermal alterasyon zonlarına göre önerilen potansiyel jeotermal alanlarda ise jeotermal kaynaklardan Heybeli jeotermal alanı hariç diğer beş jeotermal kaynak önerilen alanlar içerisinde yer almaktadır. Ancak hidrotermal alterasyon zonlarına göre önerilen potansiyel jeotermal alanlar, çalışma alanında geniş bir alana yayılmış olup, tek başına kullanılması yeterli değildir. CBS-ÇÖKA ve UA ile ayrı ayrı belirlenen alanlar bindirme analizi yapılarak birleştirildiğinde, önerilen alanlar daha daraltılarak, hedefe yönelik alanların seçilmesi kolaylaşmıştır. Çalışma sonucunda mevcut jeotermal alanlardan farklı olarak 3 adet yeni potansiyel jeotermal alan önerilmektedir. Bunlar, Bolvadin Dipevler Köyü civarı, Bolvadin Hamidiye Köyü ve Çobanlar Kocaöz Köyü arası, Afyonkarahisar Çavdarlı Köyü civarıdır.

Bu tez çalışmasında izlenen yöntemler ve bulgular, jeotermal potansiyel alanlarının belirlenmesinde yenilikler sağlayacak ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji kaynakları, UA, CBS, ÇÖKA

GEOHERMAL EXPLORATION WITH GIS AND REMOTE SENSING TECHNIQUES: AKARCAY BASİN (AFYONKARAHISAR)

Mustafa YALÇIN

Department of Geomatic Engineering

Ph.D. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Fatmagul KILIÇ GUL

Energy generation has great importance in today's world. Especially geothermal energy is very important due to being renewable and not to harm the environment and atmosphere. Afyonkarahisar is in the Aegean Region of Turkey and has a significant potential of geothermal sources. Currently, a lot of springs and wells are being used at thermal tourism, house heating, greenhouses, balneologic applications in the city. Remote sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) methods supply the interpretation with holistic view in large areas. These methods provides both time and economic contribution in agriculture, forestry, geology etc. diciplines. Hydrothermal alteration zones and the land surface temperature are important indicators for potential geothermal fields. It is obvious that the combined usage of RS and GIS methods is beneficial and has vital advantages such as preperation data that extends over large area, exploration of current and potential geothermal fields, and achieving a more controlled and acurate results by narrowing target area.

In this thesis, it was aimed to detect the potential geothermal areas by GIS and RS and to compare the results with existing zones. Study area is selected as Akarcay Basin in Afyonkarahisar. There are currently three geothermal zones in used that are Heybeli, Gazligol and Omer-Gecek-Kızık-Uyuz regions. Hydrothermal alteration zones and land surface temperature was determined with from satellite images; potential geothermal areas have been identified by using GIS based Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) method with parameters of land surface temperature anomalies, proximity to geothermal resources, proximity to fault, drainage density and proximity to geothermal formation indicator. In comparison with potential geothermal zone defined by GIS-MCDM with existing fields, all of current geothermal resources (6 geothermal sources) remained in the extremely high potential area. Similarly in comparison with potential geothermal field defined by RS with existing fields, 5 current geothermal source (except Heybeli), remained in the potential geothermal areas. However, the proposed potential geothermal areas according to hydrothermal alteration zones, spread over wide area, so it is not sufficient to use solely. Each potential areas defined by GIS-MCDA and RS combined with overlay analysis. So target areas select more easy because of area reduction.

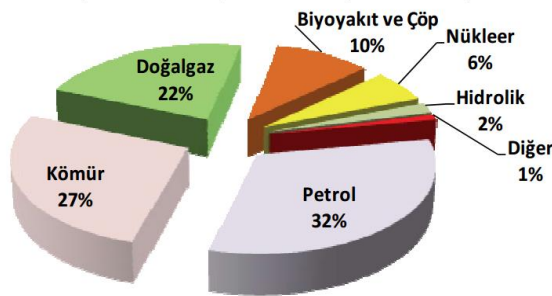
This study proposes three distinctive geothermal fields from currently known ones. One of these is nearby Dipevler village of Bolvadin, the second one is at Cavdarli village of Afyonkarahisar, and the last one is among the Hamidiye village of Bolvadin and Kocaöz village of Cobanlar. The methodology and outcomes of the thesis will provide innovation in exploration of potential geothermal area and will contribute to generation of renewable sources in Turkey.

Keywords: Geothermal energy resources, GIS, Remote sensing, MCDM

1.1 Literatür Özeti

Enerji ve dolayısıyla enerji kaynakları, geçmişten günümüze tüm dünyada çok önemli bir yer tutmaktadır. Yenilenemeyen enerji çeşitlerinden olan doğalgaz, kömür, petrol, bor ve nükleer enerji gibi kaynakların hızla ve bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi ve doğaya, çevreye verilen zararlar, insanları yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımına yönlendirmektedir.

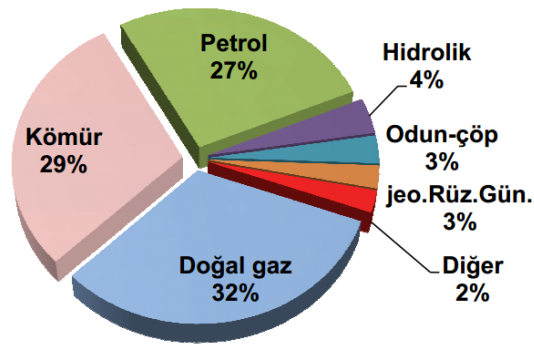
Dünya 2010 yılı birincil enerji arzı incelendiğinde yenilenemez enerji kaynaklarından, Petrol %32, Kömür %27, Doğal gaz % 22 ve Nükleer enerji %6 ile toplam arzın % 87'sini oluşturmaktadır (Şekil 1.1). Dünya birincil enerji arzında yenilebilir enerjilerin toplam payı 1990 yılında %10 dan 2012 yılında %11'e yükselmiş olup, 2035 yılı için mevcut politikalara göre %12 yeni politikalar senaryolarına göre %15'e yükselmesi hedeflenmektedir [1].



Şekil 1. 1 2010 Yılı dünya birincil enerji arzında kaynakların payı [1]

Türkiye’de bu durum incelendiğinde, yenilenemeyen enerji kaynaklarından, Petrol %27, Kömür %29, Doğal gaz % 32 ile toplam arzın % 88'ini oluşturmaktadır (Şekil 1.2).

Rüzgâr, jeotermal, güneş gibi yenilenebilir enerjinin toplam payı 1990’da %1’den 2011 yılında %3’e yükselmesine rağmen dünya ortalamasının oldukça altında kalmıştır [1].



Şekil 1. 2011 Yılı Türkiye birincil enerji arzında kaynakların payı [1]

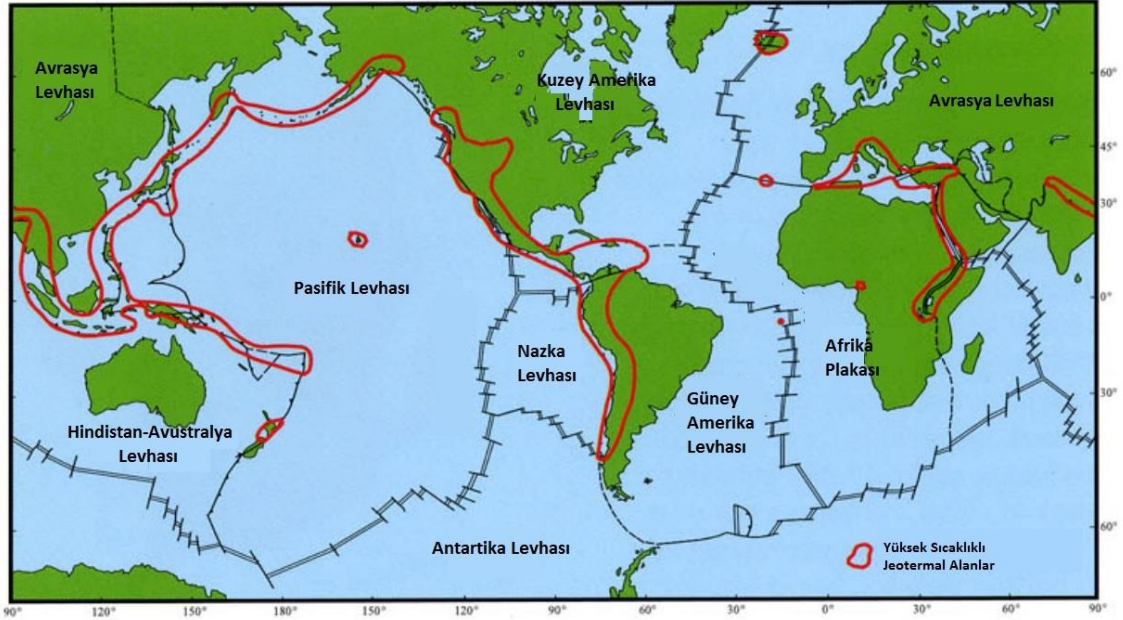
Türkiye’deki enerji üretimi, arz edilen miktarın çok altında kalmaktadır. Üretimin toplam birincil enerji arzının karşılama oranı 1990 yılında %48 iken 2011 yılında bu oran %28’e inmiştir. 2011 verilerine göre üretilen enerjinin %9’luk bölümü jeotermal, güneş ve rüzgar enerjisinden elde edilmektedir [1].

Ülkemizdeki enerji arzı ve üretimi incelendiğinde, yenilenemez enerji kaynaklarına arz oldukça fazla olup, ihtiyacın büyük bir kısmı dış ülkelere temin edilmektedir. Bu bağlamda ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ön plana çıkmaktadır.

Jeotermal enerji, en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olup, konut ısıtmacılığı, elektrik üretimi, turizm, tıp, seracılık faaliyetleri, endüstri gibi pek çok alanda kullanımı bulunmaktadır. Jeotermal enerji kaynakları kullanımının birçok avantajı bulunmaktadır. Bunların başlıcaları daha önce belirtildiği gibi yenilenebilir olması yani doğru kullanımla tükenmesi zor bir enerji çeşidi olması, tespit ve üretiminin kolay olması, maliyetinin düşük olması, yatırımın çok kısa bir zamanda geri dönüş sağlaması, ayrıca diğer kaynaklara göre çevreye verilen zararın çok az olmasıdır [2].

Dünyadaki jeotermal sistemler, levhaların çarpışması sonucu aktif kıta kenarlarında, okyanus ortası sırtlarda, aktif kıta yarıklarında ve volkanik adalar üzerinde bulunurlar. Zayıflık zonlarına bağlı olarak oluşan tektonik ve aktif volkanik kuşaklar boyunca kuzey ve güney Amerika kıtasının batı kıyılarında (Amerika, Meksika, El Salvador, Nikaragua, Kostarika, Arjantin) Akdeniz ülkelerinde (Türkiye, Yunanistan, İtalya) doğu ve

güneydoğu Asya ülkelerinde (Çin, Tayland, Filipinler, Endonezya), Yeni Zelanda, Japonya, Portekiz'in Azor adalarında, Afrika kıtasında (Kenya, Etopya) ve İzlanda da jeotermal kaynaklar bulunmaktadır [3] (Şekil 1.3).



Şekil 1. 3 Dünya Jeotermal Sahaları [4]

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunmasıyla bağlantılı olarak, orojenik magmatik ve volkanik aktivitelerin çok olması nedeniyle jeotermal açıdan büyük potansiyele sahiptir. Jeotermal sistemler, genç tektonizma ve volkanizmaya bağlı olarak Türkiye’de zengin bir jeotermal potansiyel oluşturmaktadır [3] (Şekil 1.4).



Şekil 1. 4 Türkiye jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası [5]

Sıcaklığı 25-103 °C arasında değişen 600'ün üzerinde sıcak su kaynağının varlığı ile ülkemiz, jeotermal potansiyel bakımından Avrupa'da birinci dünyada yedinci ülke konumundadır. Türkiye'deki jeotermal sahaların % 55 gibi önemli bir bölümü 50 °C alt sınırına göre konut ısıtmacılığına uygun sıcaklıkta jeotermal akışkan içermektedir. Bunun yanı sıra elektrik üretimi, endüstriyel uygulamalar, seracılık faaliyetleri, termal turizmi ve balneolojik uygulamalardan yararlanılmaktadır [6].

Ege bölgesi toplam potansiyelin %66'sını sınırları içerisinde bulundurmaktadır. Jeotermal enerji potansiyeli bakımından diğer bölgelere nazaran önde yer almaktadır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1. 1 Jeotermal Potansiyelin Bölgelere Göre Dağılımı [7].

Bölge	Jeotermal Potansiyellerin Dağılımı (%)
Marmara Bölgesi	12.8
Karadeniz Bölgesi	1.9
Doğu Anadolu Bölgesi	2.5
Ege Bölgesi	66.7
İç Anadolu Bölgesi	15.2
Akdeniz Bölgesi	0.7
Güneydoğu Anadolu	0.2
Toplam	100

Afyonkarahisar ili Ege bölgesindeki önemli jeotermal potansiyele sahip illerdendir. İlde, fay hatları boyunca çıkan Sıcak sular, orta sıcaklıklı jeotermal alanlar grubuna dahildir. Bu alanlar, ilin Termal Turizm Merkezlerini, dolayısı ile turizm faaliyetlerinin de en önemli çekiciliğini oluşturur [8]. Ayrıca balneolojik uygulamalarla hizmet veren çok sayıda turistik tesis ile birlikte Afyonkarahisar ili termal turizmde önemli cazibe merkezi haline gelmiştir. Afyon-Merkez ve Afyon-Sandıklı bölgelerinde toplam 9000 konutun jeotermal enerji ile ısıtılma imkanı ile Türkiye'de İzmir'den sonra ikinci yüksek kapasiteli jeotermal enerji ile ısıtma yapan ildir [9]. Ülkemizde tarımsal faaliyetlerde

önemli yer tutan ilde, yaklaşık 80000 metrekairelik alanda jeotermal enerjiden yararlanılarak seracılık faaliyetleri yürütülmektedir [8].

Ülkeler çevre kirleticisi emisyonlarını sınırlandırmak ve kontrol edebilmek amacıyla çevre dostu enerji kaynaklarına yönelmektedir. Çevre ve atmosfere zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjinin araştırılması, geliştirilmesi, işletilmesi ve korunması büyük önem taşımaktadır [10].

Jeotermal alanların araştırılması için yürütülen keşif çalışmalarında, temel olarak, jeolojik ve hidrolojik teknikler, keşif sondajları, jeokimyasal teknikler, jeofiziksel teknikler ve UA teknikleri kullanılmaktadır. UA teknikleri içerisinde, termal anomalilerin belirlenmesi, mineral aramalar ve çizgiselliklerin ve jeotermal alanların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda jeotermal alana etki eden faktörler CBS ile de incelenerek, sonuca ulaşılmaktadır [11].

UA ve CBS ile yapılan jeotermal keşif çalışmalarını klasik yöntemlerden ayıran en büyük fark, UA ve CBS'nin, ilk keşif ve ön fizibilite çalışmalarında kullanılması, jeotermal potansiyelinin olasılığından yola çıkılarak odaklanılacak bölgenin ortaya koyulmasında kullanılmasıdır. Bir başka deyişle, geniş alanlarda araştırma yapabilme imkanı ile yapılacak jeotermal araştırmaların ilk adımı niteliğindedir. Klasik yöntemler ise odaklanılmış bölge üzerinde, direkt olarak hedef lokasyonları bulmaya yöneliktir [12].

Kratt vd., Kuzeybatı Nevada'da bulunan Piramit Gölü Havzasındaki çalışmalarında, jeotermal potansiyeli olan bölgelerde, CBS ve UA yöntemlerini kullanarak hidrotermal alterasyona uğramış mineralleri tanımlamışlardır [13]. Çalışmada, hiperspektral görüntüler, HyMap ve ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) uydu görüntüleri, kuyu ve su kaynakları lokasyonları, sondaj derinlikleri ve kuyu dereceleri, gravite verileri, Landsat termal gece görüntüleri, kuvaterner faylar, topografik ve hava fotoğraflarından elde edilen altlık haritalar ve mineral haritalar kullanılmıştır. ASTER uydu görüntülerinin görünür bölge ve kısa dalga kızılötesi bantları kullanılarak, hidrotermal alterasyon kayaları ve tüf kalıntıları incelenmiştir. Detay elde etmek için hiperspektral harita yapılarak, bölgede mineral haritaları üretilmiştir. Çalışmada, alunit, karbon kayaları, kireçtaşı, kaolinit, halosit, montmorillonit/illit mineralleri ve tüf malzemelerinin haritası oluşturulmuştur.

Yousefi vd., İran'da jeotermal kaynakların geliştirilmesine yönelik yapmış oldukları çalışmada, CBS ile jeotermal uygunluk haritası oluşturmuşlardır [14]. Çalışmada öncelikle veri katmanları seçilmiş, ölçütler geliştirilmiş, katmanlar sentezlenmiş, çalışma alanı özellikleri ve potansiyel jeotermal alan öncelikleri belirlenmiştir. Temel olarak, jeolojik, jeokimyasal ve jeofiziksel ölçütler kullanılmıştır. Jeoloji ölçütleri olarak; fay hatları, volkanik kayalar, volkanik tepeler, jeokimyasal ölçüt olarak; sıcak su kaynakları, alterasyon zonları, çamur havuzları, jeofizik ölçütleri olarak; sokulum kayaları kullanılmıştır. Bu ölçütlere ait değişen tampon bölge sınırları belirlenmiş ve bu tampon bölgelerin kesişimleri incelenmiştir. Buna göre 18 adet jeotermal potansiyele sahip alan önerilmiştir.

Çetin; Sündiken Kütlesi'ndeki yükselti iklim kuşaklarının ve orman özelliklerinin uydu görüntüleriyle belirlenmesi ile ilgili doktora tez çalışmasında, bölgedeki yükselti-iklim kuşakları, yer ölçmeleri ve uydu görüntüleriyle ormanı oluşturan ağaç ve çalı türlerini belirlemiştir [15]. Çalışmada Hyperion hiperspektral görüntüsü kullanılmış, orman türlerine ait spektral veri toplayarak spektrumları incelenmiştir. Uydu verileri üzerinde radyometrik düzeltmeler, geometrik düzetme, bozuk bantların elemine edilmesi, şerit tarama hatalarının düzeltilmesi, spektral bant merkez kayıklıkları düzeltmeleri yapmıştır. Ayrıca topografik etkiler için sayısal yükseklik modelinden, eğim ve baki özellikleri belirlenmiştir. Buna göre orman özellikleri sınıflandırılmıştır. Landsat ETM+ ve Terra ASTER görüntülerinden elde edilen, yeryüzünden neşredilen sıcaklık değerleri ile Sündiken kütlesindeki iklim kuşakları ilişkilendirmeye çalışmıştır. Sonuç olarak yapılan çalışma sonucu ağaç türlerinin çeşitli yetiştirme ortam özelliklerine göre dağılışı ve ormanın kapallığı konusunda uydu görüntülerinden önemli ve güvenilir sonuçlara ulaşıldığı kanıtlanmıştır. Çalışmada, hiperspektral görüntünün işlenmesi ve sınıflandırma adımları açıklanmış ve Terra ASTER ve Landsat görüntülerinden yüzey sıcaklığı üretme konusunda bilgiler verilmiştir.

Coolbaugh vd., Nevada'nın Churchill şehrindeki Bradys sıcak su kaynakları bölgesinde, yer altındaki sıcaklık değişimlerinin yer yüzey sıcaklıklarına etkisi olduğunun altını çizmek için, yer yüzey sıcaklıkları anomalisi üretmişler ve jeotermalle ilişkisini araştırmışlardır [16]. Çalışmada, ASTER uydu görüntülerinin termal kızılötesi bandı ve sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Termal anomalideki topografik eğim etkisini

elemine etmek için SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) ve eğim verisi kullanılmıştır. Uydu görüntülerinden elde edilen yüzey sıcaklığına düzeltme getirmek için yersel sıcaklık ölçer aletleri ile 24 saat aralıklarla ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Noorollahi vd., Kuzey Japonya'da Iwate ve Akita'da yapmış oldukları çalışmada, bölgedeki jeotermal alanlarda kaynakların keşfine yönelik CBS modeli üretmişlerdir [11]. Çalışmada, jeolojik olarak kuvaterner volkanik kayalar ve faylar, jeotermal alanların lokasyonu, alterasyon alanları, tüf malzemeleri verilerini kullanmışlardır. Jeokimyasal açıdan da yüzey sıcaklığı olarak uygun alanları ağırlıklandırarak jeotermal potansiyele sahip bölgeler belirlemişlerdir. Sonuç olarak bölgedeki mevcut kaynakların %97'si belirlenen jeotermal potansiyel yönünden öncelikli alanda yer almıştır. Araştırma sonuçlarına göre, alterasyon mineralleri barındıran alanların 3000m yakınında %90 oranında, aktif volkanik bölgelere yakın olan bölgelerde %88 oranında hidrotermal sahalar bulunmaktadır.

Gürsoy, Kuzey Anadolu Fay zonundaki litolojik farklılık ve benzerlikleri araştırmış sınıflandırma yöntemi olarak, Nesne Tabanlı Referans Spektra toplayarak, SAH (Spektral Açık Haritalama) yöntemini kullanmıştır [17]. SAH yönteminde, referans olarak kullanılan spektral yansıtım verilerini ASTER bantlarına örneklemiştir. Nesneler için, spektral açığı belirleyerek SAH ile sınıflandırma yapmıştır. Çalışma sonucunda, SAH yönteminin uydu görüntüsü ve yersel spektral ölçme verilerinin entegrasyonunu sağlamada ve litolojik sınıflandırmada başarılı olduğu değerlendirilmiştir.

Sarı, Altınlı hidrotermal alterasyonların LANDSAT ve ASTER görüntüleriyle belirlenmesi konulu çalışmasında LANDSAT TM ve ETM görüntüleriyle bant oranlama, renk kompoziti ve temel bileşenler analizi - Crosta metotlarını kullanarak bitki örtülerinin seyrek olduğu sahalar içerisinde alterasyonlu alanları belirlemiştir [19]. Belirlenen tüm alterasyonlu zonlarda ASTER görüntülerine bant oranlama, spektral indis ve sınıflandırma yöntemleri uygulanarak mineral dağılımları hesaplanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tezin amacı UA ve CBS-ÇÖKA yöntemleri kullanılarak potansiyel jeotermal alanların belirlenmesi ve yöntemlerin irdelenmesidir. Uygulama, Akarçay Havzası'nın Afyonkarahisar içerisinde kalan kısmında gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca bu çalışma ile aşağıdaki sorulara cevap bulunacaktır.

- Yer yüzey sıcaklığına yükseklik düzeltmesi getirilebilir mi?
- Hidrotermal alterasyon zonları potansiyel jeotermal alanların göstergesi midir?
- UA ile hidrotermal alterasyon zonlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden hangisi ya da hangileri, hangi özellikleri ile diğerlerinden üstündür?
- UA ile yapılan çalışmalarda kısıtlar nelerdir?
- Potansiyel jeotermal alanların araştırılmasında CBS ve UA disiplinlerinin birlikte kullanılması ile sinerji yakalanabilir mi?
- Potansiyel jeotermal alanların araştırılmasında CBS ve UA disiplinlerinin birlikte kullanılması ile alternatif jeotermal sahalar önerilebilir mi?

1.3 Hipotez

Potansiyel jeotermal alanların belirlenmesinde; UA ve CBS yöntemlerini ayrı ayrı kullanarak yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur. Ancak literatürde jeotermal arama için CBS-ÇÖKA ve UA tekniklerinin birarada kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma literatürde, CBS-ÇÖKA ve UA yöntemlerinin birlikte kullanıldığı ilk çalışma olacaktır. CBS-ÇÖKA ve UA yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla, jeotermal ölçütleri analitik olarak değerlendirilip, karar desteği daha objektif olarak sağlanabilmektedir.

Çalışmanın, yeni jeotermal kaynakların keşfedilmesi açısından yol gösterici olacaktır. Yeni kaynakların keşfedilmesiyle termal turizmi, konut ısıtmacılığı, seracılık ve balneolojik uygulamalar için potansiyeli artıracak ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine katkıda bulunacaktır. Ayrıca UA ve CBS-ÇÖKA'nın birlikte kullanılması ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılacak çalışmalar için örnek teşkil etmesi,

yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasında önemli rol oynaması beklenmektedir.



JEOTERMAL ALANLAR: ÖZELLİKLERİ, UA, CBS

2.1 Jeotermal Sistemin Yapısı ve Yüzey Belirtileri

Jeotermal enerji, arz kabuğu içinde bulunan aşırı ısınmış kaya, yüksek sıcaklık ve basınçtaki su ile bunlardan türeyen, buhar veya buhar ve gaz gibi tüm maddelerin oluşturduğu enerjidir [19]. Jeotermal akışkanı oluşturan sular genelde meteorik kökenli olduğu için atmosferik koşullar devam ettiği sürece jeotermal kaynaklar yenilenmektedir.

Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için gerekli olan parametreler; yer kabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan (beslenme), akışkanı bünyesinde barındıran rezervuar kayaç ve ısının kaybını önleyen örtü kayaçtır. Tektonizmanın yarattığı kırık ve zayıflık zonlarından kabuk içerisinde sığ derinliklere ve/veya yeryüzüne kadar ulaşan magma faaliyetleri jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturur. Yeryüzünden kırık ve çatlaklar boyunca süzülen meteorik sular derinlerde ısındıktan sonra gözenekli ve geçirimli olan rezervuar kayaç içinde birikir. Bu suların bir kısmı fay hatları boyunca yükselerek yeryüzüne ulaşırlar ve jeotermal kaynakları oluştururlar. Üzeri geçirimsiz bir örtü kaya ile kuşatılan ve çoğu zaman yeryüzüne ulaşamayan rezervuar kaya içerisindeki jeotermal akışkan sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkarılır [3].

Keşif çalışmalarında, öncelikle jeotermal kaynakların yüzey belirteci olan yapılar belirlenmelidir. Bunlar, jeotermal kaynaklar, çamur volkanları ve gayzerler [17, 19], hidrotermal alterasyonlar ile traverten, silis, civa, borat, limonit vb genç çökelimlerdir [19]. Araştırma yapılan bölgedeki silisli sinter ve travertenlerin varlığı, daha önce bir jeotermal sistem bulunduğunun kanıtıdır [20,21]. Bu göstergeler detaylı jeoloji

haritasıyla karşılaştırılarak jeotermal kaynak bulunabilme potansiyeli olan kayaç grupları ve/veya yapısal zonlar belirlenebilir [20]. Jeolojik haritalar incelenirken magmatik kayaçların varlığı, potansiyel rezervuar kayaçların varlığı, hidrotermal alterasyon zonları ve fay ile çatlak konumları belirlenmelidir. Elde edilen veriler uydu görüntüleri ve / veya hava fotoğrafları ile desteklenebilir [20,21].

Jeotermal kaynak araştırmalarında en önemli belirteç faylardır. Dünya’da ve ülkemizdeki jeotermal kaynaklar fay hatlarının yakınlarında kümelenmiştir. Jeotermal sistem içerisindeki akışkanların yüzeye çıkmaları faylar sayesinde sağlanmaktadır [20]. Fay ve çatlaklar oluşturduğu süreksizliklerle yer basınçlı sistemlerde rezervuarın hacmini belirlemede bölgedeki jeotermal enerji üretimini gösteren önemli bir parametredir [21].

Mevcut jeotermal kaynaklar ve diğer jeotermal yüzey bulguları yeraltında bir ısı kaynağının varlığını kuvvetle belirtmektedir. Aynı ısı kaynağından elde edilen sıcak su, mevcut jeotermal kaynakların doğrudan civarlarında olmayıp yakın başka bölgelerde ortaya çıkabilmektedir [22].

Jeotermal sistemlerdeki akışkanların %90 - %95’i meteorik kökenli olup, %5 - %10 arasında juvenil kökenli karışımlar olduğu bilinmektedir [21]. Drenaj yoğunluğu çevresel analizlerde ve alan seçimlerinde önemli bir ölçüttür. Dolayısıyla jeotermal kaynak araştırmalarında da kullanılabilir [22]. Meteorik suların jeotermal ısıtıcıya ulaşip beslenmesi yönünden drenaj yoğunluğu büyük önem arz etmektedir. Ancak drenaj yoğunluğu sadece sıcak su belirteci olmayıp yer altı sularının tamamının belirteci olabilmektedir.

Hidrotermal alterasyon zonları, hidrotermal akışkanın kayaçlarla etkileşimi sonucu meydana gelen değişimler içermektedir. Jeotermal sistemlerdeki ikincil minerallerin formasyonu sistemin fiziksel ya da kimyasal şartlarından meydana gelmiştir. Bu yüzden hidrotermal alterasyonların analizleri, jeotermal kaynakların varlığına ve sistemdeki derin sulardaki kimyasal karakteristiklere ait yararlı bilgiler sağlamaktadır [22, 23, 24, 11]. Hidrotermal alterasyon zonlarının varlığı aday jeotermal alanların belirlenmesi içindir. Yani jeotermal kaynaklar açısından bakıldığında bozunmaya uğramış alanlar, bozunmaya uğramamış alanlara göre daha muhtemel alanları belirtmektedir [11].

Araştırma yapılacak sahadaki yer yüzey sıcaklığı belirleme çalışmaları, magmatik kayaçlar, geçirimsiz kayaçlar ve rezervuar kayaçlar üzerinde geliştirme ve üretim aktivitelerini etkileyen akışkan özelliklerinin tahminine yardımcı olmaktadır [21].

2.2 Jeotermal Alanların Araştırılması

Günümüzdeki ekonomik koşullarla yer yüzeyi ve yer yüzeyinden 5 km derinliğe kadar sondajlarla jeotermal enerji elde edilebilmektedir. Jeotermal araştırmalarda; jeolojik, hidrolojik, jeokimyasal, jeofiziksel, topografik ve meteorolojik veriler toplanarak değerlendirilir. Sonraki adım potansiyel jeotermal alanlarının lokasyonunun belirlenmesi ve üretime uygun sondaj hedeflerinin tespit edilebilmesi için farklı keşif teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerden önemli olanları aşağıda verilmektedir [20].

- Jeolojik ve Hidrolojik Teknikler: Ön keşif için bir bölge seçilirken ilk adım olarak, fümeroller, çamur havuzları, jeotermal kaynaklar, gayzerler, zeminde buharlaşma gibi yer yüzeyi göstergelerine bakılmalıdır. Bu göstergeler, saha açıklamaları, jeolojik kontroller, fiziksel çevre, sıcaklık, kimyasal özellikler ve deşarj edilen sıvı oranları gibi bilgilerle kapsamlı bir liste olarak derlenebilmektedir [20].
- Jeokimyasal Teknikler: Bakir alanlarda, sıcak su ve buhar deşarjlarındaki kimyasal veriler, keşif sondajlarını içeren alanlarda ön fizibilite çalışmaları için yararlı bilgiler sunmaktadır. Jeofiziksel, hidrolojik ve jeolojik metotlardan elde edilen yapısal bilgilerle birlikte, sondaj yoluyla yeraltı keşiflerinde karar desteği sağlayabilmektedir. Sondaj derinliklerinden elde edilen akışkanların kimyasal analizleri, yeraltı akışkanlarının akış yolları hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Rezervuar sıcaklığı ve akışkanın kimyasına bağlı olarak çalışan kimyasal jeotermometreler, jeotermal enerji potansiyelini değerlendirmek için rutin olarak kullanılmaktadır [20].
- Jeofiziksel Teknikler: Jeofiziksel ölçmeler, yeraltına ait özellikleri sondajlar dışında ortaya koyan tek yöntemdir. Bu teknik jeotermal araştırmalarda yer altına ait büyük yapısal özelliklere ek olarak, ısı kaynakları, yer altı rezervuarlarının alansal sınırları, akışkanların yer yüzeyine doğru çıkış zonları, geçirgen bölgeler ve jeotermal kaynakların enerji potansiyeli ile ilgili bilgiler sunmaktadır. Elektriksel

direnç, sismik kırılma, kuyu loglama, termal gradyan ölçmeleri ve gravite günümüzde kullanılan başarılı jeofiziksel yöntemlerdendir [20].

- UA Teknikleri: UA teknikleri geniş alanlarda kısa zamanda termal göstergeleri belirlemek için kullanılabilen tekniktir. Jeotermal kaynakların aranmasında UA yöntemleri ile belirlenebilen belirteçler termal anomaliler, hidrotermal alterasyon sonucu oluşan minerallerin belirli bölgelerde kümelenmeleri ve sıcaklık nedeniyle yeryüzündeki bitki örtüsünde ölçülebilen etkilerdir [20].
- Keşif Sondajları: Jeotermal kaynak araştırmalarının son safhası olan keşif sondajları, diğer yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçların yer altındaki durumunu sorgulamak için kullanılmaktadır. Sondaj çalışmaları ile yeraltı akışkanlarının akış sistemi geometrisi, rezervuar geçirgenliği, jeotermal potansiyelinin sürekliliğinin sağlanması, yeraltı termal anomalilerin belirlenmesini sağlamaktadır [20].

2.3 UA ile Jeotermal Araştırmalar

Günümüzde pek çok araştırmada yararlanılan UA teknikleri jeotermal araştırmalarda, son derece yararlı bir araç haline gelmiştir. Bu teknikler ile herhangi bir saha çalışması öncesinde sınırlı erişimi olan alanlarda detaylı bir yüzey bilgisi almayı mümkün kılmaktadır. Yer tabanlı saha çalışmaları için jeotermal aktivite ile ilgili ön bilgi sağlayarak yol gösterici olarak yararlanılmaktadır [25].

UA ile yapılan araştırmaların dört önemli avantajı bulunmaktadır [26].

- Sinoptik görüş: UA, bölgesel özelliklerin, eğilimlerin ve olayların resmedilmesine ve çeşitli mekânsal özelliklerin diğerleri ile ilişkisini ortaya koyulmasına imkan tanımaktadır.
- Uygulanabilirlik: Bazı alanlar yersel ölçmeler için ulaşılabilir değildir. Bilgiye erişim için mümkün olan tek yol UA olabilmektedir.
- Zaman tasarrufu: Bu teknikle zaman ve insan gücünden tasarruf edilerek geniş alanlardan hızlı bir şekilde bilgi edinilebilmektedir.

- Multidisipliner uygulamalar: Aynı UA verileri, araştırmacılar tarafından jeoloji, ormancılık, arazi kullanımı, tarım, hidroloji vb. farklı disiplinler tarafından kullanılabilir.

UA teknikleri, potansiyel jeotermal alanlarda jeoloji haritaları oluşturma, yer yüzey sıcaklığı anomalilerindeki aykırılıkları tespit etme ve jeotermal göstergeleri içeren hidrotermal alterasyon mineralleri (sülfatlar, killeri), sinter ve tüf belirleme için kullanışlı keşif araçlarıdır [27].

2.3.1 UA ile Yer Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi

Yer yüzey sıcaklığı, dünya kaynaklarının yönetim faaliyetleri ve çevresel çalışmalar için önemli bir gereklilik arz etmektedir. Yer yüzeyi sıcaklığını belirleme çalışmalarının UA ile yapılması son yılların önemli akademik konularından biri olmuştur. Bu çalışmalar, termal spektral yayılım ve atmosferik iletim bilgilerine dayanarak, UA verileri ile yapılmaktadır [20]. Volkanik ve jeotermal enerji alanları UA ile TIR bantlarından yer yüzeyinin en üst kısmındaki sıcaklıklar ile karakterize edilir [29, 26].

Dünya yüzeyine güneşten gelen ışınların bir kısmı emilir ve bu emilim ile birlikte ısı enerjisinde ve dolayısıyla yer yüzey sıcaklığında artışa neden olur. Gün içerisinde gece-gündüz döngüsünde sıcaklık etkisi yaklaşık 1m derinden başlayarak en üstteki 10 cm'lik kısımda zirve yapmaktadır. Gündüz ısı transferi yüzeyden derine doğru ilerlerken gece derinden yer yüzeyine doğru gerçekleşmektedir. Yer yüzeyi gündüzün ilk saatlerinde hızlı bir şekilde ısınır öğleden sonra (14:00 civarında) maksimum sıcaklığa ulaşır. Ancak bu ısınma homojen değil, topografik etkilerle heterojen bir dağılım gösterir. Öğleden sonra başlayan ısı kaybı gece yarısı civarlarına kadar devam eder ve gece yarısından gün doğumuna kadar sabit kalmaktadır [26].

Yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanılacak TIR verilerinin gece toplanması, topografik etkilerin değişkenliğini ortadan kaldırarak, yer yüzeyi altı, jeolojik ve hidrolojik bilgileri daha sağlıklı bir şekilde sağlamaktadır [30]. Genel kullanım olarak, güneşin aydınlatmasına bağlı olarak oluşan direkt sıcaklık etkisini ve topografya etkisini elemine etmek için şafak vaktinde veri toplanması uygundur [29].

2.3.2 UA ile Mineral Alterasyon Zonlarının Belirlenmesi

Epitermal maden yataklarının birçoğu yakın bölgedeki kayaçların hidrotermal alterasyonu ile birlikte bulunmaktadır. Bozunmaya uğramış kayaçlar her zaman jeotermal kaynağın yakınında olmamakla birlikte, bozunmaya uğramış kayaçların varlığı olağan bir jeotermal kaynağın önemli bir göstergesidir. Birçok jeotermal alan alterasyon minerallerinin varlığı ile keşfedilmiştir [31].

Jeotermal aktivite ile ilişkili kayaçları oluşturan minerallerin UA ile analizi, yer tabanlı saha çalışmaları ile ayrıntılı olarak araştırılmadan önce, jeotermal akışkan yollarının kontrolü gibi jeolojik yapıların durumu hakkında ön fikir elde etmek için kullanılabilir. UA ile jeotermal aktivite nedeniyle minerolojideki potansiyel değişimler ve jeolojik geçmişin gösterildiği detaylı mineral dağılımı haritasının yapılabilmesi sağlanmaktadır [25].

Optik dalga boyları kullanılarak, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yapılan UA araştırmaları, kayaç tipi ve yapısındaki farklılıklarla ilgili yüzeysel bilgiler sunmakta olup çökelleri ve kayaçları oluşturan minerallerin ayırımında tek başına doğru sonuçlar üretmez. Ancak kızılötesi dalga boyu ile birlikte yapılan spektral analizler, alterasyon minerallerinin ayırımı için gerekli yeterliliğe sahip olmaktadır. Böylece açık yüzey belirtileri olmadan, muhtemel zonlar saha tabanı keşifler için spesifik olarak gösterilebilmektedir [25].

UA ile mineral alterasyon zonlarının belirlenmesinde renk kombinasyonu, bant oranlama, Crosta tekniği, SAH teknikleri kullanılmıştır.

2.3.2.1 Renk Kombinasyonu Tekniği

Bu tekniğin arkasındaki ilke, insan gözüyle görülmesini sağlamak amacıyla, farklı dalga boyları içerisindeki multispektral bilgilerin birleştirilmesidir. Doğadaki her bir nesnenin farklı dalga boyuna sahip bir yansıma değeri vardır. İnsan gözünün görebileceği renkler, görülebilir dalga boyu alanı içerisindeki kırmızı, yeşil ve mavi renklerdeki yansımanın birleşimi sonucu gerçekleşir [18].

Hidrotermal alterasyon minerallerinin belirlenmesi için ASTER’de 4:6:8 kombinasyonu kullanılmaktadır. İleri arjilik ve fillik alterasyon tipleri ASTER bant 6 ve bant 8’de düşük

yansıtım, bant 4'te yüksek yansıtım göstermektedirler. Propilitik alterasyonlar, bant 8 ve bant 4'te düşük yansıtım, Bant 6'da yüksek yansıtım göstermektedir. Kalsit ise bant 4 ve bant 6'da yüksek yansıtım, bant 4'de düşük yansıtım göstermektedir. Bundan dolayı, ileri arjilik alterasyonları (alunit, kaolinit) ve fillik alterasyonlar (serisit, smektit) kırmızı-pembe arasında, propilitik alterasyonlar (klorit, epidot) açık yeşil olarak, kalkerli birimler ise sarı renkte görüntülenmektedir [33,34].

2.3.2.2 Bant Oranlama Tekniği

Alterasyon zonlarının belirlenmesinde kullanılan bant oranlama tekniği bant farklılaşmaları ve oranlarını temel almaktadır. Bant oranlaması bir bantta ölçülen spektral yansımanın diğer bantta ölçülen spektral yansıma doğrudan yada bantlara uygulanan matematiksel işlemler sonucunun oranıdır. Temel avantajı, spektral özellikleri farklı çerçevelerde güneş ışınlarının yoğunluğu ve açısına bağlı olarak oluşan parlaklık değerlerinden bağımsız olarak ifade eder. Bu nedenle oranlanan görüntüde, farklı aydınlanma koşullarından doğan topografik özelliklere (eğim, bakı vb.) göre değişen parlaklıklar en aza indirgenmektedir [35].

Mineral haritalama için kullanılan çok sayıda bant oranları bulunmaktadır. Çizelge 2.1'de ASTER bantları ile bant oranlama ve bağıl bant derinliği yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalar ve referansları verilmektedir.

Çizelge 2. 1 ASTER bantları ile kullanılan oranlar [36]

MİNERAL	BANT ORANLARI	YORUMLAR	REFERANS
Demir iyonu, Fe ³⁺	2/1		Rowan
Demir iki iyonu, Fe ²⁺	5/3 + 1/2		Rowan
Laterit (kırmızı kil)	4/5		Bierwith
Gossan	4/2		Volesky
Demir silikatlar)	5/4	Demir oksit Cu-	CSIRO
Demir oksit	4/3	Belirsiz olabilir*	CSIRO
Karbonatlar / Mafik Mineraller			
Karbonat / Klorit /	(7+9)/8		Rowan
Epidot / klorit /	(6+9)/(7+8)		CSIRO
Amfibol / MgOH	(6+9)/8	Diğer	Hewson

Çizelge 2.1 ASTER bantları ile kullanılan oranlar [36] (devamı)

AMFİBOL	6/8		BIERWITH
Dolomit	(6+8)/7		Rowan, USGS
Karbonat	13/14		Bierwith,
Silikatlar			
Serisit (ince taneli)	(5+7)/6	Fillik değişimi	Rowan (USGS)
Alunit / Kaolinit /	(4+6)/5		Hewson (CSIRO)
Fenjitik	5/6		Rowan (USGS)
Muskovit	7/6		Hewson
Kaolinit	7/5	Yaklaşık olarak *	Hewson
Kil	(5x7)/(6 x 6)		Bierwith
Başkalaşım	4/5		Volesky
Ana kayaç	5/6		Volesky
Silika			
Kuvarsça zengin	14/12		Rowan
Silis, kum	(11x11)/10/12		Bierwith
Temel derece endeksi	12/13		Bierwith, CSIRO
SiO₂	13/12	14/12 ile aynı	Palomera
SiO₂	12/13		Nimoyima
Silisyumlu kayaçlar	(11x11)/(10x12)		Nimoyima
Silis, kum	11/10		CSIRO
Silis, kum	11/12		CSIRO
Silis, kum	13/10		CSIRO
Diğerleri			
Bitki örtüsü	3/2		
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	(3-2)/(3+2)		

Çizelge 2.1'e ilave olarak, Amara, Namibia'da yaptığı hidrotermal alterasyonlarla ilgili çalışmada, ASTER bantlarını kullanarak, demir içeren mineraller için 5/4, kil mineralleri için 5/7 ve demir oksit için 3/1 oranını kullanmıştır [37]. Yajima, doktora çalışmasında, İran'ın Meiduk kentinde mineralleri araştırmıştır. Çalışmada, Landsatta yapılan çalışmalarda kullanılan bantları ASTER bantlarına benzeterek bant oranlama tekniği ile

hidrotermal alterasyon zonları belirlenmiştir. Buna göre R:G:B-4/6:5/6:5/8 ile ileri arjilik alterasyonları, R:G:B-4/5:5/6:5/8 ile fillik alterasyonları, 5/6 ve 4/6 ile serisit minerallerini tespit için kullanmıştır [34].

Mars ve Rowan, İran Zagros'da yaptıkları çalışmada, fillik ve arjilik alterasyon minerallerinin ASTER bantları ile belirlenebilmesi için mantık operatörleri geliştirmişlerdir. Bu operatörlerdeki algoritma IDL'de yazılmış olup bant oranları temellidir. Aşağıda fillik ve arjilik alterasyonlar için kullanılan algoritmalar verilmektedir [38].

Arjilik Operatör: ((float(b3)/b2) le 1.35) and (b4 gt 260) and ((float(b4)/b5) gt 1.37) and ((float(b5)/b6)le 1.089) and ((float(b7)/b6) ge 1.03)

Fillik Operatör: ((float(b3)/b2) le 1.35) and (b4 gt 260) and ((float(b4)/b6) gt 1.37) and ((float(b5)/b6)le 1.089) and ((float(b7)/b6) ge 1.03)

2.3.2.3 Temel Bileşenler Analizi ve Crosta Tekniği

Multispektral verideki farklı bantlar arasındaki yüksek korelasyon ile farklı dalga boyuna sahip bantlar genellikle benzer bilgiler sunmaktadır. Temel bileşenler analizi, çok bantlı görüntüler üzerinde istatistiksel analizler yapılarak, bantlar arasındaki benzer ve dolayısıyla gereksiz veriler azaltılıp orijinal bantlardaki bilgileri sıkıştırılarak bantlar arasındaki korelasyonu düşürmek ve dolayısıyla çok bantlı verilerdeki gereksiz verileri azaltmak için kullanılan bir yöntemdir [39].

Spektral bant varyasyonlarının önemli bir kısmı yer yüzeyindeki topografik gölgeleme ve albedo etkisine bağlı olarak ölçülmektedir. Temel bileşenler analizi, tüm bantlarda hakim olan irradyans etkisini elemine ederek, jeolojik metaryallerin yansıtım özelliklerini zenginleştirmektedir. Hidrotermal alterasyon mineralleri gibi spesifik minerallerin spektral tepkilerini üretmek amacıyla UA'da multispektral görüntüler gibi çok değişkenli veri setlerine uygulanabilir [40].

Özellik tabanlı temel bileşenler analizi (Feature-Oriented Principle Component Analysis) olarak bilinen Crosta Tekniği, temel bileşen görüntülerini hesaplamak için kullanılan özvektör matrisinden elde edilen nümerik değerler ve hedef meteryallerin spektral tepkileri arasında ilişki kurmaya dayanmaktadır. Bu ilişki kullanılarak, hangi

temel bileşenin hedef minerale ait spektral bilgi içerdiğine ve sonuç piksel değerlerinin koyu ya da parlak olarak ifade edildiği araştırılır [40].

Crosta Tekniği 4 veya 6 tane seçilmiş TM veya ASTER veri bantları üzerinde uygulanabilir [41]. Öncelikle ilgili mineralin spektral imzası incelenerek seçilecek dört ya da altı bantta, hangi bantlarda yükseliş hangi bantlarda düşüş olduğu incelenerek kullanılacak bantlar seçilir. Temel bileşenler analizi yapıldıktan sonra, oluşan bantlardan ilgili mineralin spektral imzasına göre en yüksek yansımaya gösteren ve en düşük yansımaya gösteren bantlar arasında özvektör matrisindeki değişimler incelenerek en uygun temel bileşen seçimi yapılır. Sonraki aşamada en yüksek ya da en düşük yansımaya gösteren bantların işaretine bakılır. Eğer en yüksek yansımaya gösteren bant (+) işaretli ise öz vektör yüklemesi normal olmuştur ve aranan minerallerin parlak olarak görüntülenir. Eğer en yüksek yansımaya gösteren bant (–) işaretli ise öz vektör yüklemesi ters olmuştur ve aranan minerallerin parlak çıkması için seçilen bileşen -1 ile çarpılır [40].

Crosta vd., ASTER bantları ile yapmış oldukları çalışmada, Arjantin'in Patagonya şehrinde alunit, illit, kaolinit + simektit, kaolinit mineralleri için PCA'yı özelleştirerek Crosta tekniğini kullanmışlardır. ASTER bantlarından, alunit için 1,3,5,7 (1. ve 5. bantlar düşük, 3. ve 7. Bantlar yüksek yansıtım), illit için, 1,3,5,6 (1. ve 5. bantlar yüksek, 3. ve 6. Bantlar düşük yansıtım), kaolinit+simektit için 1,4,6,9 (1. ve 6. bantlar düşük, 4. ve 9. Bantlar yüksek yansıtım), kaolinit için 1,4,6,7 (1. ve 6. bantlar düşük, 4. ve 7. Bantlar yüksek yansıtım) bantlarını kullanmışlardır [40].

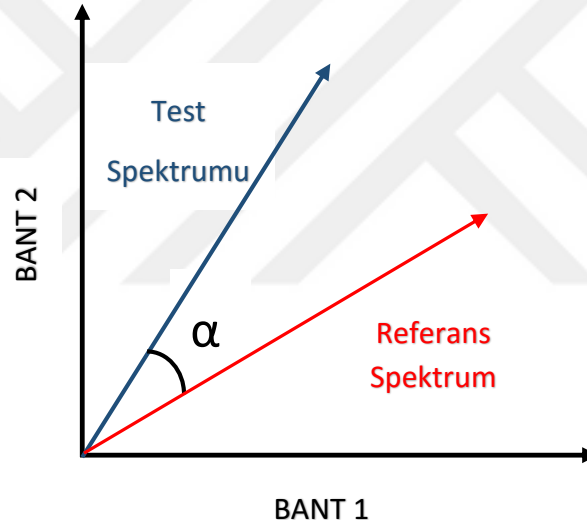
Pekesin, Beypazarı'nda yapmış olduğu çalışmada, Crosta tekniğini kullanarak, Kalsit minerali için, 1,3,8,9 (1. ve 8. bantlar düşük, 3. Ve 9. Bantlar yüksek yansıtım), Klorit minerali için 1,2,5,8 (2. ve 8. bantlar düşük, 1. Ve 5. Bantlar yüksek yansıtım), Epidot minerali için 2,5,8,9 (2. ve 8. bantlar düşük, 5. Ve 9. Bantlar yüksek yansıtım), illit için, 1,3,5,6 (1. ve 5. bantlar yüksek, 3. Ve 6. Bantlar düşük yansıtım) bantlarını kullanmıştır [42].

Hajibapir vd., İran'da yaptıkları çalışmada, muskovit için 1,6,7,9 (6. bant düşük, 7. Bant yüksek yansıtım) ve kaolinit için, 5,6,7 (5. Ve 7. Bantlar yüksek yansıtım, 6. Bant düşük yansıtım) bantlarını kullanarak Crosta tekniğini uygulamışlardır [43].

2.3.2.4 Spektral Aç ı Haritalama Tekni ğ i

SAH tekni ğ i temel olarak, bant sayısının boyut sayısına e ŝ it oldu ğ u çok boyutlu uzayda ölçülen ve referans yansıtım verilerinin, vektörel olarak de ğ erlendirilmesi fikrine dayanmaktadır [35]. Referans yansıtım verileri, laboratuvar çalışmalarından, sahada ölçüm ile ya da görüntüden üretilerek elde edilebilmektedir [44].

Algoritmada, test edilen alana ait spektral yansıtım verileri ile referans yansıtım verileri arasındaki benzerli ğ i belirlemek için, bu verilere ait vektörler oluşturularak aralarındaki aı hesaplanır. Hesaplamalardaki boyut sayısı (n) bant sayısına e ŝ it olmaktadır. İki bantlı bir görüntüde, iki boyutlu yüzey ř ekil 2.1’de gösterildi ğ i gibi, referans spektrum vektörü ile test edilen lokasyonun spektrum vektörü arasındaki açı () hesaplanarak spektral aı belirlenir [44].



ř ekil 2. 1 İki bantlı görüntüler için SAH geometrisi

Görüntüde güneş ışı ğ ı veya glgelenmeden dolayı tüm parlaklıklar yüksek ya da tüm parlaklıklar düşük ise vektörün boyu uzar ya da kısalır ancak açısal dönüklük sabit kalacaktır [35].

SAH ile referans spektrum (r) ile test spektrumu (t) arasındaki benzerlik Eş itlik 2.1 kullanılarak belirlenir.

$$\cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{(\sum_{i=1}^n t_i^2)^{1/2} (\sum_{i=1}^n r_i^2)^{1/2}} \right) \quad (2.1)$$

SAH ile tüm görüntü birimlerinde, referans ve test spektrum benzerliği araştırılmakta olup sınıflandırmada aç ı için kullanılacak eş ik değ er büyük önem arz etmektedir. Eş ik değ er iki şekilde belirlenebilir. Birincisinde düşük ve yüksek olmak üzere iki eş ik değ er belirlenir ve iki aç ı değ eri arasında gri değ er skalası oluşturulur. Buna göre düşük spektral aç ı büyük benzerlikleri büyük spektral aç ı küçük benzerlikleri belirtmektedir. İkinci yöntemde ise sabit bir aç ı değ eri girilir bu değ erden küçük olanlar benzer büyük olanlar ise tanımsız olarak sınıflandırılır [35].

2.4 CBS-ÇÖKA ile Jeotermal Araşt ırmalar

Entegre multidisipliner araşt ırmaların amacı daha kapsamlı ve net bir çerç eve elde etmek için, çe ş itli yaklaşımlar ve mümkün olduğ unca çok sayıda özellik leri kullanarak bir sistem ya da olay ı incelemektir. Böyle bir yaklaş ımın ana avantaj ı sadece tek tür veri kullanımından doğ abilecek belirsizliklerin, genellikle birkaç veri setinin birleştirilmesi ile ç özülebilir olmasıdır. Bilgi iş lem ve veri-işleme kapasitelerindeki büyü me, CBS ile birlikte, entegre jeolojik keş if yaklaşımlarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır [26].

Jeolojik keş if araşt ırmalarından birisi olan jeotermal potansiyele sahip alanların belirlenmesi konusu oldukça güç olup, araşt ırmalar aş amalar halinde sistemli bir şekilde yapıldığında iş yükü azalmaktadır. Jeotermal ile ilgili tüm bilgiler entegreli bir şekilde kullanıldığında sonraki çalışmalar ve keş if sondajları için yol gösterici olmaktadır. Jeotermal araşt ırmalarında CBS araçları, çevre ve yer bilimlerine ait verileri entegre biçimde yorumlama kapasitesine sahip olup, sonraki çalışmalar ve keş if sondajları için en uygun yer bilgisi gösteren sayısallaştırılmış bir yaklaş ım sağlamaktadır. Bu yaklaş ımla insan ve çevreden kaynaklanan hatalar minimuma indirilmektedir [22].

CBS’de alternatif kararlar seti üretmek için, komş uluk yakınlık ve bindirme vb. metotlar, temel mekânsal iliş ki prensiplerine dayanan yöntemler kullanılabilir [45, 46, 47, 48]. Mekansal seç im yapmak, değ erlendirme ölç ütlerine göre tercihler iç erdiğ inde, mekânsal iliş ki metotlarına dayanan yeterli analitik destek sağlamamaktadır. Bunun nedeni karar verici tercihlerinin CBS tabanlı karar verme sürecine sınırlı olarak katkı sağlayabilmesinden kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak, bazı mekânsal karar

problemlerindeki ilişkilerin karmaşıklığı kartografik olarak ifade edilememektedir. Sonuç olarak CBS, karar verme sürecinde tek başına yeterli esnekliği sağlayamamaktadır [48].

ÇÖKA, karar problemi ile ilgili değer ve değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi işlemi gibi kritik süreçlerde karar vericiler için önemli bir yöntemdir. Hedef politikalar arasında denge içeren CBS tabanlı karar verme prosedürlerinin sonuçlarını anlamak ve sonrasında politika önerilerini geliştirmek için sistematik ve savunulabilir şekilde sonuçların kullanılması için karar vericilere yardımcı olmaktadır [49,50].

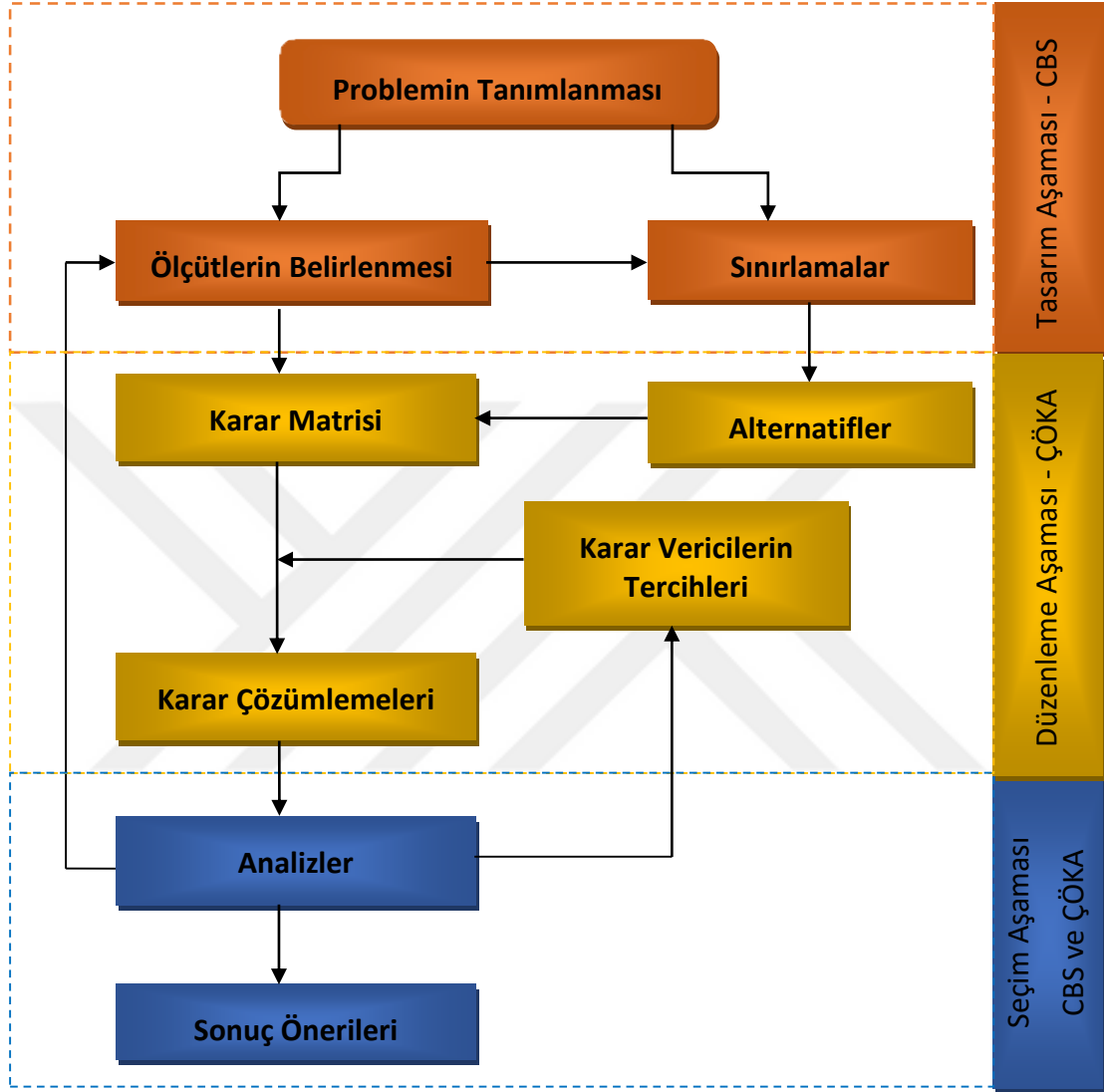
CBS ve ÇÖKA entegrasyonu CBS teknolojilerine büyük katkı sağlamış gelişen ileri düzey araştırmalara fırsat tanımıştır [48]. CBS-ÇÖKA entegrasyonu, karar verici tercihleri ile ilgili verilerin analiz edilmesi için CBS'nin yeteneklerini zenginleştirmektedir. CBS-ÇÖKA'nın en büyük avantajı, CBS tabanlı karar verme durumu içerisine değerlendirme yargılarını (değerlendirme ölçütleri ve/veya karar alternatifleriyle ilgili tercihler) tanıtmaktır [49, 50, 48].

2.4.1 CBS-ÇÖKA Süreci

En genel anlamda çok ölçütlü karar verme problemleri, kıyaslanması mümkün olmayan ve birbirine rakip ölçütler temelinde değerlendirilen bir dizi alternatif içermektedir [36]. ÇÖKA süreci genel olarak 6 temel bileşen içermektedir. Bunlar [52, 53, 54];

- Hedef ya da hedefler; karar vericiler (ilgi grupları) bu hedefler doğrultusunda hareket edip ulaşmaya çalışırlar.
- Karar vericiler; karar verme süreci boyunca değerlendirme ölçütlerine göre kendi tercihlerini sürece dahil etmelidirler.
- Değerlendirme ölçütleri; Karar vericiler alternatif eylemler temelinde değerlendirmelidir.
- Karar alternatifleri; karar ve eylem değişkenlerini içermelidir.
- Kontrol edilemeyen değişkenler; tabiat halleri ya da karar ortamını belirtir.
- Çıktı ve sonuçlar; her bir alternatif ve ölçüt çifti ile ilgili sonuçları içermektedir.

ÇÖKA'nın genel amacı karar verici ya da karar verici grup için çelişkili ve birbirine rakip ölçütlerin bulunduğu ortamda, bir dizi alternatif arasından en iyi alternatifin seçimi için yardımcı olmaktır. ÇÖKA süreci farklı adımlar halinde bölümlendirilebilir [52] (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 ÇÖKA adımları

2.4.1.1 Problemin Tanımlanması

Karar analizlerinin başlangıcında problemin ne olduğu belirlenmeli ve tanımlanmalıdır. Karar problemi, sistemin mevcut durumu ile istenen ya da beklenen durum arasındaki algılanan fark olarak tanımlanmıştır.

2.4.1.2 Ölçütlerin Belirlenmesi

Problem tanımlandıktan sonra, ÇÖKA'da ölçütlerin belirlenmesi adımına geçilir. Bu adım ÇÖKA adımlarının önemli adımlarından birisidir. Çünkü seçilecek ölçütler sonucu doğrudan etkilemektedir. Ölçütlerin belirlenmesi, karar problemine bağlı olarak, ilgili tüm etkileri yansıtan kapsamlı hedefler setidir [52]. Ölçütler genel olarak ölçülebilir ve anlaşılabilir olmalıdır. Bunların dışında dikkat edilmesi gereken önemli hususlar vardır. Bunlar;

- Tam olmalı: Karar problemlerinin tüm yönlerini kapsamalıdır.
- Operasyonel olmalı: Anlamlı bir şekilde analizlerde kullanılabilmelidir.
- Ayrıştırılabilir olmalıdır: Ölçütler kümesi süreci kolaylaştırmak adına bölümlere ayrılabilir olmalıdır.
- Tekrarlı olmamalıdır: Benzer ölçütler tekrarlı olarak hesaplanmamalıdır.
- Minimum sayıda olmalıdır: Ölçüt sayıları mümkün olduğu kadar az sayıda olmalıdır [48].

Ölçütlerin belirlenebilmesi için iki teknik bulunmaktadır. Bunlar aşağıda verilmektedir [52].

- İlgili literatür taramalarının yapılmasıyla diğer çalışmalarda kullanılan ölçütlerin araştırılması
- Örneklemeye araştırmaları ve ilgili kişiler, karar vericiler ya da uzmanlardan bilgi edinme

Bu bilgiler ışığında yapılan literatür araştırmaları ve uzman görüşleri ile yer yüzey sıcaklığı anomalisi, mevcut jeotermal kaynaklara yakınlık, fay hatlarına yakınlık, drenaj yoğunluğu ve jeolojik göstergelere yakınlık ölçütleri bu tez çalışması için seçilmiştir. Bu ölçütlerin kontrolü yapılan EK-G'deki anket ile sağlanmıştır.

2.4.1.3 Normalleştirmeler

Ölçütler belirlendikten sonra, ölçütlerin bir arada sentezlenebilmesi için normalleştirme işlemine geçilir. Karar verme sürecinde pek çok farklı kaynaktan gelen

çeşitli veriler kullanılabilmektedir. Verilerin birbirleri arasındaki uyumlulukları doğrudan karara etki edecek olan önemli bir etmendir. Farklı katmanlara ait sayısal veri değerlerinin yan yana gelmeleri sonucu oluşabilecek ölçek orantısızlıklarının yanı sıra, öznitelik verilerinin birimleri arasındaki farklılıklar da, hesaplamalar sırasında kullanılacak verilerin ortak bir paydada bütünleşebilmesini imkansız kılan diğer faktörler arasında yer almaktadır. Bu uygulamaları gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen yöntemler; doğrusal ölçek dönüşümü, değer fonksiyonu yaklaşımı, olasılık yaklaşımı ve bulanık küme üyeliğidir [52].

Doğrusal ölçek dönüşümü, ham verinin 0 ile 1 arasında değerler almasını sağlamaktadır. En çok kullanılan doğrusal ölçek dönüşümü yöntemleri en büyük değer ve değer aralığı yöntemleridir.

En büyük değer yönteminde veri, içerisindeki en büyük değere bölünerek maksimum değer 1 olması sağlanır.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad (2.2)$$

Eğer veri içerisindeki en büyük değer en küçük olması isteniyorsa, bölme işlemi sonucu elde edilen değer 1'den çıkarılır.

$$x'_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad (2.3)$$

Değer aralığı yönteminde veri içerisindeki minimum değer, veri üzerindeki her bir değerlerden çıkarılır ve minimum ve maksimum değer arasındaki farka bölünür.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2.4)$$

Eğer veri içerisindeki en büyük değer en küçük olması isteniyorsa, veri içerisindeki maksimum değerden, veri üzerindeki her bir değer çıkarılır ve minimum ve maksimum değer arasındaki farka bölünür.

$$x'_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2.5)$$

2.4.1.4 Alternatifler

Her bir alternatif, karar değişkenleri olarak tahsis edilir [37]. Karar değişkenleri, probleme bağlı olarak sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış bir biçimde oluşturulabilir. ÇÖKA ile risk analizlerinde alternatifler, çalışma alanı içerisindeki farklı mekânsal birimleri temsil edebilir. Bu durumda karşılaştırmalar da mekânsal birimler arasında yapılır. Mekansal birimler raster veri formatında ise grid hücreler arasında, vektör veri formatında ise nokta, çizgi, poligonlar arasında karşılaştırmalar yapılır [55].

2.4.1.5 Ölçütlerin Ağırlıklandırılması

Bu adımda, karar vericilerin önerileri doğrultusunda, ölçütler karar modeli ile birleştirilir. Bu öneriler genel anlamda ölçütlerin birbirlerine göre bağlı önemlerini vurgular. Alternatifler, öz nitelikler ve ağırlıklar, veri girdisi olarak bir araya getirildiklerinde, karar matrisi veya karar tablosu haline dönüştürülebilmektedirler [52]. Ölçütlerin ağırlıklandırılması için temel olarak, sıralama, puanlama ve ikili karşılaştırma metotları kullanılmaktadır.

Sıralama yöntemi, eğer karar vericilerin önerileri ölçütlerin öneminin sıralanmasına yönelik ise kullanılır. Bu yöntemde göre öncelikle ölçütler, önemlerine göre sıralandırılırlar. Ölçütlerin sayısal değerlerini belirlemek için sıralama metodu kullanılır [52].

Puanlama yöntemi, uygulama açısından kolay bir yaklaşımdır. Karar vericilere seçilen bir ölçüt için 100 puan üzerinden, bir puan vermesi istenir. Ölçütlerin aldığı puanlar diğer ölçütlere göre bağlı önemini gösterir [52].

İkili Karşılaştırma yöntemi 1980 yılında Saaty tarafından geliştirilmiştir. Ölçütlerin her biri tüm diğer ölçütlerle ikili gruplar halinde karşılaştırılarak, ölçütlerin bağlı önemi matrisler halinde hesaplanır. Karşılaştırmalarda, 1-9 arasındaki sayılar kullanılarak ölçütlerin birbirlerine olan bağlı önemleri değerlendirilir (Çizelge 2.2).

İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını belirlemek için Saaty'nin önerdiği tutarlılık oranı kullanılmaktadır. Buna göre ikili karşılaştırmaların tutarlı olabilmesi için, hesaplamalar sonucu elde edilen tutarlılık oranı üst limiti 0.10 olmalıdır. Tutarlılık

oranı, 0.10'un üstünde ise karşılaştırmaların tutarsız olduğu anlaşılır ve bu durumda karşılaştırmaların yeniden gözden geçirilmesi düşünülebilir [52].

Çizelge 2. 2 Tercih ölçeği [52]

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki ölçüt hedefe eşit düzeyde katkıda bulunur.
3	Bir ölçütün diğerine göre çok az önemli olması	Tecrübe ve yargı, bir faaliyeti diğer bir ölçüte göre çok az derecede önemli görerek, tercih ettirir.
5	Bir ölçütün diğerine göre kuvvetli derecede önemli olması	Tecrübe ve yargı, bir ölçütü diğer bir ölçüte göre kuvvetli derecede önemli görerek, tercih ettirir.
7	Bir ölçütün diğerine göre çok kuvvetli derecede önemli olması	Bir ölçüt diğerine göre çok güçlü tercih edilir; üstünlüğü deneyimle görülür.
9	Bir ölçütün diğerine göre aşırı derecede önemli olması	Bir ölçütün diğer bir ölçüte tercih edilmesine ilişkin kanıtların güvenilirliği büyüktür.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	

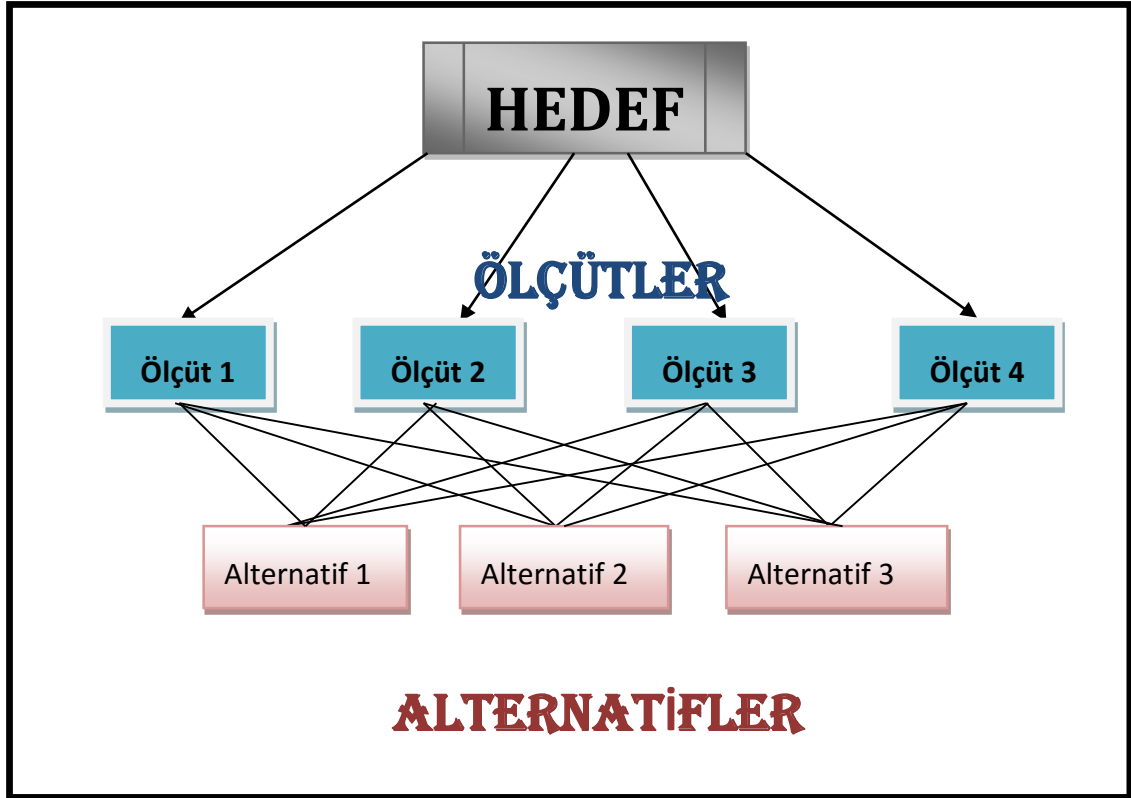
2.4.1.6 Karar Çözümlemeleri

CBS-ÇÖKA karar çözümlemeleri aşamasında çok fazla yöntem kullanılabilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları, Basit Ağırlıklı Toplam Yöntemi, Ağırlıklı Çarpım Yöntemi, Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), Değer/Fayda Fonksiyonu Yaklaşımı, İdeal Nokta Yöntemi, Uyum Yöntemi, Bulanık Mantık İşlemi, Bulanık Ağırlıklı Toplam Yöntemi, Sıralı Ağırlıklı Ortalama yöntemleridir [56].

En çok kullanılan karar çözümlemeleri yöntemlerinden birisi olan AHY, 1970'lerde Thomas Saati tarafından geliştirilmiştir. ÇÖKA adımlarını hiyerarşik adımlar halinde düzenleyen AHY'nin, belirlilik ya da belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok ölçütlü, çok amaçlı bir karar verme durumunda kullanılır. AHY her sorun için amaç, ölçüt, olası alt ölçüt seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır [57] (Şekil 2.3).

AHY'nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de subjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir. Bir diğer ifade ile AHY, bilginin, deneyimin, bireyin

düşüncelerinin ve önsözlerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir. AHY çok geniş bir uygulama alanına sahiptir ve pek çok karar probleminde etkin olarak kullanılmaktadır [58].



Şekil 2. 3 Analitik Hiyerarşi Yöntemi Modeli

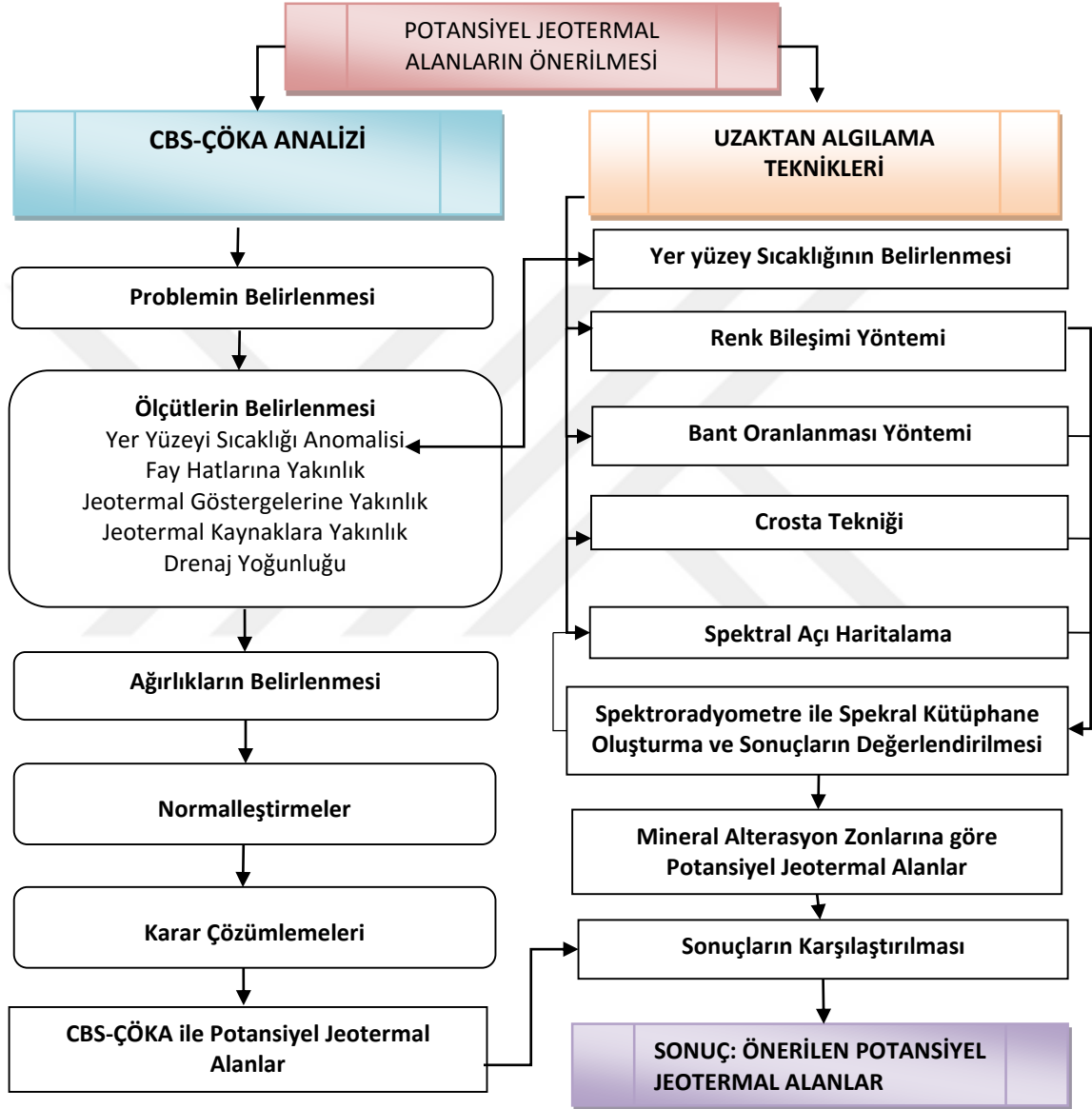
VERİ İŞLEME VE ANALİZLER

3.1 İş Akışı

Akarçay havzasının Afyonkarahisar sınırları içerisinde kalan kısmında CBS-ÇÖKA ve UA teknikleri ile potansiyel jeotermal alanların belirlenmesi aşamasında kullanılan veriler aşağıda listelenmiştir.

- MTA (Maden Tetkik ve Arama) – Türkiye jeotermal kaynaklar envanteri, 1/25000 ölçekli Güncellenmiş Türkiye Diri Fay Haritası ve Jeoloji Haritaları
- HGK (Harita Genel Komutanlığı) - 1/25000 ölçekli STH(standart topografik harita)
- DSİ (Devlet Su İşleri) - Akarçay Havzası hidrolojik veriler
- NASA (National Aeronautics and Space Administration) - ASTER 2B03 Kinematik yer yüzey sıcaklığı verileri
- NASA - ASTER L1B verileri
- Spektrometre verileri
- USGS spektral imza kütüphanesi
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) - Ravinsonde, hava sıcaklığı ve yer yüzey sıcaklığı verileri
- Sıcaklık ölçer verileri
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı - Ulusal Arazi Örtüsü verileri
- ESRI Base Map ve Google Earth - Referans Haritalar

Çalışma, UA, CBS-ÇÖKA süreci ve sonuç önerileri olmak üzere temel olarak üç kısımda incelenebilir. CBS-ÇÖKA ve UA ile jeotermal alanların keşfi problemine, Şekil 3.1'deki işlemler uygulanarak potansiyel jeotermal alanlar önerilerek çözüm üretilmiştir. Çalışmada, ArcGIS, Envi, PCI Geomatic, MS Excel, CSS, ASTER Data Opener, Fieldspec View yazılımları kullanılmıştır.



Şekil 3. 1 İş akış çizelgesi

3.2 Çalışma Alanı ve Özellikleri

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

Akarçay havzasının önemli bir kesimi Afyonkarahisar il sınırları içerisinde olup doğudan Konya sınırları içerisine girmektedir. Çalışma alanı Akarçay Havzası'nın Afyonkarahisar sınırları içerisinde kalan kısmını içermektedir (Şekil 3.2).

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



Şekil 3. 2 Çalışma alanı

Çalışma alanı, yüzey biçimleri olarak İç Batı Anadolu eşiğinin orta derecede yükseltiye sahip olan dağları ile bu dağlar arasında yer yer daralan ve genişleyen ovalardan oluşmaktadır. Akarsular açısından zengin olmayıp, akarsular sel suları karakterinde olup en önemli akarsu olan Akarçay depresyon yönünde menderes çizerek akar ve Akarçay'ın yatağı ovanın en alçak kısımlarını oluşturur. Güneyde Sultandağları ile 2.519

m yükseltisine kadar uzanmaktadır. Akarçay havza sınırları içerisinde Akşehir, Eber ve Karamık Gölleri bulunmaktadır. Ancak Akşehir Gölü çalışma alanı dışında kalmaktadır [59].

Arazi kullanımı açısından bakıldığında çayır-mera ve orman alanlarının oranı düşük, tarım arazilerinin oranı yüksektir. Afyonkarahisar ilinde nüfusun yaklaşık yüzde 60'ı kırsal kesimde yaşamakta ve tarımla uğraşmaktadır. İl genelinde polikültür tarım yapılmakla beraber tarla bitkileri üretimi ağırlıktadır [59].

Afyon civarında Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfikleri temeli oluşturur. Alt Triyas yaşlı Olucak Kırıntıları Formasyonu ve Üst Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu, metamorfikler üzerine uyumsuz olarak gelir. Bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak Gebeciler Formasyonu gelmektedir. Tüm bu formasyonları Karakaya Bazaltı kesmekte olup en üstte ise kuvaterner yaşlı yamaç molozu, alüvyon ve travertenler yer almaktadır [60].

Afyon Metamorfikleri: Bölgede mermer ve şist aralanması şeklinde yüzeyler. Şist ve Paşadağ mermerleri alt üyesidir. Bu birimler birbirleriyle geçişlidir. Kalkşistler içerisinde, kuvarsitler yer yer demir içermektedir. Kalkşist, şist ve muskovit şistler içerisinde pirit gözlenir [60].

Olucak Kırıntıları Formasyonu: Olucak köyü civarında yaygın olarak yüzeyler. Kahve-mor-yeşil-sarı renkli, orta-kalın tabakalı kumtaşı-silttaşı ve şeyl aralanmalıdır. Birim altta Paleozoyik yaşlı metamorfikleri uyumsuz olarak örter. Üstte ise Çiçeklikaya Formasyonu ile geçişlidir [60].

Gebeciler Formasyonu: Bu birim konglomera, kumtaşı, aglomera, tuf, tüfit, marn, killi kireçtaşı, silisifiye kireçtaşından oluşmuştur. İçerdikleri marn ve kil seviyelerinden dolayı, jeotermal sahanın örtü kayacını oluştururlar. Bu Formasyonun, Özbek Konglomera Üyesi, Seydiler Volkanik Tufu, Kocatape Trakiti, Akpınar Kireçtaşı Üyesi alt birimlerini oluşturur [60].

Afyon Volkanitleri: Orta Miyosen-Geç Miyosen sonlarına kadar şiddetli bir karasal volkanizma etkin olmuş ve birçok üyeden oluşan Afyon Volkanitlerini meydana getirmiştir. Karakaya Bazaltları, Afyon Volkanitlerinin üyesi olup, akıntı-sokulum yapısı ve tablamsı görünümündedir [60].

Kuvaterner: Yamaç molozu, traverten, alüvyon ile temsil olunur. Yamaç molozları ile beraber bazı fay zonlarında birikinti konileri gelişmiştir. Traverten oluşumu, sıcak su bölgelerinde halen devam etmektedir. Metamorfik temelin, Neojen yaşlı çökellerin ve volkanik kayaç malzemelerinin parçalanmasından dolayı oluşan alüvyon örtünün kalınlığı 50-150 m arasında değişmektedir [60].

Afyon ve civarında, Neojen'den beri aktivitesini sürdüren tektonik olaylar dizisi bölgeyi etkilemiştir. Ana tektonik yapılarda, KB-GD yönlü bir horst-graben sistemi ile KD-GB yönlü büyük bir fay gözlenmektedir. Horst-graben sisteminin bu fayla kesişim noktalarında Ömer-Gecek ve Gazlıgöl kaplıcaları oluşmuştur. Ayrıca bu faylara bağlı olarak tali faylar, tüy çatlakları ve açılma çatlakları gözlenir. Bölgedeki kırıkların doğrultularının bir kısmı KD-GB ve D-B yönlüdür [60].

Afyonkarahisar il sınırları içerisinde dört adet jeotermal alan bulunmaktadır. Bunlar; Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli, Sandıklı jeotermal alanlarıdır. Bunlardan, Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli jeotermal alanları Akarçay havzası sınırları içerisinde kalmaktadır (Şekil 3.3) [6].

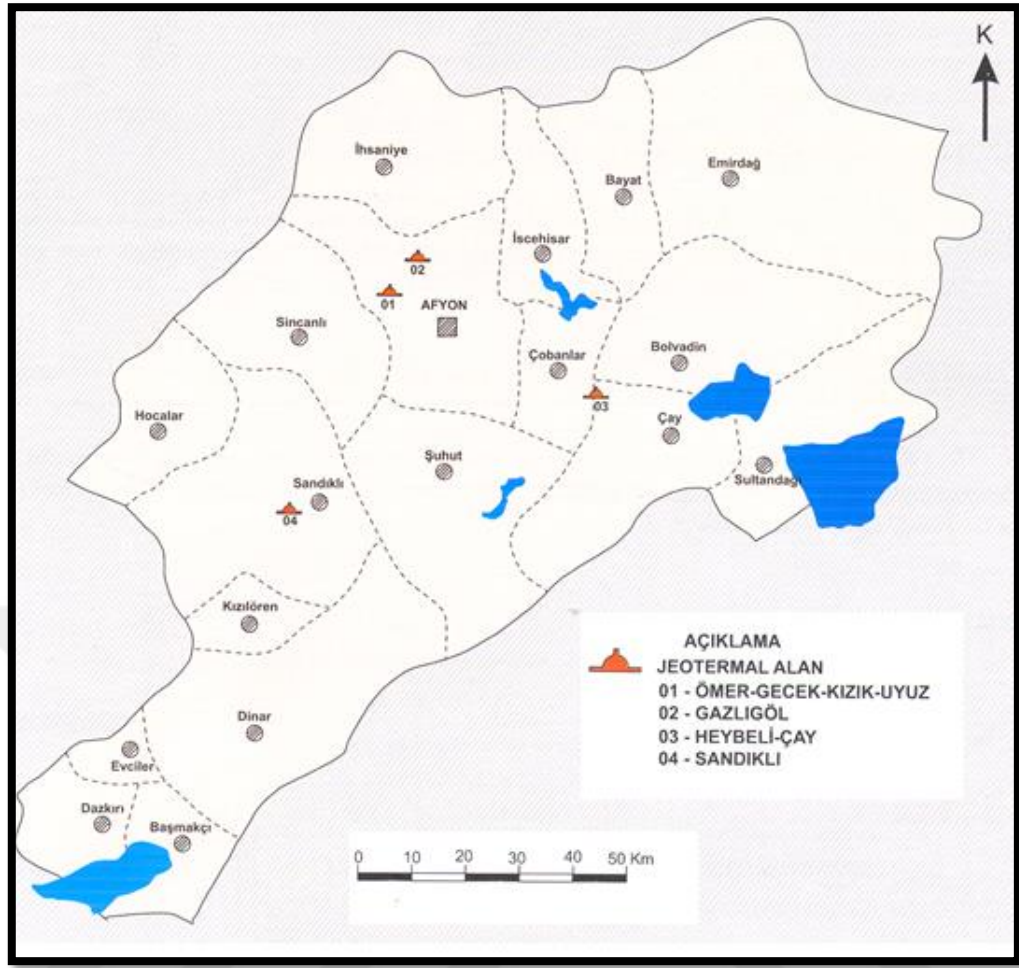
3.2.1 Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz Jeotermal Alanı

Ömer - Gecek Kaplıcası Afyonkarahisar-Kütahya karayolu ve Afyonkarahisar-İzmir demiryolu üzerinde olup il merkezine 15 km. uzaklıkta bulunmaktadır.

Bölgede çok sayıda doğal kaynak çıkışı vardır (Çizelge 3.1). Ömer- Gecek Jeotermal alanında yapılan çalışmalar sonucunda 50 °C ile 98 °C arasında değişen sıcaklıklarda çok sayıda kuyu açılmıştır. Kızık-Uyuz bölgesindeki kaynaklar kaplıca amaçlı kullanılırken Ömer-Gecek bölgesindeki kaynaklar çok sayıda termal turizmne yönelik otel, baleolojik uygulamalar, konut ısıtmacılığı ve seracılık faaliyetlerinde kullanılmaktadır [6].

Çizelge 3. 1 Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz jeotermal sahalarındaki kaynaklar [6]

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Ömer Hamamı Kaynakları	51 - 64	2.5
Gecek Hamamı Kaynakları	52 - 64	1.5
Kızık-Uyuz Hamamı Kaynakları	46 - 71	2.10



Şekil 3. 3 Afyonkarahisar ili jeotermal alanları [6]

3.2.2 Gazlıgöl Jeotermal Alanı

Gazlıgöl Kaplıcaları, Gazlıgöl beldesinde olup, Afyonkarahisar - İhsaniye karayolu üzerinde olup şehir merkezine 20 km mesafede bulunmaktadır.

Gazlıgöl jeotermal alanında 14 adet sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Bunların önemli dört kaynağa ait sıcaklık ve debi değerleri Çizelge 3.2'de verilmektedir. Gazlıgöl Jeotermal alanında yapılan çalışmalar sonucunda 51 °C ile 74 °C arasında değişen sıcaklıklarda 4 adet kuyu açılmıştır [6]. Bölgede jeotermal kaynaklar, çok sayıda termal turizmne yönelik otel faaliyetleri, baleolojik uygulamalarda kullanılmaktadır.

Çizelge 3. 2 Gazlıgöl jeotermal sahasındaki kaynaklar [6]

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Kükürtlü Kaynağı	54	1.5
Eski Hamam	47.8	0.5
Yeni Hamam	38-46	0.17
Açık Hamam	58	0.5

3.2.3 Heybeli Jeotermal Alanı

Heybeli Kaplıcaları işletmesi Bolvadin Belediyesine bağlı olup Afyonkarahisar- Konya karayolu üzerindedir. Afyonkarahisar merkezine 30 km. uzaklıktadır.

Heybeli jeotermal alanında çok sayıda sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Bunlardan önemli dört tanesi Çizelge 3.3'te verilmektedir. Heybeli Jeotermal alanında yapılan çalışmalar sonucunda 37.5 °C ile 56.5 °C arasında değişen sıcaklıklarda 8 adet kuyu açılmıştır [6]. Bölgede kaynaklar kaplıca turizmine yönelik kullanılmaktadır.

Çizelge 3. 3 Heybeli jeotermal sahasındaki kaynaklar [6]

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Heybeli Kaynakları	36.5 - 50	0.1 – 3.8
Karaburun Kaynağı	30	0.5
Çoban Hamamı	30	0.7
Karaburun T. Kuzey Koyu	30	0.2

3.3 UA Uygulamalarında Kullanılan Veriler

Çalışmada UA verileri kullanılarak, yer yüzey sıcaklığı anomalisi ve alterasyon zonlarının tayini yapılmıştır. Alterasyon zonlarının tayini için VNIR (görünür bölge) ve SWIR (kısa dalga kızılötesi) bantları, yer yüzey sıcaklığının belirlenmesinde ise TIR (termal kızılötesi) bantları kullanılmaktadır. Çizelge 3.4'te jeotermal araştırmalar için kullanılabilecek algılayıcılar ve özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 3. 4 Algılayıcılar ve özellikleri

Algılayıcı	Tarama Genişliği	Alt Algılayıcı	Bant Sayısı	Dalga Boyu Aralığı	Mekansal Çözünürlük	Radyometrik Çözünürlük
Landsat-7 ETM	185 km	VNIR	4	0.45–0.90	30 m	8 bit
		SWIR	2	1.55–2.35	30 m	8 bit
		TIR	1	10.40–12.50	60 m	8 bit
Landsat-8	190 km	VNIR	6	0.43-0.88	30m	12 bit
		SWIR	2	1.57-2.29	30m	12 bit
		TIR	2	10.62-12.51	100m	12 bit
ASTER	60 km	VNIR	3	0.52–0.86	15 m	8 bit
		SWIR	6	1.60–2.43	30m	8 bit
		TIR	5	8.125–11.65	90 m	12 bit
Hyperion	7.7 km	VNIR	220	0.40–1.00	30 m	12 bit
		SWIR		1.00–2.50	30 m	16 bit

Yer yüzeyi sıcaklık belirleme çalışmalarında, Landsat-7 ile ASTER kıyaslandığında, termal kızılötesi bölgesinde ASTER 90 metre, Landsat-7 60 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Ancak termal kızılötesi bölgesinde ASTER'in 5, Landsat'ın ise 1 bandının bulunması ASTER'i üstün kılmaktadır. Landsat-8 ile karşılaştırıldığında, Landsat-8'de 2 TIR bandı bulunmakta ve mekânsal çözünürlüğü 100 metredir. Hyperion algılayıcısında ise TIR bölgede bant mevcut değildir.

Ayrıca yüzey sıcaklık belirleme çalışmalarında, yayınlılık değerinin tahmini, Landsat'ta NDVI ya da arazi kullanımı bilgilerinden elde edilirken, beş adet TIR banda sahip olan ASTER, emisiviteyi direkt olarak tahmin edebilmektedir. Landsat ve AVHRR gibi optik algılayıcıların Termal özellikleri haritalaması birçok geliştirme çalışmalarında kullanılmıştır. Bu araçların spektral kapsama, çözünürlük ve radyometrik doğruluk konusundaki eksiklikler ASTER'de giderilmektedir [61].

Mineral alterasyon belirleme çalışmalarında minerallerin spektral ayrımı, SWIR bantlarından elde edilmektedir. ASTER'de 6 adet SWIR bandının bulunmasına karşın, Landsat 7 ve Landsat 8'de SWIR bantları 2 tanedir. Hyperion'da ise SWIR bölgesinde yaklaşık 170 bant bulunmaktadır. Dört algılayıcının da mekânsal çözünürlükleri 30 metre olup fark yoktur.

Sınıflandırmalarda, Hyperion ve ASTER'den üretilen litolojik bilgiler çoğunlukla benzerlik göstermektedir. Hyperion'un tarama genişliğinin çok küçük olmasından dolayı geniş alanlarda yapılan litolojik ve minerolojik çalışmalarda ASTER kullanımı

daha uygun olmaktadır [62]. Hyperion algılayıcısında bozuk bantlar işlemleri güçleştirmektedir [15].

Bu bilgiler ışığında, hem yüzey sıcaklığı belirleme hem de mineral alterasyon zonlarının belirlenmesinde ASTER algılayıcısına ait veriler kullanılması uygun görülmüştür.

3.3.1 ASTER Uydu Verileri

ASTER, Terra platformu üzerinde bulunan ve Japon Sanayi ve Ekonomi Bakanlığı tarafından, 1999 yılının Aralık ayında uydu yörüngesine yerleştirilen bir aygıttır. Uydu üzerinde, ASTER, MODIS, CERES, MOPITT ve MISR olmak üzere beş farklı modül bulunmaktadır. ASTER modülü ile, dünya üzerinde yüksek çözünürlüklü ve 14 banttan oluşan görüntüleri elde edilebilmektedir. ASTER verileri, arazi yüzeyi sıcaklık, reflektans, parlaklık değişim oranı (emisivite), jeolojik farklılıklar ve yükseklik haritalarını çıkarmak için bilim adamları tarafından sıkça kullanılmaktadır [33].

ASTER, 3 farklı algılayıcı sistemi kullanılarak tasarlanmıştır (Şekil 3.4). VNIR algılayıcısında, 15 metre çözünürlüklü toplam 3 bant, SWIR algılayıcısında, 30 metre çözünürlüklü toplam 6 bant, TIR algılayıcısında ise, 90 metre çözünürlüklü toplam 5 bant bulunmaktadır [33].

Alt Sistem	Bant No	Spektral Aralık (μm)	Mekansal Çözünürlük m
VNIR	1	0.52-0.60	15
	2	0.63-0.69	
	3N	0.78-0.86	
	3B	0.78-0.86	
SWIR	4	1.60-1.70	30
	5	2.145-2.185	
	6	2.185-2.225	
	7	2.235-2.285	
	8	2.295-2.365	
	9	2.360-2.430	
TIR	10	8.125-8.475	90
	11	8.475-8.825	
	12	8.925-9.275	
	13	10.25-10.95	
	14	10.95-11.65	

Şekil 3. 4 ASTER bantları ve özellikleri [33]

3.3.2 ASTER Ürünleri

NASA tarafından ASTER uydu verilerinden çeşitli ürünler sunulmaktadır. Seviye 1 ürünlerinde, radyometrik ve geometrik düzeltmeler ve yardımcı veriler sunulmaktadır. Seviye 2 ürünlerinde, emisivite ve yüzey sıcaklık verileri sunulmaktadır. Seviye 3 ve Seviye 4 ürünlerinde, Rölatif DEM değerleri sunulmaktadır (Çizelge 3.5). TES(Temperature and Emissivity Separation) algoritması ile belirlenen ASTER 2B03 ürünü, yer yüzeyine ait hesaplanan sıcaklık değerlerini sunmaktadır.

Çizelge 3. 5 Terra ASTER Ürünleri

Ürün Kodu	Ürün Özellikleri
Seviye 1A	Ham ve yardımcı veriler
Seviye 1B	Geometrik ve radyometrik düzeltmeleri yapılmış veriler
Seviye 2A01	Algılayıcıdaki parlaklık sıcaklığı
Seviye 2A02	Bağıl emisivite
Seviye 2A03	Bağıl spektral reflektans
Seviye 2B	Algılayıcıdaki radyans verileri
Seviye 2B01	Yüzey radyansı
Seviye 2B03	Yüzey sıcaklığı
Seviye 2B04	Yüzey emisivitesi
Seviye 2B05	Yüzey yansıması
Seviye 4A	Kutupsal bulutluluk haritası
Seviye 4A21	Sayısal yükseklik modeli

3.3.2.1 ASTER Seviye 2B03 Ürünü

ASTER yer yüzey sıcaklığı belirleme çalışmaları için, beş TIR bantı kullanılarak gece gündüz ölçüm yapabilmektedir. Spektral aralığı 8 ile 12 μm arasındadır. Bu ürün volkanizma, jeotermal, yüzey enerjisi ve yüksek çözünürlüklü yangın haritalarında kullanılmaktadır. Yer yüzey sıcaklığı, Plank yasası temel alınarak, emisivite değerlerinden TES algoritması kullanılarak elde edilmektedir. Bu algorithmada ASTER yüzey radyans verileri atmosferik düzeltmelerle doğrulanmıştır. TES algoritması, öncelikle TIR bantlarından Normalized Emissivity metodu kullanarak emisiviteyi tahmin

eder. Bu tahminler Kirchoff kuralı ile birlikte kullanılarak, gökyüzü irradyansına bağlı olarak TIR radyansı hesaplanır [61].

Seviye 2B03 Verisi, sıcaklık verisi ve QA (quality assessment) veri düzlemi metaverilerini içermektedir. Bu meta veriler HDF4 sıkıştırılmış dosya içerisinde saklanmaktadır. Yer yüzey sıcaklık verileri her bir piksel için 16 bitlik veri içermektedir [61].

3.3.2.2 ASTER Seviye 1B Ürünü

ASTER Seviye 1A verisinin radyometrik ve geometrik düzeltmelerinin uygulanmış halidir. Seviye 1B verisinde VNIR ve SWIR bantlarında, gri değer 0 ise işlevsiz piksel, 1 ise minimum radyansa sahip piksel, 254 ise maksimum radyansa sahip piksel olarak tanımlanmıştır. Ürün HDF file formatında ve DAT uzantılı olarak teslim edilmektedir. Ayrıca veriler UTM (Universal Transversal Mercator) projeksiyon sisteminde, WGS 84 (World Geodetic System 1984) Datumunda ve 36 Kuzey zonda tanımlanmıştır [63].

Mineral alterasyon zonlarının tayininde kullanılan ASTER SWIR algılayıcısı, 2007 yılının Nisan ayından 2008 yılının Ocak ayına kadar yüksek sıcaklığa maruz kalmış ve 2008 yılının Nisan ayından itibaren veri toplamayı durdurmuştur. Bu yüzden ASTER Bilim Ofisi tarafından SWIR algılayıcıya ait verilerin 2007 yılının Nisan ayından sonrasında kullanılmamasını önerilmektedir [64].

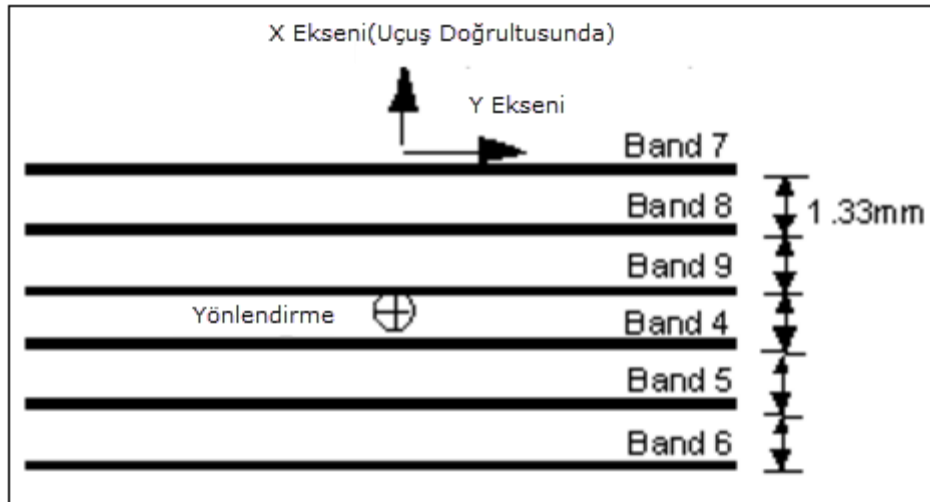
3.3.3 ASTER Uydu Verilerinin İşlenmesi

ASTER uydu verilerinin işlenmesinde, çapraz karışma düzeltmesi, atmosferik düzeltme ve mozaikleme işlemleri yapılmıştır.

3.3.3.1 Çapraz Karışma (Crosstalk) Düzeltmesi

Çapraz karışma, UA'da bir banttaki elektriksel ya da optik sinyallerin diğer bantlara sızması olarak ifade edilmektedir. Bu etki ASTER SWIR bantlarında, sulak ya da karasal alanların sınırlarında yankılama şeklinde görülmektedir. ASTER'de Şekil 3.5'te ASTER bantlarının fiziksel konumları verilmektedir. Bant 4'ten sızan elektriksel ya da optik sinyallerin diğer bantlardaki bozulması şeklinde ortaya çıkar ve Bant 4'e fiziksel olarak

en yakın bantlar (Bant 5 ve Bant 9) en fazla, en uzak bant (Bant 7) en az oranda etkilenmektedir [65].



Şekil 3. 5 ASTER SWIR bantlarının odak düzlemi

CCS (Crosstalk Correction Software), SWIR bantlarında, Bant 4 algılayıcısının düşen ışığının dispersiyonundan kaynaklanan etkiyi azaltmak için hazırlanmış ASTER Seviye 1B ürünü için ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center) tarafından oluşturulan yazılımdır. Yapılan düzeltme sadece Bant 5 ve Bant 9'a uygulanmaktadır [66].

3.3.3.2 Atmosferik Düzeltme

ASTER Seviye 1B ürünü radyometrik düzeltmeleri yapıldığından piksel değerleri algılayıcıdaki radyans değerlerini göstermektedir. VNIR ve SWIR algılayıcılardaki radyans değerleri yer yüzeyindeki reflektans değerlerine dönüşümü için atmosferik düzeltme yapılması gerekmektedir. Atmosferik düzeltmenin amacı atmosferdeki yutulma ve saçılmadan dolayı oluşan etkileri yok etmektir. Atmosferik etkileri minimize etmek için kullanılan yöntemleri, temelde mutlak atmosferik düzeltme yöntemleri ve bağıl atmosferik düzeltme yöntemleri olmak üzere iki kategoride incelenmektedir [67].

Bağıl atmosferik düzeltme yöntemleri, görüntüde yer kontrol noktalarından spektral bilgiler alınarak yapılmaktadır. Bağıl atmosferik düzeltme için hazırlanmış çeşitli algoritmalar bulunmaktadır. Bunlar Amprik Çizgi (Emprical Line) düzeltmesi, Yassı Alan (Flat-Field) düzeltmesi, Dahili Ortalama Bağıl Yansıma (Internal Avarage Relative Reflectance) düzeltmesi algoritmalarıdır [67].

Mutlak atmosferik düzeltme yöntemlerinde, verinin alındığı tarih ve konum bilgileri göz önünde bulundurularak, su buharı, gaz karışımları, topografik etkiler ve görüntüdeki farklı aydınlanma gibi muhtemel etkiler hesaplanmaya çalışılmaktadır[67, 68].

Öncelikle atmosferik iletim kodları olarak adlandırılan modeller oluşturulmaktadır. Konu ile ilgili yapılan önemli laboratuvar çalışmaları bulunmaktadır. Örnek olarak, Birleşmiş Milletler Hava Kuvvetleri jeofizik Laboratuvarında LOWTRAN (Low Resolution Atmospheric Transmission Code), MODTRAN (Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model) ve HITRAN (High Resolution Transmission Molecular Absorption Database) modellerini geliştirilmiştir. Bu modellerin doğru girdi veriler kullanıldığında oldukça doğru sonuçlar ürettiği kanıtlanmıştır. Buradaki girdi veri ise, verinin kayıt edildiği tarih olmaktadır [67,68].

Atmosferik iletim kodlarına dayanan birçok düzeltme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmalar, ya verinin kendisi veya analiz ile elde edilen gerekli parametrelerin bazılarını tahmin etmeye çalışırlar. Bu algoritmalara örnek olarak [68];

- ATREM (ATmosphere REMoval), CSES (Center for the Study of Earth from Space) tarafından AVIRIS görüntülerinden yararlanarak Colorado Üniversitesinde geliştirilmiştir.
- ATCOR (ATmospheric CORrection) Almanya Uzay Ajansı ve Almanya'daki ERDAS firması ile ortaklaşa geliştirilmiştir.
- ACORN (Atmospheric CORrection Now), ImSpec tarafından MODTRAN 4 kullanılarak geliştirilmiştir.
- FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) Birleşmiş Milletler Hava Kuvvetleri Jeofizik Laboratuvarı tarafından kısmen geliştirilmiştir.

FLAASH Algoritması

FLAASH algoritması MODTRAN-4 radyasyon transfer kodlarını içeren bir algoritma olup spektral işlem aralığı 0.4 ile 2.5 mikrometredir. Yüzeysel ve atmosferik sıcaklık, aerosol ve bulut, su buharı, yükseklik ve albedo gibi atmosferik etkiler üretilerek, yüzey reflektansının fizik tabanlı olarak doğru bir şekilde üretimi sağlamaktadır [69].

FLAASH algoritması öncelikle Lambert meteryalleri veya eşdeğerlerine ve güneşten gelen dalga boyu aralığına (termal emisyon ihmal edilir) uygulanan algılayıcı piksellerindeki spektral radyans (L) için standart eşitlik ile başlar [70]. Denklemi şu şekildedir;

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1-\rho_e S} \right) + L_a \quad (3.1)$$

ρ : Pikselin yüzey reflektansı

ρ_e : Pikselin ortalama yüzey reflektansı

S: Atmosferin küresel albedosu

L_a : Atmosferden geri saçılan radyans

A ve B: Atmosferik ve geometrik koşullara bağlı katsayılar (yüzey hariç)

A, B, S ve L_a değerleri solar zenit ve ortalama yeryüzeyi yüksekliği aerosol tipi ve görülebilirlik parametreleri ile MODTRAN hesaplamalarından elde edilmektedir [70].

FLAASH Algoritması Parametreleri

a) Ölçek Faktörü

FLAASH algoritmasında ilk seçilecek parametre ölçek faktörüdür. Radyometrik kalibrasyon yapıldıktan sonra, radyans verileri $\mu W/(cm^2 * sr * nm)$ biriminde işleme sokulmalıdır. Eğer radyans kalibrasyonundan sonra görüntünün birimi $W/(m^2 * sr * nm)$ ise radyans biriminin $\mu W/(cm^2 * sr * nm)$ 'ye dönüşümü için ölçek faktörü 10 olarak seçilmelidir [71].

b) Algılayıcı ve Çerçeve Özellikleri

Bu kısımda algılayıcı, görüntü ve çerçevelere ait parametreler belirlenmektedir. Bu bölümdeki parametreler;

- Çerçeve merkezinin enlem ve boylamı: Çerçevenin merkez noktasının enlem ve boylam bilgisidir.
- Algılayıcı tipi: Kullanılan uydu verisinin hangi algılayıcıya ait olduğu bilgisidir.
- Algılayıcı yüksekliği: Kullanılan uydu algılayıcısının dünyaya olan mesafesidir.

- Yer yüzeyi yüksekliği (deniz seviyesinden): Çekilen çerçeve sınırları içerisindeki yer yüzeyi yüksekliğidir.
- Piksel büyüklüğü: Uydu verisinin piksel büyüklüğüdür.
- Uydu çekim tarihi: Uydunun çekim tarihidir.
- Uydu çekim saati: Uydunun global saate göre çekim tarihidir.

c) Atmosferik Model

Atmosferik model, çekim esnasında, çekim yapılan yerdeki iklim parametreleri kullanılarak belirlenmektedir. Buna göre kullanılan atmosfer modelleri ve özellikleri Çizelge 3.6'da verilmektedir [71].

Çizelge 3. 6 Atmosferik Modeller ve Özellikleri [71]

Atmosferik Model	Su Buharı (std atm-cm)	Su Buharı (g/cm ²)	Hava Sıcaklığı
SAW (Sub-Arctic Winter)	518	0.42	-16° C (3° F)
MLW (Mid-Latitude Winter)	1060	0.85	-1° C (30° F)
US (U.S. Standard)	1762	1.42	15° C (59° F)
SAS (Sub-Arctic Summer)	2589	2.08	14° C (57° F)
MLS (Mid-Latitude Summer)	3636	2.92	21° C (70° F)
T (Tropical)	5119	4.11	27° C (80° F)

Atmosferik model, eğer havadaki su buharı miktarı biliniyorsa, su buharı değerlerine göre, bilinmiyorsa hava sıcaklığına göre eğer hava sıcaklığı da bilinmiyorsa Çizelge 3.7'de verilen enlem ve iklim bilgilerine göre belirlenir [71].

d) Su Buharı Etkisi

Atmosferdeki su buharı miktarı, en önemli atmosferik etkilerdendir. Ancak su buharı etkisinin elemine edilebilmesi için, her bir pikseldeki su buharı miktarının bulunması gerekir. Bu miktarı elde edebilmek için görüntüde, su buharının en iyi emilim gösterdiği (1050 -1210 nm, 870-1020 nm, 1050-1210 nm) spektral aralıklarda en az 15 nm radyometrik çözünürlüğe sahip bantlar bulunması gerekmektedir [70].

Çizelge 3. 7 Enlem ve Aylara göre Atmosferik Modellerin Dağılımı [71]

Enlem (°K)	Ocak	Mart	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım
80	SAW	SAW	SAW	MLW	MLW	SAW
70	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30	MLS	MLS	MLS	T	T	MLS
20	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T
0	T	T	T	T	T	T
-10	T	T	T	T	T	T
-20	T	T	T	MLS	MLS	T
-30	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-80	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW

e) Aerosol Tipi

Aerosol tipi ile çekimi yapılan çerçeve içerisinde kalan alanın insan faaliyetleri, iklimsel durumlar ve deniz/kara ayrımına göre modellenmesi sağlanmaktadır. Aerosol tipleri aşağıda verilmektedir [71].

- Rural: Kentsel ve endüstriyel etkilerden fazla etkilenmeyen görüntüler için kullanılmaktadır.

- Urban: 80% kırsal ve 20% duman sis vb. etkilere maruz kalan görüntüler için kullanılmaktadır. Kentsel ve endüstriyel alanların yoğun olduğu bölgeler için uygundur.
- Maritime: Okyanus ve denizler ya da hakim rüzgarla su etkisinde kalan alanlar için kullanılmaktadır.
- Tropospheric: Kırsal kesimlerde çok küçük partiküller içeren ve temiz gökyüzü için görünürlüğün 40 km'den büyük olduğu bölgeler için kullanılmaktadır.

f) Aerosol Etkisi

Aerosol etkisi ve siyah piksellerin giderilmesi için kullanılan bir parametredir. Siyah piksellerin (su, kar, buz, bulut vb.) bulunabilmesi için kullanılan görüntünün 2100nm ve 600nm bantları olması gerekmektedir. 2100nm bandın 0.1 reflektansa sahip pikselleri ya da 2100nm ve 600nm bantları oranının 0.45 civarında olan pikselleri siyah piksel olarak tanımlanmaktadır. Eğer görüntüde bu bantlar bulunmuyorsa görünürlük parametresi kullanılmaktadır [71].

Görünürlük parametresi meteorolojik verilere göre ve hava temizliğine göre, Çizelge 3.8'de verilen hava koşullarına göre belirlenir.

Çizelge 3. 8 Hava Durumu ve Görünürlük [71]

Hava Durumu	Görünürlük
Açık	40 - 100 km
Hafif Bulanık	20 - 30 km
Yoğun Bulanık	15 ve Altı

FLAASH Sonrası İşlemler (Post-Flaash Processing)

FLAASH algoritması ile atmosferik düzeltme yapıldığında, hesaplamaların tam sayı olarak yapılıp, işlem hacminin kısılması için değerler 10000 ile çarpılmaktadır. Sonuç değerleri 0 ile 1 arasında değişen değerler olarak yüzey yansıtım değerlerine çevirmek için parametre tanımlamaları esnasında gelişmiş seçenekler kısmındaki çıktı yansıtım ölçek faktörü 1 olarak belirlenebilir ancak bu işlem önerilmemektedir [72].

3.3.3.3 Mozaikleme

Birbiri arasında bindirme alanları bulunan birden çok çerçevedeki görüntülerin, birleştirilerek tek çerçeve görüntü elde etmek için kullanılan yöntemler bütünüdür. Mozaiklemede kullanılan iki temel yöntem bulunmaktadır. Birinci yöntem piksellerin yansıtım değerlerini baz alarak birbirine benzer pikselleri üst üste getirerek birleştirme yapmaktadır. Bu yöntem aralarında zaman farkı az olan yani bindirme alanlarında mevsimsel, bitkisel kentsel değişimler yoksa uygundur. İkinci yöntem ise mozaikleme yöntemi ise konum tabanlı olarak aynı koordinat bilgilerine sahip pikselleri üst üste getirmektedir. Bu yöntem geometrik düzeltmeleri yapılmış görüntüler için uygundur.

3.3.4 Spektrometre Verileri

İTÜ Uydu Haberleşmesi ve UA Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan 350-2500 nanometre dalga boyu aralığında ölçüm yapan ASD FieldspecPro tipi cihaz ile toplanan numunelere ait spektral imzalar elde edilmektedir. Bu imzalar SAH için referans spektrumlar oluşturup, spektral kütüphane oluşturmada ve uygulanan yöntemlerin doğruluğunun araştırılması için kullanılabilmektedir.

3.4 CBS-ÇÖKA'da Kullanılan Veriler ve İşlenmesi

CBS-ÇÖKA'da belirlenen yer yüzey sıcaklığı, fay hatlarına yakınlık, jeotermal kaynaklara yakınlık, drenaj yoğunluğu ve jeolojik formasyon göstergelerine yakınlık katmanlarının oluşturulabilmesi için aşağıdaki veriler kullanılmıştır.

- MTA – Türkiye jeotermal kaynaklar envanteri, 1/25000 ölçekli Güncellenmiş Türkiye Diri Fay Haritası ve Jeoloji Paftaları
- HGK - 1/25000 ölçekli STH paftaları
- DSİ - Akarçay Havzası hidrolojik veriler
- NASA - ASTER 2B03 Kinematik yer yüzey sıcaklığı verileri
- MGM - Ravinsonde, hava sıcaklığı ve yer yüzey sıcaklığı verileri
- Sıcaklık ölçer verileri
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı - Ulusal Arazi Örtüsü verileri

- ESRI Base Map ve Google Earth - Referans Haritalar

3.4.1 Yer Yüzey Sıcaklığı Verileri

Yer yüzey sıcaklığı anomali ölçütünün hazırlanması için ASTER 2B03 ürünü kullanılmıştır. HDF4 formatında ve 9 bantlıdır. Surface Kinematic Temperature bandı, hesaplanmış yüzey sıcaklık değerlerini, Kelvin cinsinden 10 ile çarpılmış olarak vermektedir. Bu değerler “ $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$ ” formülü ile Kelvin-Celcius dönüşümü yapılmıştır. Çünkü sıcaklık değerlerinin derece cinsinde kullanılması daha anlaşılır olmaktadır.

Yersel sıcaklık ölçmeleri uydu verilerinden elde edilen yüzey sıcaklığının doğruluğunun araştırılması ve sistematik hatalara düzeltme getirilmesi için kullanılmaktadır. Bu kapsamda uydu geçiş esnasında yer yüzey sıcaklığının ölçülmesi için çığ noktası ölçer cihazı kullanılmış ve MGM istasyonlarına ait yer yüzey sıcaklığı ve diğer meteorolojik veriler edinilmiştir.

Çığ Noktası Ölçer Cihazı Verileri

Yersel ölçümlerde kullanılacak cihaz, hava sıcaklığı, bağıl nem ve toprak sıcaklığı ölçebilen yüksek hassasiyete sahip, yer yüzey sıcaklığı ölçmek için harici sıcaklık algılayıcısı bulunan, gece ölçümleri için aydınlatma fonksiyonu bulunan ve sabit ve devamlı ölçümler için kayıt imkanı bulunur özelliktedir (Şekil 3.6). Cihazdan aynı anda farklı bölgelerde eş zamanlı ölçümler yapılabilmesi için 4 adet cihaz Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından doktora araştırma projesi kapsamında temin edilmiştir.



Şekil 3. 6 PCE-320 Çiğ Noktası Ölçer cihazı

Cihaz 0.1 derece hassasiyetinde, 1 saniyede kayıt yapabilmektedir. Harici algılayıcı sayesinde yer yüzeyi sıcaklığı ± 1 derece doğruluğunda ölçülebilmektedir. Gece ölçümlerinde kolaylık sağlaması için aydınlatma fonksiyonu bulunmaktadır. Sürekli ve sabit kayıt için bilgisayar bağlantısı ve yazılımı kullanılarak kayıt yapabilmektedir. Yazılımda kayıt aralığı seçildikten sonra cihazı kapatma açma ve grafik çizimleri gibi fonksiyonları bulunmaktadır.

Yapılan ölçümlere ait konum bilgisi edinmek için el GPS'i (Global Positioning System) kullanılmıştır. El GPS'leri AKÜ Harita Mühendisliği Bölümünden tedarik edilmiştir. Markası ve modeli Magellan Explorist 100 olan gps cihazı WGS-84 sisteminde 1-3 metre doğruluğa sahip olup aydınlatma fonksiyonu bulunmaktadır (Şekil 3.7).

Meteorolojik Veriler

Meteoroloji bölge müdürlüğünden elde edilen bilgilere göre Afyonkarahisar il sınırları içerisinde toplam 20 adet meteoroloji istasyonu bulunduğu ve bunlardan 11 adet istasyonun Akarçay havzası sınırları içerisinde olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarda diğer bölgelerdeki istasyonlar, yardımcı bilgi olarak kullanılmıştır. İstasyonlardan 7 tanesinde toprak sıcaklığı ve toprak nemi ölçülmektedir. Bu istasyonlarda toprak nemi ve sıcaklığı yer yüzeyinin 5 cm üzerinden, 5 cm altından, 10 cm altından, 50 cm altından ve 100 cm

altından ölçülmektedir. Çalışmalarda yer yüzey sıcaklığı kullanılacağından, en yakın olan 5 cm toprak üstü sıcaklığı kullanılmış ve 5 cm ve 10 cm toprak altı sıcaklıkları ek bilgi olarak değerlendirilmiştir. Bölgedeki istasyonların, bulunduğu havza, konum, toprak sıcaklığı ve toprak nemi ölçümlerine ait bilgiler Çizelge 3.9'da verilmektedir.

Çizelge 3. 9 MGM Afyonkarahisar 5. Bölge Müdürlüğüne ait istasyonlar, lokasyonları, toprak Sıcaklığı ve toprak Nemi ölçülen istasyonlar

İstasyon No	İl / İlçesi	Havza	Enlem / Boylam	Yükseklik (m)	Toprak Sıcaklığı Toprak Nemi Ölçümü
17190	Afyonkarahisar	Akarçay	38° 44' N / 30° 33' E	1034	Yapılmaktadır
17796	Bolvadin	Akarçay	38° 42' N / 31° 2' E	1014	Yapılmaktadır
17793	Çay	Akarçay	38° 42' N / 31° 2' E	1038	Yapılmamaktadır
17791	Çobanlar	Akarçay	38° 42' N / 30° 47' E	996	Yapılmaktadır
17869	Karaadilli	Akarçay	38° 18' N / 30° 38' E	1089	Yapılmaktadır
17829	Şuhut	Akarçay	38° 31' N / 30° 34' E	1140	Yapılmamaktadır
17823	Yakasenek	Akarçay	38° 33' N / 31° 10' E	1101	Yapılmamaktadır
18005	İhsaniye	Akarçay	39° 2' N / 30° 23' E	1079	Yapılmamaktadır
18004	İscehisar	Akarçay	38° 52' N / 30° 45' E	1161	Yapılmamaktadır
18003	Sinanpaşa	Akarçay	38° 44' N / 30° 14' E	1168	Yapılmamaktadır
18006	Sultandağı	Akarçay	38° 31' N / 31° 13' E	1049	Yapılmamaktadır
18037	Dazkırı	Burdur	37° 55' N / 29° 52' E	897	Yapılmamaktadır
18007	Evciler	Burdur	38° 1' N / 29° 54' E	892	Yapılmamaktadır
18290	Başmakçı	Burdur	37° 54' N / 30° 1' E	856	Yapılmamaktadır
17862	Dinar	Büyük Menderes	38° 3' N / 30° 9' E	864	Yapılmaktadır
18002	Sandıklı	Büyük Menderes	38° 27' N / 30° 13' E	1040	Yapılmamaktadır
18291	Hocalar	Büyük Menderes	38° 34' N / 29° 58' E	1132	Yapılmamaktadır
18292	Kızılören	Büyük Menderes	38° 15' N / 30° 08' E	1191	Yapılmamaktadır
17753	Bayat	Sakarya	38° 58' N / 30° 55' E	1088	Yapılmaktadır
17752	Emirdağ	Sakarya	39° 0' N / 31° 8' E	986	Yapılmaktadır

3.4.1.1 Yer Yüzey Sıcaklığı Yükseklik Düzeltmesi

Görüntülerde, hava sıcaklık değişimleri gibi meteorolojik etkilere bağlı olarak, yüksek rakımlı bölgelerde, düşük sıcaklıklar, düşük rakımlı bölgelerde ise, diğer bölgelere nazaran daha yüksek sıcaklıklar görülmektedir. Yükseklik etkisinin giderilmesi için sayısal yükseklik modeli ve MGM'den alınan ravinsonde verileri kullanılmıştır.

3.4.1.2 Ravinsonde Rasatları

Ravinsonde kelimesi tam olarak, atmosferde yükseklikle birlikte değişen basınç, sıcaklık, nem ve rüzgar bilgilerinin elde edilmesini ifade eder. Radiosonde kelimesi ise atmosferde yükseklikle, basınç, sıcaklık ve nem bilgilerini ifade eder. İki kavram arasındaki tek farkı rüzgar bilgileridir. Eğer bir istasyonda atmosferde yükseklikle, sıcaklık, basınç, nem ve rüzgar değerleri elde ediliyorsa bu rasatlara ravinsonde rasatları denmektedir [73].

Ravinsonde rasatları, radiosonde cihazı denilen ve balonla birlikte serbest atmosfere gönderilen rasat aletleri yardımıyla yapılır. Radiosonde cihazı, balonun yardımıyla serbest atmosferde yukarı çıkarken meteorolojik bilgileri eş zamanlı olarak ölçen ve istasyona ileten alettir. Radiosonde cihazı, basınç, sıcaklık, nem değerlerini ölçen algılayıcılardan meydana gelmektedir. Bu algılayıcılar yardımıyla elde edilen bilgiler, önceden belirlenmiş olan bir sıralama dahilinde ve belirlenmiş kısa zaman aralığında alıcı yer istasyonuna gönderilir. Rüzgar bilgileri ise radiosonde cihazının serbest atmosferdeki konumuna bağlı olarak elde edilen açı değerlerinden elde edilmektedir. Ravinsonde rasatları, basıncın, sıcaklığın, nemin, rüzgar yön ve şiddetinin, yerden uçuşun son bulduğu yüksekliğe kadar, yüksekliğin bir fonksiyonu olarak elde edildiği gözlemlerdir. Ravinsonde sistemi, bir balonu taşıdığı radiosonde cihazı, cihazdan gelen sinyalleri alan ve cihazı izleyen yer ekipmanı ve bilgileri işlemek için kullanılan bilgisayar ünitesinden ibarettir [73].

Türkiye’de, Samsun, İstanbul, Ankara, İzmir, Isparta, Diyarbakır ve Adana illerinde toplam 7 adet ravinsonde istasyonu bulunmaktadır (Şekil 3.7). Bu istasyonlar, Türkiye’yi etkileyen hava kütleleri ve ulusal ihtiyaçlar göze alınarak tesis edilmiştir. WMO (World Meteorological Organization) geniş kara bölgeleri üzerinde ravinsonde istasyonlarının 250 km, sık nüfuslu olmayan yerlerde ve okyanuslarda ise 1000 km olarak tavsiye etmektedir. Bu ölçütler dikkate alındığında Türk ravinsonde istasyonları bu ölçütlere uymaktadır. Aradaki mesafe ortalama olarak 500 km civarındadır. WMO günde bu istasyonların 4 defa rasat yapmasını tavsiye etmekte olup, bütün dünya genelinde uygulandığı gibi Türkiye’de de, 00 ve 12 (global saate göre) olmak üzere günde iki defa rasat yapmaktadır [73].



Şekil 3. 7 Türkiye ravinsonde istasyonları ve WMO numaraları[73]

Uçuş sistemleri, bir balon, uçuşa yardımcı birimler ve radiosonde cihazından ibarettir. Balon, radiosondeyi serbest atmosferde, istenilen yüksekliğe çıkarmak için kullanılır. Radiosonde cihazını balona bağlayan sistem, paraşüt, ışıklandırma birimi, bazı radiosonde cihazlarıyla birlikte kullanılan reflöktörler uçuşa yardımcı birimler olarak adlandırılmaktadır. Radiosonde ise, istenilen meteorolojik değişkenleri ölçebilecek algılayıcılardan ve elde edilen bu bilgileri istasyona gönderecek vericilerden oluşmaktadır (Şekil 3.8) [73].



Şekil 3. 8 Ravinsondenin hazırlanması [73]

Radiosonde cihazı aracılığıyla elde edilen sinyaller, elektronik ortamda bilgisayara veri yani meteorolojik bilgiye dönüştürülür. Veri işleme üniteleri bilgisayarlar, uygun rasat programları ve yardımcı donanımlardan oluşmaktadır [73]

3.4.1.3 SYM Üretimi İçin Kullanılan Veriler

Çalışma alanında SYM oluşturabilmek için kullanılabilecek veriler ve çeşitli özellikleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3. 10 SYM oluşturmak için kullanılabilecek veriler ve özellikleri

Veri	SYM	SYM	SYM	SYM	Yükseklik eğrisi Vektör
Dijital Tür	GRID	GRID	GRID	GRID	E00
Türü	Sayısal Yüzey modeli (bina vb. dahil)	Sayısal Yüzey modeli (bina vb. dahil)	SYM-DTED1	SYM-DTED2	Sayısal EYE
Piksel büyüklüğü (m)	30*30	30*30	90*90	30*30	-
Toplanma Yöntemi	Uzaktan Algılama	Uzaktan Algılama	Fotogrametri	Fotogrametri	Fotogrametri
Kaynak	ASTER Uydu Görüntüleri-GDEM	Space Shuttle Endeavor C-band and X-band	1/250000 ölçekli STH yükseklik katmanından türetilmiş	1/25000 ölçekli STH yükseklik katmanından türetilmiş	1/25000 ölçekli STH yükseklik katmanından türetilmiş
İşlenme yöntemi	Otomatik eşleştirme, Enterpolasyon yöntemi	Otomatik eşleştirme, Enterpolasyon yöntemi	Stereo olarak sayısallaştırılmış eş yükseklik eğrilerinin enterpolasyonu	Stereo olarak sayısallaştırılmış eş yükseklik eğrilerinin enterpolasyonu	Stereo olarak sayısallaştırılmış eş yükseklik eğrileri vbn enterpolasyonu
Konum Doğruluğu	30m	20m	50m	26m	5m
Yükseklik Doğruluğu	10-25m	10m	30m	20m	7.5m
Jeoit	EGM96	EGM96	Tg99	Tg99	Tg99
Elipsoit	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	HAYford
Datum	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84	ED50
Koordinat Sistemi	UTM 6°	UTM 6°	Coğrafi	Coğrafi	UTM 6°
Kurum	NASA	NASA	HGK	HGK	HGK
Erişebilirlik	Internet	Internet	Başvuru	Başvuru	Başvuru

Kullanılacak koordinat sistemi, piksel büyüklüğü, yükseklik ve konum doğruluğu göz önünde bulundurulduğunda, HGK'nın hazırlamış olduğu 1/25000 ölçekli STH'lar, SYM üretimi için uygun bulunmuştur.

1/25000 Ölçekli HGK-STH Özellikleri

Projeksiyon: UTM

Datum : ED50

Birim : Metre

Elipsoit: Hayford

UTM zone: 35 N (6 derecelik)

Format: ESRI export (*.e00)

Vektör haritalarda, detayları en üst grup olarak sınıflar temsil eder. Veriler üzerinde yapılan işlemler, detayların çeşitli sınıflara ayrılması ve bu sınıflar içinde işlem görmesi esasına dayanır. HGK'nda yapılan çalışmalarda 9 sınıf kullanılmıştır. Bu sınıflandırmada; detay benzerlikleri, öznitelikleri, kartografik özellikleri dikkate alınmıştır. Bu sınıflar Çizelge 3.11'de verilmektedir [74].

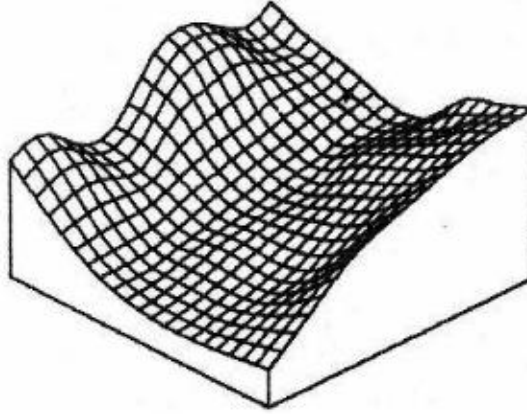
Çizelge 3. 11 HGK-STH detay sınıfları [74]

SINIF	ADI	AÇIKLAMA	KISALTMA
Boundary	Sınırlar	Sınırlar ile ilgili detaylar	bnd
Elevation	Yükseklik	Yükseklik ile ilgili detaylar	ele
Hydrography	Hidrografya	Hidrografya ile ilgili detaylar	hyd
Industry	Endüstri	Endüstri ile ilgili detaylar	ind
Physography	Fizyografya	Fizyografya ile ilgili detaylar	phy
Population	Yerleşim	Yerleşim ile ilgili detaylar	pop
Transportation	Ulaşım	Ulaşım ile ilgili detaylar	tra
Utilities	Tesisler	Tesisler ile ilgili detaylar	uti
Vegetation	Bitki	Örtüsü ile ilgili detaylar	veg

HGK-STH dijital verisi içerisinde, 28 adet katman bulunmaktadır. Bu katmanlar, detaylara ait hem grafik verileri (koordinatları) hem de grafik olmayan verileri (öznitelikleri) içermektedir.

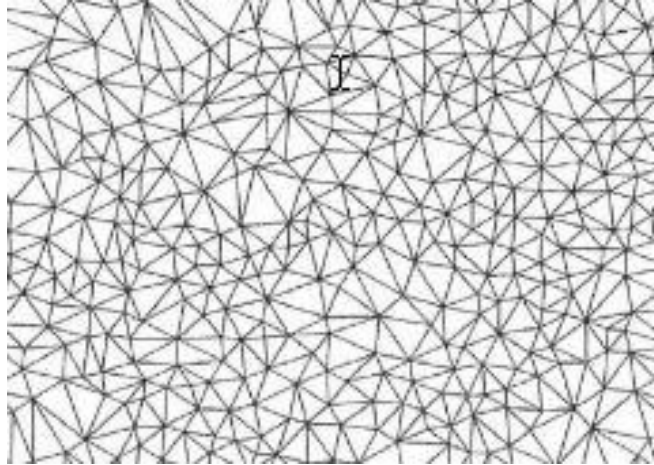
SYM Üretimi

SYM'nin depolanması için raster ve üçgenleme olmak üzere iki yöntemin kullanımından bahsetmek mümkündür [75]. Raster yönteminde arazi üzerine karesel bir grid sistemi kurulur ve dayanak noktaları enterpole edilerek hücrelerin yükseklikleri hesaplanır (Şekil 3.9) [75].



Şekil 3. 9 Raster SYM[75]

Üçgenleme yönteminde ise arazi düzlem üçgenlerden oluşan düzensiz üçgen ağı (TIN) çok yüzlü bir yüzeyle kaplanır (Şekil 3.10) [75].

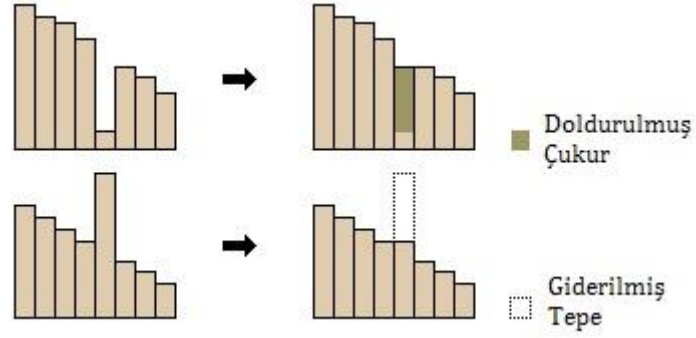


Şekil 3. 10 Düzensiz üçgenler ağı [75]

Tepe ve Çukur Hataları

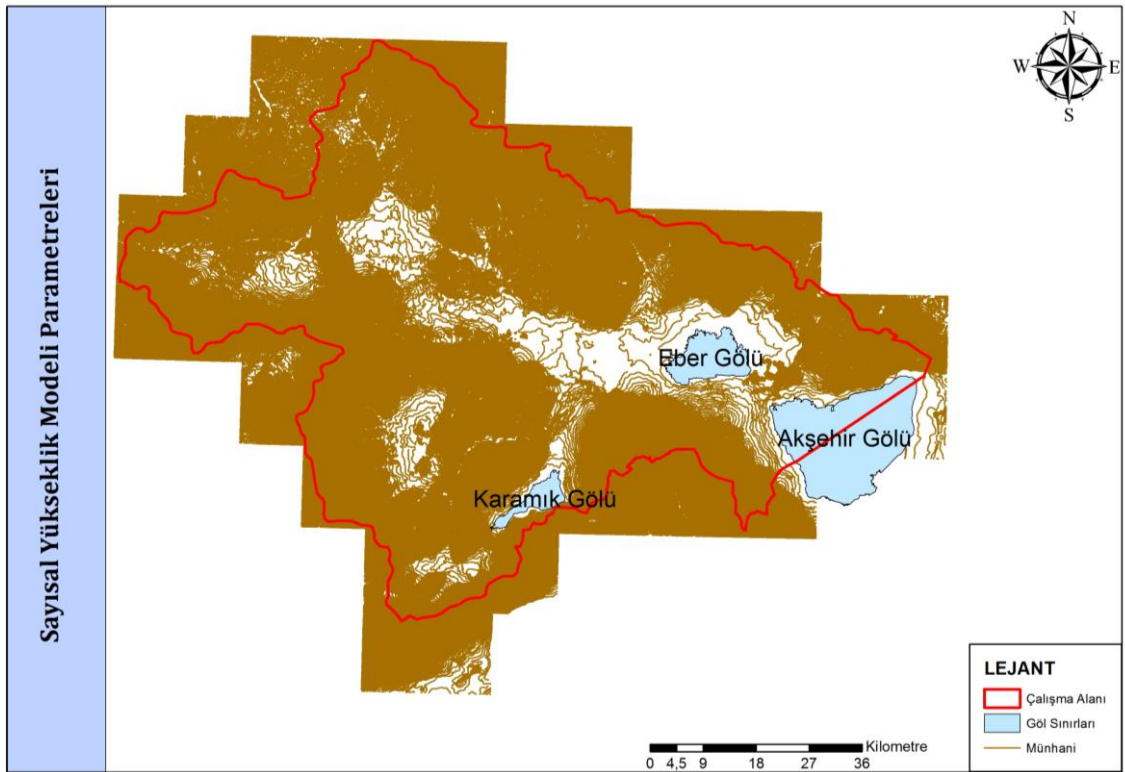
SYM'de tepe ve çukur hataları verinin çözünürlüğü ve tamsayıya yuvarlama hatalarından kaynaklanan hatalardır. Tepe ve çukur hatalarının giderilmesi için, SYM üzerindeki tek piksel halinde çukur ve tepelerin komşularından yararlanarak düzeltme

yapılır. Bazı tepe ve çukurlar doğal oluşumlar olabilir ama belirli eşik değerden sonraki tepe ve çukur oluşumları olağan değildir [76] (Şekil 3.11).



Şekil 3. 11 Tepe ve çukur hatalarının giderilmesi

Çalışmada SYM'nin oluşturulabilmesi için 1/25000 ölçekli HGK-STH sayısal haritalar ve DSİ'den alınan göl sınırları kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12 SYM oluşturmak için kullanılan veriler

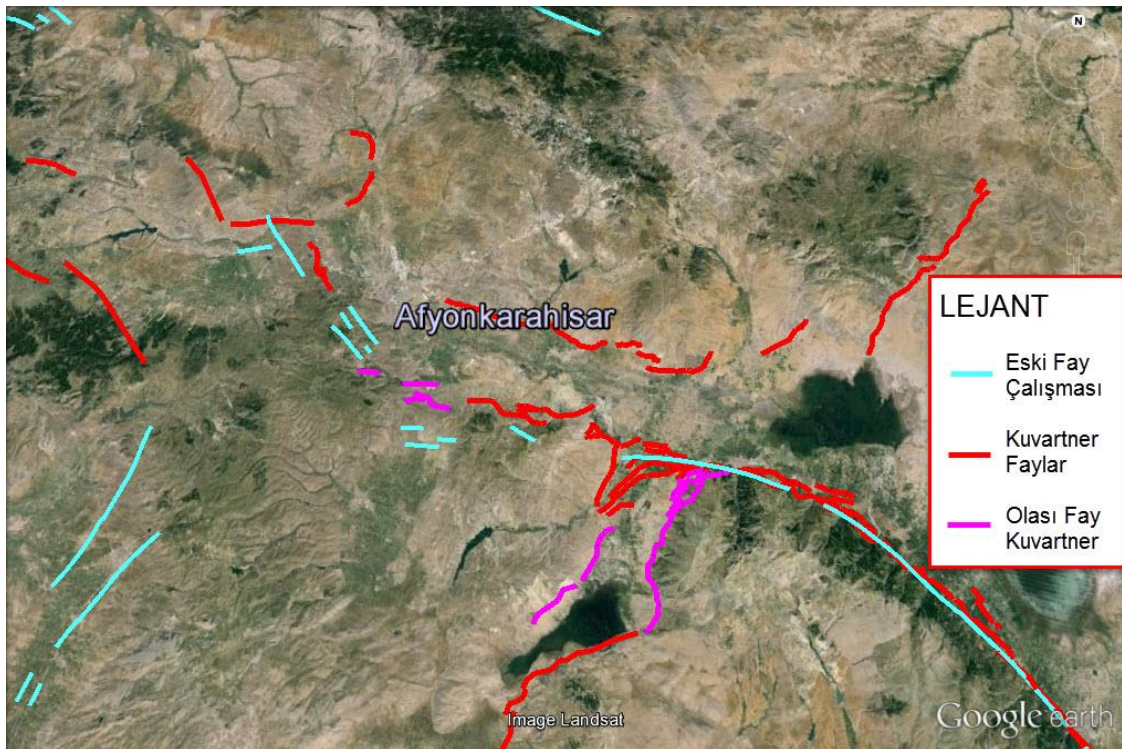
3.4.2 Fay Hatları

Emre vd. tarafından MTA Genel Müdürlüğü Türkiye Diri Fay Haritası güncelleme çalışmaları 2004 yılında başlamış olup 2011 yılında tamamlanmıştır. 1/25000 ölçekli Türkiye diri fay haritasında faylar, deprem yüzey kırığı, Holosen fayı, Kuvaterner fayı ile

olası Kuvaterner fayı ya da çizgisellik olmak üzere 4 sınıf olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanı NJ36-5 Afyon paftasında kalmaktadır [77].

NJ36-5 Afyon paftasında bulunan çalışma alanındaki faylar sayısallaştırma çalışması yapılarak vektör veri yapısına dönüştürülmüştür. Çalışma alanındaki MTA'nın eski ve yeni fay hatları ve özellikleri Şekil 3.13'te verilmektedir.

Çalışmada fay hatlarına yakınlık katmanının oluşturulması için, CBS projelerinde sıkça kullanılan yakınlık analizi yapılmıştır.



Şekil 3. 13 Çalışma alanında MTA fay verileri

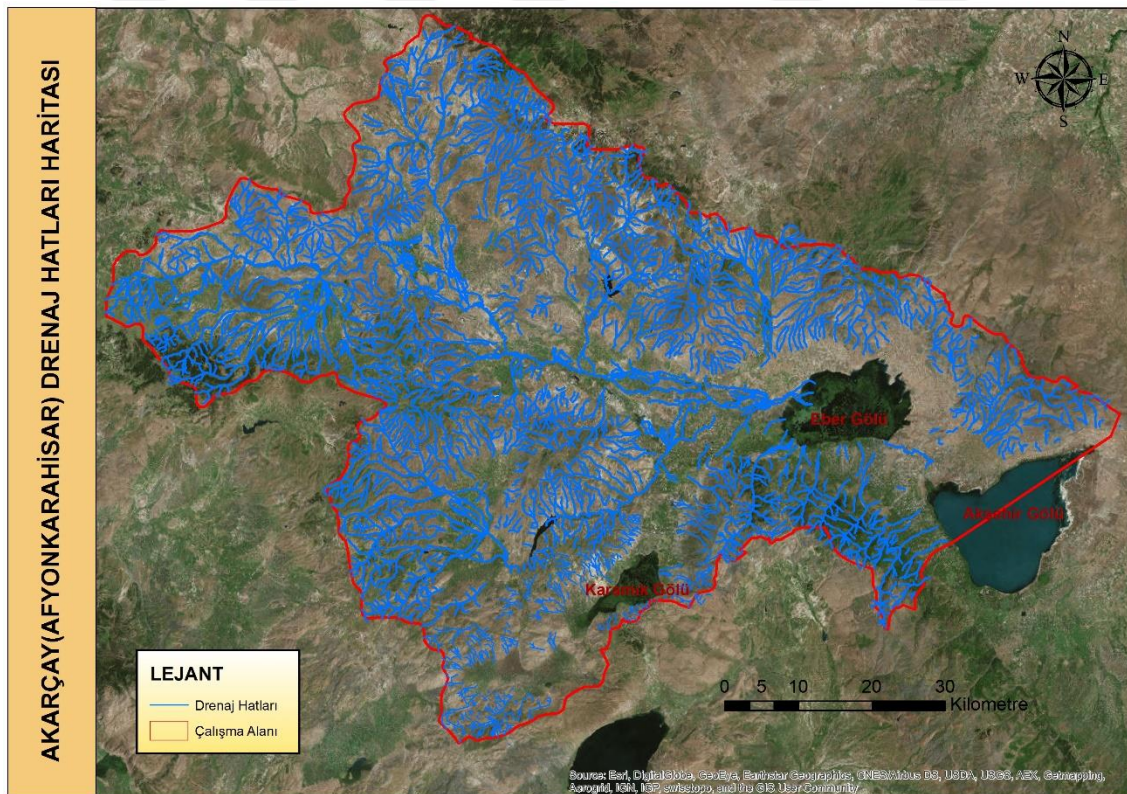
Yakınlık, basit bir uzunluk ya da seyahat süresi, gürültü seviyesi vb. gibi hesaplanabilir parametreler olabilir. Yakınlık işlevi kullanılarak, bir nesne etrafında tampon bölge oluşturulabilir. Tampon bölge harita konumu etrafına çizilmiş belirli bir genişlikte alan olarak tanımlanmaktadır. Tampon bölge analizi nokta, çizgi ve poligon detaylar üzerinden yapılabilmektedir [26].

CBS'de yakınlık fonksiyonu olarak sıkça kullanılan Öklit mesafesi metodu, kaynak hücrenin merkezinden, çevresindeki her bir hücrenin merkezine olan mesafe kullanılarak hesaplanmaktadır. Kavramsal olarak, her bir hücre için diğer tüm kaynak hücrelere olan mesafe üçgenler üzerinden kenar ve hipotenüs hesaplanarak belirlenir.

Sonuçlar içerisinde en yakın mesafe kullanılır. Maksimum etki alanı belirlenmişse ve hesaplanan mesafe değeri maksimum mesafeden küçük ise değer hücreye işlenir [78].

3.4.3 Drenaj Hatları

Drenaj yoğunluğunun belirlenebilmesi için, öncelikle drenaj ağının belirlenmesi gerekmektedir. Bir alan içerisinde bulunan doğal veya insan yapısı drenaj kanallarının düzenleniş şekline drenaj ağı denir. Yerüstü su kaynakları akarsular, çaylar, dereler, ırmaklar ve nehirler gibi hareketli su sistemlerini kapsamaktadır [79]. Drenaj ağı nehir, çay, dere, kuru dere ve büyük drenaj kanallarına ait detayların sayısal olarak elde edilmesi yoluyla, ya da SYM'nin işlenmesi yoluyla Strahler vb. metotlarla elde edilebilir. Drenaj ağı 1/25000 ölçekli HGK-STH sayısal haritaların, hidrografyaya ait detaylarından, DSI hidrolojik verilerinden ve SYM üzerinden elde edilebilir. Ancak SYM üzerinden otomatik olarak bulunan drenaj ağları, barajlar ve ıslah çalışmaları gibi insan yapımı müdahalelerle değişime uğratıldığından gerçek drenaj hatlarından sapabilmektedir. DSI'den alınan sulu dere, kuru dere, akarsu gibi detaylar havza veri tabanından çekilmiştir. Bu detaylar birleştirilerek drenaj hatları belirlenmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3. 14 Çalışma alanındaki drenaj hatları

Drenaj yoğunluğu, birim alana düşen akarsu uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Drenaj yoğunluğu katmanının oluşturulabilmesi için drenaj hatları kullanılarak yoğunluk hesabı yapılmalıdır. CBS’de hat yoğunluklarının belirlenmesi için kullanılan Line Density fonksiyonu ile birim yüzeye düşen drenaj yoğunluğu hesaplanabilir.

Line Density fonksiyonu, çizgisel nesnelerin çevresindeki her bir hücrede birim alan başına düşen uzunluk olarak hesaplanmaktadır. Kavramsal olarak, her bir hücre merkezinden yarıçap kullanılarak daire çizilir. Dairenin içerisinde kalan her çizginin uzunluğu toplanarak birimine göre (kilometrekare, metrekare vs.) alandaki değerleri hücrelere yazdırılır [80].

3.4.4 Mevcut Jeotermal Kaynaklar

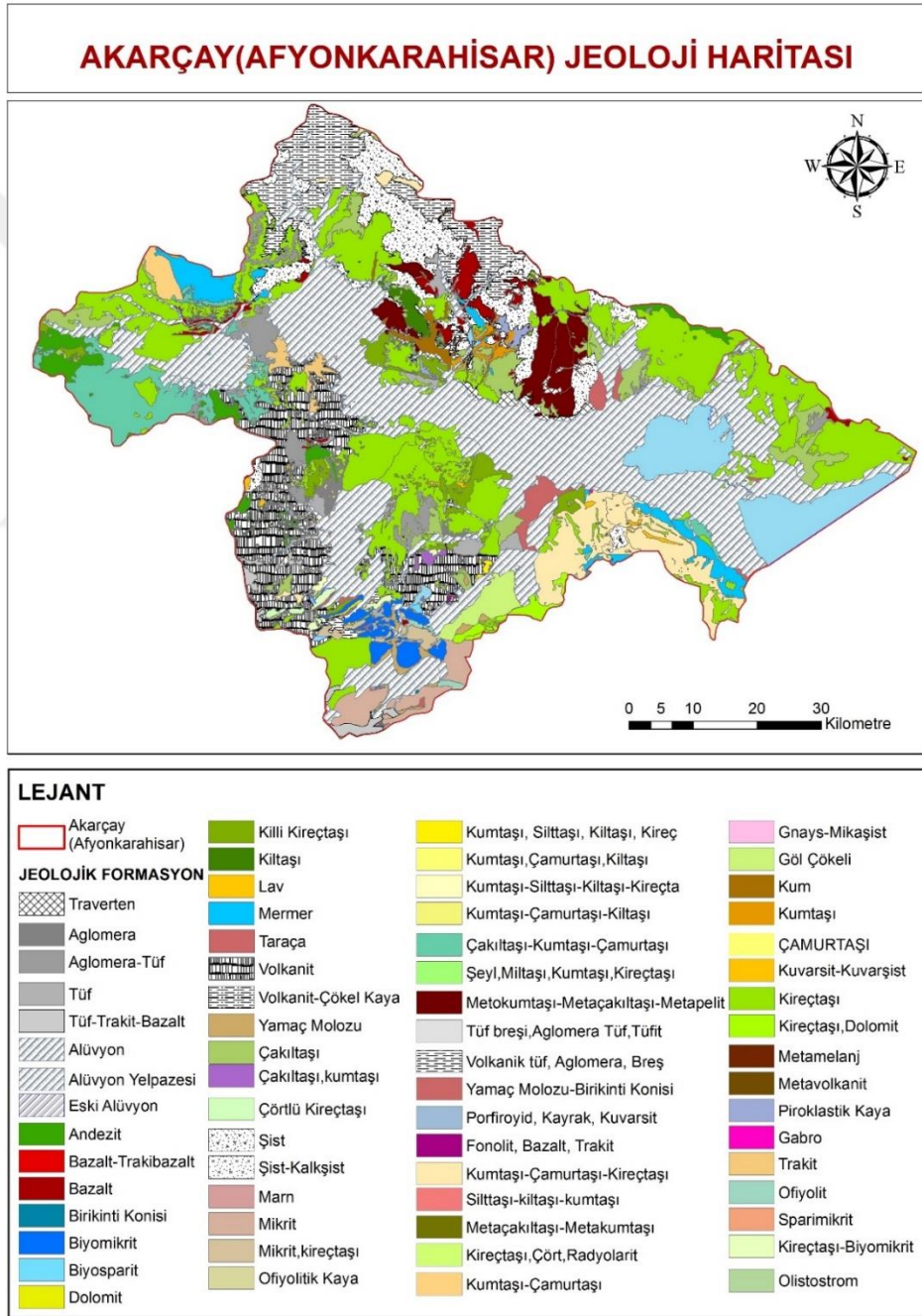
DSİ su kaynakları verileri kullanılarak, sıcak su kaynakları ayıklanmış ve mevcut jeotermal saha lokasyonları çalışma alanından elde edilmiştir. Çalışma alanında, Ömer, Gecek, Kızık, Uyuz, Gazlıgöl ve Heybeli’ye ait jeotermal kaynak lokasyonları Şekil 3.15’te verilmektedir.



Şekil 3. 15 Çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar

3.4.5 Jeolojik Formasyonlar

Jeolojik formasyonlara ait bilgiler MTA'nın sayısal jeoloji haritalarından elde edilmiştir. Jeoloji haritaları çalışma alanı içerisinde kalan kısımları birleştirilmiş ve çalışma alanı ile maskelenmiştir (Şekil 3.16). AKÜ JUAM ile yapılan çalışmalar sonucunda çalışma alanında jeotermal belirteci olabilecek formasyonlar belirlenmiştir. Buna göre Traverten oluşumlarına yakın olan, tuf, bazalt, kireçtaşı, mermer, şist, aglomera oluşumları çalışma alanında taranmıştır.



Şekil 3. 16 Çalışma alanı jeoloji haritası

MİNERAL ALTERASYON ZONLARININ BELİRLENMESİ

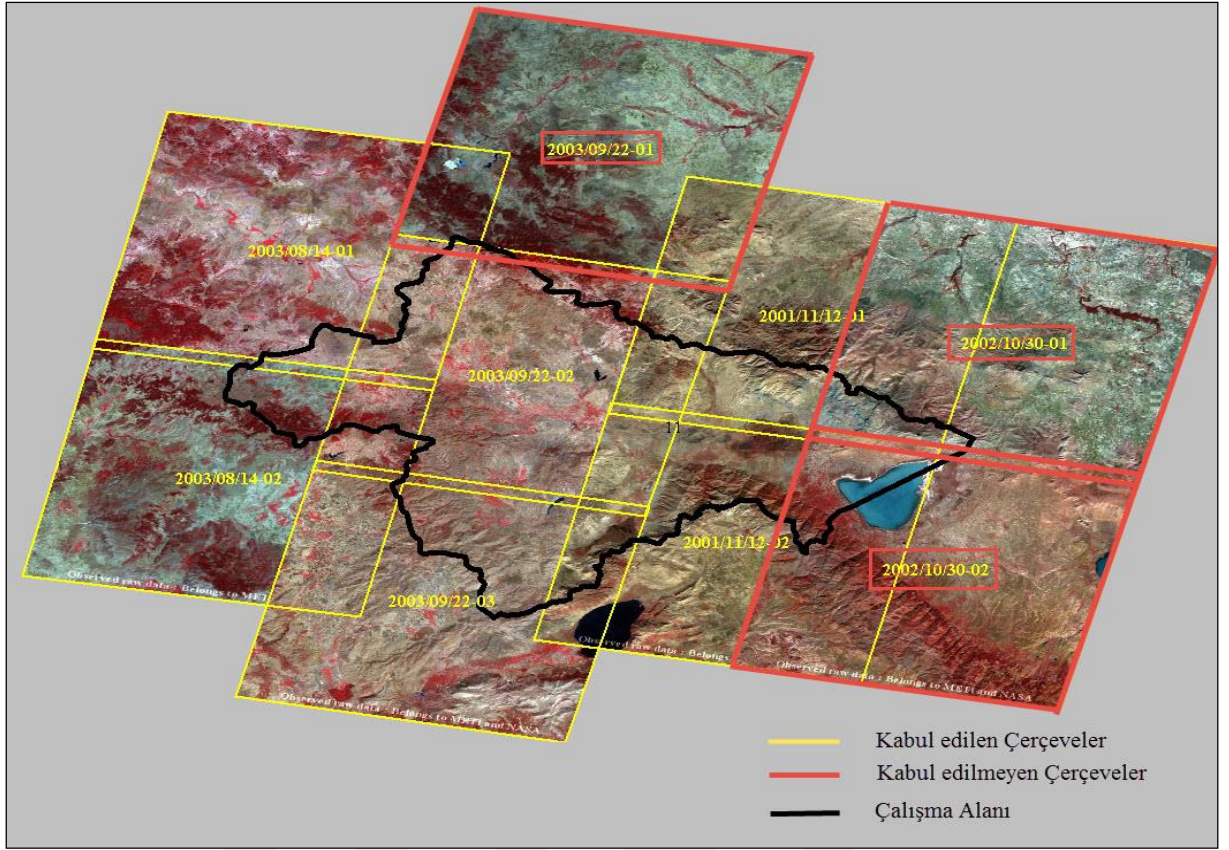
Mineral alterasyon zonlarının UA ile belirlenmesi için multispektral görüntülerin, VNIR ve SWIR bantlar kullanılmaktadır. Çalışmada ASTER uydu verilerinin VNIR ve SWIR bantları ile toplam 9 bant üzerinden işlem yapılmıştır. ASTER uydu verileriyle mineral alterasyon zonlarının tayini için öncelikle uydu görüntüleri üzerinde ön hazırlık işlemleri yapılmış sonrasında, renk kompoziti, bant oranlama, Crosta tekniği ve SAH yöntemleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak alterasyon zonları önerilmiştir.

4.1 Verilerin Hazırlanması ve İyileştirilmesi

Hazırlık aşamasında öncelikle ASTER uydu verilerinin elde edilmesi ile ilgili çerçeve seçimleri yapılmıştır. ASTER uydu verileri elde edildikten sonra daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için uydu verilerine çeşitli düzenlemeler ve düzeltmeler getirilmiştir.

4.1.1 Çerçeve Seçimi

ASTER SWIR algılayıcısının 2007 yılından sonra sağlıklı çalışmaması, yeni çekim uydu programlanmasını gereksiz kılmış olup, ASTER'e ait 2007 yılı öncesi için eski tarihli görüntü kullanımına yönlendirmiştir. Yetkili firma ile yapılan görüşmeler neticesinde, yetkili firmadan çalışma alanına ait, birbirine olabildiğince yakın tarih ve mevsimlerde çekilen eski görüntülerin taranması istenmiştir. Taramalar neticesinde çalışma alanını kapatacak ve birbirine en yakın uygun çerçeveler firma tarafından önerilmiştir. Önerilen 9 çerçeve içinden, 6 çerçeve seçilerek Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü doktora araştırma desteği kapsamında elde edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1 Önerilen ve seçilen çerçeveler

Buna göre seçilen çerçeveler ve tarihleri aşağıda verilmektedir.

1. ve 2. Çerçeve: 12.11.2001

3. ve 4. Çerçeve: 14.08.2003

5. ve 6. Çerçeve: 22.09.2003

4.1.2 Çapraz Karışma Düzeltmesi

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

4.1.3 Bant Birleştirme İşlemi

Çalışmada kullanılan 6 çerçeve uydu verisi VNIR, SWIR ve TIR algılayıcılarda ayrı ayrı gruplandırılmış şekilde toplam 14 banttan oluşmaktadır. Hidrotermal alterasyon minerallerinin araştırmasında VNIR ve SWIR bantlar kullanılmaktadır. Bu yüzden

öncelikle hem TIR bantlarını çalışma dışına çıkarmak, hem de VNIR ve SWIR bantlarını tek grupta birleştirmek için bant birleştirme işlemi uygulanmıştır. Bant birleştirme işlem esnasında 30 metre çözünürlüklü SWIR bantları 15 metreye örneklenmiştir. Böylece piksel büyüklüğü 15 metre olan 9 bantlı yeni bir veri seti oluşturulmuştur.

4.1.4 Atmosferik Düzeltme

Çalışmada, eski tarihli uydu görüntüleri kullanıldığından, yer kontrol noktalarından spektral bilgi alınamamıştır. Bu yüzden bağıl atmosferik düzeltme yöntemleri kullanılmamıştır. Mutlak atmosferik düzeltme yöntemlerinde ASTER verileri için çok tercih edilen FLAASH algoritması kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 6 çerçevelik ASTER verilerine ait kullanılan parametre değerleri aşağıda verilmektedir.

ASTER Seviye 1B ürününde radyometrik düzeltmeler yapılmıştır. Algılayıcıdaki radyans değerlerinin birimi $W/(m^2 * sr * nm)$ 'dir. FLAASH algoritmasında kullanılan birim ise $\mu W/(cm^2 * sr * nm)$ 'dir. ASTER Seviye 1B ürününde verilen birimi algorithmada kullanılacak birime dönüştürmek için ölçek faktörü 10 olarak kullanılmıştır.

Çerçeve merkezinin enlem ve boylamı, uydu çekim tarihi ve saati parametrelerinin belirlenebilmesi görüntüdeki metaverinin kullanılması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan görüntülere ait metaveriler metin dosyası olarak kayıt edilip ilgili bilgiler elde edilmiştir. Çizelge 4.1'de çalışmada kullanılan 6 farklı çerçeveye ait konum, tarih ve saat bilgileri (global saat) verilmektedir.

Çizelge 4. 1 Kullanılan çerçevelere ait konum ve zaman bilgileri

Çerçeve No	Çerçeve Merkezi Lokasyonları		Uydu Çekim Zamanı	
	Enlem	Boylam	Tarih	Saat
1	38.936098	31.253413	12.11.2001	08:55:36
2	38.406799	31.092201	12.11.2001	08:55:45
3	39.088532	30.166066	14.08.2003	08:50:29
4	38.558204	30.012467	14.08.2003	08:50:37
5	38.798295	30.630350	22.09.2003	08:57:02
6	38.270195	30.461362	22.09.2003	08:57:10

Algılayıcı tipi Multi-spektral algılayıcılar arasından ASTER olarak belirlenmiştir. Algılayıcı yüksekliği 705.000 km olarak belirlenmiştir. Yer yüzeyi yüksekliği ise SYM kullanılarak her bir çerçevedeki ortalama yükseklik hesaplatılarak kullanılmıştır. Piksel büyüklüğü ise girdi verideki piksel büyüklüğü olan 15 m olarak belirlenmiştir.

Atmosferik modelin belirlenebilmesindeki en önemli etken olan su buharı yoğunluğu elde edilemediğinden, hava sıcaklığı, enlem ve iklim bilgilerine dayanılarak atmosferik model belirlenmiştir. Uydu verilerinin alındığı tarihe ait Afyonkarahisar'daki hava sıcaklık bilgileri Çizelge 4.2'de verilmektedir. Bu bilgiler ışığında Çerçeve 1 ve 2 Sub-Artctic Summer, Çerçeve 3,4,5 ve 6 Mid-Latitude Summer olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 2 Uydu çekim tarihlerinde Afyonkarahisar'a ait en yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları [81]

Tarih	Çerçeve	En Yüksek Sıcaklık	En Düşük Sıcaklık
12.11.2001	1 ve 2	16	3
14.08.2003	3 ve 4	28	10
22.09.2003	5 ve 6	21	10

Çalışmada kullanılan çerçevelerde, yerleşim yeri %20'yi geçmediğinden, endüstriyel faaliyetlerin fazla olmamasından ve deniz ve okyanus gibi suyla kaplı ya da etkilenen fazla alan olmadığından aerosol tipi kırsal (rural) olarak belirlenmiştir.

Görünürlük parametresi, ASTER'de 2100 nm'ye sahip bant bulunmadığından aerosol etkisi yerine kullanılmıştır. Görünürlük parametresi, gökyüzü berrak olduğu için 40 km olarak belirlenmiştir.

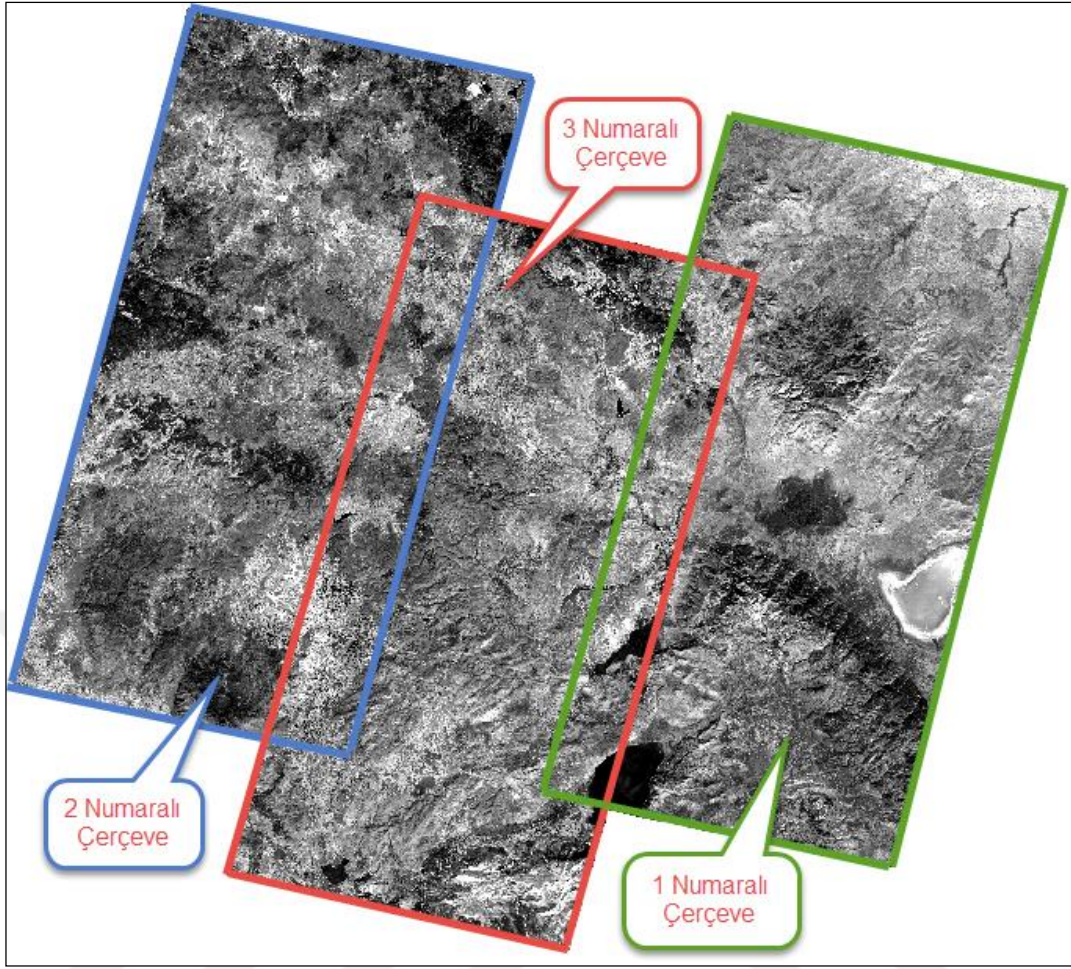
Son olarak, FLAASH düzeltmesi sonrası, çerçeve kenarlarındaki bazı pikseller 0 ya da eksi değerli olarak meydana gelmektedir. Bunu ortadan kaldırmak için IDL kodu ((B1 le 0)*0+(B1 ge 10000)*1+(B1 gt 0 and B1 lt 10000)*float (b1)/10000)) kullanılmış ve FLAASH algoritması ile atmosferik düzeltme işlemi tamamlanmıştır.

4.1.5 Mozaikleme

Çalışmada kullanılan verilerin geometrik düzeltmeleri yapılmış olup aralarında zamansal farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar özellikle bindirme alanlarında ve diğer alanlarda analiz esnasında yanlışlara sebep olabilmektedir. Bu yüzden 6 çerçeve ile uydu görüntülerinden, sadece aynı tarihlerde alınan uydu görüntüleri mozaiklenmiştir. Buna göre, mozaikleme yapılarak, aşağıda verilen aynı tarihli çerçeveler tek çerçeve haline getirilmiş, sonuç olarak 3 farklı çerçeve ile işlemlere devam edilmesi uygun görülmüştür (Çizelge 4.3), (Şekil 4.2).

Çizelge 4. 3 Kullanılan çerçeveler ve mozaikleme sonucunda oluşan yeni çerçeveler

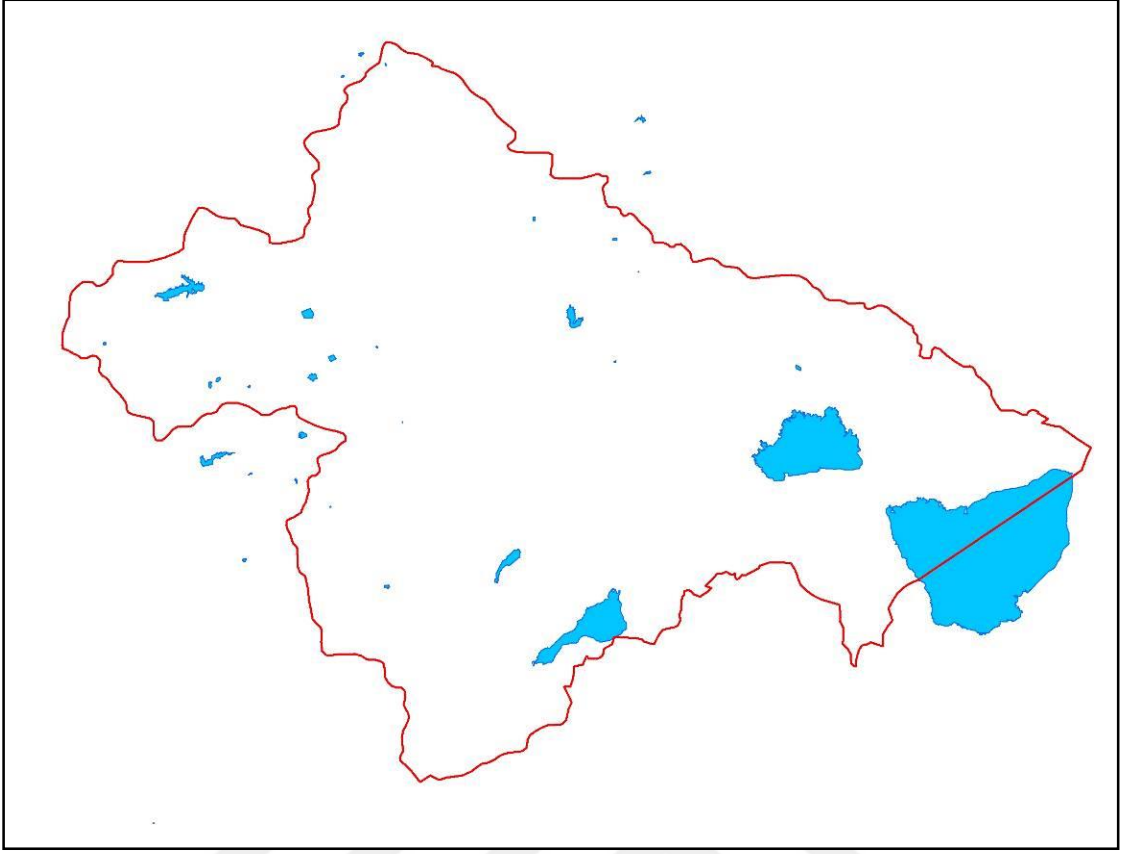
Çerçeve No	Uydu Çekim Tarihi	Mozaiklenen Çerçeveler	Yeni Çerçeve No
1	12.11.2001	1 ve 2 Numaralı Çerçeve	1
2	12.11.2001		
3	14.08.2003	3 ve 4 Numaralı Çerçeve	2
4	14.08.2003		
5	22.09.2003	5 ve 6 Numaralı Çerçeve	3
6	22.09.2003		



Şekil 4. 2 Mozaikleme sonrası oluşan yeni çerçeveler

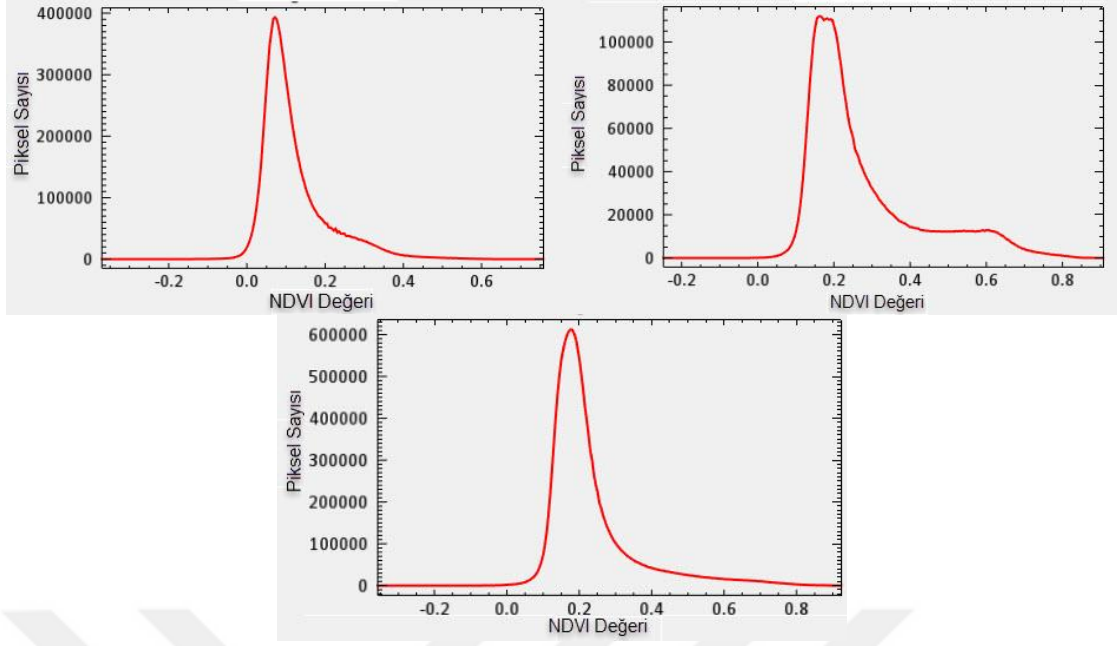
4.1.6 Kısıtların Çıkarılması

Mozaikleme sonucu oluşan yeni çerçevelerden çalışma alanı dışındaki yerlerin, sulak ve nemli alanların ve insan yapımı objelerin çıkarılması için maskeleme yapılmıştır. Öncelikle çalışma alanı sınırları her bir çerçeve için ayrı ayrı maskelenmiştir. DSİ'nden elde edilen göl, gölet, baraj gölleri ve küçük su birikintilerine ait sayısal haritalardan elde edilen detaylar verilerden çıkarılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3 Çalışma alanındaki sulak alanlar

Yerleşim yerlerindeki yapay objeler yer yüzeyine ait bilgi edinmeyi engellediğinden dolayı yerleşim alanları, fabrika, sanayi, havaalanı v.b. detaylar tespit edilip uydu görüntülerinden çıkarılmıştır (Şekil 4.4). Bu detayların belirlenmesi için Ulusal Arazi Örtüsü verileri ve kontrol için Google Earth ve ESRI Base Map referans haritaları kullanılmıştır.



Şekil 4. 5 1,2 ve 3 numaralı çerçevelere ait NDVI değerleri dağılımı

4.2 Spektroradyometre Ölçmeleri

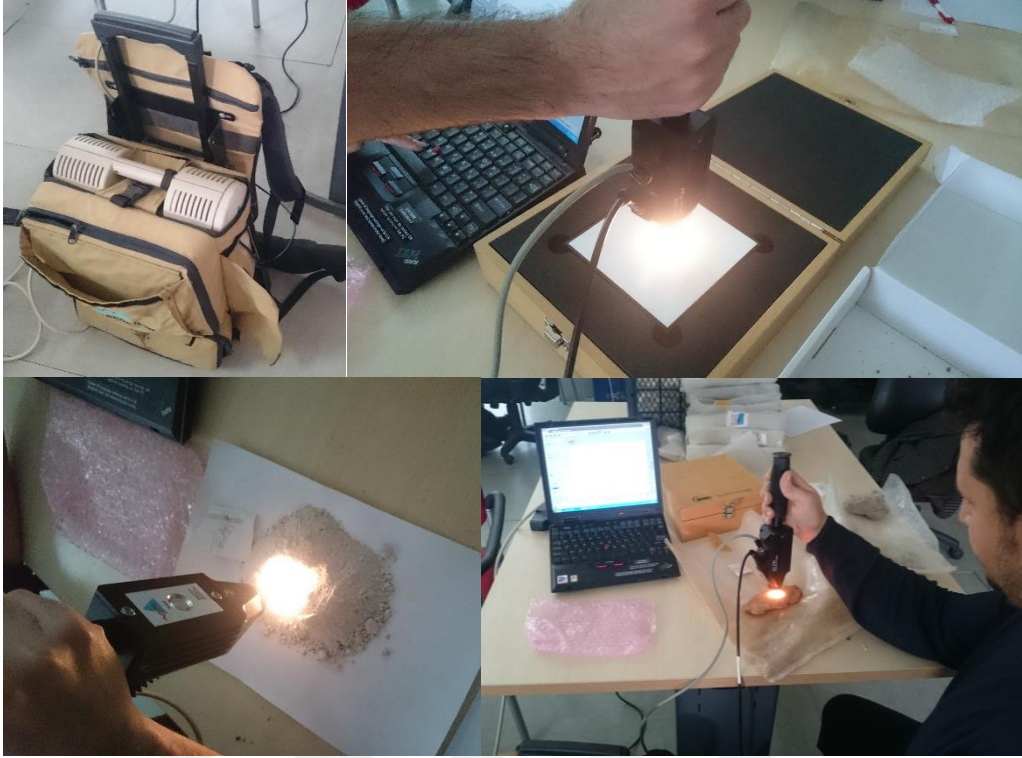
AKÜ JUAM Müdürü Doç.Dr. Ahmet YILDIZ tarafından çalışma alanındaki Bayramgazi Şistleri, Oyluktepe Mermerleri, Köprülü Volkanosedimanter İstifi, Köprülü Köyü ve Erkmen Volkanitleri alterasyon zonlarından toplam 33 adet örnek toplanmıştır. Örnekler toplanırken ASTER SWIR bantlarının mekânsal çözünürlüğü 30m olduğu için, homojen bir mineral dağılımı göstermeyen alanlarda, aynı lokasyonda birden fazla numune toplanmıştır (Şekil 4.6).

Toplanan numuneler AKÜ-JUAM'da XRD (X-Işını Kırınım yöntemi) cihazında incelenmiş ve numunelerin cinsi ve özellikleri belirlenmiştir. EK-A'da toplanan numunelere ait koordinatlar ve XRD sonuçları verilmektedir. Sonuçlara göre 33 örnekten 31'inde alterasyon minerallerine rastlanmış ve tamamına yakını birden fazla alterasyon mineralini birlikte içermektedir.



Şekil 4. 6 Alterasyon zonlarından toplanan numuneler

Cinsleri belirlenen minerallerin, İstanbul Teknik Üniversitesi Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde ASD FieldspecPro tipi cihaz ile ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler laboratuvar ortamında önce beyaz referans denilen metaryal üzerinde oda şartlarına göre referans alınarak, kontakt-prob kullanılarak her bir numune için 350nm ile 2500nm arasında, 1 nm sıklıkla, 20 kez tekrarlı olarak yapılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4. 7 Spekroradyometre ölçümlerinin yapılması

Yapılan ölçümler ASD ViewSpec yazılımında değerlendirilmiş ve 31 örneğe ait yansıtım yüzdesi cinsinden hesaplatılarak MS Excel ortamına aktarılmıştır. Her bir örneğe ait 20 adet tekrarlı verilerin ortalaması alınarak, her örnek için tek yansıtım değerleri oluşturulmuştur. Spekroradyometre verilerinin ASTER'e bantlarına örneklenebilmesi için Çizelge 4.4'deki ASTER bantlarının spektral dalga boyu aralıkları kullanılmıştır.

Çizelge 4. 4 ASTER bantlarına ait spektral bilgiler

Bant No	Dalga Boyu Aralığı (nm)	Ortalama Dalga Boyu(nm)
1	520 – 600	556
2	630 - 690	661
3	760 – 860	807
4	1600 – 1700	1656
5	2145 – 2185	2167
6	2185 – 2225	2209
7	2235 – 2285	2262
8	2295 – 2365	2336
9	2360 – 2430	2400

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

4.3 Mineral Alterasyon Zonları Belirleme Analizleri

Mineral alterasyon zonlarının belirlenmesi için renk kompoziti, bant oranlama, Crosta tekniği ve spektral aç haritalama teknikleri kullanılmıştır.

4.3.1 Renk Kompoziti Tekniği

Çalışma alanındaki 3 çerçeve ayrı ayrı 4:6:8 bant kombinasyonu ile incelemiş olup tespit edilen bölgeler daireler halinde çevrelenmiştir. Görüntüler incelendiğinde renk ayrımının izlenmesi oldukça güç olmaktadır. Daha öncede bahsedildiği gibi bu yöntem hidrotermal alterasyon minerallerinin belirlenmesinde genel bir yaklaşım, ilgilenilebilecek alanların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Renk kompoziti tekniğine göre tespit edilen, propilitik, arjillik, ileri arjillik ve kalkerli birimler EK-C'de verilmektedir.

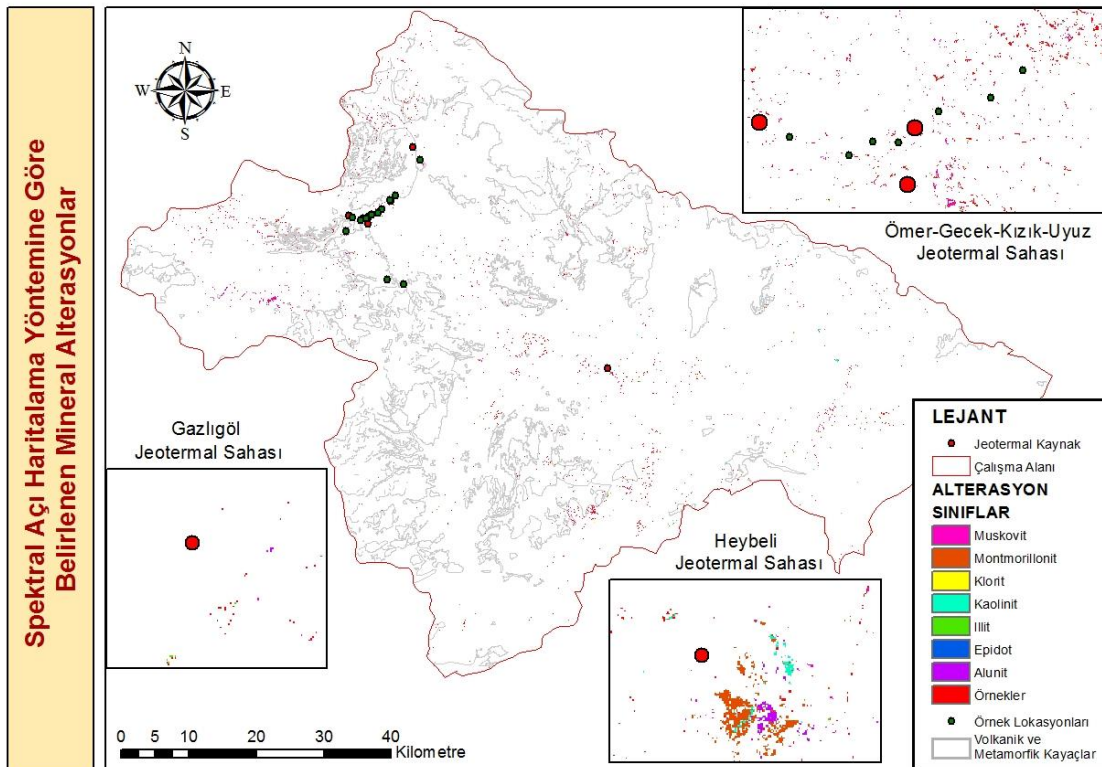
4.3.2 Bant Oranlama Tekniği

Çalışmada Mars ve Rowan'ın kullandığı opertörler ve listedeki karbonat/klorit/epidot (Propilitik alterasyonlar), serisit/muskovit/illit/smektit (Fillik alterasyonlar), alunit/kaolinit/propillit (İleri Arjillik alterasyonlar) ait oranlar kullanılmıştır [29]. Bu mineraller, bölgede olabilecek hidrotermal alterasyon minerallerine göre seçilmiştir. Çalışma sonrasında, Mars ve Rowan'ın kullandığı arjillik ve fillik operatörleri kara cisimlerin maskelendiği (bt gt 260) kod çıkarılarak kullanılmıştır. Ayrıca gürültü ile oluşan pikselleri elemine etmek için medyan filtre uygulanmıştır. Bant oranlama tekniğine göre elde edilen alterasyonlar EK-D'de verilmektedir. Sonuçlar

incelendiğinde, minerallerin çok geniş alanlara yayılmakta olduğu ve hassas sonuçlar üretilmediği görülmektedir.

4.3.3 Spektral Açı Haritalama Tekniği

Spektral açı haritalama tekniğinde, referans spektrumları tanımlamak ve açı eşiğinin belirlenmesi iki temel problemdir. Referans spektrumlar olarak, spektrometre ölçümleri ve USGS spektral kütüphanesinden edinilen klorit, epidot, illit, alunit, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri spektral bilgileri ile hazırlanan spektral kütüphane kullanılmıştır. Açı eşiğinde ise denemeler yapılarak, 0.10 radyan değerini aşmayacak şekilde spektral kütüphanedeki her bir örnek için ayrı ayrı açı eşiği tanımlanmıştır. Spektral açı haritalama yöntemiyle yapılan sınıflandırmada 31 adet alterasyon karışımları ve klorit, epidot, illit, alunit, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan alterasyon minerallerinin volkanik ve metamorfik kayalar üzerindeki ile maskelenmiştir (Şekil 4.8).

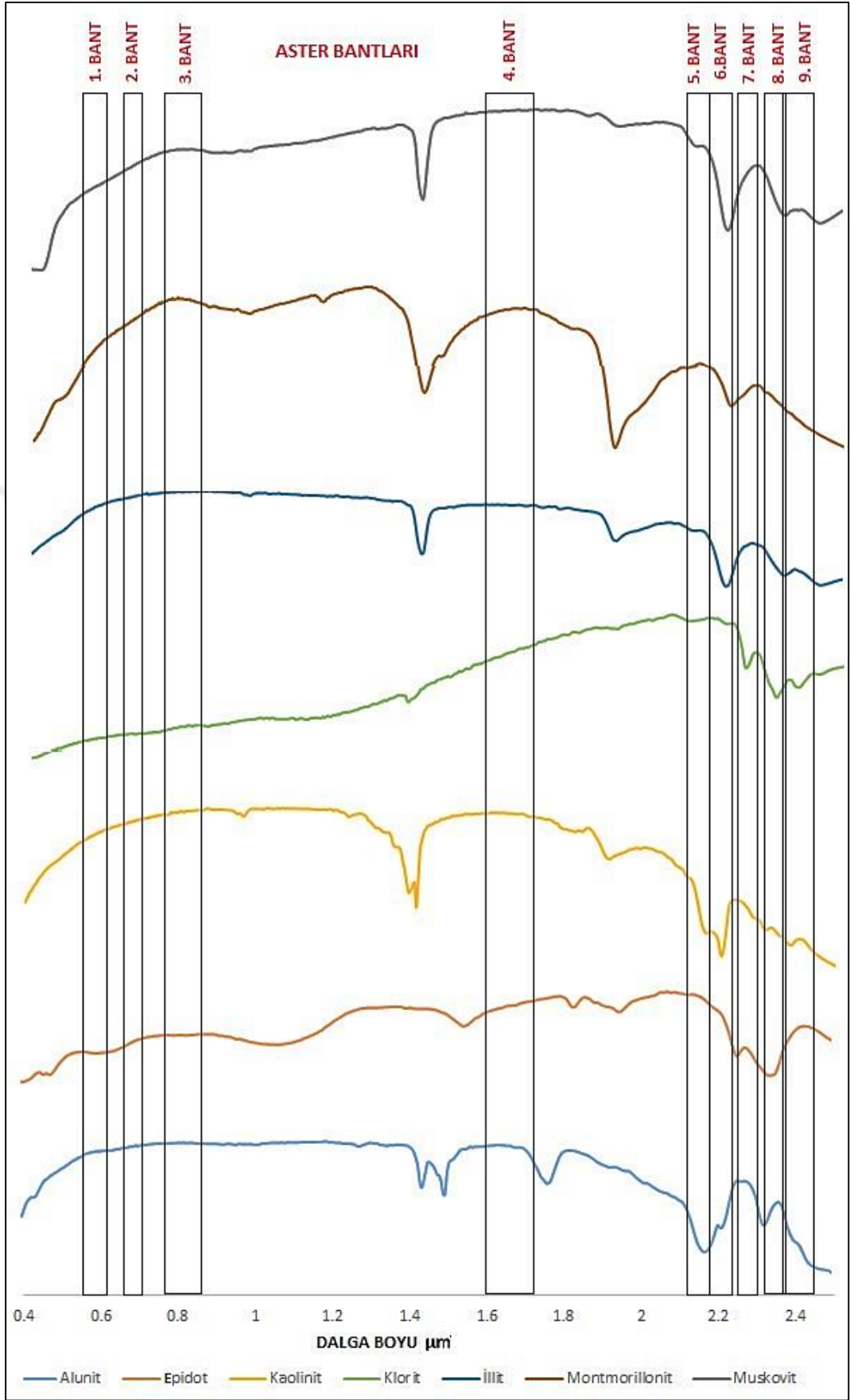


Şekil 4. 8 SAH'a göre belirlenen alterasyon sınıfları

SAH ile mineral alterasyon zonları olarak belirlenen alanlar toplam çalışma alanının yaklaşık 0.0015'lik kısmını kaplamaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, alterasyon zonlarından alınan ve alterasyon mineralleri içeren örneklem noktaları, sınıflandırılan alanlar içerisinde kalmaktadır. Sınıflandırılan alanlar mevcut jeotermal sahalar içerisinde incelendiğinde jeotermal kaynakların yakın çevresinde ya da üzerinde yer almaktadır.

4.3.4 Crosta Tekniği

Çalışmada, klorit, epidot, illit, alunit, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri için kullanılan bantlar temel bileşenler analizi ile işleme sokulmuştur. Bu minerallerin Şekil 4.9'daki yansıtım değerlerine bakılarak, ASTER bantlarının hangilerinde yansıtımların arttığı hangilerinde azaldığına bakılmıştır ve ilgili minerali karakterize edecek dört adet bant seçilmiştir. Bant seçimleri yapıldıktan sonra özvektörler matrisine bakılarak hangi temel bileşen bandı seçilecek ve özvektör yüklemesinin işareti ne olacak sorularına cevap verilmiştir.



Şekil 4. 9 Çalışmada kullanılan alterasyon minerallerinin yansıtım grafikleri

Alunit Minerali

Alunit minerali için, ASTER 1,3,5,7 bantları seçilmiş olup, temel bileşenler analizi sonrası oluşan PCA bantları ve özvektörler değerleri çalışmada kullanılan üç farklı çerçeve için Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4. 5 Alunit minerali temel bileşenler analizi bantları

Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 3	Bant 5	Bant 7	İşaret
Ç1	PCA1	-0.42465	-0.55457	-0.49359	-0.51816	+
Ç1	PCA2	-0.48144	-0.53106	0.475645	0.509851	
Ç1	PCA3	-0.76611	0.639811	0.004121	-0.06084	
Ç1	PCA4	<u>-0.03097</u>	<u>0.032643</u>	<u>-0.72809</u>	<u>0.684001</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 3	Bant 5	Bant 7	İşaret
Ç2	PCA1	-0.55934	-0.63278	-0.37842	-0.37886	+
Ç2	PCA2	-0.23129	-0.50096	0.570729	0.608121	
Ç2	PCA3	-0.796	0.590291	0.095401	0.093984	
Ç2	PCA4	<u>0.005149</u>	<u>0.013648</u>	<u>-0.72247</u>	<u>0.691248</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 3	Bant 5	Bant 7	İşaret
Ç3	PCA1	0.518561	0.63047	0.404844	0.411951	+
Ç3	PCA2	0.328939	0.476259	-0.55647	-0.59609	
Ç3	PCA3	-0.78912	0.612394	0.046305	0.010598	
Ç3	PCA4	<u>-0.01333</u>	<u>0.025654</u>	<u>-0.72409</u>	<u>0.689104</u>	

Alunit minerali 1. ve 5. bantlar düşük, 3. ve 7. Bantlar yüksek yansıtım yapmaktadır. Temel bileşenlerin özvektör değerlerine bakıldığında, üç çerçeve için de PCA4 bandı kullanılmıştır. PCA4 bandında yüksek yansıtımların öz vektör değeri yüksek ve pozitif, düşük yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir. Buna göre PCA4 bandında Alunit mineralleri parlak olarak görülecektir ve işareti pozitif olarak belirlenmiştir.

Klorit Minerali

Klorit minerali için, ASTER 1,2,5,8 bantları seçilmiş olup, temel bileşenler analizi sonrası oluşan PCA bantları ve özvektörler değerleri çalışmada kullanılan üç farklı çerçeve için Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4. 6 Klorit minerali temel bileşenler analizi bantları

Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 2	Bant 5	Bant 8	İşaret
Ç1	PCA1	0.449358	0.584024	0.501689	0.453101	-
Ç1	PCA2	0.462708	0.495146	-0.54755	-0.49084	
Ç1	PCA3	0.675256	-0.56951	-0.2808	0.375293	
Ç1	PCA4	<u>-0.35778</u>	<u>0.299012</u>	<u>-0.60799</u>	<u>0.6426</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 2	Bant 5	Bant 8	İşaret
Ç2	PCA1	-0.56244	-0.63593	-0.37983	-0.36739	-
Ç2	PCA2	-0.35652	-0.38945	0.579253	0.621039	
Ç2	PCA3	-0.73549	0.65097	0.130201	-0.13545	
Ç2	PCA4	<u>-0.12496</u>	<u>0.141976</u>	<u>-0.70939</u>	<u>0.678961</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 2	Bant 5	Bant 8	İşaret
Ç3	PCA1	-0.53986	-0.60419	-0.41669	-0.41215	-
Ç3	PCA2	-0.43475	-0.39542	0.54628	0.596836	
Ç3	PCA3	-0.7095	0.674447	0.110951	-0.17154	
Ç3	PCA4	<u>-0.12709</u>	<u>0.154002</u>	<u>-0.71808</u>	<u>0.666706</u>	

Klorit minerali 1. ve 5. bantlar yüksek, 2. ve 8. Bantlar düşük yansıtım yapmaktadır. Temel bileşenlerin özvektör değerlerine bakıldığında, üç çerçeve içinde PCA4 bandı kullanılmıştır. PCA4 bandında düşük yansıtımların öz vektör değeri yüksek ve pozitif, yüksek yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir. Buna göre PCA4 bandında Klorit mineralleri mat olarak görülecektir ve işareti negatif olarak belirlenmiştir. Minerallerin parlak olarak görüntülenmesi için pikseller -1 ile çarpılmıştır.

Epidot Minerali

Epidot minerali için, ASTER 2,5,8,9 bantları seçilmiş olup, temel bileşenler analizi sonrası oluşan PCA bantları ve özvektörler değerleri çalışmada kullanılan üç farklı çerçeve için Çizelge 4.7’de verilmektedir.

Çizelge 4. 7 Alunit minerali temel bileşenler analizi bantları

Çerçeve	Özvektörler	Bant 2	Bant 5	Bant 8	Bant 9	İşaret
Ç1	PCA1	-0.57127	-0.52258	-0.47088	-0.4229	-
Ç1	PCA2	-0.82072	0.35868	0.325648	0.302851	
Ç1	PCA3	0.007644	-0.23231	-0.50045	0.833978	
Ç1	PCA4	<u>0.003226</u>	<u>-0.73776</u>	<u>0.649444</u>	<u>0.184176</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 2	Bant 5	Bant 8	Bant 9	İşaret
Ç2	PCA1	-0.64613	-0.45281	-0.44438	-0.42428	+
Ç2	PCA2	-0.75944	0.308913	0.383955	0.424732	
Ç2	PCA3	-0.07575	0.782549	-0.10597	-0.60881	
Ç2	PCA4	<u>0.004439</u>	<u>0.295225</u>	<u>-0.80242</u>	<u>0.518599</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 2	Bant 5	Bant 8	Bant 9	İşaret
Ç3	PCA1	0.578626	0.460056	0.459919	0.49195	+
Ç3	PCA2	0.811166	-0.25054	-0.32059	-0.42008	
Ç3	PCA3	0.080715	-0.83495	0.186644	0.511386	
Ç3	PCA4	<u>0.026197</u>	<u>0.168663</u>	<u>-0.80676</u>	<u>0.56569</u>	

Epidot minerali 2. ve 8. bantlarda düşük, 5. ve 9. bantlarda yüksek yansıtım yapmaktadır. Temel bileşenlerin özvektör değerlerine bakıldığında, üç çerçeve içinde PCA4 bandı kullanılmıştır. Çerçeve 1’de PCA4 bandında düşük yansıtımların öz vektör

değeri yüksek ve pozitif, yüksek yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir. Buna göre Çerçeve 1’de Epidot mineralleri mat olarak görülecektir ve işareti negatif olarak belirlenmiştir ve piksel değerleri -1 ile çarpılmıştır. Çerçeve 2 ve Çerçeve 3’de PCA4 bandında yüksek yansıtımların öz vektör değeri yüksek ve pozitif, düşük yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir.

İllit Minerali

İllit minerali için, ASTER 1,3,5,6 bantları seçilmiş olup, temel bileşenler analizi sonrası oluşan PCA bantları ve özvektörler değerleri çalışmada kullanılan üç farklı çerçeve için Çizelge 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4. 8 illit minerali temel bileşenler analizi bantları

Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 3	Bant 5	Bant 6	İşaret
Ç1	PCA1	-0.41994	-0.55119	-0.49005	-0.52885	-
Ç1	PCA2	-0.50794	-0.51551	0.479266	0.496532	
Ç1	PCA3	-0.75058	0.653766	-0.09593	0.00352	
Ç1	PCA4	<u>0.047602</u>	<u>-0.05496</u>	<u>-0.72177</u>	<u>0.688303</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 3	Bant 5	Bant 6	İşaret
Ç2	PCA1	-0.55658	-0.63293	-0.37755	-0.3835	-
Ç2	PCA2	-0.25468	-0.48652	0.575269	0.60622	
Ç2	PCA3	-0.7874	0.600547	0.01344	0.138412	
Ç2	PCA4	<u>0.073117</u>	<u>-0.04528</u>	<u>-0.72549</u>	<u>0.682835</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 3	Bant 5	Bant 6	İşaret
Ç3	PCA1	-0.51337	-0.62737	-0.4026	-0.42517	-
Ç3	PCA2	-0.36109	-0.46105	0.559907	0.58613	
Ç3	PCA3	-0.77668	0.625902	-0.04376	0.055664	
Ç3	PCA4	<u>0.053257</u>	<u>-0.04559</u>	<u>-0.72284</u>	<u>0.687448</u>	

İllit minerali 1. ve 5. bantlar yüksek, 3. ve 6. Bantlar düşük yansıtım yapmaktadır. Temel bileşenlerin özvektör değerlerine bakıldığında, üç çerçeve için de PCA4 bandı

kullanılmıştır. PCA4 bandında düşük yansıtımların öz vektör değeri yüksek ve pozitif, yüksek yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir. Buna göre PCA4 bandında illit mineralleri mat olarak görülecektir ve işareti negatif olarak belirlenmiştir. Minerallerin parlak olarak görüntülenmesi için pikseller -1 ile çarpılmıştır.

Kaolinit Minerali

Kaolinit minerali için, ASTER 1,4,6,7 bantları seçilmiş olup, temel bileşenler analizi sonrası oluşan PCA bantları ve özvektörler değerleri çalışmada kullanılan üç farklı çerçeve için Çizelge 4.9'da verilmektedir.

Çizelge 4. 9 Kaolinit minerali temel bileşenler analizi bantları

Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 4	Bant 6	Bant 7	İşaret
Ç1	PCA1	-0.35604	-0.63818	-0.49016	-0.4751	+
Ç1	PCA2	-0.92781	0.324594	0.154098	0.100304	
Ç1	PCA3	0.111309	0.671398	-0.31279	-0.66257	
Ç1	PCA4	<u>-0.0041</u>	<u>0.191303</u>	<u>-0.79885</u>	<u>0.570284</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 4	Bant 6	Bant 7	İşaret
Ç2	PCA1	-0.51465	-0.59292	-0.44389	-0.43191	+
Ç2	PCA2	-0.85665	0.344788	0.300899	0.238182	
Ç2	PCA3	0.005205	-0.70717	0.330298	0.625131	
Ç2	PCA4	<u>-0.03553</u>	<u>0.171696</u>	<u>-0.77674</u>	<u>0.604926</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 4	Bant 6	Bant 7	İşaret
Ç3	PCA1	-0.46847	-0.61531	-0.45842	-0.43793	+
Ç3	PCA2	-0.88166	0.36386	0.240342	0.180319	
Ç3	PCA3	0.054059	0.667462	-0.30369	-0.67775	
Ç3	PCA4	<u>-0.01696</u>	<u>0.208542</u>	<u>-0.79991</u>	<u>0.562459</u>	

Kaolinit minerali 1. ve 6. bantlar düşük, 4. ve 7. Bantlar yüksek yansıtım yapmaktadır. Temel bileşenlerin özvektör değerlerine bakıldığında, üç çerçeve içinde PCA4 bandı kullanılmıştır. PCA4 bandında yüksek yansıtımların öz vektör değeri yüksek ve pozitif,

düşük yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir. Buna göre PCA4 bandında Kaolinit mineralleri parlak olarak görülecektir ve işareti pozitif olarak belirlenmiştir.

Muskovit Minerali

Muskovit minerali için, ASTER 1,6,7,9 bantları seçilmiş olup, temel bileşenler analizi sonrası oluşan PCA bantları ve özvektörler değerleri çalışmada kullanılan üç farklı çerçeve için Çizelge 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4. 10 Muskovit minerali temel bileşenler analizi bantları

Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 6	Bant 7	Bant 9	İşaret
Ç1	PCA1	-0.42573	-0.57088	-0.55653	-0.42794	+
Ç1	PCA2	-0.90473	0.281336	0.255108	0.192978	
Ç1	PCA3	-0.00481	-0.1316	-0.51338	0.847995	
Ç1	PCA4	<u>0.014289</u>	<u>0.760017</u>	<u>-0.60136</u>	<u>-0.24604</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 6	Bant 7	Bant 9	İşaret
Ç2	PCA1	-0.57174	-0.48548	-0.48389	-0.45086	+
Ç2	PCA2	-0.81966	0.328809	0.313183	0.349234	
Ç2	PCA3	0.03233	-0.53496	-0.2522	0.805712	
Ç2	PCA4	<u>-0.01519</u>	<u>-0.60829</u>	<u>0.77728</u>	<u>-0.15997</u>	
Çerçeve	Özvektörler	Bant 1	Bant 6	Bant 7	Bant 9	İşaret
Ç3	PCA1	-0.51448	-0.49577	-0.4847	-0.50457	+
Ç3	PCA2	-0.85493	0.260106	0.26227	0.364211	
Ç3	PCA3	0.064875	-0.6214	-0.21473	0.750695	
Ç3	PCA4	<u>-0.01391</u>	<u>-0.54811</u>	<u>0.80633</u>	<u>-0.22185</u>	

Muskovit minerali 1. ve 6. bantlar düşük, 9. ve 7. Bantlar yüksek yansıtım yapmaktadır. Temel bileşenlerin özvektör değerlerine bakıldığında, üç çerçeve içinde PCA4 bandı kullanılmıştır. PCA4 bandında yüksek yansıtımların öz vektör değeri yüksek ve pozitif, düşük yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir.

Buna göre PCA4 bandında muskovit mineralleri parlak olarak görülecektir ve işareti pozitif olarak belirlenmiştir.

Montmorillonit Minerali

Alunit minerali için, ASTER 2,5,6,9 bantları seçilmiş olup, temel bileşenler analizi sonrası oluşan PCA bantları ve özvektörler değerleri çalışmada kullanılan üç farklı çerçeve için Çizelge 4.11’de verilmektedir.

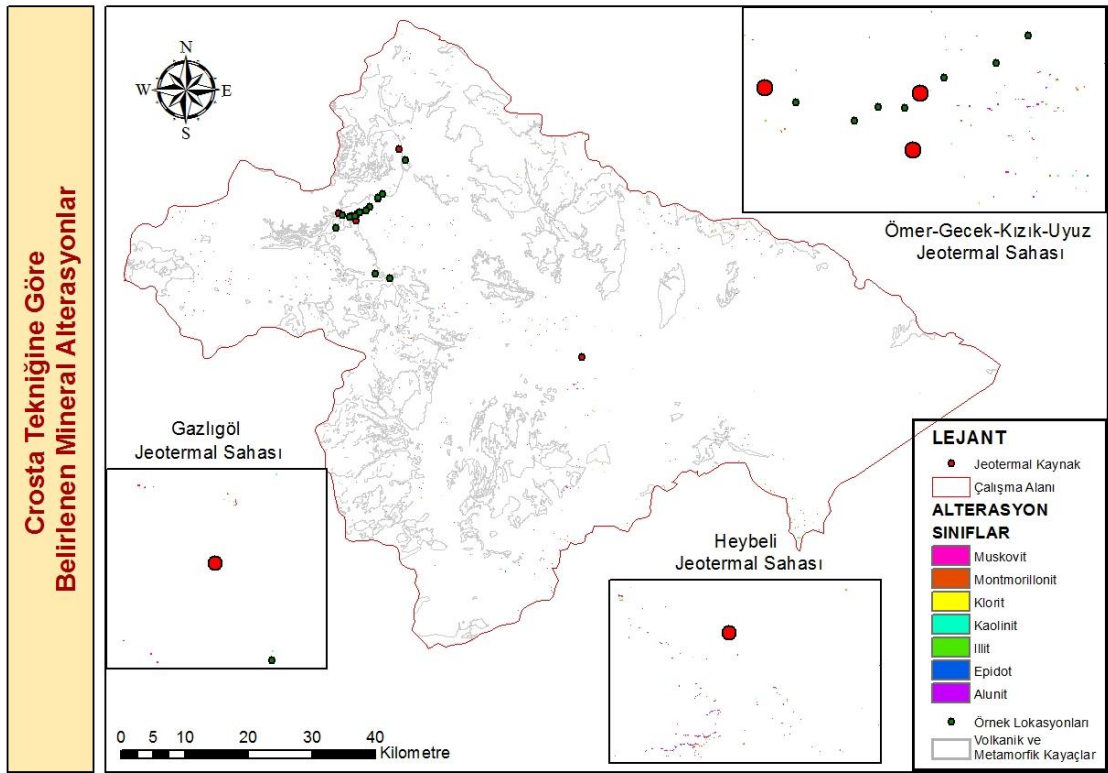
Çizelge 4. 11 Montmorillonit minerali temel bileşenler analizi bantları

Özvektörler	Bant 2	Bant 5	Bant 6	Bant 9	İşaret
PCA1	-0.431422	-0.538164	-0.579078	-0.434653	+
PCA2	-0.902092	0.258976	0.282625	0.198202	
PCA3	-0.009906	-0.331206	-0.344199	0.878483	
PCA4	<u>0.002514</u>	<u>-0.730489</u>	<u>0.682875</u>	<u>-0.007823</u>	
Özvektörler	Bant 2	Bant 5	Bant 6	Bant 9	İşaret
PCA1	-0.639838	-0.451362	-0.460127	-0.418524	-
PCA2	-0.765717	0.321789	0.372937	0.413579	
PCA3	-0.062707	0.470468	0.357347	-0.804382	
PCA4	<u>-0.018785</u>	<u>0.686574</u>	<u>-0.722152</u>	<u>0.082212</u>	
Özvektörler	Bant 2	Bant 5	Bant 6	Bant 9	İşaret
PCA1	-0.572003	-0.457442	-0.479124	-0.483735	+
PCA2	-0.816673	0.270014	0.302858	0.410383	
PCA3	0.073635	-0.338588	-0.539449	0.767419	
PCA4	<u>0.020875</u>	<u>-0.776658</u>	<u>0.622665</u>	<u>0.093029</u>	

Montmorillonit minerali 5. ve 9. bantlar düşük, 2. ve 6. Bantlar yüksek yansıtım yapmaktadır. Temel bileşenlerin özvektör değerlerine bakıldığında, üç çerçeve içinde PCA4 bandı kullanılmıştır. Çerçeve 2’de PCA4 bandında düşük yansıtımların öz vektör değeri yüksek ve pozitif, yüksek yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir. Buna göre Çerçeve 2’de montmorillonit mineralleri mat olarak görülecektir ve işareti negatif olarak belirlenmiştir ve piksel değerleri -1 ile çarpılmıştır. Çerçeve 1 ve Çerçeve 3’de PCA4 bandında yüksek yansıtımların öz vektör

değeri yüksek ve pozitif, düşük yansıtım değerleri olan bantların öz vektör değeri düşük ve negatif işaretlidir. Buna göre PCA4 bandında montmorillonit mineralleri parlak olarak görülecektir ve işareti pozitif olarak belirlenmiştir.

Minerallere ait görüntüler oluşturulduktan sonra, minerallerin görüntü üzerinden belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için uygun eşik değer belirleme problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problemi çözmek için Crosta Tekniğinde uygulanan yedi adet mineral, SAH ile belirlenen aynı mineralin konumları ve kapsadıkları alan bilgileri incelenmiştir. Bu bilgilerle yedi adet alterasyon minerali için ayrı ayrı eşik değer belirlenip, ayrı ayrı oluşturulmuştur (Şekil 4.10).



Şekil 4. 10 Crosta Tekniğine göre belirlenen alterasyon mineralleri

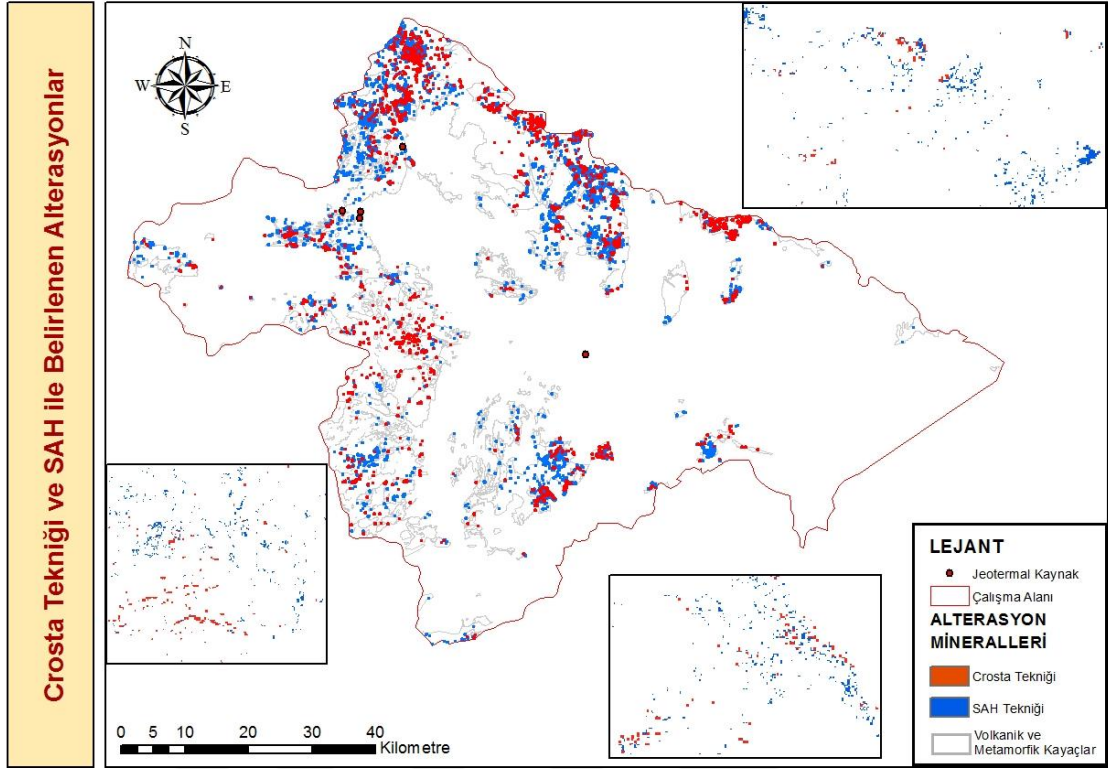
Crosta Tekniğine göre belirlenen alterasyon minerallerinin konumları incelendiğinde, örneklerle örtüşmediği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni örneklerin karışım halde bulunması, Crosta tekniğinde saf haldeki mineraller ile işlem yapılması ve eşik değeri seçimi olabilir. Ancak jeotermal sahalar ile değerlendirildiğinde belirlenen alterasyon minerallerinin jeotermal kaynaklara yakın olduğu gözlemlenmiştir.

4.4 Jeotermal Oluşuma Neden Olabilecek Hidrotermal Alterasyon Zonlarının Belirlenmesi

Bölgede metamorfik ve volkanik kayalarındaki alterasyonların jeotermal oluşuma işaret ettiği için yapılan çalışma ile jeoloji haritasındaki volkanik ve metamorfik kayalar belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanındaki, Lav, metavolkanit, porfiroit kuvarsit, proplastik kaya, trakit, tuf, şist, kalsit, aglomera, andezit, bazalt, trakit bazalt, fonolit, gabro, gnays-mikaşist, volkanit ve kuvarsit kayaç türleri seçilerek oluşturulan harita EK-E'de verilmektedir. SAH ve Crosta Tekniğine göre üretilen hidrotermal alterasyonlar volkanik ve metamorfik kayaç sınırları kullanılarak maskelenmiştir.

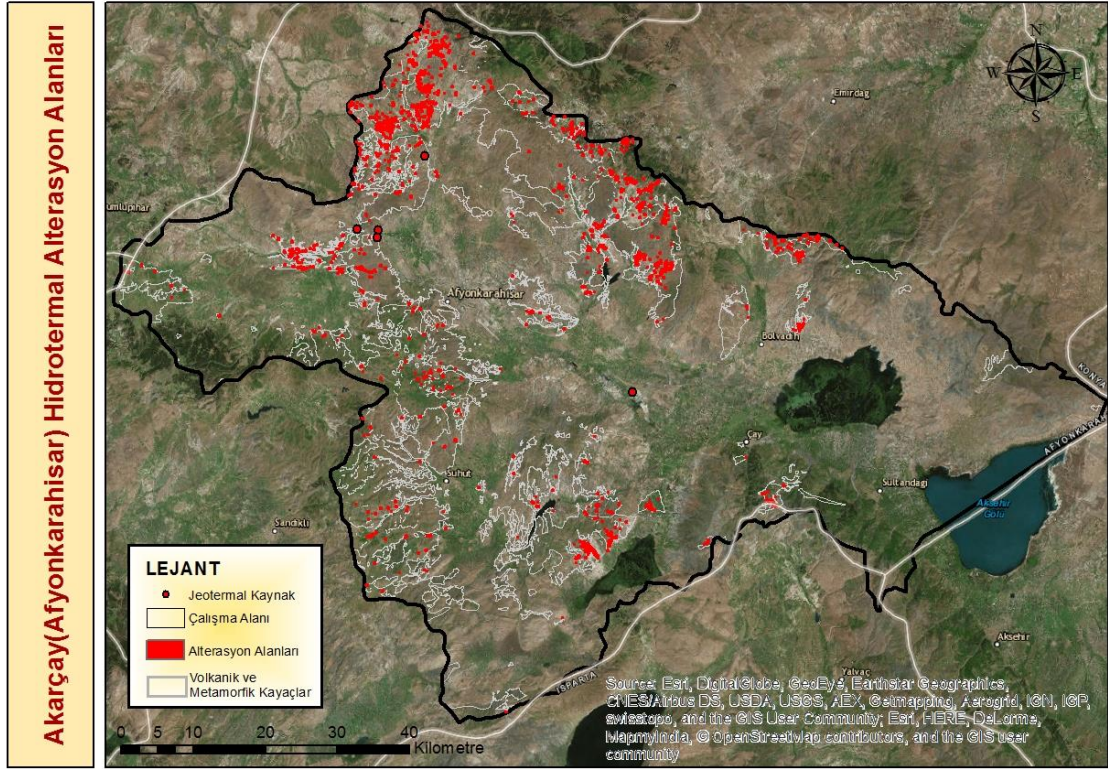
4.5 Alterasyon Zonlarının ve Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi

Renk kompoziti, bant oranlama, SAH ve Crosta Teknikleri kullanılarak alterasyon zonları belirleme analizleri yapılmıştır. Renk kompoziti tekniği alterasyon zonlarının görsel yorumlamaya dayalı kabaca yerlerinin belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Bant oranlama tekniği ise alterasyon minerallerinin ayrıntılı ve hassas biçimde belirlenmesi için etkin bir yöntem değildir. Ancak alterasyon minerallerine ait ayrıntılı ve hassas sonuçlar SAH ve Crosta tekniği ile üretilebilmektedir. Crosta tekniği ile çalışma alanında bulunduğu varsayılan, 7 adet alterasyon minerali (klorit, epidot, illit, alunite, kaolinit, montmorillonit ve muskovit mineralleri) için ayrıntılı sonuçlar üretilmiştir. SAH ile 7 adet mineralin haricinde alterasyon zonlarından toplanan 31 adet karışım halinde bulunan alterasyon minerallerinin spektral imzaları ile birlikte sınıflandırma yapılmış ve 38 farklı örneğe ait sonuçlar elde edilmiştir. Crosta tekniği ile SAH karşılaştırıldığında, iki yöntem de ön bilgiler ile hassas ayrıntılı alterasyon minerallerinin belirlenmesi için uygun görülmektedir. İki yöntemde de kullanılan 7 mineralin belirlendiği bölgeler incelendiğinde, iki yöntemde de mineraller benzer konumlarda belirlenmiştir. Ayrıca aynı konumda ve birbirini tamamlayan şekilde belirlenen alanlar da oldukça fazladır (Şekil 4.11).



Şekil 4. 11 Crosta Tekniği ve SAH sonuçlarının karşılaştırılması

Sonuç olarak, alterasyon minerallerine ait ayrıntılı sonuçlar üreten SAH ve Crosta Tekniğinden elde edilen sonuçlar birleştirilerek hidrotermal alterasyon alanları üretilmiştir. Üretilen alanlar içerisinde uydu verilerindeki gürültü vs. bozucu etkilerden dolayı dağınık tek pikseller oluşmuştur. Mars ve Rowan [29] ASTER’de meydana gelen bu etkiyi minimize etmek için 3*3’lük medyan filtre kullanmıştır. Üretilen alterasyon alanlarına, benzer şekilde 3*3’lük medyan filtre uygulanarak sonuç hidrotermal alterasyon alanları haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4. 12 Hidrotermal alterasyon zonları

Belirlenen hidrotermal alterasyon zonları ve jeotermal kaynaklar incelendiğinde, jeotermal kaynaklar alterasyon zonları üzerinde olmayıp yakınlarında (Heybeli Jeotermal kaynağı hariç) bulunmaktadır. Bunun nedeni jeotermal kaynaklar üzerinde kurulu tesisler vb. insan faaliyetlerinin arazi yüzeyini örtmesidir. Ayrıca bölgede alterasyonların varlığı, bu zonlarla birlikte yakınlarında da jeotermal varlığının göstergesidir. Literatür incelendiğinde hidrotermal alterasyon zonlarından potansiyel jeotermal alanların belirlenmesi için, yakınlık analizi yapılarak belirli bir tampon bölge sınırı belirlenmektedir. Bu sınır değeri 500m ile 5000m arasında değişmektedir.

Yapılan çalışmalarda bu değer mevcut jeotermal kaynakların alterasyon zonlarına uzaklığı ile belirlenmektedir [14,22].

Çalışmada mevcut jeotermal kaynaklarla alterasyon zonları arasında yaklaşık 2000 m olduğu saptanmıştır. Ancak Heybeli jeotermal alanının hidrotermal alterasyon zonlarına uzaklığı 8000 metredir. Bunun nedeni Heybeli jeotermal sahasının alüvyon üzerinde olması ve volkanik, metamorfik kayalara uzak olmasıdır. Çalışmada tampon bölge analizi yapılarak alterasyon zonlarına 2000 m yakınlıkta bulunan alanlar, potansiyel jeotermal saha olarak önerilmektedir (Şekil 4.13).

CBS-ÇÖKA ANALİZLERİ

5.1 Ölçüt Katmanlarının Hazırlanması

Çalışmada jeotermal potansiyelini belirleyen ölçütler olarak seçilen, yer yüzey sıcaklığı anomalisi, jeotermal kaynaklara yakınlık, fay hatlarına yakınlık, drenaj yoğunluğu ve jeolojik formasyon göstergelerine yakınlık ölçütlerinin düzenlenmesi ve hazırlanması süreci CBS-ÇÖKA sürecinin en çok vakit harcanan kısmıdır. Ölçüt katmanlarının hazırlanması sırasında her ölçüt katmanı için ayrı ayrı metot ve yaklaşımlar uygulanmıştır.

5.1.1 Yer Yüzey Sıcaklığı Anomalisi

Yer yüzeyi sıcaklık belirleme çalışmalarında, uydu görüntülerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Uyduların tek çerçeve ile geniş alanlarda veri alabilmeleri, benzer zamanlarda geniş çalışma alanlarında yer yüzeyi sıcaklık anomalilerinin belirlenebilmesini sağlamaktadır. Uydu verilerinden hesaplanan yer yüzey sıcaklığının doğruluğunun incelenmesi için uydu geçiş zamanında yersel yüzey sıcaklık çalışmaları yapılmalıdır.

5.1.1.1 ASTER Uydusunun Programlanması

Jeotermal araştırmalarda yüzey sıcaklık değerlerinin gece ölçülmesi daha sağlıklıdır. Çünkü jeotermal alan araştırmalarında yer altından yer yüzeyine etki eden sıcaklık etmenleri önem arz etmektedir. Yüzey sıcaklığının gece belirlenmesi ile güneşten

kaynaklanan, güneşlenme süresi, bakı, gölge vb. etmenler minimize edilmiş olur. Bu yüzden uydunun gece çekimi için programlanması sağlanmıştır.

ASTER görüntüleri 60 kilometrelik bir tarama genişliğine sahiptir. Ancak çalışma alanı 99 X 138 Km'lik genişliktedir. Bu yüzden çalışma alanı en az 5 çerçeve ile tamamlanmaktadır. Uydunun programlanabilmesi için NASA ve yetkili şirket tarafından farklı alternatifler sunulmuştur (Şekil 4).

Pembe, sarı ve mavi çerçevelerinin 5 farklı kombinasyonu ile çalışma alanı kaplanmaktadır. Alternatifler aşağıda verilmektedir.

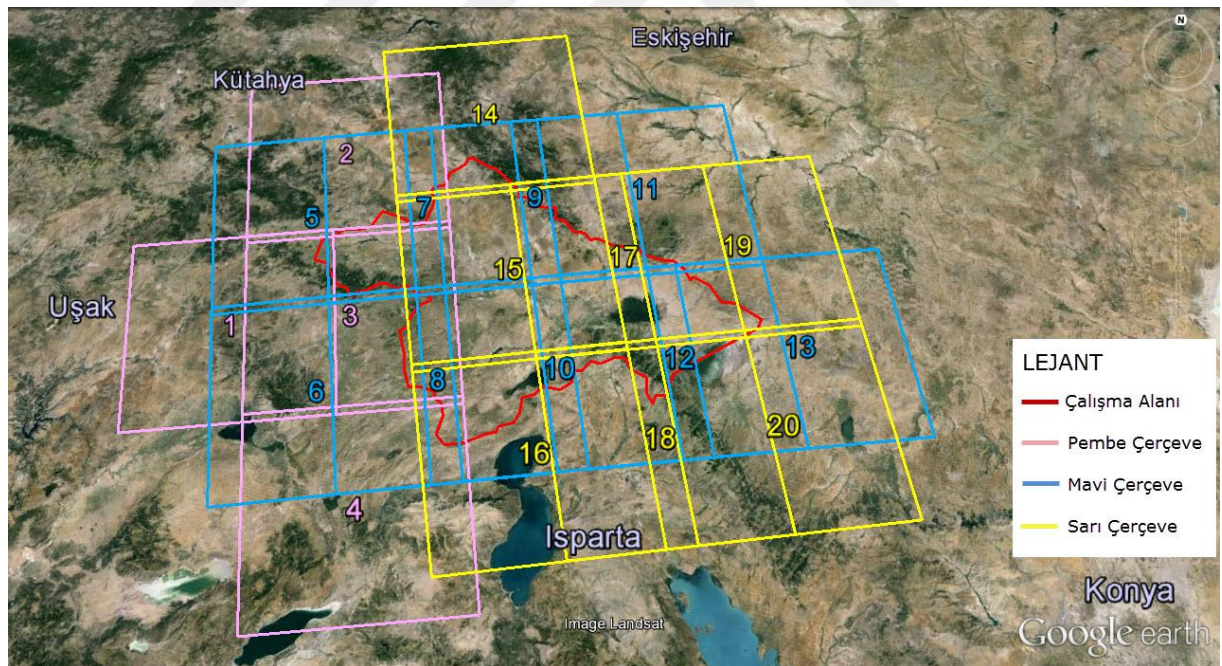
Pembe 1 + Mavi 7-8 + Mavi 11-12 + Sarı 15-16

Pembe 2-3 + Mavi 11-12 + Sarı 14-16

Pembe 2-3 + Mavi 13 + Sarı 14-16 + Sarı 17-18

Pembe 2-4 + Mavi 9-10 + Mavi 11-12

Pembe 3 + Sarı 14,15,16 + Mavi 12



Şekil 5. 1 Çalışma alanı ve çerçeve seçenekleri

TERRA uydusunun zamansal çözünürlüğü 16 gün ve çekim yönü kuzey-güney doğrultusundadır. Buna göre çerçevelere göre uydu geçiş zamanları aşağıdaki tabloda verilmektedir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5. 1 Çerçevelere göre uydu geçişleri

Çerçeve	Uydu Geçiş Tarihleri			
Pembe	11 Eylül 2014	27 Eylül 2014	13 Ekim 2014	29 Ekim 2014
Mavi	04 Eylül 2014	20 Eylül 2014	06 Ekim 2014	22 Ekim 2014
Sarı	13 Eylül 2014	29 Eylül 2014	15 Ekim 2014	31 Ekim 2014

Çekim yapılan zamanın sonbahar olmasından dolayı bulutluluk durumu, zamansal çözünürlük ve çekim yönü dikkate alınmıştır. Çerçeveler ve çekim zamanları değerlendirilerek en uygun tarih kombinasyonları belirlenmiştir. Buna göre istenen çerçeve ve tarihleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5. 2 Seçilen Çerçeveler ve Programlama Tarihleri

ÇERÇEVE / NO	İLK ÇEKİM	ALTERNATİF ÇEKİM
Pembe / 3	11 Eylül 2014	27 Eylül 2014
Sarı / 14,15,16	13 Eylül 2014	29 Eylül 2014
Mavi / 12	20 Eylül 2014	04 Ekim 2014

Alternatif çekim, ilk çekim herhangi bir şekilde (bulutluluk oranı vs.) gerçekleşmeme durumuna karşılık belirlenmiştir. Uydu geçişi ile eş zamanlı yersel ölçümlerin gerçekleştirilebilmesi için, seçilen tarih ve çerçevelerin çekim zamanının bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden ilgili veri sağlayıcısı ile görüşmeler sonucunda çekim zamanları belirlenmiştir. Buna göre UTC’ye göre çekim zamanları;

Pembe çerçeve, 11 ve 27 Eylül için 20:08

Mavi çerçeve, 20 Eylül ve 6 Ekim için 20:01

Sarı çerçeve, 13 ve 29 Eylül için 19:55’dir.

Türkiye UTC+2 zaman diliminde olduğu ve çekim zamanlarında yaz saati uygulaması olduğundan UTC+3 olmaktadır. Buna göre yerel saate göre uydu çekim zamanları;

Pembe çerçeve, 11 ve 27 Eylül için 23:08

Mavi çerçeve, 20 Eylül ve 6 Ekim için 23:01

Sarı çerçeve, 13 ve 29 Eylül için 22:55 olarak belirlenmiştir.

5.1.1.2 ASTER Sıcaklık Verilerinin İşlenmesi

Uydu görüntüleri (ASTER 2B03 ürünü) HDF4 formatında teslim alınmıştır. Bu format sıkıştırılmış görüntü dosyasıdır. Görüntü 9 bantlı olup Surface Kinematic Temperature bandında, hesaplanmış yüzey sıcaklık değerlerini, Kelvin cinsinden 10 ile çarpılmış değerler olarak verilmiştir.

5 Çerçeve olarak alınan uydu görüntülerinin, 3 çerçevesi, 29.09.2014 tarihine ait diğer çerçeveler ise, 11.09.2014 ve 29.09.2014 tarihlerine aittir. 3 çerçevelik görüntüyü birleştirmek için mozaikleme yapılmış ve görüntülerin bindirme bölgelerinde iki görüntünün ortalama değerlerinin işlenmesi durumu uygulanmıştır. Böylece 3 farklı tarih için ayrı ayrı birer adet görüntü oluşturulmuştur.

CBS ortamında açılan yüzey sıcaklık verileri 10 ile bölünerek gerçek kelvin değerlerine dönüştürülmüştür. Bu değerler “ $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$ ” formülü kullanılarak Kelvin-Celcius dönüşümü yapılarak derece cinsine dönüştürülmüştür. Görüntüyü daha anlaşılır kılmak için sıcaklık değerleri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma için Natural Breaks Jenks metodu ile toplam 5 sınıf kullanılmıştır.

5.1.1.3 Yer Yüzey Sıcaklığına Ait Yersel Veriler

ASTER’den elde edilen yer yüzey sıcaklıklarının kontrol edilmesi için sıcaklık ölçer cihazları ve meteoroloji istasyonlarından elde edilen veriler kullanılmıştır.

5.1.1.4 Sıcaklık Ölçer Cihazları ile Yer Yüzey Sıcaklığı Ölçmeleri

Yersel ölçümler, 4 adet çiğ noktası ölçer cihazı, 3 Adet El GPS’i, 3 adet otomobil ve 7 kişilik ekip ile yapılmıştır. Yersel ölçümlerde uydu geçiş zamanı, geçiş esnasındaki hava durumu (bulutluluk oranı), çekim yaptığı çerçeve sınırları ve çerçeve sınırları

içerisindeki yollar, jeotermal sahalar ve çalışma alanı sınırları birlikte değerlendirilmiştir. Bu bilgiler ışığında, personel, otomobil, GPS ve Çiğ noktası ölçer cihazları kullanımı her uydu geçişi için ayrı ayrı planlanmıştır.

Özellikle uydu geçişinin gece yarısı vakitlerinde olması ve ölçüm noktalarının genellikle mücavir alan sınırları dışında yapılması ölçümleri oldukça zorlaştırmıştır. Diğer yandan ölçümlerin sonbahar ayında olması yağışların oldukça fazla olmasına yani bulutluluk oranının yüksek olma ihtimalini ortaya çıkarmıştır. Bu yüzden uydu geçiş tarihlerinde bölge meteoroloji istasyonları ile sürekli iletişim halinde olunmuş ve bulutluluk oranı hakkında bilgi edinilmiştir. Aşağıda uydu geçiş tarihlerinde yapılan yersel ölçümlere ait detaylar verilmektedir.

11 EYLÜL 2014 – Pembe Çerçeve

İlk ölçümün gerçekleştirildiği bu tarihte tek çerçeve görüntü talep edilmiştir. Öncelikle çerçeve izdüşümünün çalışma alanına giren kısımları tespit edilmiştir. Bu çerçevenin çalışma alanı içerisine giren kısmında, Afyon'un en büyük kapasiteli jeotermal sahası olan Ömer-Gecek Jeotermal sahası bulunmaktadır. Ayrıca çalışma alanı içerisinde olmayan Sandıklı Jeotermal Sahası da çerçeve içerisinde bulunmaktadır. Ölçümler Uydu geçiş zamanından 1 saat önce başlamış 1 saat sonrasına kadar devam etmiştir. Ömer jeotermal ana kuyusu yanında ve çalışma alanı içerisinde bulunan bir termal otele 15 dakika aralıklarla ölçüm yapacak şekilde çığ noktası ölçer cihazlarıyla sürekli ölçüm yaptırılmıştır. Diğer iki cihazdan birisi Afyon-Sandıklı Yolu üzerinde, Sandıklı Jeotermal Alanı da dahil olmak üzere hareketli ölçümler gerçekleştirmiştir. Son cihaz ise Afyonkarahisar- Kütahya Karayolu üzerinde yapılmış ve Gecek Jeotermal sahası dahil olmak üzere hareketli ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılan sabit istasyonlar ve hareketli olarak ölçümü yapılan lokasyonların koordinat bilgileri el GPS'i ile alınmış ve kaydedilmiştir.

Bu tarihte çekilen görüntünün izdüşüm haritası gönderilmiş. Gönderilen haritada bulutluluk oranının %20'den fazla olması nedeniyle görüntünün tekrar çekilmesi gerekmiştir. Görüntü, çalışma alanı ve komşu görüntülerdeki bindirmeli bölgeleriyle beraber incelendiğinde, bulutlu bölgelerin özellikle çalışma alanı dışında ve bindirmeli

bölgelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu tarihteki çekim saklı tutulmak üzere, bir sonraki tarihte (27.09.2014) tekrar çekim talep edilmiştir.

13 EYLÜL 2014 – Sarı Çerçeve

İkinci ölçümün gerçekleştirildiği bu tarihte üç çerçeve görüntü talep edilmiştir. Bu çerçevelerin çalışma alanı içerisine giren kısmında Ömer-Gecek, Gazlıgöl jeotermal sahası ve Heybeli Jeotermal sahası bulunmaktadır. Ölçümler Uydu geçiş zamanından 1 saat önce başlamış 1 saat sonrasına kadar devam etmiştir. Bolvadin’de ve çalışma alanı içerisinde bulunan bir termal otele 15 dakika aralıklarla ölçüm yapacak şekilde çiğ noktası ölçer cihazlarıyla ölçüm yaptırılmıştır. Diğer iki cihazdan birisi Afyon-Eskişehir Yolu üzerinde, Gazlıgöl Jeotermal Alanı da dahil olmak üzere hareketli ölçümler gerçekleştirmiştir. Son cihaz ise Afyonkarahisar- Konya Karayolu üzerinde yapılmış ve Heybeli Jeotermal sahası dahil olmak üzere hareketli ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılan sabit istasyonlar ve hareketli olarak ölçümü yapılan lokasyonların koordinat bilgileri el GPS’ine kaydedilmiştir.

Bu tarihte çekilen görüntünün izdüşüm haritası gönderilmiş. Gönderilen haritada bulutluluk oranının %20’den fazla olması nedeniyle görüntünün tekrar çekilmesi gerekmiştir. Görüntüdeki bulutluluk özellikle jeotermal sahalar üzerinde ve çalışma alanının yaklaşık yarısını kaplamıştır. Bu tarihteki çekim iptal edilmiş, bir sonraki tarihte (29.09.2014) tekrar çekim talep edilmiştir.

20 EYLÜL 2014 – Mavi Çerçeve

Üçüncü yersel ölçümün gerçekleştirildiği bu tarihte tek çerçeve görüntü talep edilmiştir. Öncelikle çerçeve izdüşümünün çalışma alanına giren kısımları tespit edilmiştir. Bu çerçevenin çalışma alanı içerisine giren kısmında Dipev Jeotermal araştırma sahası bulunmaktadır. Bu sahada 2014 yılı itibari ile sondaj çalışmaları başlamış olup çalışmalar halen devam etmektedir.

Ölçümler Uydu geçiş zamanından 1 saat önce başlamış 1 saat sonrasına kadar devam etmiştir. Çalışma alanı içerisinde bulunan Bolvadin’de 15 dakika aralıklarla ölçüm yapacak şekilde çiğ noktası ölçer cihazlarıyla ölçüm yaptırılmıştır. Diğer iki cihazdan birisi Bolvadin-Çobanlar, Afyon-Konya ve Çay-Bolvadin yolu üzerinde Heybeli Jeotermal Alanı da dahil olmak üzere hareketli ölçümler gerçekleştirmiştir. Son cihaz ile Bolvadin-

Dipev ve Bolvadin-Üçkuyu yolu üzerinde yapılmış ve Dipev Jeotermal araştırma sahası dahil olmak üzere hareketli ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılan sabit istasyonlar ve hareketli olarak ölçümü yapılan lokasyonların koordinat bilgileri el GPS'i ile alınmış ve kaydedilmiştir.

Bu tarihte çekilen görüntünün izdüşüm haritası gönderilmiş. Gönderilen haritada bulutluluk olmaması nedeniyle bir sonraki tekrar çekim talep edilmemiştir.

27 EYLÜL 2014 – Pembe Çerçeve – Tekrar

11 Eylül 2014'te pembe çerçevenin ilk çekiminin tekrarı olarak yapılan çekimde, bulutluluk oranının ilk çekime göre daha fazla olması sebebiyle 11 eylül 2014 tarihli çekim kabul edilmiştir.

29 EYLÜL 2014 – Sarı Çerçeve – Tekrar

13 Eylül 2014'te sarı çerçevelerin ilk çekiminin bulutluluk oranının oldukça fazla olması nedeniyle iptal olması ile bu tarihte sarı çerçevenin çekimleri tekrarlanmıştır. Sarı çerçevelerin çekimleri 3 adet olması nedeniyle çalışma alanımızın %75'lik kısmını kaplamaktadır. Bu çerçevelerin çalışma alanı içerisine giren kısmında Ömer-Gecek, Gazlıgöl jeotermal sahası ve Heybeli Jeotermal sahası bulunmaktadır. Ölçümler Uydu geçiş zamanından 1 saat önce başlamış 1 saat sonrasına kadar devam etmiştir. Bolvadin'de 2'şer dakikalık aralıklarla ölçüm yapacak şekilde çığ noktası ölçer cihazlarıyla ölçüm yaptırılmıştır. Diğer üç cihazdan birisi Afyon-Eskişehir ve Afyon-Kütahya karayolu üzerinde, Gazlıgöl Jeotermal Alanı ve Ömer-Gecek jeotermal alanı dahil olmak üzere hareketli ölçümler gerçekleştirmiştir. Diğer cihaz ile Bolvadin-Çobanlar yolu üzerinde Heybeli Jeotermal sahası dahil olmak üzere hareketli ölçümler yapılmıştır. Son cihaz ise Emirdağ – Çay ve Bolvadin-Dipev yolu üzerinde hareketli olarak yapılmıştır. Ölçümü yapılan lokasyonların koordinat bilgileri el GPS'i ile alınmış ve kaydedilmiştir.

Bu tarihte yapılan ölçümlerde bulutluluk olmayıp Sarı çerçevelerin ölçümleri olarak bu tarih kabul edilmiştir.

Özet olarak, 11.09.2014 tarihinde pembe çerçeve, 20.09.2014 tarihinde mavi çerçeve, 29.09.2014 tarihinde ise Sarı çerçeve görüntüleri talep edilmiş ve eş zamanlı olarak yapılan arazi çalışmalarında bu tarihlerde yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

5.1.1.5 Meteoroloji Verileri

Çalışma alanındaki meteoroloji istasyonlarına ait, yer yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı ve bağıl nem bilgilerini elde edebilmek için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı 5. Bölge Müdürlüğü olan Afyonkarahisar Meteoroloji Bölge Müdürlüğü ile irtibat kurulmuştur. Yapılan yazışmalar ile Afyonkarahisar il sınırları içerisinde bulunan istasyonlar ve istasyonların koordinatları, uydu geçiş zamanının bir saat öncesi ve bir saat sonrasına ilişkin 10 dakika aralıklarla yer yüzey sıcaklığı bilgileri, 1 dakika aralıklarla hava sıcaklığı ve bağıl nem bilgileri talep edilmiştir. Ayrıca uydu çekim tarihlerinde gün boyu 30 dakikalık aralıklarla toprak sıcaklığı, toprak nemi, hava sıcaklığı ve bağıl nem bilgileri talep edilmiştir.

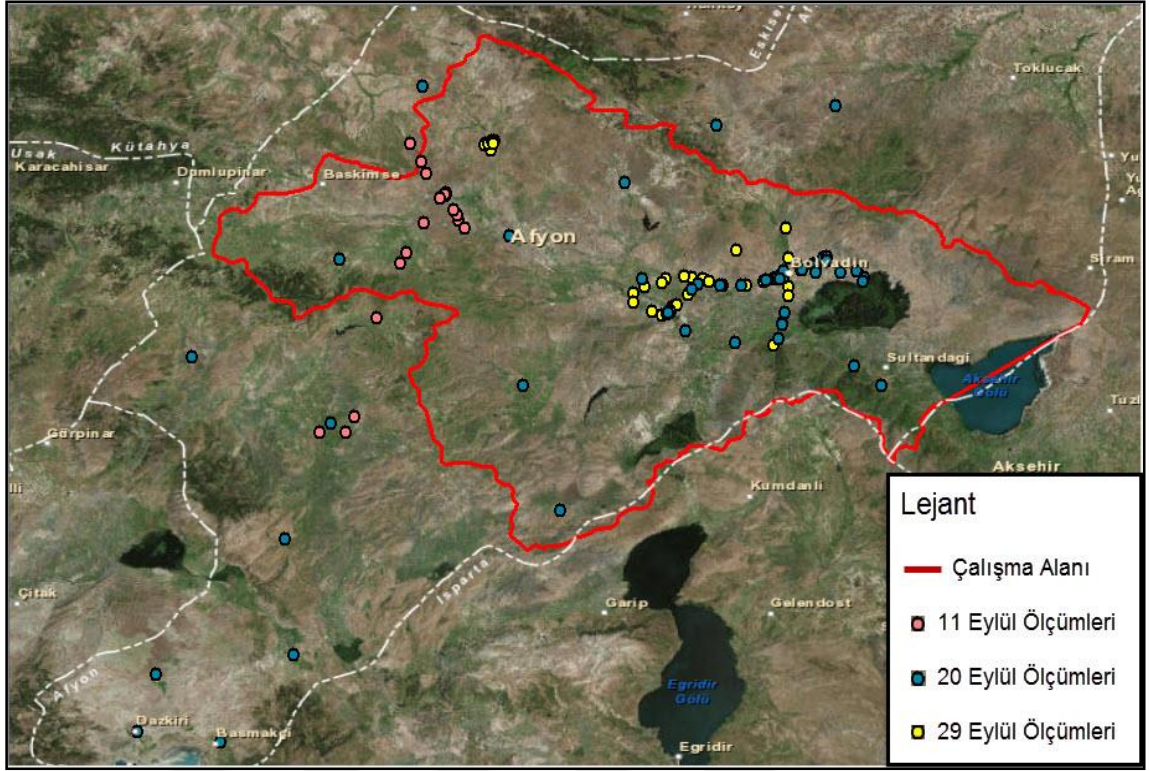
5.1.1.6 Ölçümlere Zaman Düzeltmesi Getirilmesi

El GPS'i WGS84 (World Geodetic Systems 84) koordinat sistemi ve coğrafi koordinatlarda ölçüm için ayarlanmıştır. El GPS'i ile alınan enlem ve boylam bilgileri alındığı saatle birlikte MS Excel ortamına üç farklı tarih için farklı sayfalara işlenmiştir. İlgili lokasyonlarda ölçülen hava sıcaklığı, bağıl nem ve toprak sıcaklığı verileri, lokasyonların karşılığına eklemiştir. Açıklamalar sütunu üzerine, ölçüm esnasında alınan notlar yazılmıştır. Ölçümlerin uydu geçişinden yaklaşık 1 saat öncesinde başlayıp bir saat sonra bitmesi, iki saatlik zaman dilimdeki sıcaklık değişimlerinin incelenmesi işlemini doğurmuştur. Bu iki saatlik zaman diliminde, farklı istasyondaki yer yüzeyi sıcaklık değişimleri incelendiğinde değişimin doğrusal olmadığı ve mekana göre değiştiği gözlemlenmiştir. Meteorolojik verilere zaman düzeltmesinin getirilebilmesi için, sabit aralıklarla ölçüm yapan istasyonlar kullanılmıştır. Bu istasyonlar MGM istasyonlarından alınan veriler olduğu gibi sabit ölçüm yapacak şekilde kullanılan cihazlardaki değerlerde kullanılmıştır. Sabit ölçüm noktaları olarak kullanılan veriler, ilgili tarih ve zamandaki uydu geçiş zamanından olan farkları hesaplanmıştır (Çizelge 5.3).

Çizelge 5. 3 Farklı Meteoroloji İstasyonlarının Uydu Geçiş Zamanına Göre Değişimleri
(Uydu Geçışı 29.11.2014, 22:55:00)

AFYON BÖLGE METEOROLOJİ İSTASYONU							ÇOBANLAR METEOROLOJİ İSTASYONU						
Saat	Hava	Hava	Toprak	Değişimler			Saat	Hava	Hava	Toprak	Değişimler		
	Sıcaklık	Nem	Sıcaklık					Sıcaklık	Nem	Sıcaklık			
00:00	8,7	73,8	6,4	0,1	1,8	-1	00:00	7,2	99	4,1	1,4	-9	1
23:50	8,9	73,3	6,6	-0,1	2,3	-1,2	23:50	7,5	99	4,3	1,1	-9	0,8
23:40	8,8	74,7	5,8	0	0,9	-0,4	23:40	7,6	99	4,5	1	-9	0,6
23:30	8,7	76,7	5,8	0,1	-1,1	-0,4	23:30	7,9	97,6	4,5	0,7	-7,6	0,6
23:20	8,8	76,2	5,1	0	-0,6	0,3	23:20	8,2	94,8	4,7	0,4	-4,8	0,4
23:10	8,7	76,9	5,2	0,1	-1,3	0,2	23:10	8,1	93,8	4,9	0,5	-3,8	0,2
23:00	9	74,7	5,6	-0,2	0,9	-0,2	23:00	8,4	91,7	5	0,2	-1,7	0,1
22:55	8,8	75,6	5,4	0	0	0	22:55	8,6	90	5,1	0	0	0
22:50	8,6	76,4	5,3	0,2	-0,8	0,1	22:50	8,8	88	5,2	-0,2	2	-0,1
22:40	8,4	79,8	5,4	0,4	-4,2	0	22:40	9	87,8	5,3	-0,4	2,2	-0,2
22:30	8,6	79,6	5,5	0,2	-4	-0,1	22:30	9,2	86,2	5,5	-0,6	3,8	-0,4
22:20	8,9	78,4	5,6	-0,1	-2,8	-0,2	22:20	9,3	85,3	5,7	-0,7	4,7	-0,6
22:10	9,2	76,1	5,8	-0,4	-0,5	-0,4	22:10	9,7	81,7	5,8	-1,1	8,3	-0,7
22:00	8,8	77,3	5,9	0	-1,7	-0,5	22:00	9,9	82,1	6,1	-1,3	7,9	-1
21:50	8,7	77,7	5,9	0,1	-2,1	-0,5	21:50	10,3	80,3	6,5	-1,7	9,7	-1,4

Örneklem noktaları ile sabit istasyonlar arasındaki mesafeler hesaplanmış, her bir noktaya en yakın sabit istasyonlar belirlenmiştir. Örneklem noktasının alındığı zaman değerlendirilerek, sabit istasyonlardaki değişimler uygulanmıştır. Böylece örneklem noktalarına zaman düzeltmesi getirilmiştir. Düzeltmeleri yapılan örneklem noktaları ve değerleri, CBS ortamına aktararak konumlandırılmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5. 2 Çalışma Alanı ve Ölçüm Yapılan Noktalar ve MGM İstasyonlarının Konumları

5.1.1.7 Yer Yüzey Sıcaklığına Ait Yersel Veriler ile Uydu Verilerinin Karşılaştırılması

ASTER'den elde edilen sıcaklık verileri ve yersel ölçmelerle elde edilen sıcaklık değerleri düzenlenmiştir. Yersel ölçmelerden elde edilen değerler ile ASTER değerleri ile karşılaştırma yapabilmek için noktasal değerler raster harita üzerinde konumlandırılmıştır. Noktasal verilerin içinde bulunduğu piksel ve yakın piksellere olan uzaklığı Lineer enterpolasyon ile değerlendirilmiştir. ASTER'den elde edilen sıcaklık değerleri nokta dosyasına ek bir öznitelik bilgisi olarak atanmıştır. Atanan değerler ve ölçülen değerler MS Excel ortamında üç farklı tarih için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Ölçümlerde kaba hataların giderilmesi için ölçümlerdeki farklar için aşırı değer analizi yapılmıştır. Aykırı değer analizi Anselin Lokal Moran's I istatistiğine göre yapılmıştır. Yapılan analizde, %95 oranla istatistiksel anlamlılık yakalanamayan aykırı değerler Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6' da kırmızı satırlar ile gösterilmektedir.

11 EYLÜL 2014

Bu tarihte yapılan toplam 13 adet, yersel sıcaklık ve ASTER sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, yersel ölçümlerle elde edilen

sıcaklık değerleri ve ASTER'den elde edilen yer yüzeyi sıcaklık farkları, genel olarak $\pm 1,5$ derece aralığında değişmekte ve yersel ölçümlerden elde edilen sıcaklıklar daha yüksek çıkmıştır. Tüm farkların ortalaması 1,14 derece olarak belirlenmiştir.

Yersel sıcaklık ve ASTER sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.4'te verilmektedir. Altı çizili satır, aykırı değer olarak belirlenmiştir. Buna göre aykırı değerler çıkarıldığında tüm farkların ortalaması 1,12 derece olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5. 4 11.09.2014 Tarihli ASTER Uydu Görüntüsü Ve Yersel Ölçümlerden Elde Edilen Sıcaklıkların Karşılaştırılması

No	Yersel Sıcaklık	ASTER Sıcaklık	Fark	No	Yersel Sıcaklık	ASTER Sıcaklık	Fark
1	15,60	14,89	0,71	8	15,80	14,53	1,27
2	15,80	14,64	1,16	9	15,00	13,79	1,21
3	16,20	15,68	0,52	10	16,00	14,61	1,39
4	16,10	14,80	1,30	11	15,20	13,27	1,93
5	16,80	15,37	1,43	12	<u>13,60</u>	<u>14,93</u>	<u>1,33</u>
6	17,10	15,81	1,29	13	17,60	16,98	0,62
7	14,53	15,15	0,62	Ort.			1,12

20 EYLÜL 2014

Bu tarihte yapılan toplam 25 adet, yersel sıcaklık ve ASTER sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, yersel ölçümlerle elde edilen sıcaklık değerleri ve ASTER'den elde edilen yer yüzeyi sıcaklık farkları, genel olarak $\pm 1,5$ derece aralığında değişmekte ve yersel ölçümlerden elde edilen sıcaklıklar daha yüksek çıkmıştır. Tüm farkların ortalaması 1,45 derece olarak belirlenmiştir.

Yersel sıcaklık ve ASTER sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.5'te verilmektedir. Altı çizili satırlar, aykırı değerler olarak belirlenmiştir. Buna göre aykırı değerler çıkarıldığında tüm farkların ortalaması 1,42 derece olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5. 5 20.09.2014 Tarihli ASTER Uydu Görüntüsü Ve Yersel Ölçümlerden Elde Edilen Sıcaklıkların Karşılaştırılması

No	Yersel Sıcaklık	ASTER Sıcaklık	Farklar	No	Yersel Sıcaklık	ASTER Sıcaklık	Farklar
1	12,60	11,92	0,68	14	12,30	10,13	2,17
2	12,70	11,36	1,34	15	12,60	11,51	1,09
3	13,80	11,97	1,83	16	11,80	11,97	0,17
4	<u>10,70</u>	<u>11,91</u>	<u>1,21</u>	17	13,50	12,20	1,30
5	13,50	11,67	1,83	18	13,40	11,42	1,98
6	13,90	11,01	2,89	19	<u>15,20</u>	<u>12,41</u>	<u>2,79</u>
7	12,20	11,51	0,69	20	12,90	11,80	1,10
8	13,00	12,46	0,54	21	12,00	12,78	0,78
9	12,80	11,34	1,46	22	12,20	11,24	0,96
10	13,70	11,27	2,44	23	12,50	11,40	1,10
11	13,30	10,78	2,52	24	12,70	11,92	0,78
12	12,80	11,21	1,59	25	10,70	11,82	1,12
13	11,80	10,30	1,50	Ort.			1,42

29 EYLÜL 2014

Bu tarihte yapılan toplam 51 adet, yersel sıcaklık ve ASTER sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, yersel ölçümlerle elde edilen sıcaklık değerleri ve ASTER'den elde edilen yer yüzeyi sıcaklık farkları, genel olarak $\pm 1,5$ derece aralığında değişmekte ve yersel ölçümlerden elde edilen sıcaklıklar daha yüksek çıkmıştır. Tüm farkların ortalaması 1,13 derece olarak belirlenmiştir.

Yersel sıcaklık ve ASTER sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.6'da verilmektedir. Altı çizili satırlar, aykırı değerler olarak belirlenmiştir. Buna göre aykırı değerler çıkarıldığında tüm farkların ortalaması 1,09 derece olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5. 6 29.09.2014 Tarihli ASTER Uydu Görüntüsü Ve Yersel Ölçümlerden Elde Edilen Sıcaklıkların Karşılaştırılması

No	Yersel Sıcaklık	ASTER Sıcaklık	Fark	No	Yersel Sıcaklık	ASTER Sıcaklık	Fark
<u>1</u>	<u>6,00</u>	<u>7,26</u>	<u>1,26</u>	27	10,70	6,90	3,80
2	6,80	6,23	0,57	28	7,10	9,47	2,37
3	6,50	7,49	0,99	29	8,80	9,40	0,60
4	7,00	7,23	0,23	30	8,20	8,32	0,12
5	8,60	9,21	0,61	31	9,00	7,99	1,01
6	6,00	7,56	1,56	32	10,10	8,68	1,42

Çizelge 5. 6 29.09.2014 Tarihli ASTER Uydu Görüntüsü Ve Yersel Ölçümlerden Elde Edilen Sıcaklıkların Karşılaştırılması (devamı)

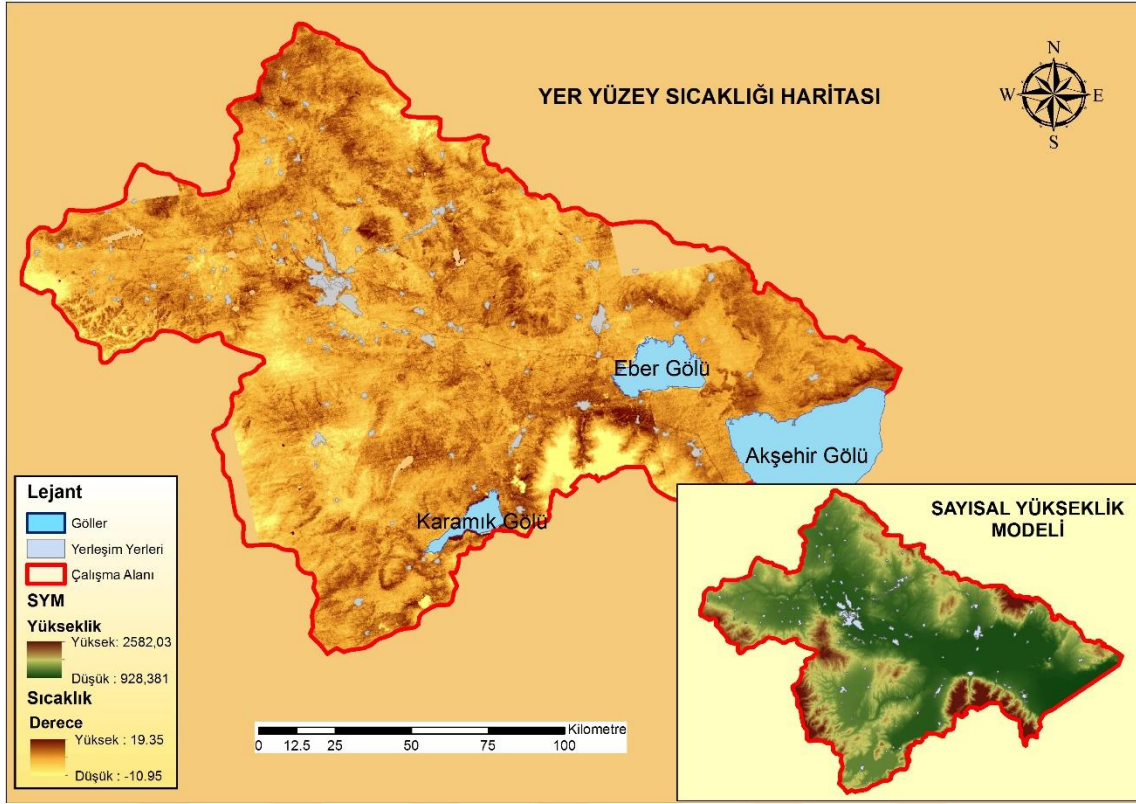
7	7,60	8,57	0,97	33	9,50	8,37	1,13
8	<u>7,80</u>	<u>5,80</u>	<u>2,00</u>	34	7,00	8,27	1,27
9	5,80	7,37	1,57	35	9,00	7,58	1,42
10	7,40	6,66	0,74	36	11,10	8,21	2,89
11	7,60	6,89	0,71	37	8,50	6,62	1,88
12	7,70	7,23	0,47	38	9,60	7,49	2,11
13	7,50	7,97	0,47	39	8,10	8,33	0,23
14	7,40	7,84	0,44	40	8,00	8,00	0,00
15	8,80	7,84	0,96	41	8,30	8,34	0,04
16	8,00	7,33	0,67	42	9,20	8,92	0,28
17	9,70	6,52	3,18	43	7,60	8,20	0,60
18	8,10	7,05	1,05	44	7,00	8,05	1,05
19	6,30	5,97	0,33	45	8,70	7,62	1,08
20	6,30	6,65	0,35	46	8,40	8,50	0,10
21	8,40	6,85	1,55	47	5,40	7,55	2,15
22	6,40	7,87	1,47	48	6,60	7,78	1,18
23	6,80	8,28	1,48	49	6,10	7,23	1,13
24	8,90	8,28	0,62	50	4,70	7,27	2,57
25	6,10	7,42	1,32	51	8,00	7,11	0,89
26	5,90	6,69	0,79	Ort.			1,09

5.1.1.8 Kısıtlamaların Giderilmesi

Uydu verileri incelendiğinde, göl sınırları içinde kalan bölgeler görüntü içerisinde en yüksek sıcaklığa sahip bölgeler olarak belirlenmiştir. Uydu verileri daha detaylı incelendiğinde, küçük gölet ve baraj göllerinin bulunduğu bölgelerde de sıcaklık artışları görülmektedir. DSI'nden göl, gölet, baraj gölleri ve küçük su birikintilerine ait sayısal haritalar istenmiş ve elde edilmiştir. Elde edilen detaylar uydu verisi üzerinde incelenmiş, bu bölgelerde sıcaklık değerlerinin aşırı yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu detay sınırları yer yüzey sıcaklığı katmanında çıkarılmıştır.

Yerleşim yerlerindeki sıcaklıkların yapay objelerden dolayı daha sıcak olması ve dolayısıyla yerleşim yerlerinin de uygulamadan çıkarılması gerekmektedir. Yerleşim yerlerinin belirlenmesi için Ulusal Arazi Örtüsü verileri kullanılmış ve Google Earth ve ESRI Base Map ile kontrol edilerek yerleşim yerleri belirlenmiştir. Aynı şekilde diğer

insan yapımı objeler (fabrika, sanayi, havaalanı vb.) tespit edilip sıcaklık haritasından çıkarılmıştır. Böylece yer yüzey sıcaklık haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.3).



Şekil 5. 3 Yer Yüzey Sıcaklığı Haritası

5.1.1.9 Yer Yüzey Sıcaklığı Yükseklik Düzeltmesi

Yer yüzey sıcaklığı haritası incelendiğinde, yüksek rakımlı bölgelerde (dağlık bölgeler vb.) düşük sıcaklıklar, düşük rakımlı bölgelerde ise diğer bölgelere nazaran daha yüksek sıcaklıklar görülmektedir (Şekil 5.3). Bu durum temel olarak yükseklik değişimleri ile hava sıcaklıklarında meydana gelen etkiden (1000’de ortalama 6 derecelik değişim) kaynaklanmaktadır. Yükseklik etkisinin giderilmesi için sayısal yükseklik modeli oluşturularak ve MGM’den alınan ravinsonde verileri kullanılarak iki farklı yaklaşım denenmiştir.

SYM’nin Oluşturulması

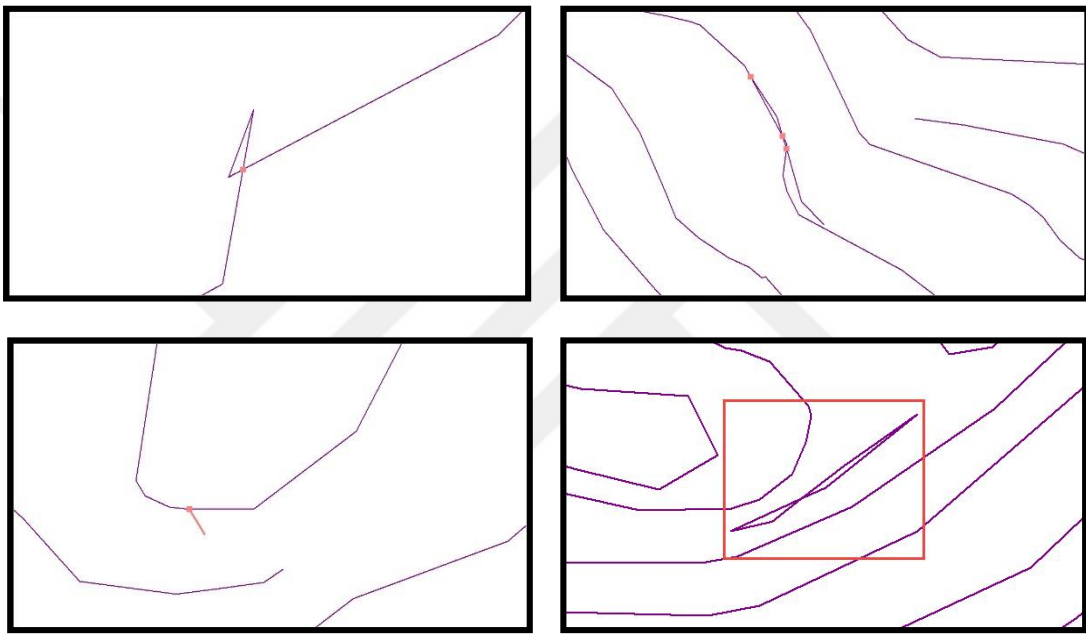
Çalışmada SYM’nin oluşturulabilmesi için 1/25000 ölçekli HGK-STH sayısal haritalar ve DSI’den alınan göl sınırları kullanılmıştır.

- Kara sınırı ve göller katmanı

Pafta sınırlarında göl veya deniz varsa kesme vb. işlemler yapılmıştır. Benzer şekilde göl sınırları da birleştirilerek göl katmanı oluşturulmuştur.

- Yükseklik eğrileri katmanı

HGK-STH paftalarındaki yüksekliğe ait çizgi detaylar (ele_l) incelenmiş öznitelik tabloları kontrol edilmiştir. Verideki pafta sınırları, bazı öznitelikler ayıklanmıştır. Topolojik kurallardan “must not overlap” ve “must not intersect” kuralları kullanılarak topoloji kurulmuştur. Başka çizgiyle kesişen, kendini kesen çizgi, sahte düğüm ve çakışma hataları gerekli topolojik düzeltmeleri yapılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5. 4 Topolojik hatalar

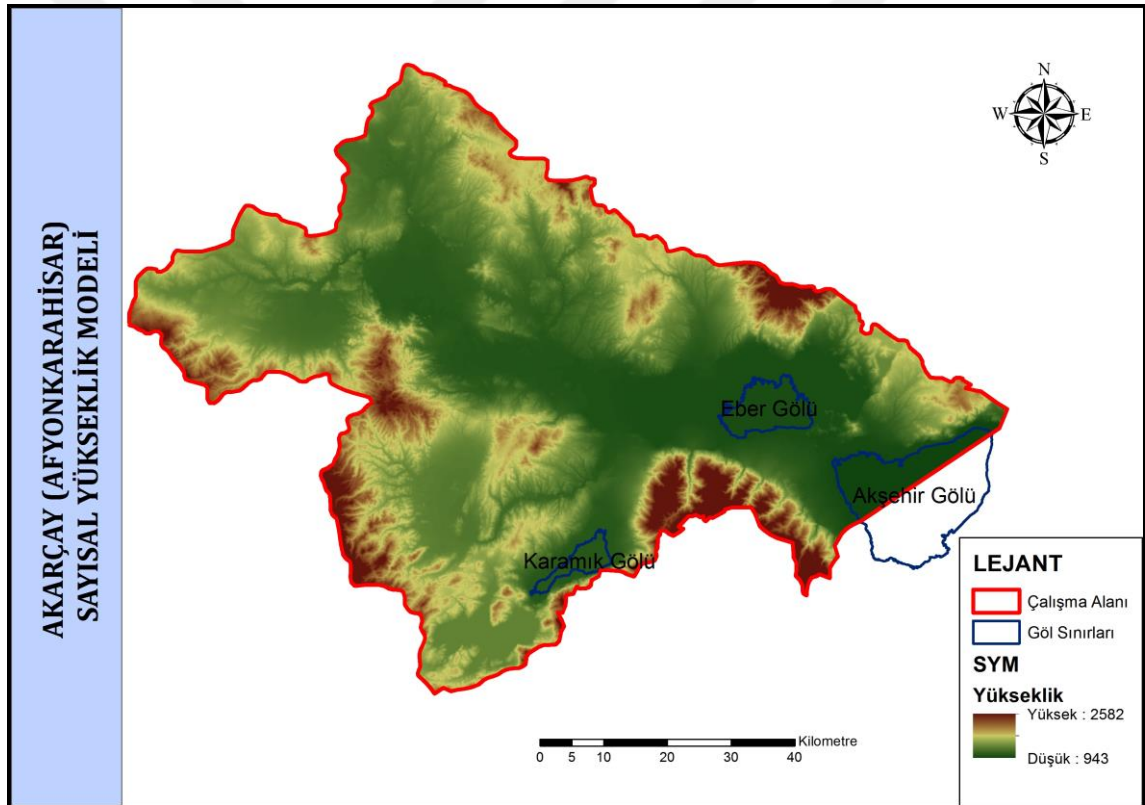
Hem detay hem yükseklik değerleri ve paftaların kesişen bölgeleri kontrol edilip tüm veriler birleştirilmiştir.

- Yükseklik eğrileri, sınır ve göl katmanları “Topo to raster” yöntemi içerisinde parametre olarak belirlenmiştir.
- Yükseklik katmanının için Type kısmında Contour ve Field kısmında da “YUKSEKLİK” seçilmiştir. Sınır katmanı için Type kısmında Boundary ve göl katmanı için Type kısmında Lake seçilmiş ve Output cell size kısmına önceden belirlemiş olduğumuz piksel boyutu olan 10m değeri girilmiştir. Output extend kısmına same as “sınır Katmanı” seçilmiş böylece proje sınırları, önceden

oluşturduğumuz çalışma sınırı ile aynı olması sağlanmıştır. Son olarak, Smallest z value to be used in interpolation kısmına 1 değeri girilerek oluşacak SYM'nin minimum değerini 915 m ve maksimum değer 2610 m olarak belirlenmiştir. Ek olarak "Output contour error point features" fonksiyonu kullanılarak, hatalı yükseklik eğrilerinin tespiti istenmiştir. Model parametreleri girildikten sonra SYM oluşturulmuştur.

- Hatalı bulunan yükseklik eğrileri düzeltilip "Topo to Raster" işlemi tekrar yapılmıştır.
- Fill fonksiyonu SYM'ye uygulanarak tepe ve çukur hataları giderilmiştir.

Üretilen SYM Şekil 5.5'te verilmektedir.



Şekil 5. 5 Çalışma alanı SYM

MGM Ravinonde birimi ile yapılan yazışmalarda, çalışma alanı etrafındaki İzmir, Ankara, Isparta istasyonlarına ait 1 mb aralıklarla elde edilen veriler, uydu geçiş tarihleri (11.09.2014, 20.09.2014 ve 29.09.2014) ve bu tarihlerden bir sonraki gün için talep edilmiştir. Türkiye’de yerel saate göre 2:00 ve 14:00 olmak üzere günde iki kere

rasat yapılmaktadır. Çalışmada, uydu geçişinden 3 saat sonrası olan, 12.09.2014, 21.09.2014, 30.09.2014 tarihlerinde saat 2:00'a ait veriler kullanılmıştır.

Ravinsonde rasatıyla, ilgili istasyonun rakımından başlamak üzere 1mb basınç aralıklarında (yaklaşık 10 m) aralıklarla, basınç seviyesi, yükseklik, sıcaklık, nem, işba, rüzgar yönü, rüzgar hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu veriler MGM'den MS Excel formatında temin edilmiştir.

Yükseklik etkisinin giderilmesi için üç istasyona ait veriler değerlendirilmiştir. İzmir (35 m) istasyonunun çalışma alanına uzaklığı yaklaşık 300km, Ankara (891 m) 200 km, Isparta (996 m) ise 90 km'dir. Bu yüzden ilk olarak Isparta istasyonuna ait verilerin kullanılması amaçlanmıştır. Ancak Isparta istasyonunun yüksekliğine kadar bir veri bulunmadığı için indirgemedede Isparta İstasyonu 996m'ye kadar kullanılmıştır. İkinci tercih olarak Ankara istasyonu 891m'ye kadar ve 891 m'den deniz seviyesine indirgemek için İzmir İstasyonu kullanılmıştır (Çizelge 5.7).

Çizelge 5. 7 İndirgemedede Kullanılan İstasyonlar ve Yükseklik Aralıkları

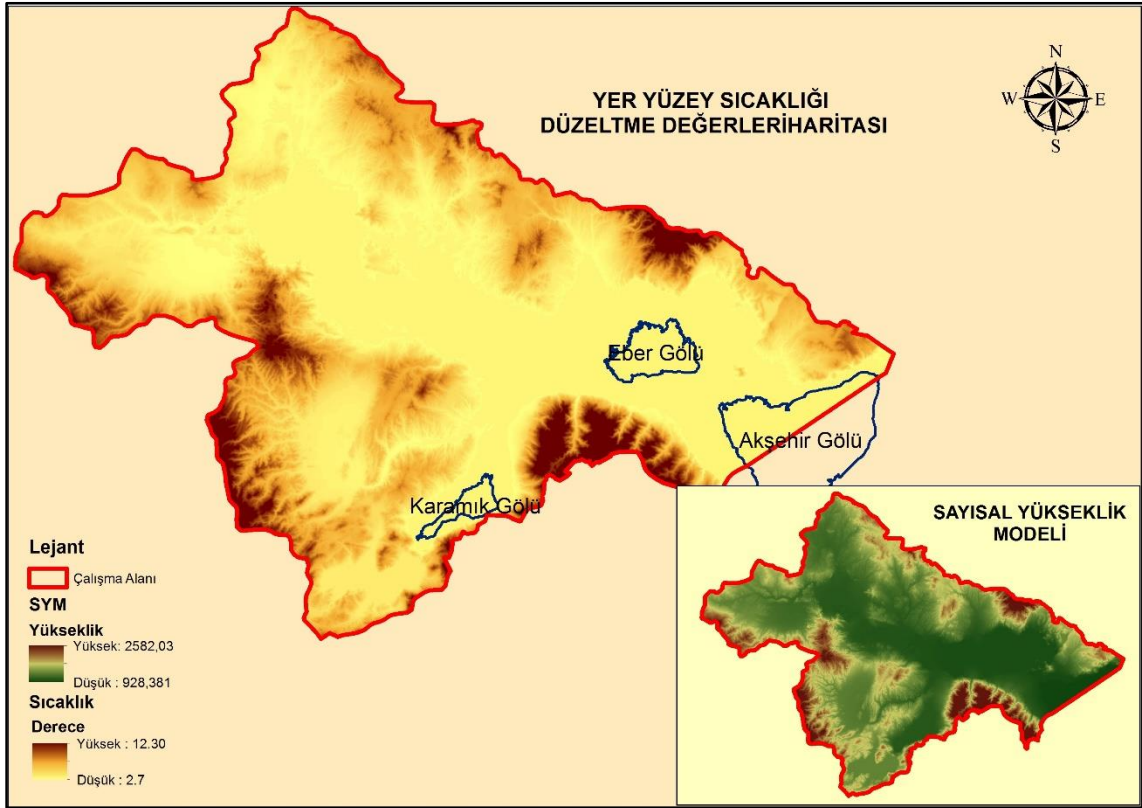
İSTASYON ADI	YÜKSEKLİĞİ (M)	ÇALIŞMA ALANINA UZAKLIĞI (KM)	İNDİRGEDEDE KULLANILAN YÜKSEKLİK ARALIĞI
İZMİR	35	300	35 - 891 m
ANKARA	891	200	891 – 996 m
ISPARTA	996	90	996 – 2582 m

1.Yaklaşım

İlk yaklaşımda tüm yüzey sıcaklık değerlerinin 0 yükseklik seviyesine indirgenmesi denenmiştir. Bunun için 928 -2582 arasında değişen yüksekliğe sahip çalışma alanında, 0 yükseklik değerine indirmek için Çizelge 5.7'deki yükseklik aralıklarına göre değişen istasyonlara ait veriler kullanılmıştır. Üç farklı tarihte alınan uydu verisi için ilgili tarihteki ravinsonde verileri uygulanmıştır. Buna göre değişim değerleri EK-F'de verilmektedir.

EK-F'de verilen 0 yükseklik değerinden diğer yükseklik değerlerine olan sıcaklık değişimleri, çalışma alanına ait SYM üzerinde değerlendirilerek, ilgili yükseklik değerleri

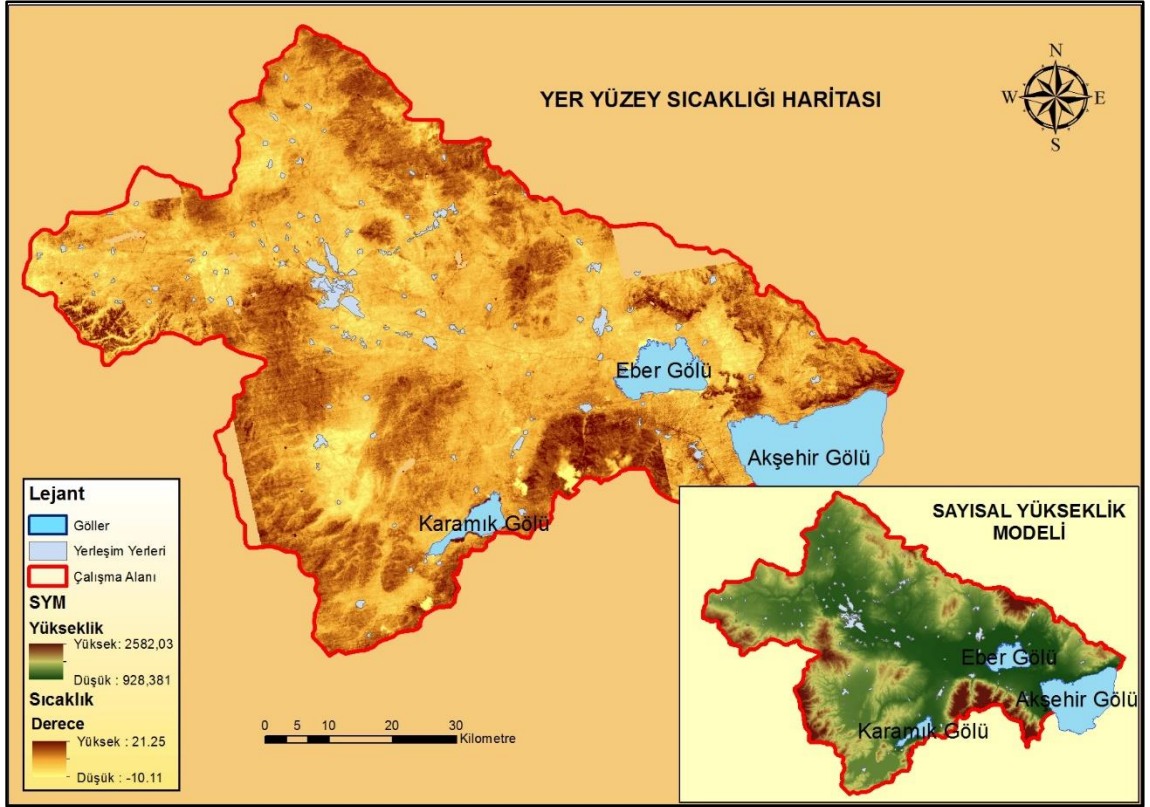
ile bu yükseklik değerlerine karşılık gelen sıcaklık değişimleri ilişkilendirilmiştir. Böylece sıcaklık düzeltme haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.6).



Şekil 5. 6 Yer Yüzeyi Sıcaklık Değerlerine Getirilen Düzeltme Değerleri Haritası

Oluşturulan düzeltme haritası, ASTER'den elde edilen yüzey sıcaklık değerlerinden çıkarılarak düzeltilmiş sıcaklık verileri oluşturulmuştur. Böylece tüm bölge deniz seviyesindeki sıcaklık değerlerine indirgenmiştir (Şekil 5.7).

İlk yaklaşımın sonuçları incelendiğinde, dağlık bölgelerde sıcaklığın yüksek, düşük rakıma sahip bölgelerde sıcaklığın yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, yer yüzey sıcaklığına getirilen düzeltmenin, hava sıcaklığındaki değişimler ile yapılmış olmasıdır. Hava sıcaklığındaki değişimlerin yer yüzey sıcaklığına doğrudan etkidiği ve en büyük faktör olduğu bilinse de, bunun yanında dağlık bölgelerdeki kayaç kütlelerinin geç ısınıp geç soğuduğu, yüksekliği düşük bölgelerde ise toprak ya da bitki örtüsünün kayaç kütlelerine nazaran daha çabuk ısınıp soğuduğu göz ardı edilmemelidir. Diğer bir etmen ise özellikle 20.09.2014 tarihinde yapılan çekimden daha önceki günlerde yağmurun yağmasıyla düşük kotlu bölgelerdeki toprağın ıslak ya da nemli olmasıdır. Bu yaklaşımın doğru sonuçlar vermediği düşünüldüğünden uygulamada kullanılmamıştır.



Şekil 5. 7 Hava sıcaklıklarına göre deniz seviyesine indirgenmiş yer yüzeyi sıcaklık değerleri

2.Yaklaşım

İkinci yaklaşımdaki temel düşünce, yer yüzeyi sıcaklık değerlerini yükseklik kuşakları içerisinde ayrı ayrı değerlendirilmesidir. Ancak yükseklik kuşaklarının sınır değerlerinin ne olacağı en önemli konudur. Bu hususta genel olarak ifade edilen 150 m’de 1 °C’lık değişim kullanılabilir. Yalnız bu değer zamana mekana ve meteorolojik koşullara göre değişim göstermektedir. Yakın konum, benzer zaman ve meteorolojik koşulların gözlemlendiği ravinsonde verilerinin kullanımının daha hassas sonuçlar üreteceği düşünülmüştür. Bunun için her 1 derecede değişen yükseklik değerleri ravinsonde verilerinden türetilmiştir (Çizelge 5.8).

Yükseklik sınırları kullanılarak üç farklı tarih için SYM üzerinden yükseklik sınıfları oluşturulmuştur [EK-H]. Bu sınıflarlar raster veri yapısından poligon vektör veri yapısına dönüştürülmüş olup, her poligon içerisinde kalan sıcaklık değerlerinin ortalaması alınmıştır. Yer yüzeyi sıcaklık anomalisi her bir piksel, bağlı bulunduğu yükseklik sınıfının ortalamasından farkı alınarak belirlenmiştir.

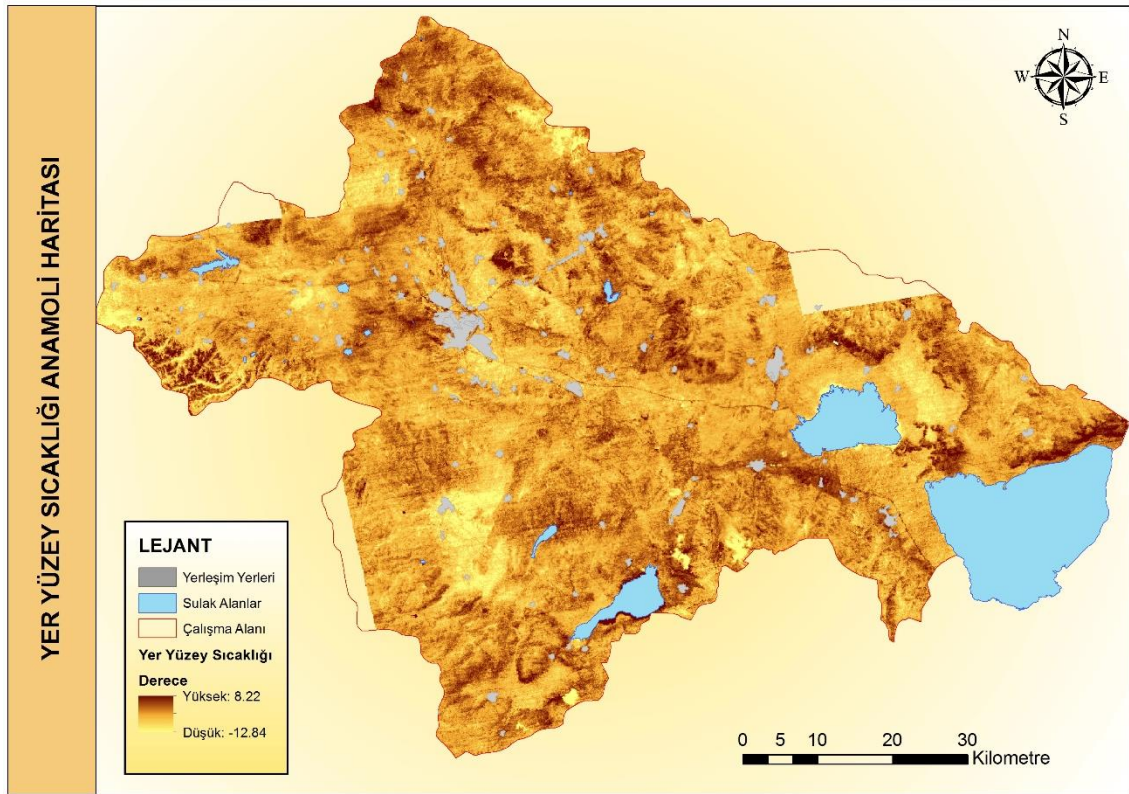
Çizelge 5. 8 Çalışma Alanı Uydu Geçiş Zamanlarına Göre Yükseklik Sınıfları

YÜKSEKLİK SINIFLARI	YÜKSEKLİK ARALIKLARI – TARİHLERE GÖRE					
	11.9.2014		20.9.2014		29.9.2014	
	Yüks. 1	Yüks. 2	Yüks. 1	Yüks. 2	Yüks. 1	Yüks. 2
1	928	1132	928	1143	928	1231
2	1132	1431	1143	1314	1231	1345
3	1431	1571	1314	1536	1345	1489
4	1571	1723	1536	1675	1489	1605
5	1723	1887	1675	1824	1605	1723
6	1887	2014	1824	1997	1723	1842
7	2014	2172	1997	2121	1842	1952
8	2172	2281	2121	2225	1952	2073
9	2281	2421	2225	2330	2073	2196
10	2421	2542	2330	2585	2196	2383
11	2542	2585			2383	2425
12					2425	2585

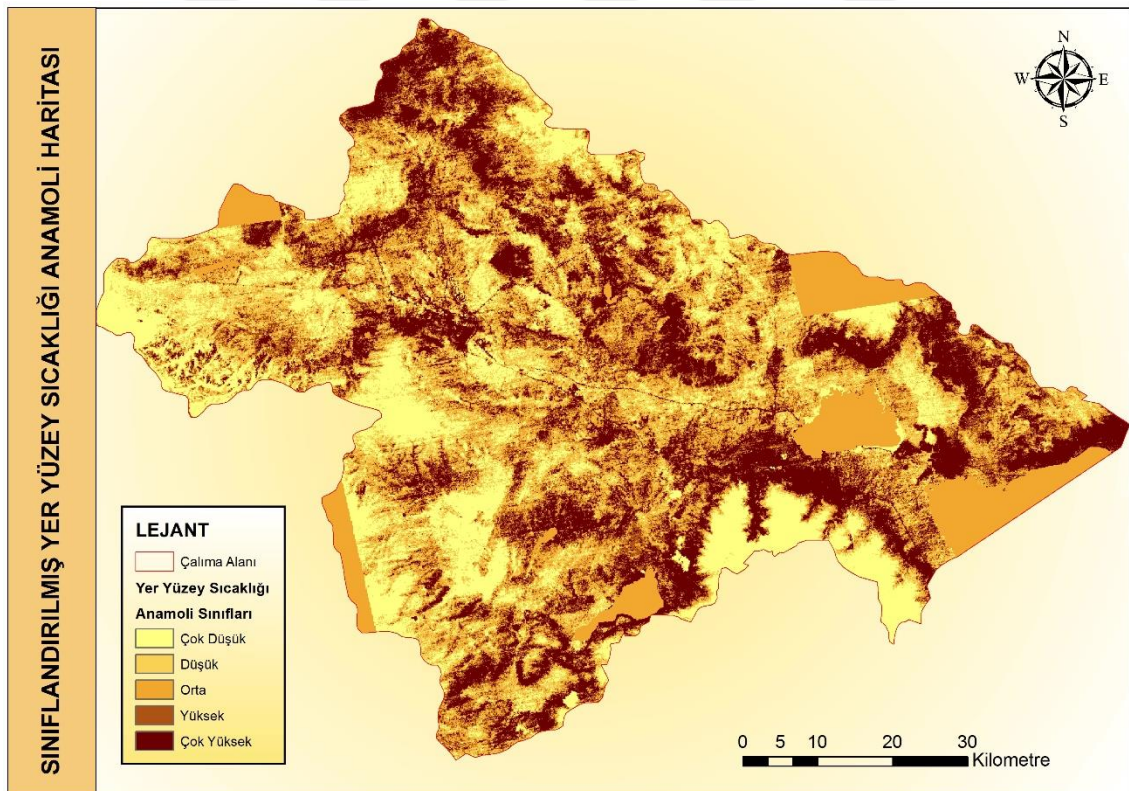
Bu işlemler tamamlandığında her bir tarihteki görüntüleri için, yer yüzeyi sıcaklık anomalisi belirlenmiştir. Bu anomali haritaları bindirme alanlarında ortalama operatörü kullanarak mozaiklenip tek bir anomali haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.8).

Yükseklik düzeltilmesi yapılmamış yer yüzey sıcaklığı haritasında, yüksekliğin arttığı bölgelerde düşük sıcaklıklar, yüksekliğin düşük olduğu bölgelerde ise yüksek sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Yükseklik değişimden kaynaklanan bu etkiyi gidermek için yapılan ilk yaklaşımda ise sonuç olarak yüksek bölgeler yüksek, düşük bölgeler ise düşük sıcaklığa sahip olmuştur. Yükseklik sınıflarına göre oluşturulan yer yüzey sıcaklığı anomali haritası incelendiğinde, her yükseklik kuşağındaki sıcaklık değişimleri ayrı ayrı değerlendirilmiş olup sıcaklık dağılımları incelendiğinde hem yüksek hem de düşük kotlu bölgelerde sıcaklık anomalisi yakalanmıştır. Bu yüzden uygulamada ikinci yaklaşımdaki sonuçlar kullanılmıştır.

Sonuçların daha rahat değerlendirilmesi için anomali haritası, her sınıfta eşit alan olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Yerleşim yerleri, sulak alanlar ve uydu çerçelerinin eksik kalan kısımlarından dolayı çalışma sahasında eksik kalan kısımlar orta sınıfa atanmıştır. Böylece bu bölgelerin analizlerde nötr bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmıştır (Şekil 5.9).



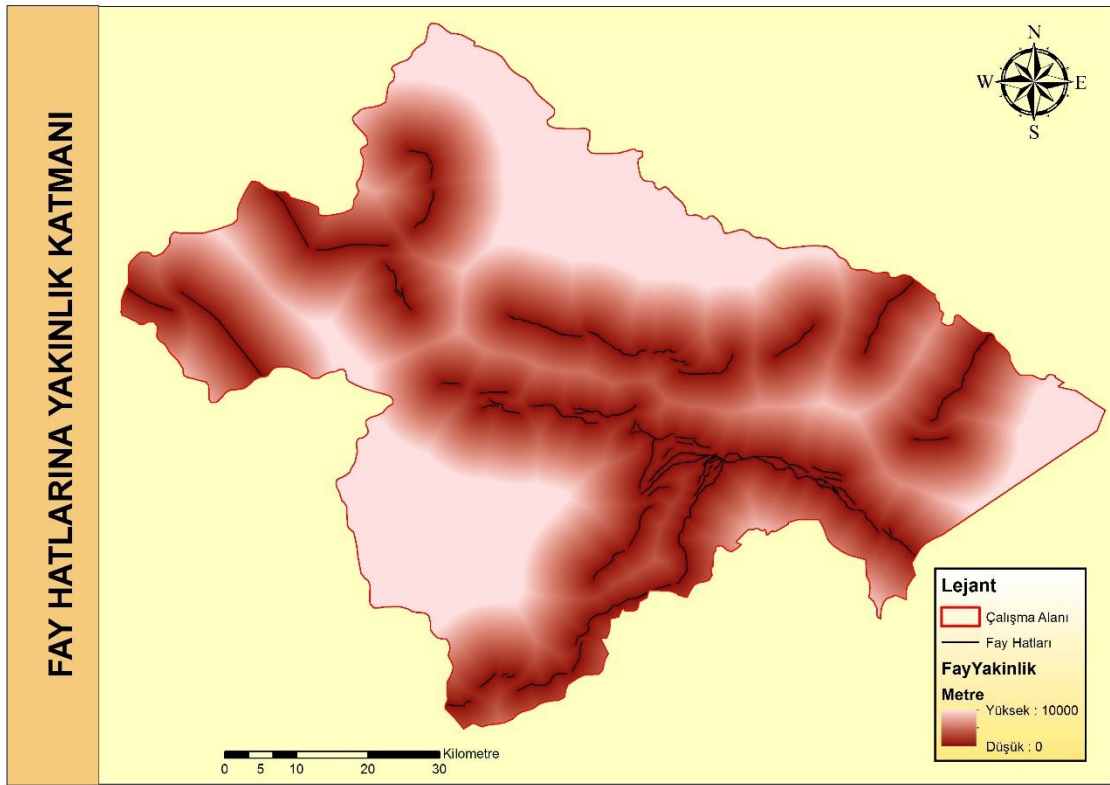
Şekil 5. 8 Yükseklik sınıflarına göre yer yüzeyi sıcaklığı anomali haritası



Şekil 5. 9 Yer yüzeyi sıcaklığı anomali sınıfları haritası

5.1.2 Fay Hatlarına Yakınlık

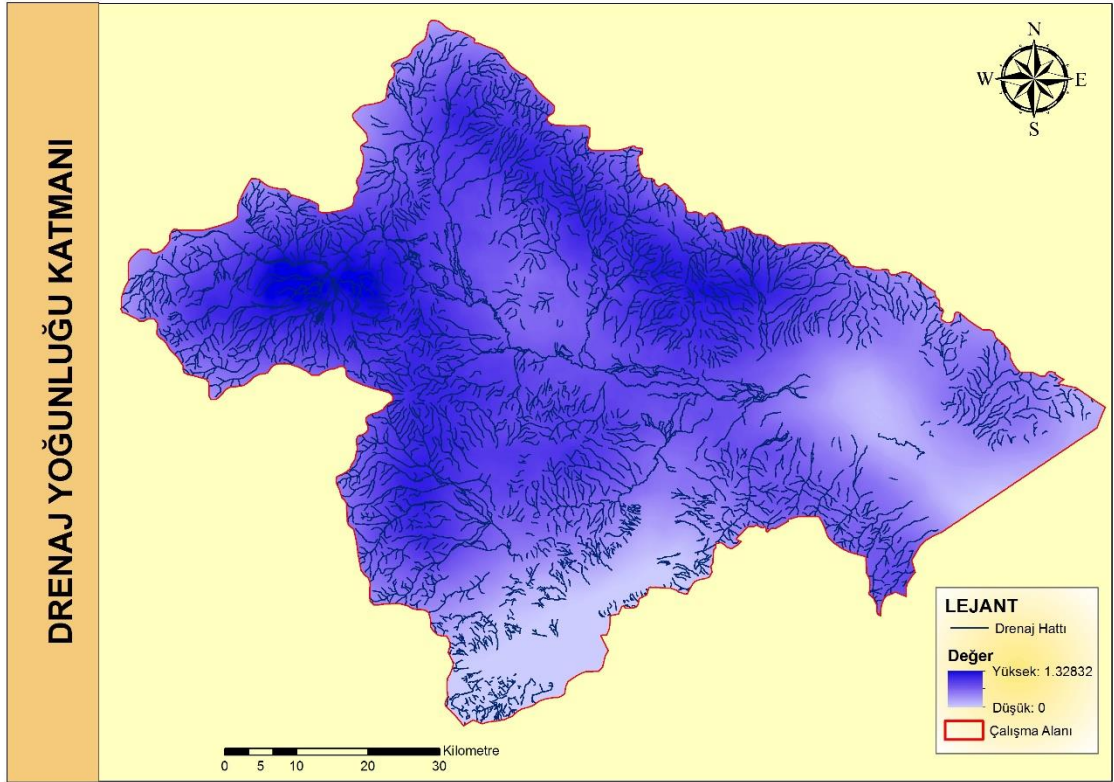
MTA'nın belirlediği fay hatları kullanılarak fay hatlarına yakınlık katmanının belirlenmesi için Öklid Mesafesi Metodu kullanılmıştır. Ancak literatürde rastlandığı üzere jeotermal saha belirleme çalışmalarında fay hatlarına yakınlık için sınır değerler belirtilmektedir. Yani belirli bir sınır değerden sonra fay hatlarının jeotermal etkilemediği varsayılmaktadır. Literatür ve jeoloji uzmanları ile yapılan konuşmalar sonucunda bu sınır değer 10 km olarak belirlenmiştir. Bu sınır değer kullanılarak oluşturulan fay hatlarına yakınlık katmanı Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5. 10 Fay hatlarına yakınlık katmanı

5.1.3 Drenaj Yoğunluğu

Drenaj hatları belirlendikten sonra Line Density metodu kullanılarak birim alana düşen drenaj yoğunluğunu belirten harita hazırlanmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5. 11 Drenaj Yo Ėunlu Ėu Katmanı

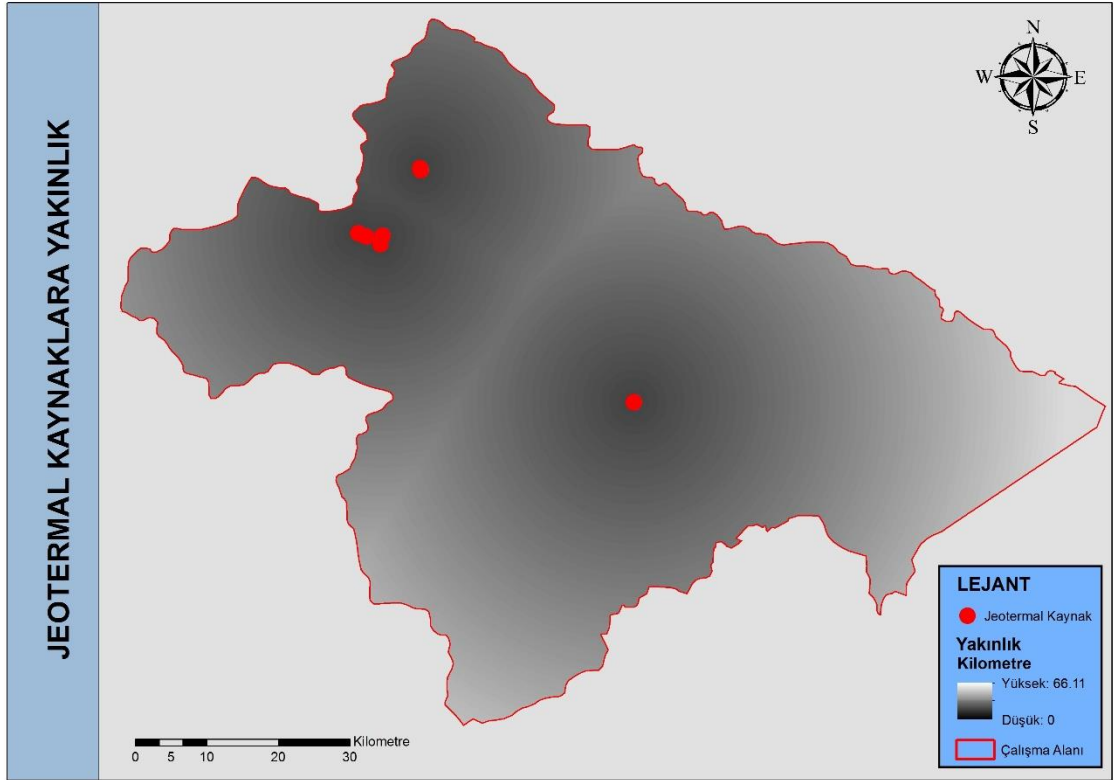
5.1.4 Jeotermal Kaynaklara Yakınlık

Ömer, Gecek, Kızık, Uyuz, Gazlıgöl, Heybeli jeotermal kaynaklarının lokasyonları ile Öklid Mesafesi Metodu kullanılarak Jeotermal kaynaklara yakınlık katmanı oluşturulmuştur (Şekil 5.12).

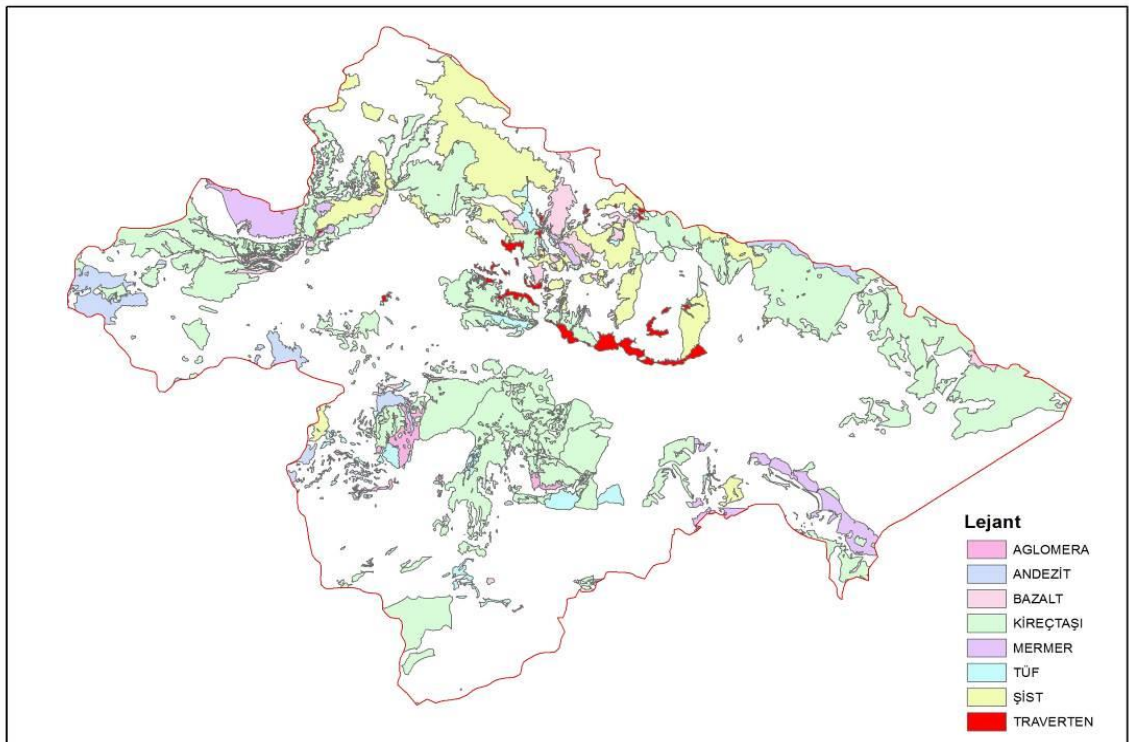
5.1.5 Jeolojik Göstergelere Yakınlık

MTA'dan alınan jeoloji haritaları üzerinde jeotermal kaynaklara belirteç olabilecek jeolojik oluşumlar araştırılmıştır (Şekil 5.13). Jeoloji haritalarının öznitelik tablosunda verilen durum, simge ve kot numaralarının karşılığı bulunarak jeolojik formasyonlar belirlemiştir.

AKÜ JUAM'da araştırmacı Arş.Grv. Can Başaran ile yapılan görüşme sonucunda çalışma alanında jeotermal belirteci olabilecek formasyonlar belirlenmiştir. Buna göre Traverten oluşumlarına yakın olan, tüf, bazalt, kireçtaşı, mermer, şist, aglomera oluşumları çalışma alanında taranmıştır.

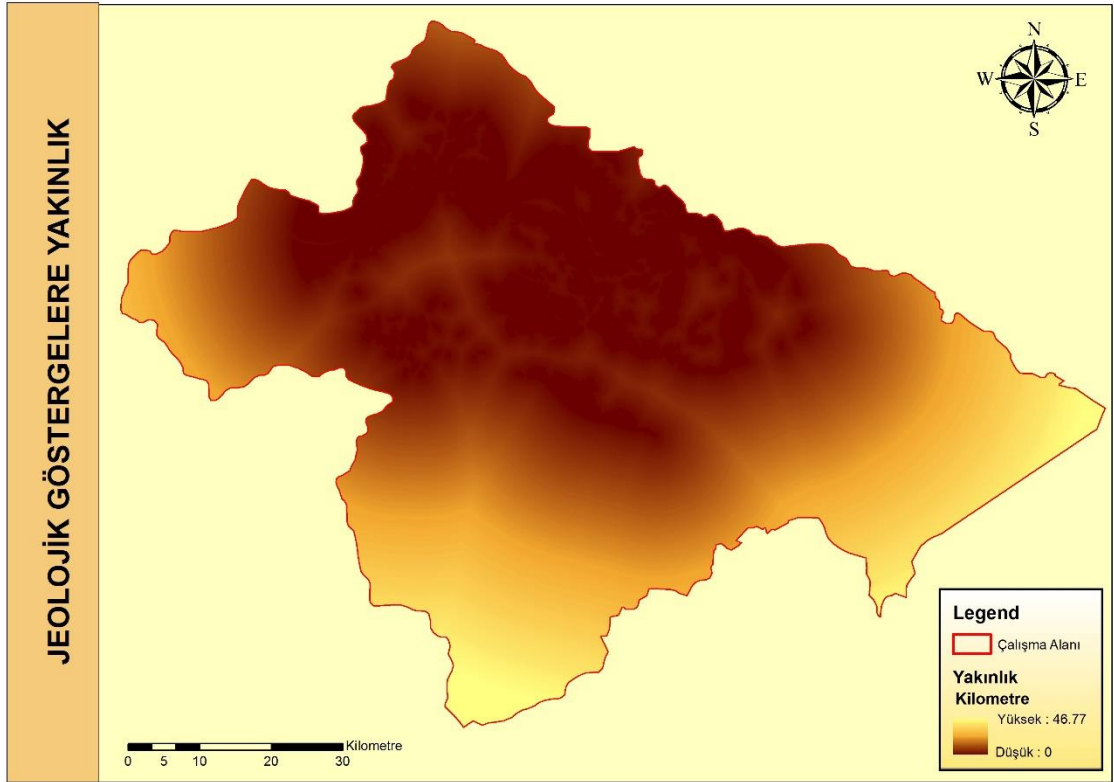


Şekil 5. 12 Mevcut Jeotermal Alanlara Yakınlık



Şekil 5. 13 Çalışma Alanına Ait MTA Jeoloji Verileri

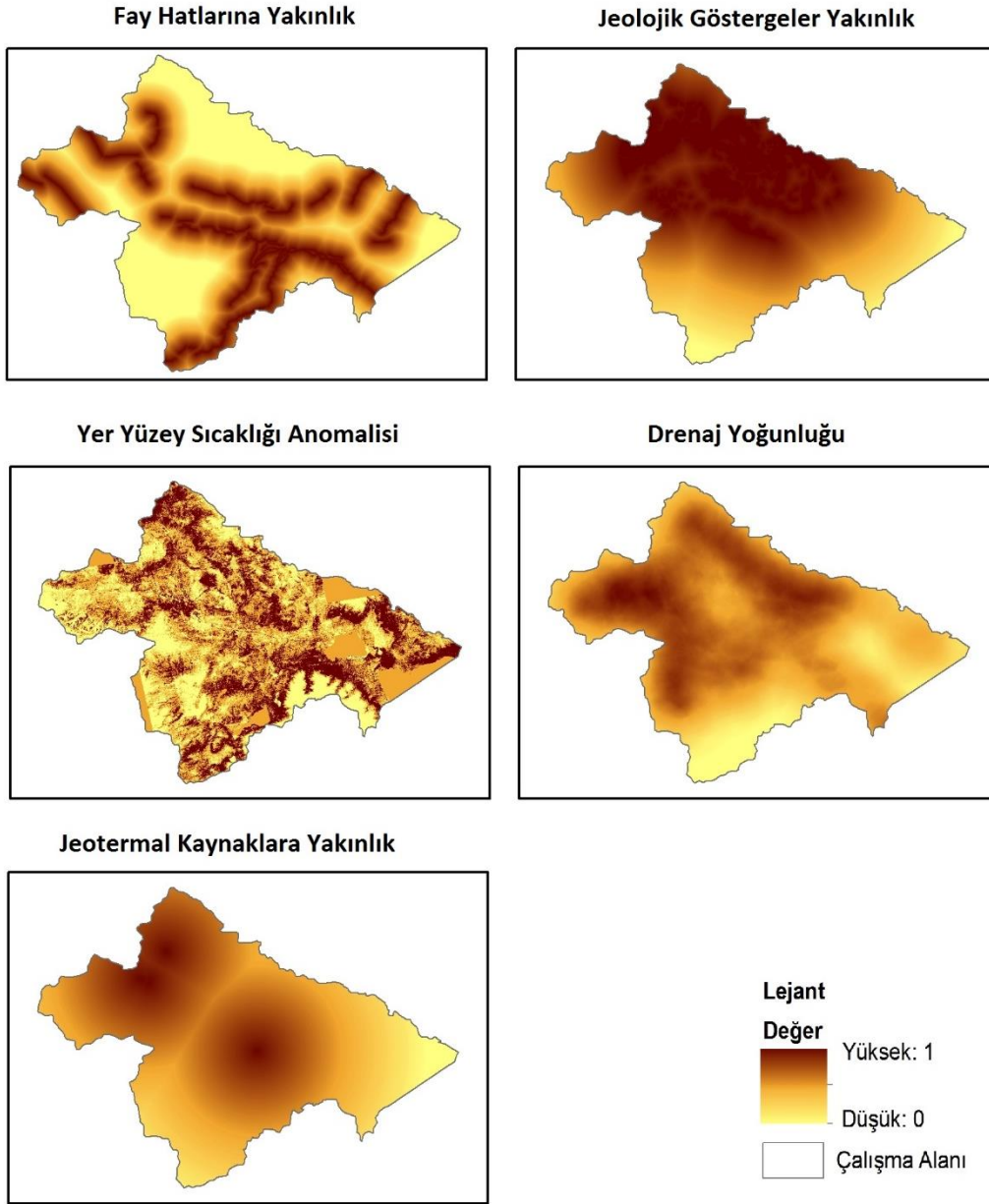
Öklit mesafesi metodu kullanılarak jeotermal belirteci olarak belirlenen jeolojik göstergeler yakınlık katmanı oluşturulmuştur (Şekil 5.14).



Şekil 5. 14 Jeolojik Formasyonlara Yakınlık Katmanı

5.2 Ölçüt Katmanlarının Normalleştirilmesi

Ölçüt katmanları, ağılıklarıyla birlikte bir arada sentezlenebilmesi için katman değerlerinin aynı skalada değişmesi gerekmektedir. Bunun için ölçüt katmanlarına normalleştirme işlemi uygulanmaktadır. Çalışmada tüm katmanlar Değer Aralığı Yöntemine normalleştirilmiş ve sonuç olarak tüm katmanlar 0 ile 1 arasında değişen değerler almıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5. 15 Normalleştirilmiş Ölçüt Katmanları

5.3 Ölçüt Katmanlarının Ağırlıklandırılması

Ölçütlerin bağıl ağırlıklarının belirlenmesi için ikili karşılaştırma metodu kullanılmıştır. Yönteme göre yapılan ikili karşılaştırmalar, MTA uzmanları ile EK-G’de verilen anket ile belirlenmiştir. Tüm ölçütler 1 ile 9 değerleri ile derecelendirilerek ikili olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda ikili karşılaştırma metoduna göre gerekli işlemler yapılarak ağırlıklar belirlenmiştir (Çizelge 5.9). Buna göre ölçüt katmanlarının bağıl ağırlıkları, fay hatlarına yakınlık için % 48, jeotermal göstergelere

yakınlık için % 28, jeotermal kaynaklara yakınlık için % 17, yer yüzey sıcaklığı için % 7.5, drenaj yoğunluğu için % 3 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5. 9 İkili karşılaştırma matrisi ve belirlenen ağırlıklar

İkili Karşılaştırmalar	Yer Yüzeyi Sıcaklığı	Fay Hatlarına Yakınlık	Jeolojik Göst. Yakınlık	Jeotermal Kayn. Yakınlık	Drenaj Yoğunluğu	Ağırlıklar
Yer Yüzeyi Sıcaklığı	1.000	0.200	0.200	0.333	3.000	0.074
Fay Hatlarına Yakınlık	5.000	1.000	3.000	3.000	9.000	0.447
Jeolojik Göst. Yakınlık	5.000	0.333	1.000	3.000	7.000	0.279
Jeotermal Kayn. Yakınlık	3.000	0.333	0.333	1.000	7.000	0.169
Drenaj Yoğunluğu	0.200	0.111	0.143	0.143	1.000	0.031

Çalışmada hesaplanan tutarlılık oranı 5 ölçüt için 0.043 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak 0.10 değerinden küçük olduğu için karşılaştırmaların tutarlı olduğu anlaşılmıştır.

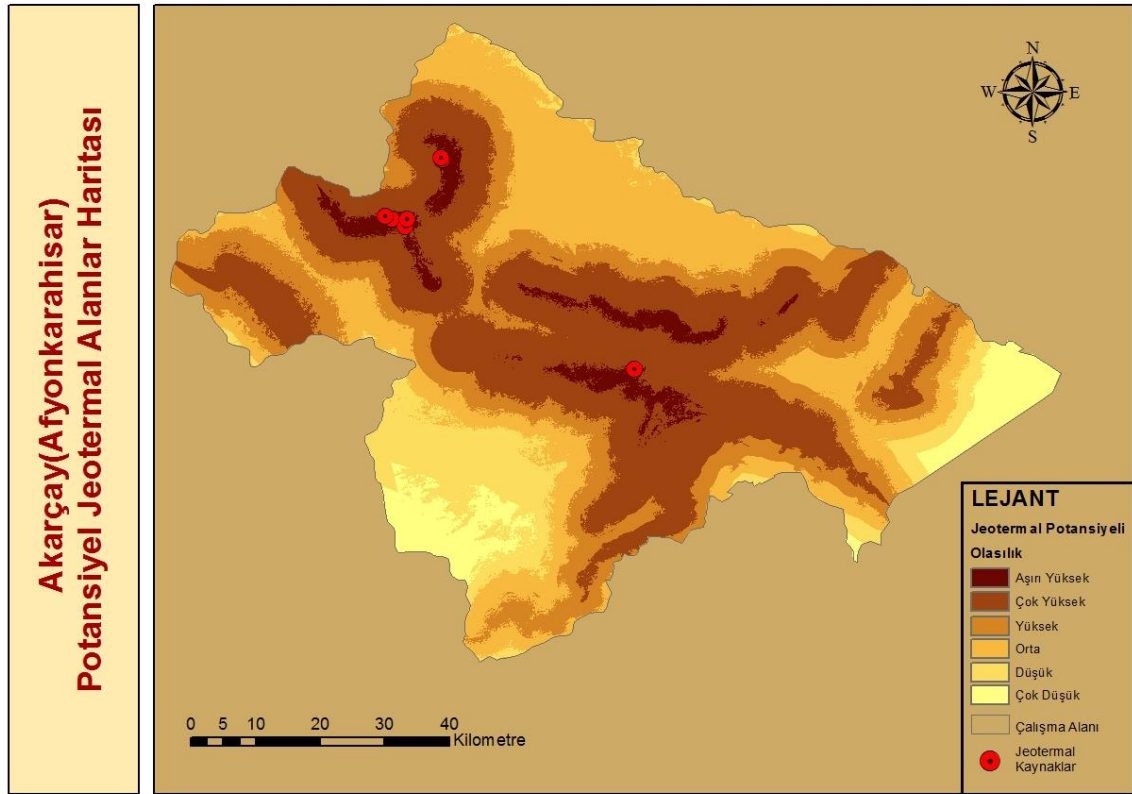
5.4 Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Potansiyel Jeotermal Alanların Belirlenmesi

Normalleştirilmiş ölçüt katmaları ikili karşılaştırma metoduna göre belirlenen ağırlıkları ile birlikte çarpılıp toplanarak değer haritası oluşturulmuştur. Natural Break Jenks sınıflandırma yöntemi ile potansiyel jeotermal alanlar, çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek ve aşırı yüksek olmak üzere sınıflandırılmıştır (Şekil 5.16).

5.5 Karşılaştırmalar

Üretilen jeotermal potansiyeli olasılığı haritasının mevcut jeotermal kaynaklar ile karşılaştırılması çalışmanın doğruluğu ile ilgili önemli bilgiler sağlar. Ancak mevcut jeotermal kaynaklarla karşılaştırma yapılırken, jeotermal kaynaklara yakınlık katmanının % 17'lik ağırlık ile sentez harita içerisindeki varlığı, karşılaştırmalarda iki aynı olgunun karşılaştırılması durumunu ortaya çıkartmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak ve doğruluk analizinin daha hassas yapılması için ikili karşılaştırmalardan

jeotermal kaynaklara yakınlık ölçütü kaldırılarak diğer ölçütlerin ağırlıkları tekrar hesaplanmıştır (Çizelge 5.10)



Şekil 5. 16 Akarçay (Afyonkarahisar) Potansiyel Jeotermal Alanlar Haritası

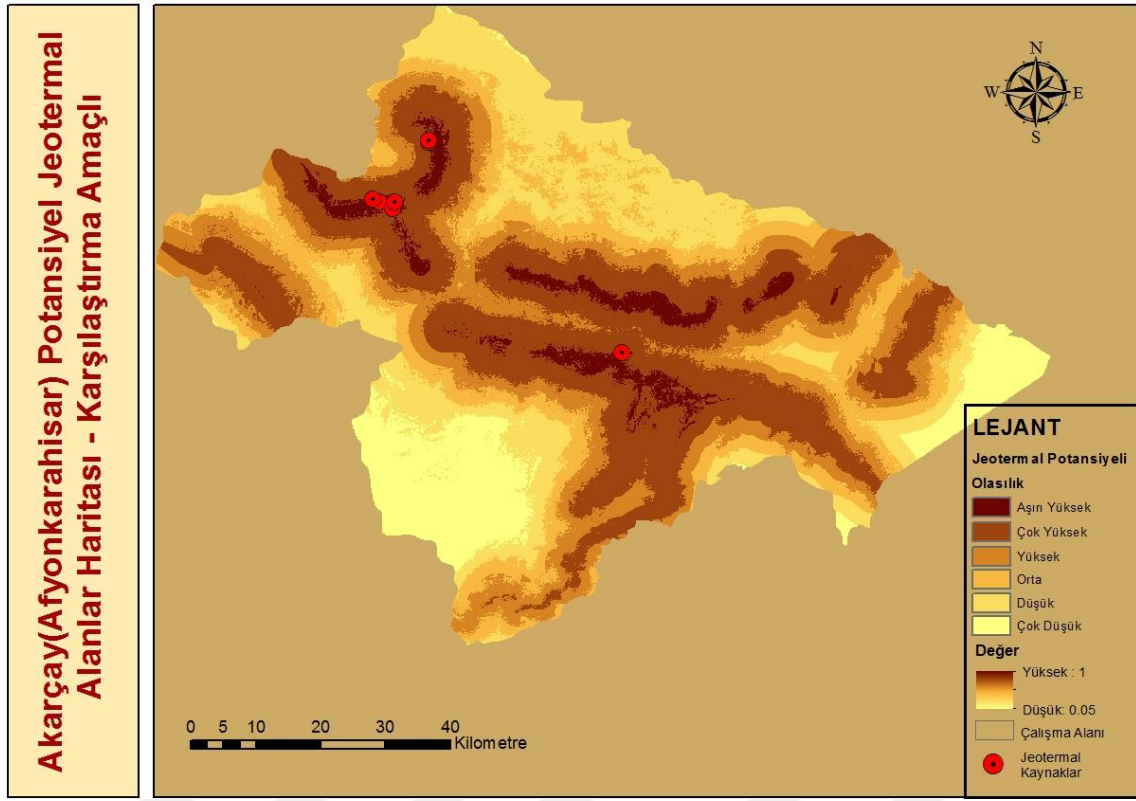
Çizelge 5. 10 Karşılaştırma amaçlı ikili karşılaştırma matrisi ve belirlenen ağırlıklar

İkili	Yer Yüzeyi	Fay	Jeolojik	Drenaj	Ağırlıklar
Yer Yüzeyi	1.000	0.200	0.200	3.000	0.1017
Fay Hatlarına	5.000	1.000	3.000	9.000	0.5489
Jeolojik Göst.	5.000	0.333	1.000	7.000	0.3073
Drenaj	0.200	0.111	0.143	1.000	0.0421

İkili karşılaştırmalar için hesaplanan tutarlılık oranı 4 ölçüt için 0.027 olarak hesaplanmıştır. 0.10 değerinden küçük olduğu için karşılaştırmalar tutarlı sayılmaktadır.

Normalleştirilmiş ölçüt katmaları ile ikili karşılaştırma metoduna göre yeniden belirlenen ağırlıklar çarpılıp ve sonrasında toplanarak değer haritası oluşturulmuştur.

Natural Break Jenks sınıflandırma yöntemi ile karşılaştırmalar için kullanılacak jeotermal potansiyeli olasılığı haritası Şekil 5.17’de verilmektedir.



Şekil 5. 17 Karşılaştırma Amaçlı oluşturulan Akarçay (Afyonkarahisar) Potansiyel Jeotermal Alanlar Haritası

Oluşturulan karşılaştırma haritasında jeotermal kaynakların konumu incelendiğinde, jeotermal kaynakların tümü aşırı yüksek sınıf içerisinde kalmıştır. Kaynakların bulunduğu piksellere ait değerlerin 100 ile çarpılmış sonuçları Çizelge 5.11’de verilmektedir.

Çizelge 5. 11 Jeotermal kaynakların üretilen jeotermal potansiyeli olasılığı haritasındaki değerleri

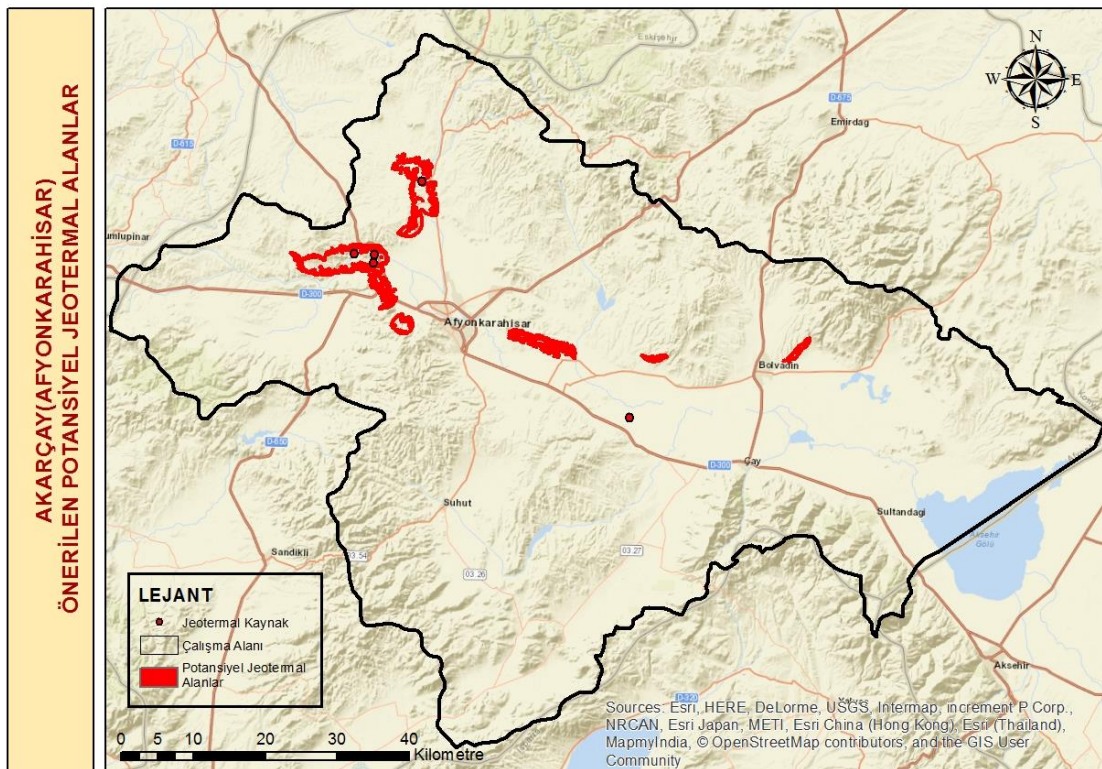
Jeotermal Alanlar	Ömer	Gecek	Kızık	Uyuz	Gazlıgöl	Heybeli	Ortalama
Değer*100	91.8	95.0	95.8	93.4	91.1	97.5	94.1

Çizelge 5.11’deki sonuçlara göre, 0.05 ile 1 değerleri arasında değişim gösteren, karşılaştırma için hazırlanmış haritada jeotermal kaynakların konumu ortalama 0.94 değerindedir.

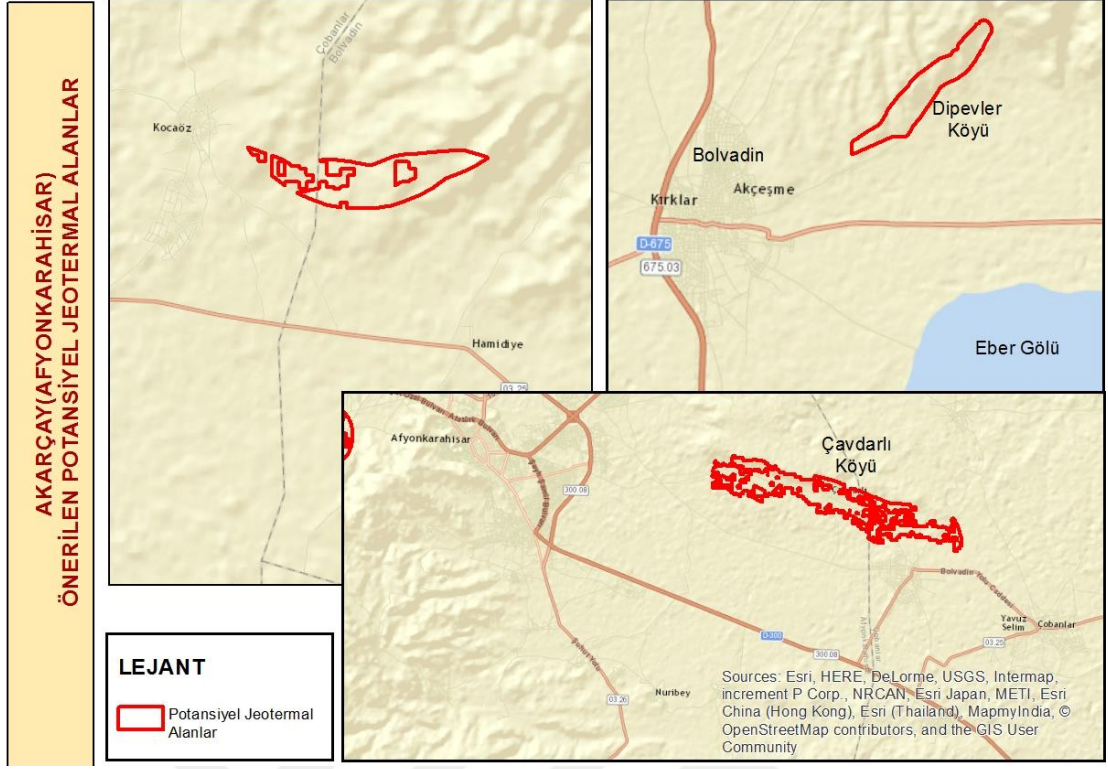
5.6 UA ile CBS-ÇÖKA Sonuçlarının Değerlendirilmesi

UA ve CBS-ÇÖKA ile üretilen potansiyel alanlar bindirme analizi ile birleştirilmesi, tek başına kullanılması uygun olmayan ve UA ile geniş alanlara yayılan potansiyel alanların etkin bir şekilde kullanımına ve CBS-ÇÖKA ile belirlenen alanlarda ise hedefin daraltılması konularında yarar sağlamaktadır. Sonuç olarak yapılan birdirme analizi iki yöntemle elde edilen sonuçlar için fayda sağlamaktadır. Şekil 5.18’de UA ve CBS-ÇÖKA ile üretilen potansiyel alanlar bindirme analizi ile birleştirilmiş sonuç öneri alanlarını göstermektedir.

Çalışma sonucunda mevcut jeotermal alanlardan farklı olarak 3 adet yeni potansiyel jeotermal alan önerilmektedir. Bunlar, Bolvadin Dipevler Köyü civarı, Bolvadin Hamidiye Köyü ve Çobanlar Kocaöz Köyü arası, Afyonkarahisar Çavdarlı Köyü civarıdır.



Şekil 5. 18 Akarçay (Afyonkarahisar) Önerilen Potansiyel Jeotermal Alanlar



Şekil 5. 19 Akarçay (Afyonkarahisar) Önerilen Alternatif Jeotermal Sahalar

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz dünyasında yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin artması, yenilenebilir enerji kaynakları arama çalışmalarının öneminin artmasına sebep olmuş ve arama çalışmalarını hızlandırmıştır. Jeotermal enerji deprem kuşakları üzerinde yer aldığından, jeotermal potansiyel bakımından dünyada önemli bir yere sahiptir. Özellikle Türkiye'nin batı kısmında jeotermal kaynaklar oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Ege Bölgesinde yer alan Afyonkarahisar jeotermal kaynakların değerlendirilmesi açısından Türkiye'de en önemli illerdendir. Özellikle termal turizmi, balneojeolojik uygulamalarda Türkiye'de ilk sıralarda gelmekte olup hızla gelişimini devam ettirmektedir. İl genelinde yaklaşık 9 bin konut jeotermal enerji ile ısınmakta olup, çok sayıda termal otel ve tedavi merkezleri bulunmaktadır.

Literatürde jeotermal kaynakların aranmasına yönelik çok fazla yöntem bulunmakta olup CBS ve UA teknikleri bu alanda gözde yöntemlerdendir. Ancak UA ve CBS tekniklerini birarada kullanılan yok denecek kadar az çalışma vardır. Bu tez çalışmasında CBS ve UA teknikleri birlikte kullanılmış ve sonuçlar iki tekniğin ürünlerinin sentezlenmesi ile elde edilmiştir.

UA ile potansiyel jeotermal alanların belirlenmesinde, yer yüzey sıcaklığı anomalilerinin belirlenmesi, mineral alterasyon zonlarının belirlenmesi ve çizgisellik belirleme çalışmaları yapılmaktadır. Çalışmada UA teknikleri ile mineral alterasyon zonları ve yer yüzey sıcaklığı anomalileri belirlenmiştir.

Yer yüzey sıcaklığı gün içinde sürekli değişimler gösterebilen bir olgudur. Bu yüzden anomalilerin belirlenebilmesi için aynı anda geniş alanlara ait yer yüzeyi sıcaklık

bilgilerinin elde edilmesi gerekmektedir. UA ile bu koşul sağlanabilmekte ve UA teknikleri ile yer yüzey sıcaklığı anomalisine dair önemli sonuçlar elde edilebilmektedir.

UA ile yer yüzeyi sıcaklık belirleme çalışmalarında termal bantları bulunan uydu görüntüleri ya da hava kameraları kullanılabilir. Hava kameralarının kullanılması çözünürlük açısından uygundur fakat maliyetli ve çerçevelerin uydu görüntülerinde olduğu kadar geniş alanları kapsamaması dezavantajdır. Uydu görüntülerinden TIR algılayıcısı bulunan çözünürlüğü yüksek olan güncel uydu verileri Landsat-7, Landsat-8, ASTER verileri bulunmaktadır.

Landsat-7, Landsat-8 ve ASTER karşılaştırıldığında; mekansal çözünürlük Landsat-7'de 60m, Landsat-8 ve ve ASTER'de 90m'dir. TIR algılayıcılarına bakıldığında ASTER'de 5 adet, Landsat 7'de 1 adet, Landsat 8'de 2 adet TIR bandı bulunmaktadır. Yüzey sıcaklık belirleme çalışmalarında, yayınlılık değerinin tahmini, Landsat 7 ve Landsat 8'de NDVI ya da arazi kullanımı bilgilerinden elde edilirken, ASTER'de ise beş adet TIR bant olmasından dolayı, emisivite direkt olarak tahmin edebilmektedir. Bu sayede ASTER ile daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu yüzden yer yüzey sıcaklığı anomalisini üretmek için ASTER verileri kullanılmıştır.

Yer yüzeyi gündüzün ilk saatlerinde hızlı bir şekilde ısınıp öğleden sonra başlayan ısı kaybı gece yarısı civarlarına kadar devam eder ve gece yarısından gün doğumuna kadar sabit kalmaktadır. Yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanılacak TIR verilerinin gece toplanması, topografik etkilerin değişkenliğini ortadan kaldırarak, yeraltı, jeolojik ve hidrolojik bilgileri daha sağlıklı bir şekilde sağlamaktadır.

ASTER TIR verilerinden hesaplanan yer yüzey sıcaklıklarının doğruluğu uydu geçişi ile eş zamanlı toplanan yersel ölçümler ve meteoroloji istasyonları verileri ile kontrol edilebilmektedir. Çalışmada uydu geçişi ile eş zamanlı yersel ölçümler yapılmış ve meteoroloji istasyonlarında yapılan yer yüzeyi sıcaklık ölçmeleri bilgileri elde edilmiştir. Uydu verileri ve yersel ölçümler karşılaştırıldığında, yersel ölçümlerle elde edilen sıcaklık değerleri ve ASTER'den elde edilen yer yüzeyi sıcaklık farkları, genel olarak $\pm 1,5$ derece aralığında değişmekte ve yersel ölçümlerden elde edilen sıcaklıklar daha yüksek çıkmıştır. Tüm farkların ortalaması 1,20 derece olarak belirlenmiştir.

ASTER'den ve yersel yöntemlerle elde edilen yer yüzey sıcaklıklarına ait farklılıklar, sıcaklık ölçer aletinin doğruluğu ve ASTER yer yüzey sıcaklığı hesaplamasındaki hatalardan kaynaklanabileceği gibi arazinin homojen yapıda olmamasından da kaynaklanmaktadır. Özellikle, jeotermal kuyu, göl kenarı, MGM istasyonları, yerleşim yerlerinde, ağaçlık alanlarda fark diğer bölgelere fazladır. Jeotermal kuyu, MGM istasyonları, yerleşim yerlerinin farklı olmasının nedeni, ASTER uydu görüntüsünün 90x90 metre karelik alanı kapsaması ve kapsadığı alanın homojen olmamasıdır. Jeotermal kuyunun etrafındaki hamam ev, yol vb. objeler piksele ait sıcaklığın değişimine neden olmaktadır. Aynı şekilde yerleşim yerlerindeki park, toprak, çim vs. pikselin kapsadığı alandaki farklılıklar sıcaklıkları değiştirmektedir.

Hava sıcaklıkları 1000 metrede yaklaşık 6 derece yani her 150 metrede 1 derece azalmaktadır. Ancak 150 metre genel bir kabul olup yer ve zamana göre bu değerler 50m'de bir derece ya da 300 metrede 1 derece gibi değerler olabilmektedir. Benzer şekilde yer yüzey sıcaklıkları da yükseklik arttıkça yüksekliğe ve hava sıcaklığına bağlı olarak düşmektedir. Ravinsonde verileri yüksekliklere bağlı olarak, değişen hava sıcaklıkları dahil diğer meteorolojik bilgiler (hava nemi, rüzgar, basınç) vermektedir. Çalışmada ravinsonde verileri kullanılarak yükseklik etkisinin minimize edilmesi için iki yaklaşımda bulunulmuştur.

İlk yaklaşımda oluşturulan SYM kullanılarak, deniz seviyesinden tüm yüksekliklere göre değişen hava sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Bu değişimler yer yüzey sıcaklıklarına ait piksellerin lokasyonlarındaki yükseklik değerleri SYM'den belirlenmiştir. Piksel yüksekliklerindeki, deniz seviyesinden sıcaklık değişimi belirlenerek, piksel sıcaklığına eklenmiştir. Böylece yer yüzey sıcaklığı içeren tüm pikseller dolayısıyla tüm harita deniz seviyesindeki sıcaklıklara indirgenmiştir. İlk yaklaşımda sonuç olarak yüksek bölgeler yüksek, düşük bölgeler ise düşük sıcaklığa sahip ve doğru sonuçlar üretilmemiştir. Bunun nedeni hava sıcaklığı değişimlerinin direkt olarak yer yüzey sıcaklıklarına eklenmesidir.

İkinci yaklaşımda ravinsonde verileri kullanılarak çalışma alanının en düşük kotundan itibaren 1 derece bir değişen yükseklik değerleri belirlenmiş. Bu değerler kullanılarak yükseklik sınıfları oluşturulmuş ve yer yüzey sıcaklığı anomalileri her yükseklik sınıfında

ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yükseklik sınıflarına göre oluşturulan yer yüzey sıcaklığı anomali haritası incelendiğinde, her yükseklik kuşağındaki sıcaklık değişimleri ayrı ayrı değerlendirilmiş olup sıcaklık dağılımları incelendiğinde hem yüksek hem de düşük kotlu bölgelerde sıcaklık anomalisi yakalanmıştır. Bu yüzden uygulamada ikinci yaklaşımdaki sonuçlar kullanılmıştır.

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

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

UA ile mineral alterasyon zonlarının belirlenmesinde SWIR bantları bulunan multispektral ya da hiperspektral uydu görüntüleri kullanılmalıdır. Çünkü mineral ayrımları SWIR bantlarında netleşmektedir. Bu şartları sağlayan yüksek mekansal çözünürlüğe sahip, Landsat-7, Landsat-8, ASTER ve Hyperion görüntüleri kullanılabilmektedir. ASTER’de 6 adet SWIR bandının bulunmasına karşın, Landsat 7 ve Landsat 8’de SWIR bantları 2 tanedir. Hyperion’da ise SWIR bölgesinde yaklaşık 170 bant bulunmaktadır. Dört algılayıcının da mekânsal çözünürlükleri 30 metre olup fark yoktur.

Sınıflandırmalarda, Hyperion ve ASTER’den üretilen litolojik bilgiler çoğunlukla benzerlik göstermesi, Hyperion’da bozuk bantların bulunması ve tarama genişliğinin çok küçük olmasından dolayı geniş alanlarda yapılan litolojik ve minerolojik çalışmalarda ASTER kullanımı daha uygun olmaktadır. Bu yüzden mineral alterasyon zonlarının belirlenmesinde ASTER algılayıcısına ait veriler kullanılması uygun görülmüştür.

ASTER uydu verileriyle mineral alterasyon zonlarının tayini için, renk kompoziti, bant oranlama, Crosta Tekniği ve SAH yöntemleri en çok kullanılan yöntemlerdendir. Renk

kompoziti tekniği alterasyon zonlarının görsel yorumlamaya dayalı kabaca yerlerinin belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Alterasyon minerallerinin ayrıntılı ve hassas biçimde belirlenmesi için etkin bir yöntem değildir. Bant oranlama tekniği ise alterasyonlarının tayini için faydalı sonuçlar üretebilmektedir. Ancak alterasyon minerallerine ait ayrıntılı ve hassas sonuçlar SAH ve Crosta tekniği ile retilenmektedir. Bunun nedeni ikisinde de minerallere ait ön bilgiler kullanılabilmektedir.

Crosta tekniği ile SAH karşılaştırıldığında, iki yöntem de ön bilgiler ile hassas ayrıntılı alterasyon minerallerinin belirlenmesi için uygun görülmektedir. İki yöntemde de kullanılan 7 mineralin belirlendiği bölgeler incelendiğinde, iki yöntemde de mineraller benzer konumlarda belirlenmiştir. Ayrıca aynı konumda ve birbirini tamamlayan şekilde belirlenen alanlar da oldukça fazladır. Temel olarak, Crosta yönteminin doğruluğu seçilecek eşik değere, SAH yönteminin doğruluğu ise seçilecek spektral aı eşik değerine bağlıdır.

Spektroradyometre ile çalışma alanında genelde karışım halde bulunan minerallere ait spektral imzalar oluşturulabilmektedir. Spektral imzalarla spektral kütüphane oluşturulup, bu bilgilere dayanarak kontrollü sınıflandırma yapılabilir. Ayrıca rnek alınan konumlarda sınıflandırma sonuçları karşılaştırılarak sınıflandırma doğruluğu hakkında bilgiler edinilebilir. Çalışmada 31 adet karışım halinde bulunan alterasyon minerallerinin spektral imzaları ile birlikte sınıflandırma yapılmıştır. SAH ile yapılan sınıflandırma sonrasında, sınıflandırma için kullanılan 31 örneğe konumlar incelendiğinde sınıflandırılan alanlar içerisinde olduğu görülmüştür.

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

Bölgede alterasyonların varlığı, bu zonlarla birlikte yakınlarında da jeotermal varlığının göstergesidir. Literatür incelendiğinde hidrotermal alterasyon zonlarından potansiyel jeotermal alanların belirlenmesi için, yakınlık analizi yapılarak belirli bir tampon bölge sınırı belirlenmektedir. Çalışmada tampon bölge analizi yapılarak alterasyon zonlarına 2000 m yakınlıkta bulunan alanlar, potansiyel jeotermal alan olarak önerilmiştir.

UA ile belirlenen hidrotermal alterasyon zonları ve alterasyon zonlarına yakınlık olarak üretilen potansiyel jeotermal alanlar çalışma alanında geniş bir yer kaplamaktadır. Bunun temel nedeni tampon bölge analizi ile hidrotermal alterasyon zonlarının genişletilmesidir. Bu yüzden sadece hidrotermal alterasyon zonları ile potansiyel jeotermal alanların belirlenmesi keşif için hedef alanlar üretmemiştir.

UA ile yapılan çalışmalarda, yerleşim alanları, bitki örtüsü, sulak alanlar ve insan yapımı diğer objeler araziye örtmekte bu yüzden bu alanlara ait doğru sonuçlar elde edilememektedir. Bu yüzden bu tip detayların çalışma alanından çıkarılması gerekmektedir.

CBS-ÇÖKA, jeotermal keşiflerin ilk aşamasında fizibilite çalışması olarak kullanılmaktadır. Araştırma yapılacak alan sınırlarını belirleyerek, jeofiziksel ve jeokimyasal yöntemlerin uygulanmasına ve keşif sondajlarının yapılmasına öncülük eder.

CBS-ÇÖKA'da karar vericilerin kritik süreçlerde olaya müdahale edebilmeleri ÇÖKA'yı üstün diğer klasik analizlerden üstün kılmaktadır. CBS-ÇÖKA'da karar vericiler ölçütlerin belirlenmesi ve ölçütlerin ağırlıklandırılmasında belirleyici rol oynamaktadır. Ölçütlerin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması sübjektif bir konu olup karar vericilerin tercihlerine bağlıdır. Bu yüzden karar vericilere ve çalışma alanı özelliklerine göre değişebilmektedir.

Keşif çalışmalarında, öncelikle jeotermal kaynakların yüzey belirteci olan, jeotermal kaynaklar, çamur volkanları ve gayzerler, hidrotermal alterasyonlar ile traverten, silis, civa, borat, limonit vb genç çökelimlerdir. Araştırma yapılan bölgedeki silisli sinter ve travertenlerin varlığı, daha önce bir jeotermal sistemin varlığını göstermektedir. Bu yüzden jeotermal formasyon göstergelerine yakınlık ölçütü seçilmiştir.

Jeotermal kaynak araştırmalarında en önemli belirteç faylardır. Dünya’da ve ülkemizdeki jeotermal kaynaklar fay hatlarının yakınlarında kümelenmiştir. Jeotermal sistem içindeki akışkanların yüzeye çıkmaları faylar sayesinde sağlanmakta olduğundan fay hatlarına yakınlık ölçütü seçilmiştir.

Mevcut jeotermal kaynaklar ve diğer jeotermal yüzey bulguları yeraltında bir ısı kaynağının varlığını kuvvetle belirttiğı için, jeotermal kaynaklara yakınlık ölçütü seçilmiştir.

Jeotermal kaynak araştırmalarında da kullanılabilir. Meteorik suların jeotermal ısıtıcıya ulaşp beslenmesi yönünden drenaj yoğunluğu büyük önem arz etmekte olup drenaj yoğunluğu ölçütü seçilmiştir.

Magmatik kayaçlar, geçirimsiz kayaçlar ve rezervuar kayaçlar üzerinde geliştirme ve üretim aktivitelerini etkileyen akışkan özelliklerinin tahminine yardımcı olduğu için yer yüzey sıcaklığı anomalisi ölçütü seçilmiştir.

Hidrotermal alterasyon zonlarının belirlenmesinde bitki örtüsü, yerleşim alanları ve diğer insan yapımı objeler, geniş alanlarda alterasyon zonları hakkında bilgi sahibi olmayı engellemektedir. Bu kısıtlarla birlikte, çalışma alanının tamamına ait bilgiler içermediğinden ölçüt olarak kullanılmamıştır.

Jeotermal araştırmalarında CBS araçları ile, çevresel ve yer bilimlerine ait verileri entegre biçimde yorumlama kapasitesine sahip olup, sonraki çalışmalar ve keşif sondajları için en uygun yer bilgisi gösteren sayısallaştırılmış bir yaklaşım sağlanmaktadır. Bu yaklaşımla insan ve çevreden kaynaklanan hatalar minimuma indirilmektedir. CBS ve ÇÖKA entegrasyonu ile değerlendirme ölçütlerinin birarada kullanılması ve ağırlıkların belirlenmesi ile yeterli analitik destek sağlanabilmektedir.

CBS-ÇÖKA ile üretilen potansiyel jeotermal haritasında, jeotermal kaynakların konumu incelendiğinde, jeotermal kaynakların tümü aşırı yüksek sınıf içerisinde kalmıştır. Kaynakların bulunduğu piksellere ait değerlerin 100 ile çarpılmış sonuçları 5 ile 100 değerleri arasında değişim gösteren, haritada jeotermal kaynakların konumu ortalama 94 değerindedir.

UA ve CBS-ÇÖKA ile üretilen potansiyel alanlar bindirme analizi ile birleştirilmesi, tek başına kullanılması uygun olmayan ve UA ile geniş alanlara yayılan potansiyel alanların etkin bir şekilde kullanımına ve CBS-ÇÖKA ile belirlenen alanlarda ise hedefin daraltılması konularında yarar sağlamaktadır. Sonuç olarak yapılan bindirme analizi iki yöntemle elde edilen sonuçlar için fayda sağlamaktadır.

Mineral alterasyon zonlarının belirlenmesinde, hiperspektral algılayıcıların kullanımı daha hassas sonuçlar üretmek için faydalı olacaktır. Ayrıca gravite yoğunluğu jeotermal araştırmalarda önemli bir ölçüttür. Gravite yoğunluğu değerlerinin üretilip, ölçüt olarak kullanımı ile CBS-ÇÖKA sonuçlarını iyileştirmesi beklenmektedir.

Çalışma sonucunda mevcut jeotermal alanlardan farklı olarak 3 adet yeni potansiyel jeotermal alan önerilmektedir. Bunlar, Bolvadin Dişevler Köyü civarı, Bolvadin Hamidiye Köyü ve Çobanlar Kocaöz Köyü arası, Çobanlar Çavdarlı Köyü civarındır.

UA ve CBS ile yapılan çalışmada uygulanan iş akışı ve yöntemler diğer jeotermal sahalardaki arama çalışmalarına örnek olması beklenmektedir. Çalışma sonucunda önerilen potansiyel jeotermal alanlarda, yapılacak detaylı çalışmalarla, yeni bir jeotermal saha keşfedilmesi, hem Afyonkarahisar için hem de Türkiye için jeotermal enerji potansiyeline, termal turizmine ve sağlık merkezlerinin gelişimine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2012). Enerji Raporu 2012, ISSN: 1301-6318, Ankara.
- [2] Külekçi, Ö.C., (2009). “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi”, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 1(2): 83-91.
- [3] Arslan, S., Darıcı, M ve Karahan, Ç., (2001). “Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli”, Jeotermal Enerji Semineri, http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a0819e9e2f84a52_ek.pdf Erişim tarihi:29.03.2016.
- [4] Geothermal Resources Council, Geothermal Energy, <http://www.geothermal.org/PDFs/GeoEnergy.pdf>, Erişim Tarihi: 02.04.2016.
- [5] MTA Genel Müdürlüğü, Jeotermal Kaynaklar ve Volkanik Alanlar Haritası, <http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/enerji/images/siteharitalar/2.jpg>, Erişim Tarihi: 02.04.2016.
- [6] MTA Genel Müdürlüğü, (2005). Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü, Yayın No: 201, Ankara.
- [7] Balıkesir Üniversitesi Gönen Jeotermal Enstitüsü, Türkiye’deki Jeotermal Kaynaklar, <http://jeotermal.balikesir.edu.tr/jeotermal5.php>, 06.03.1986
- [8] Kervankıran İ., (2012). “Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Enerji Kullanımı Ve Sorunları”, Marmara Coğrafya Dergisi, 25: 108-126, İstanbul.
- [9] Serpen, Ü., Aksoy, N. ve Öngür, N., (2010). “2010 Present Status Of Geothermal Energy İn Turkey”, 35. Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, 1-3 Şubat 2010, California.
- [10] Bulut, M. ve Filiz, Ş., (2005). “Bayındır Jeotermal Sahasının Hidrojeolojisi, Hidrokimyası ve İzotopik Özellikleri (İzmir, Batı Anadolu, Türkiye)”, MTA Dergisi, 131: 63-78.
- [11] Noorolahi Y., Itoi R., Fujii H. Ve Tanaka T., (2007). “GIS Model For Geothermal Resource Exploration İn Akita And Iwate Prefectures, Northern Japan”, Computers & Geosciences, 33(8): 1008–1021.

- [12] Meer, F.V.D., Hecker, C., Ruitenbeeg, F.V., Werff, H.V.D., Vijkerslooth, C.D. ve Wechsler, C., (2014). "Geologic Remote Sensing for Geothermal Exploration: A Review", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33: 255-269.
- [13] Kiratt C., Calvin W. M. ve Coolbaugh M. F., (2010). "Mineral Mapping in the Pyramid Lake Basin: Hydrothermal Alteration, Chemical Precipitates and Geothermal Energy Potential", *Remote Sensing of Environment*, 114 (2010): 2297–2304.
- [14] Yousefi H., Noorollahi Y., Ehara S., Itoi R., Yousefi A., Fujimitsu Y., Nishijima Y. ve Sasaki K., (2009). "Developing the geothermal resources map of Iran", *Geothermics*, 39 (2010): 140–151.
- [15] Çetin M., (2007). Sündiken Kütlesi'ndeki Yükselti İklim Kuşaklarının ve Orman Topluluklarının Özelliklerinin Uydu Görüntüleriyle Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Coolbaugh M. F., Kratt C., Fallacaro A., Calvin W. M., Taranik J. M., (2007). "Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA", *Remote Sensing of Environment*, 106(3): 350–359.
- [17] Gürsoy Ö., (2012). Kuzey Anadolu Fay Zunu'undaki (Erzincan-Çayırılı ile Sivas Koyulhisar Arası) Litolojik Farklılık ve Benzerliklerin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Sarı R., (2007). Altınlı Hidrotermal Alterasyonların Geliştirilmiş Landsat Tematik Haritalayıcıları ve ASTER Görüntüleriyle Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [19] Canik B., Çelik M. ve Arıgün Z., (2000). Jeotermal Enerji, A.Ü.F.F. Döner Sermaye Yayınları, Ankara.
- [20] Gupta H. ve Roy S., (2007). *Geothermal Energy: An Alternative Resource For The 21st Century*, 1. Baskı, Elsevier, Hollanda
- [21] Edwards, L. M., Chilingar, G. V., Reike III, H. H., ve Fertl, W. H., (1982). *Handbook of Geothermal Energy*, Gulf Publishing Company, Houston.
- [22] Noorollahi, Y., Itoi, Y., Fujii, H. ve Tanaka T., (2008). "GIS Integration Model For Geothermal Exploration and Well Siting", *Geothermics*, 37: 107–131.
- [23] Browne, P.R.L., (1978). "Hydrothermal alteration in active geothermal fields", *Annual Review of Earth and Planetary Science* 6, 229–250.
- [24] Harvey, C.C., Browne, P.R.L., (1991). "Mixed Layer Clay Geothermometer in the Wairakei Geothermal Field, New Zealand", *Clays and Clay Minerals* 39, 614–621.
- [25] Huenges, E., (2010). *Geothermal Energy Systems Exploration, Development, and Utilization*, Wiley, 978-3-527-40831-3, Almanya.

- [26] Gupta R.P., (2003). Remote Sensing Geology, 2. Baskı, Springer, Almanya.
- [27] Calvin, W.M., Coolbaugh, M., Kratt, C., Vaughan, R.G. ve Calvin, W., (2005). "Application of Remote Sensing Technology to Geothermal Exploration", Geological Survey of Nevada, 1083–1089.
- [28] Qin Z. ve Karnieli A., (1999). "Progress in the Remote Sensing of Land Surface Temperature and Ground Emissivity Using NOAAVHRR Data", International Journal of Remote Sensing, 20 (12): 2367-2393.
- [29] Watson K., (1975). "Geologic Applications of Thermal Infrared Images", Proceedings of the IEEE, 63(1): 128-137.
- [30] Venkateshwarlu, C., Gopal Rao, K., ve Prakash, A., (2003). "Artificial neural networks in the improvement of effective spatial resolution of thermal infrared data for improved landuse classification", URBAN-2003: Second IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, 22-23 Mayıs, Berlin, Germany.
- [31] Sabins, F.F., (1999). "Remote Sensing for Mineral Exploration", Ore Geology Reviews, 14: 157–183
- [32] Glassey, W.E., (2010). Geothermal Energy Renewable Energy and The Environment, CRC Press- Taylor & Francis Group, 978-1-4200-7570-0, Amerika.
- [33] Abrams M ve Hook S., (2003). ASTER User Handbook Version 2, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.
- [34] Yajima, T., (2014). ASTER Data Analysis Applied to Mineral Resource Exploration and Geological Mapping, Doktora Tezi, Nagoya University Doctor of Science Department of Earth and Environmental Sciences, Nagoya.
- [35] Lillesand, M. T., Kiefer, W. R. ve Chipman J. W., (2004). Remote sensing and image interpretation. 5. Baskı, John Wiley and Sons, Inc., NewYork.
- [36] Kalinowski, A ve Oliver, S., (2004). "ASTER Mineral Index Processing, Manual". Remote Sensing Application Geoscience, Australia.
- [37] Amara S.A., (2007). Spectral Remote Sensing of Hydrothermal Alteration associated with volcanogenic Massive Sulphide Deposits, Grop-Hope Area, Nabia, ITC International Institute For Geoinformation Science And Earth Observation, Yüksek Lisans Tezi, Enschede, Hollanda.
- [38] Mars, J.C. ve Rowan, L.C., (2006). "Regional Mapping of Phyllic- And Argillic-Altered Rocks in the Zagros Magmatic Arc, Iran, Using Advanced Spaceborne Thermal Emission And Reflection Radiometer (ASTER) Data and Logical Operator Algorithms", Geosphere, 2(3): 161–186.
- [39] Singh, A., ve Harrison, A., (1985). "Standardized Principal Components", International Journal of Remote Sensing, 6, 883-896.
- [40] Crosta, A.P., Filho, C.R.D.S, Azevedo, F. ve Brodie C., (2003). "Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using

- ASTER imagery and principal component analysis” , International Journal of Remote Sensing, 24(21): 4233-4240.
- [41] Arda E., (2006). Baskil (Elazığ) Granitoid Kayaçlarına Bağlı Cevherleşmeler Çevresinde Oluşan Alterasyonların Landsat 7 Tm-Etm+ Ve ASTER Uydu Görüntüleri Kullanarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [42] Pekeşin, B.F., (2005). Mineral Mapping in Oymaağaç (Beypazarı – Ankara) Granitoid By Remote Sensing Techniques, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [43] Hajibapir, G., Lotfi M., Zarifi A.Z. ve Nezafati N., (2014). “Application of Different Image Processing Techniques on ASTER and ETM+ Images for Exploration of Hydrothermal Alteration Associated with Copper Mineralizations Mapping Kerdolan Area (Eastern Azarbaijan Province-Iran)”, Open Journal of Geology, 4: 582-597.
- [44] Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., ve Goetz, A. F. H., (1993). “The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data”, Remote Sensing of Environment, 44: 145-163.
- [45] O’Sullivan, D. ve Unwin, D. J. (2010). Geographic information analysis. Hoboken: Wiley.
- [46] Chang, K. T. (2011). Introduction to Geographic Information Systems. New York: McGraw Hill.
- [47] Heywood, I., Cornelius, A. ve Carver, S., (2012). An Introduction to Geographical Information Systems. Harlow: Prentice Hall.
- [48] Malczewski, J. ve Rinner, C., (2015). Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, Springer, 978-3-540-74756-7, New York.
- [49] Bell, M. L., Hobbs, B. F., ve Ellis, H. (2003). “The use of multi-criteria decision-making methods in the integrated assessment of climate change: Implications for IA practitioners”, Socio-Economic Planning Sciences, 37(4), 289–316.
- [50] Nyerges, T. L., ve Jankowski, P. (2010). Regional and urban GIS a decision support approach. New York: Guilford.
- [51] Rinner, C. ve Malchewski, J., (2002). “Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA)”, J Geograph Syst, 4: 385–403.
- [52] Malczewski, J., (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, New York.
- [53] Keeney, R. L., ve H. Raiffa (1976). Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. New York: Wiley.
- [54] Pitz, G. F., ve McKillip J., (1984). Decision analysis for program evaluations. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

- [55] Lee, K., (2010). Flood Risk Management, [http://www.iuhr.uiowa.edu/education1/international/UK/projects_files/PROJECT\(Flood%20Risk%20Management%20Approach\).pdf](http://www.iuhr.uiowa.edu/education1/international/UK/projects_files/PROJECT(Flood%20Risk%20Management%20Approach).pdf), 07.03.2016.
- [56] Öztürk, D., (2009). CBS Tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemleri İle Sel ve Taşkın Duyarlılığının Belirlenmesi: Güney Marmara Havzası Örneği, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [57] Özcan, O. ve Musaoğlu, N., (2009). "Taşkın Risk Analizinde Hidrolojik Modelleme ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi", TUFUAB 2009 Sempozyumu, 4-6 Şubat 2009, Ankara.
- [58] Kuruüzüm, A., (2001). "Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları", Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi 2001(1):83-105.
- [59] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2008). Akarçay Havzası Koruma Eylem Planı, Ankara
- [60] MTA Konya Bölge Müdürlüğü, Afyon Civarının Jeolojisi, http://www.mta.gov.tr/v2.0/bolgeler/konya/index.php?id=afyon_bolgesel_jeoloji, Erişim Tarihi:02.04.2016
- [61] Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC), (2007). ASTER Level 2b03, 04 Data Products Specification (GDS Version) Version 1.3, http://gds.ASTER.ersdac.jp/gds_www2002/librally_e/set_lib.html, Erişim Tarihi: 07.03.2016
- [62] Zhang, X. ve Pazner, M., (2007), "Comparison of Lithologic Mapping with ASTER, Hyperion, and ETM Data in the Southeastern Chocolate Mountains, USA" Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 73(5): 555–561.
- [63] Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC), (2001). ASTER Level 1 Data Products Specification (GDS Version) Version 1.3, http://gds.ASTER.ersdac.jp/gds_www2002/librally_e/set_lib.html, 07.03.2016.
- [64] ASTER Science Office, (2009), ASTER SWIR Data Status Report, http://www.science.ASTER.ersdac.jp/t/en/about_ASTER/swir_en.pdf, 14.11.2015.
- [65] ASTER GDS WEB Sayfası, ASTER Product Guide http://gds.ASTER.ersdac.jp/gds_www2002/service_e/release_e/set_release_ecrs.html, 15.11.2015.
- [66] Software User's Guide Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC), (2003). Crosstalk Correction, http://gds.ASTER.ersdac.jp/gds_www2002/service_e/u_tools_e/cross/GUIDEED.PDF, 15.11.2015.
- [67] Warner T.A., Nellis M.D. ve Foody, G.M., (2009). The Sage Handbook of Remote Sensing, SAGE Publications Ltd., Londra.

- [68] Hexagon Geospatial, ERDAS Imagine Help - Atmospheric Corrections, <https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/en/search#!search;query=atcor;filters=version%255C2%252215.00%2522>, 15.11.2015.
- [59] F. A. Kruse, (2004). "Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH Atmospheric Corrections using Low-Altitude AVIRIS Data of Boulder, Colorado" In proceedings 13th JPL Airborne Geoscience Workshop, 31 Mart- 2 Nisan, Pasadena, Amerika.
- [70] Exelis Visual Information Solutions, Using Envi - Flaash Background, <http://www.exelisvis.com/docs/backgroundflaash.html>, Erişim Tarihi: 11.12.2015.
- [71] Exelis Visual Information Solutions, Using Envi - Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH), <http://www.exelisvis.com/docs/flaash.html>, Erişim Tarihi: 11.12.2015.
- [72] Exelis Visual Information Solutions, Using Envi - Advance Flaash Options, <http://www.exelisvis.com/docs/FLAASHAdvancedOptions.html>, Erişim Tarihi: 11.12.2015.
- [73] Meteoroloji Genel M¼d¼rl¼ę¼ WEB Sayfası, Ravinsonde Rasatları, <http://www.mgm.gov.tr/genel/ss.aspx?s=ravinsonde>, Erişim Tarihi: 20.06.2015.
- [74] Harita Genel Komutanlığı 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 ¼lęekli Kartografik Vektör Harita Veri Sözl¼ę¼ http://www.hgk.msb.gov.tr/urunler/veri_sozlugu_25-50-100.pdf.
- [75] Erdoğan, M., (2007). Veri Tür¼ Kalitesi ve Üretim Yöntemine Göre SYM Standartlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼, İstanbul.
- [76] ArcGIS Resource Center ArcGIS 10.0 Help, How Fill works, http://help.arcgis.com/EN/ARCGISDESKTOP/10.0/HELP/index.html#/How_Fill_works/009z00000061000000/, Erişim Tarihi: 04.04.2016.
- [77] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, ř. ve Elmacı, H., (2011), 1:250.000 ¼lęekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Afyon (NJ 36-5) Paftası, Seri No:16, Maden Tetkik ve Arama Genel M¼d¼rl¼ę¼, Ankara-Türkiye.
- [78] ArcGIS Resource Center ArcGIS 10.0 Help, Understanding Euclidean distance analysis, <http://help.arcgis.com/EN/ARCGISDESKTOP/10.0/HELP/index.html#/009z00000001t0000000.htm>, Erişim Tarihi: 02.04.2016.
- [79] T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Drenaj ağı ve Havzası, <http://aris.cob.gov.tr/index.php?q=node/37>, Erişim Tarihi: 04.04.2016.
- [80] ArcGIS Resource Center ArcGIS 10.0 Help, How Line Density works, http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_Line_Density_works/009z0000000120000000/, Erişim Tarihi: 02.04.2016.

- [81] WeatherOnline Ltd. - Meteorological Services, <http://www.weatheronline.co.uk>, <http://www.havaturkiye.com>, Erişim Tarihi: 12.12.2015.
- [82] Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. ve Chipman, J.W., (2008). Remote Sensing And Image Interpretation, 6. Baskı, John Wiley & Sons, Inc., New York.



TOPLANAN NUMUNELERE AİT BİLGİLER

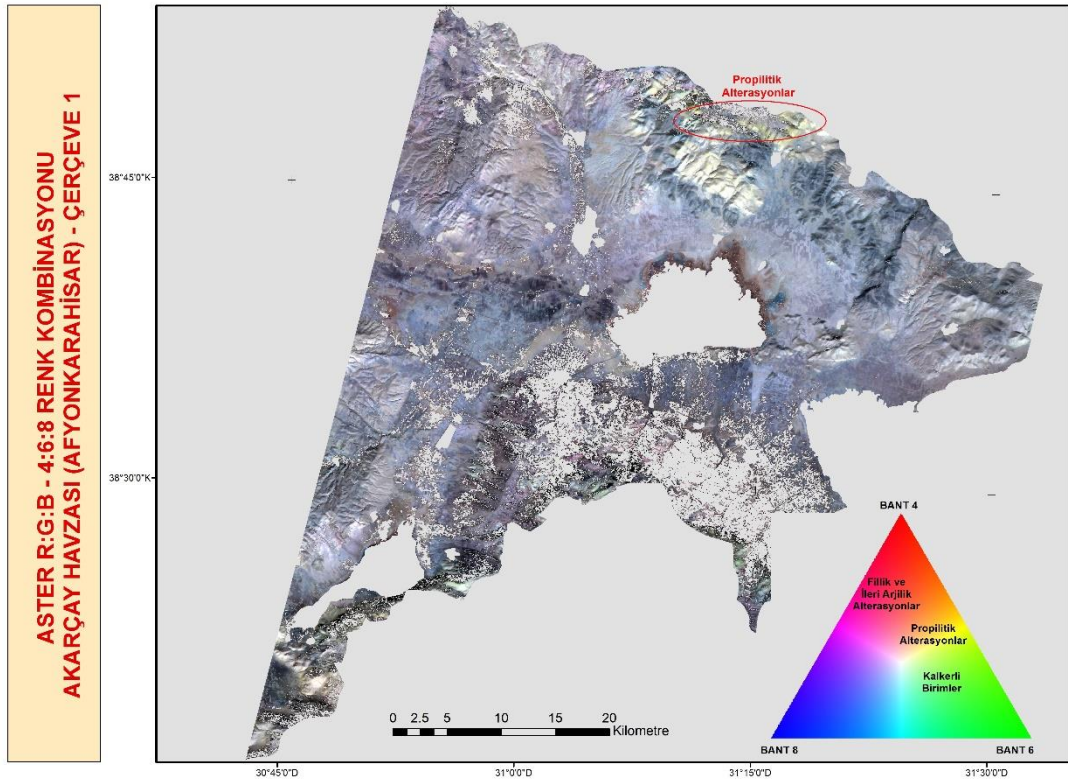
Alterasyon Zonu	Numune Kodu	Y	X	Smektit	İllit-Mika	Kaolinit	Feldspat	Opal-CT-Kristtobolit	Kuvars	Kalsit	Dolomit	Hematit	Hornblend
Bayramgazi Şistleri	1	274096.00	4302526.00			+			+	+			
	2	274096.00	4302526.00			+	+		+				
	3	274096.00	4302526.00			+	+		+	+			
	4	274096.00	4302526.00			+			+				
	5	274096.00	4302526.00			+	+		+	+			
	6	274096.00	4302526.00			+	+		+				
Köprülü Volcano-sedimanter İstifi	7	276114.00	4302424.00			+	+	+	+				
	8	275639.00	4302454.00		+	+	+	+	+	+	+		
	9	275639.00	4302454.00	+	+	+	+	+	+				
	10	276114.00	4302424.00	+			+		+	+	+		
	11	275190.00	4302194.00	+		+	+	+	+	+	+		
	12	275190.00	4302194.00	+		+	+	+	+	+	+		
	13	276850.00	4303000.00										
	14	276114.00	4302424.00	+		+			+		+		
	15			+	+		+	+	+		+		+
	16	280446.00	4305866.00	+									
	17	279753.00	4305066.00	+									
	18	277815.00	4303256.00	+	+		+	+	+	+		+	+
	19	277815.00	4303256.00	+	+		+	+			+		+
	20	277815.00	4303256.00	+	+		+	+	+		+	+	+
	21	277815.00	4303256.00	+	+		+	+	+		+		+
	22	278420.00	4303772.00	+	+		+	+	+	+			+
	23	278420.00	4303772.00	+	+		+	+	+		+		+
	24	278420.00	4303772.00		+		+	+	+				+
	25	277815.00	4303256.00	+	+		+	+	+	+			+
	26	277815.00	4303256.00	+	+		+	+	+		+		+
Köprülü Köyü	27	273028.00	4300505.00	+	+	+	+	+	+	+			
Erkmen Volkanitleri	28	279236.00	4293304.00										
	29	279236.00	4293304.00	+			+	+	+	+			
	30	279236.00	4293304.00	+			+	+		+			
	31	279236.00	4293304.00	+			+	+	+				
	32	281583.00	4292657.00			+	+		+			+	
	33			+		+	+		+				

SPEKTRODİYOMETRE VERİLERİNİN ASTER BANTLARINA ÖRNEKLENMESİ

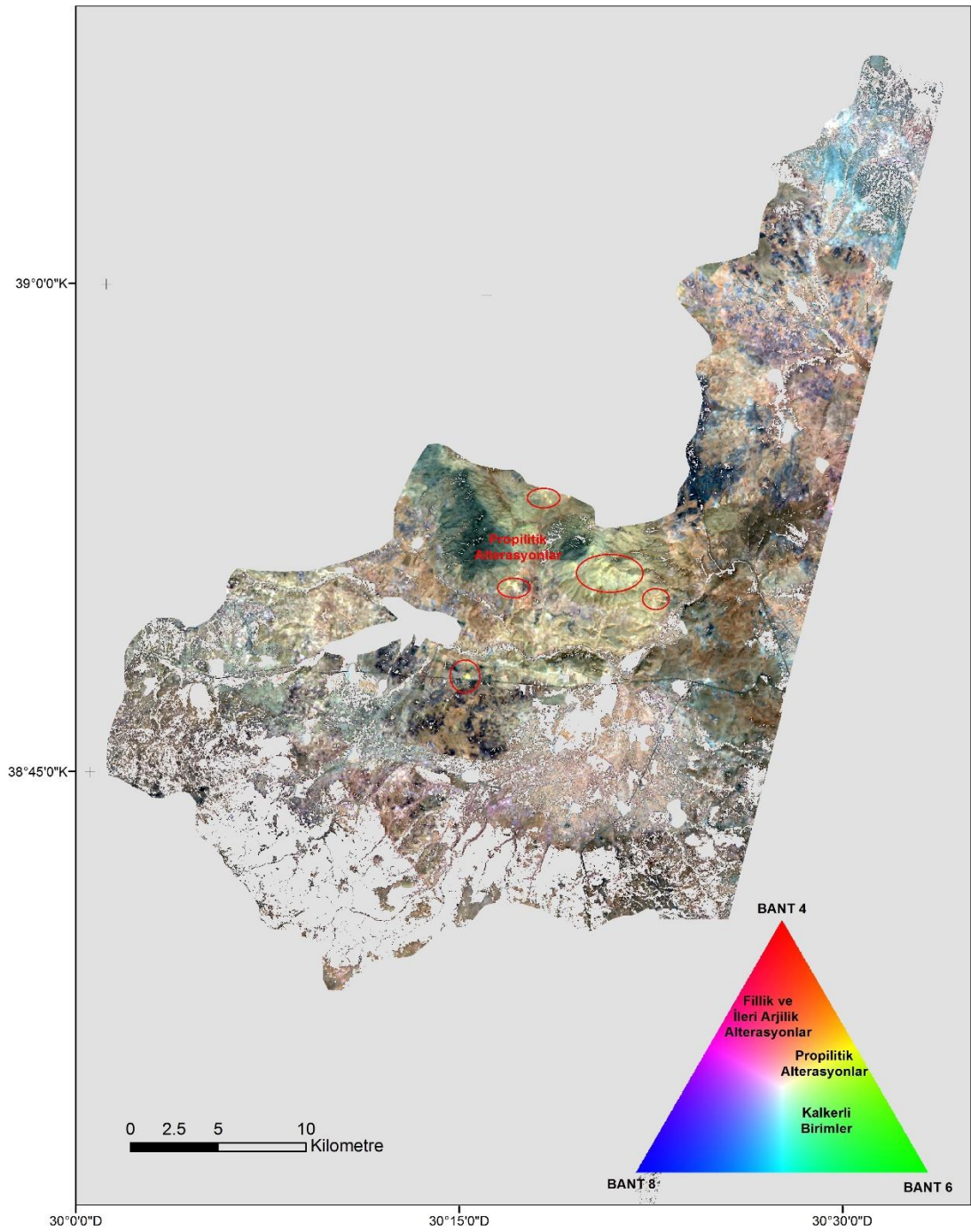
NUMUNE	1. Bant	2. Bant	3. Bant	4. Bant	5. Bant	6. Bant	7. Bant	8. Bant	9. Bant
1	0.086243917	0.118783503	0.134181228	0.244853664	0.217469348	0.196107326	0.213857721	0.202810898	0.200490247
2	0.039410015	0.037744673	0.034460272	0.036728212	0.032509102	0.031225270	0.031285965	0.031285416	0.031644518
3	0.073354132	0.083722369	0.085883741	0.122178545	0.090413382	0.080899865	0.093276646	0.086231525	0.082390125
4	0.044473906	0.054822188	0.057668998	0.122538083	0.092119537	0.081108203	0.093002157	0.087187953	0.083131658
5	0.054506008	0.063739670	0.067158842	0.097988727	0.080690377	0.072482166	0.079361751	0.075316736	0.072528316
6	0.129635871	0.134912400	0.134477596	0.180730658	0.137387147	0.121603011	0.141250784	0.130294006	0.124992127
7	0.147775093	0.171805497	0.198319807	0.280627907	0.205261165	0.189829315	0.207767654	0.198144122	0.189238890
8	0.081845189	0.084320370	0.087118542	0.127895780	0.096994912	0.089242666	0.099701276	0.093861225	0.090493728
9	0.124700399	0.134114495	0.138983872	0.210660758	0.168462690	0.153707556	0.165269803	0.158239678	0.150408917
10	0.091914576	0.092107727	0.090857824	0.126285898	0.106173833	0.089072696	0.093378357	0.084455884	0.071724655
11	0.042963854	0.055380828	0.059057593	0.115102051	0.096374934	0.087925786	0.084920211	0.081198150	0.073086437
12	0.184275820	0.190744185	0.199304659	0.236872195	0.197789672	0.169348915	0.183601033	0.165967820	0.142018154
13	0.102980304	0.106588836	0.111026289	0.159257860	0.140739599	0.125363915	0.124916267	0.118790566	0.106379039
14	0.291514771	0.310089501	0.335714347	0.342237648	0.207352702	0.180361722	0.197467133	0.180374019	0.157180527
15	0.042287498	0.047705341	0.051091365	0.073249918	0.067482811	0.061708705	0.061161950	0.059516039	0.054445061
16	0.044029779	0.053798701	0.058130568	0.074073810	0.070145229	0.067632028	0.067145157	0.068349883	0.069792474
17	0.145582812	0.162743712	0.174667965	0.225710426	0.186842750	0.161691885	0.164213124	0.151106343	0.125993208
18	0.102063085	0.107993608	0.109593562	0.136712968	0.132194186	0.125471399	0.124064105	0.124019554	0.119308889
19	0.078380007	0.077529418	0.076103222	0.098532197	0.092676897	0.085223945	0.086344838	0.085523863	0.081087444
20	0.135424581	0.141226152	0.141843274	0.174492376	0.172402363	0.160543306	0.158991328	0.156802542	0.148659750
21	0.144764684	0.144852218	0.140304931	0.152813568	0.153554127	0.148185889	0.146544616	0.149848747	0.150656598
22	0.083870676	0.089044194	0.091213424	0.131111358	0.127728222	0.119520453	0.117174168	0.116630485	0.112579402
23	0.113551228	0.118518567	0.120297480	0.161977093	0.153576034	0.144525207	0.142259537	0.140945341	0.135514197
24	0.063852000	0.068221155	0.070400331	0.104123021	0.107255530	0.101069502	0.099118185	0.102153273	0.102261038
25	0.081210177	0.087584683	0.090659401	0.105239394	0.103470934	0.098369115	0.097632432	0.098151144	0.095825957
26	0.161249186	0.175256434	0.181539552	0.235470112	0.240942781	0.226335919	0.225085265	0.224555639	0.216134297
27	0.180295045	0.189673264	0.188476424	0.212014578	0.200631336	0.183976205	0.185277108	0.180380034	0.166885516
28	0.224906279	0.224709794	0.219832992	0.216479461	0.191000245	0.176872895	0.183328926	0.178989971	0.172488550
29	0.131798071	0.139166638	0.144995004	0.186428294	0.135723711	0.116888272	0.117988818	0.111254212	0.096221942
30	0.230607623	0.277672474	0.326297292	0.354549989	0.231962607	0.192000771	0.212069058	0.188565589	0.156445711
31	0.081719579	0.100077996	0.098047527	0.140512248	0.105142777	0.094806482	0.094727534	0.089741547	0.080778197
32	0.069182813	0.114420628	0.117378981	0.209940800	0.144633376	0.128929999	0.128046361	0.121926339	0.106964209
33	0.140874211	0.159677327	0.154556888	0.216370804	0.156376753	0.136364901	0.141863650	0.141404554	0.129307000

RENK KOMPOZİTİ TEKNİĞİNE GÖRE BELİRLENEN ALTERASYONLAR

C-1 Çerçeve 1

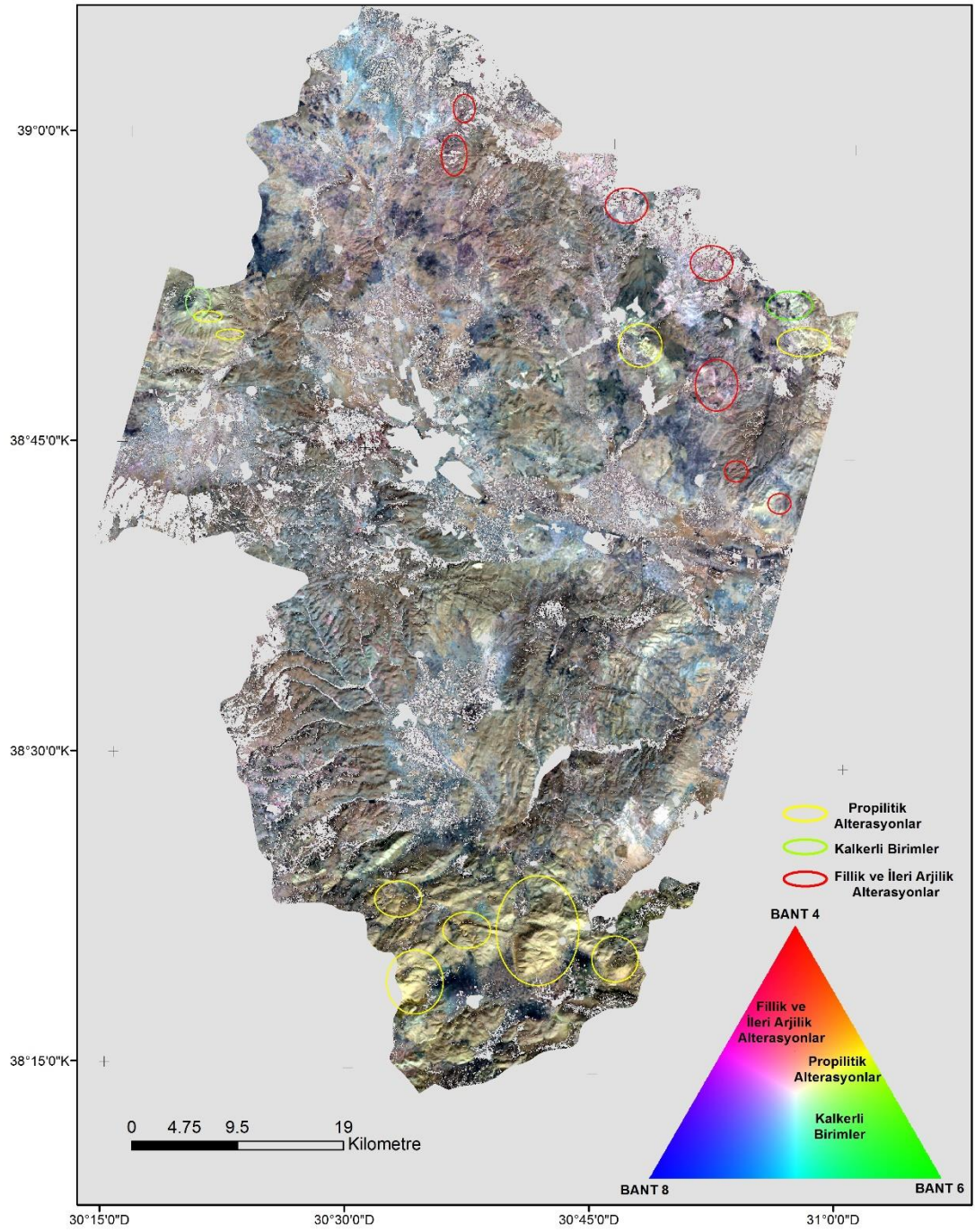


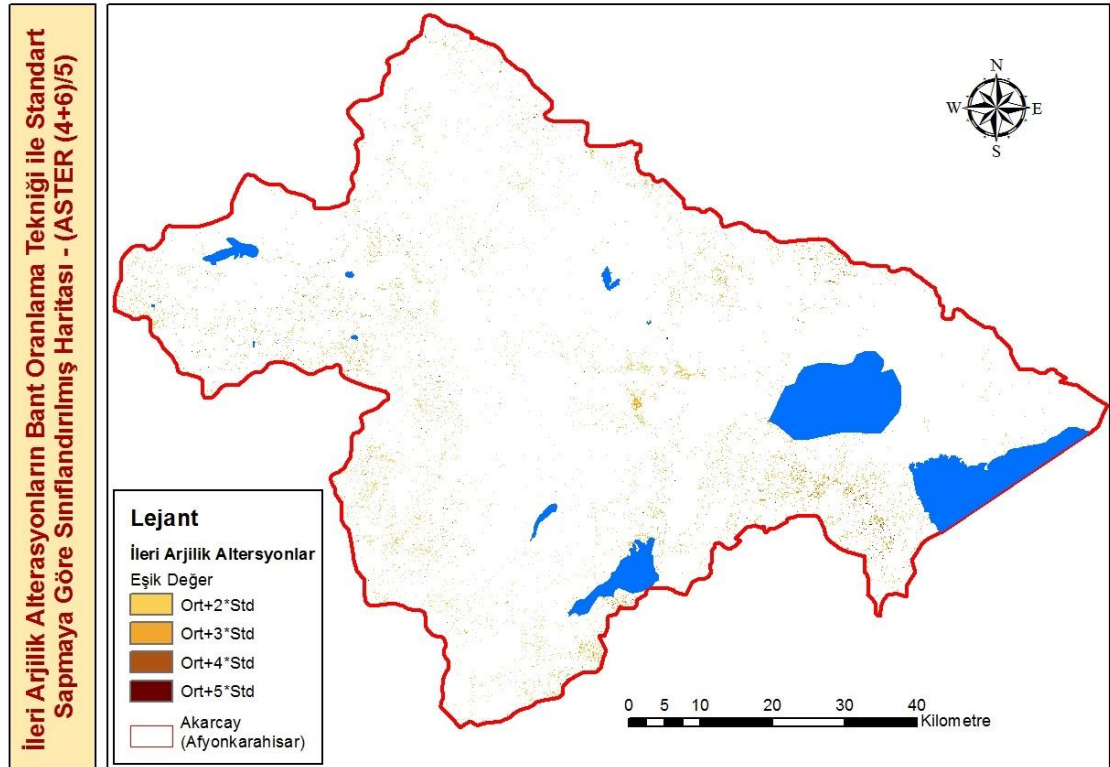
**ASTER R:G:B - 4:6:8 RENK KOMBİNASYONU
AKARÇAY HAVZASI (AFYONKARAHİSAR) - ÇERÇEVE 2**



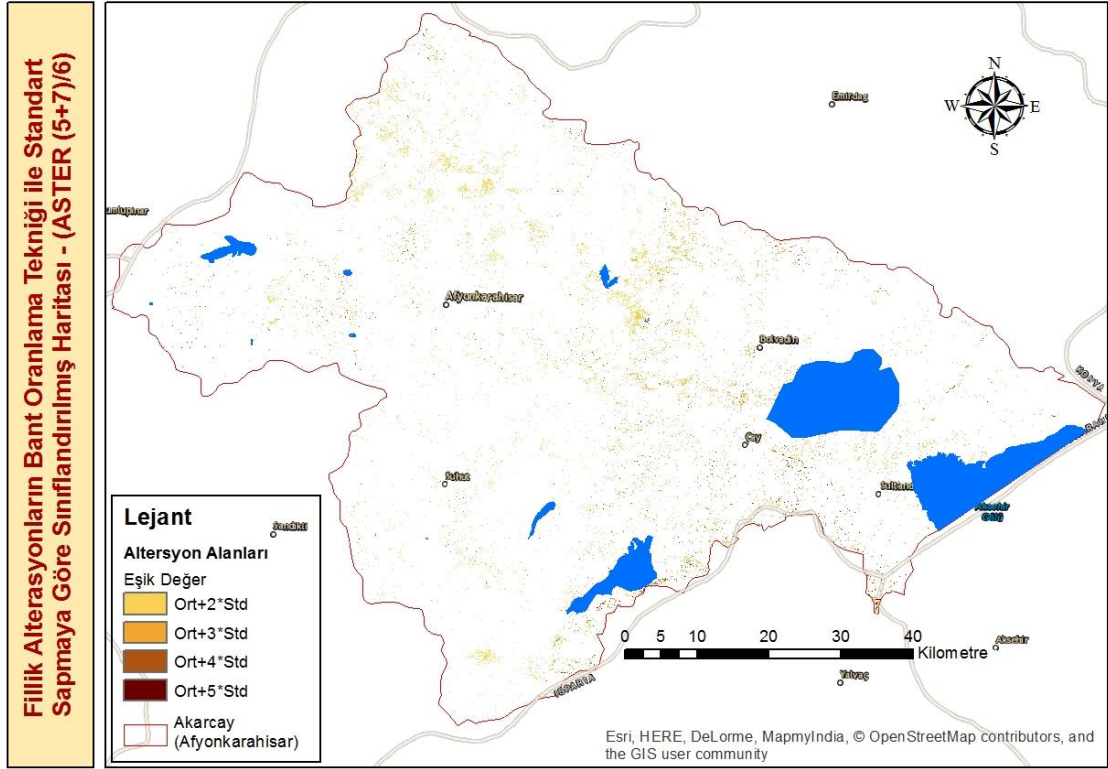
C-3 Çerçeve 3

ASTER R:G:B - 4:6:8 RENK KOMBİNASYONU AKARÇAY HAVZASI (AFYONKARAHİSAR) - ÇERÇEVE 3

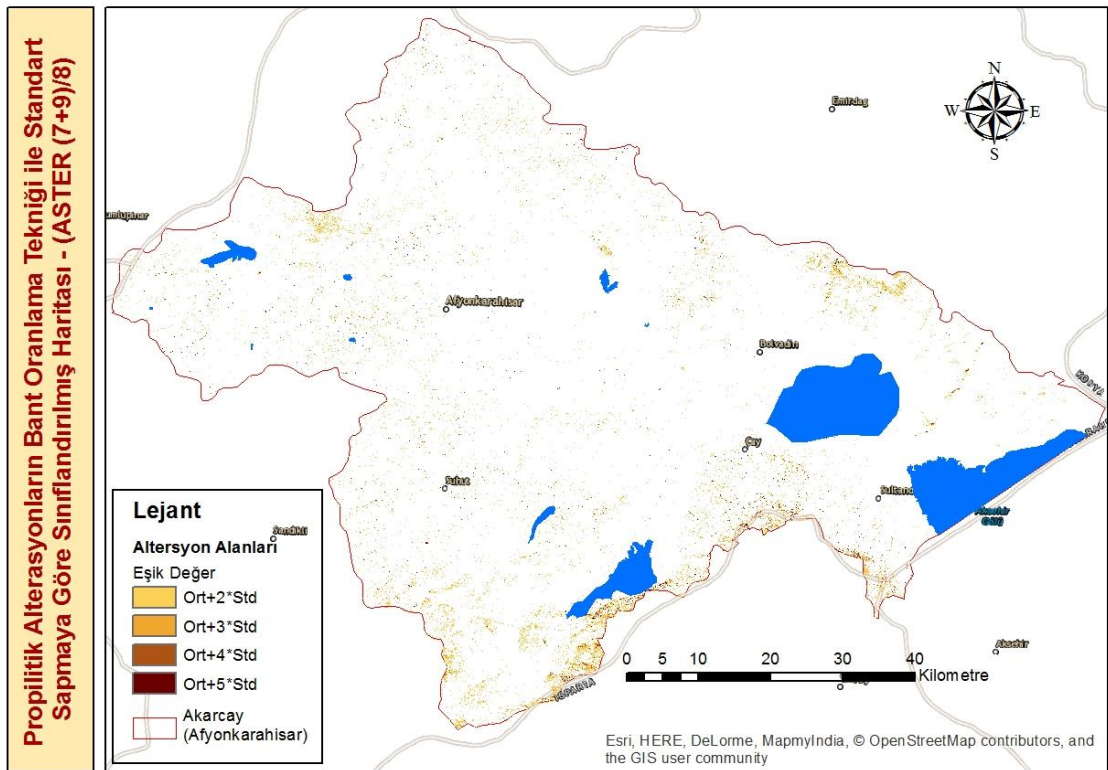


BANT ORANLAMA TEKNİĞİNE GÖRE BELİRLENEN ALTERASYONLAR**D-1 İleri Arjillik Alterasyonlar**

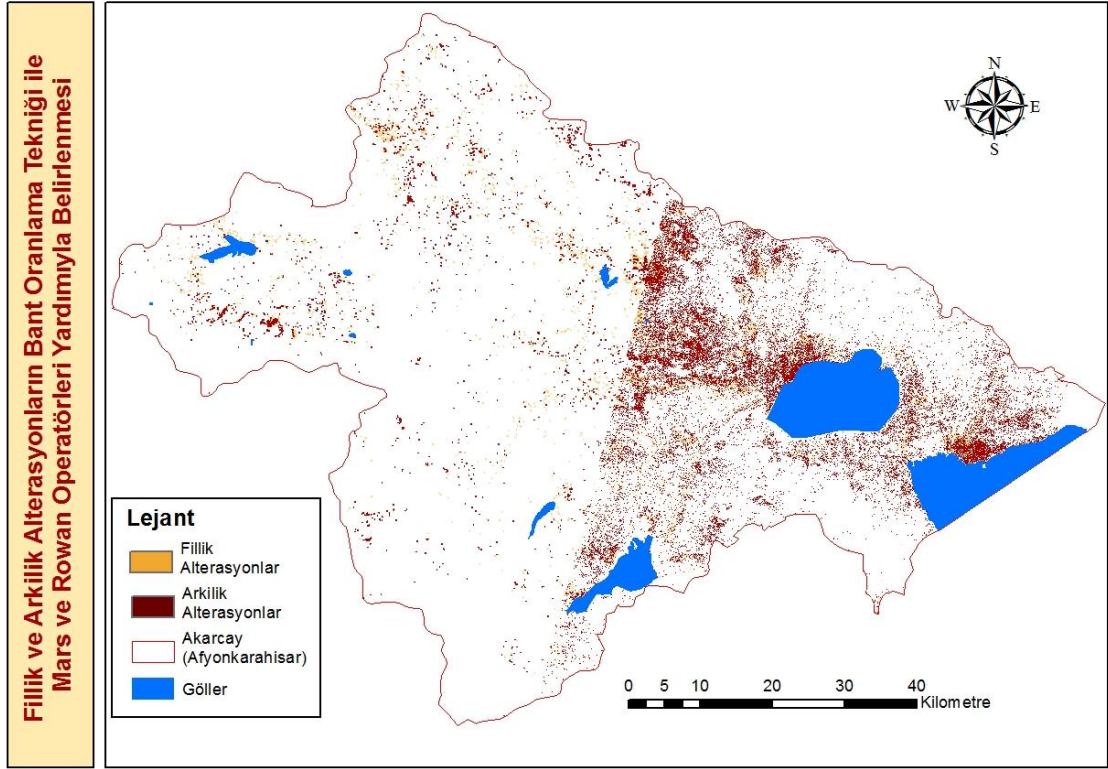
D-2 Fillik Alterasyonlar



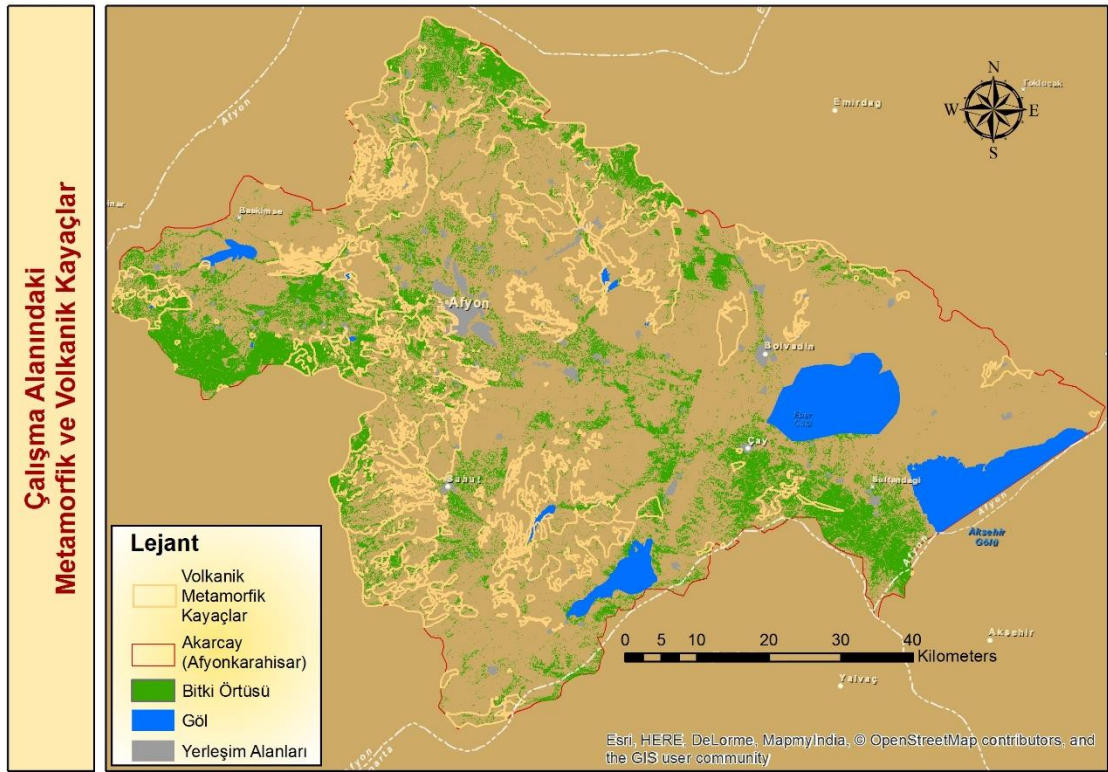
D-3 Propilitik Alterasyonlar



D-4 Fillik ve Arjillik Alterasyonlar – Mars ve Rowan



ÇALIŞMA ALANINDAKİ VOLKANİK VE METAMORFİK KAYAÇLAR



UYDU GEÇİŞ ZAMANINDAKİ YÜKSEKLİKLERE GÖRE SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ

11.9.2014				20.9.2014				29.9.2014			
Yükseklik0 m - (m)	Sıcaklık Değişimi	Yükseklik0 m - (m)	Sıcaklık Değişimi	Yükseklik 0 m - (m)	Sıcaklık Değişimi	Yükseklik0 m - (m)	Sıcaklık Değişimi	Yükseklik 0 m - (m)	Sıcaklık Değişimi	Yükseklik0 m - (m)	Sıcaklık Değişimi
46	0.0	1263	1.8	47	0.0	1247	1.5	49	0.0	1241	4.1
55	0.0	1273	1.9	56	0.0	1256	1.5	57	0.0	1250	4.2
63	0.0	1281	1.9	64	0.0	1266	1.6	66	0.0	1260	4.3
72	-0.1	1291	2.0	73	0.0	1276	1.6	74	0.1	1269	4.3
81	-0.1	1301	2.1	81	0.0	1285	1.7	83	0.1	1279	4.4
89	-0.1	1311	2.2	90	-0.2	1294	1.8	91	0.2	1288	4.5
98	-0.1	1321	2.3	99	-0.2	1304	1.9	99	0.3	1297	4.6
107	-0.2	1331	2.4	107	-0.2	1314	2.0	108	0.4	1307	4.7
116	-0.3	1340	2.5	116	-0.2	1324	2.0	116	0.4	1316	4.8
124	-0.3	1352	2.5	124	-0.2	1333	2.0	125	0.5	1326	4.8
133	-0.4	1361	2.6	133	-0.2	1342	2.1	133	0.6	1335	4.9
142	-0.4	1371	2.7	142	-0.2	1352	2.3	142	0.7	1345	5.0
151	-0.4	1381	2.8	150	-0.2	1361	2.3	151	0.7	1354	5.0
159	-0.5	1392	2.9	159	-0.1	1371	2.4	159	0.8	1364	5.1
168	-0.5	1401	3.0	168	-0.1	1380	2.5	167	0.9	1374	5.2
177	-0.6	1411	3.1	176	-0.1	1390	2.5	176	1.0	1383	5.2
186	-0.5	1421	3.1	185	-0.1	1399	2.5	184	1.0	1393	5.3
194	-0.4	1431	3.2	193	-0.1	1409	2.5	193	1.1	1402	5.4
203	-0.3	1440	3.2	202	0.0	1420	2.5	201	1.2	1412	5.4
212	-0.3	1451	3.3	211	0.0	1429	2.5	210	1.3	1421	5.5
221	-0.2	1460	3.3	220	0.1	1439	2.5	218	1.4	1431	5.6
230	-0.1	1470	3.4	228	0.1	1449	2.5	227	1.4	1441	5.6
239	-0.1	1480	3.5	237	0.2	1458	2.5	235	1.5	1450	5.7
247	0.0	1490	3.6	246	0.2	1468	2.5	244	1.5	1460	5.8
256	0.1	1501	3.7	254	0.2	1477	2.5	252	1.5	1469	5.8
265	0.1	1510	3.7	263	0.3	1487	2.6	260	1.6	1479	5.9
274	0.1	1520	3.8	272	0.3	1498	2.7	269	1.6	1489	6.0
283	0.1	1530	3.9	281	0.3	1507	2.9	278	1.6	1498	6.1
292	0.1	1541	4.0	289	0.3	1517	2.9	287	1.6	1508	6.1
301	0.2	1551	4.1	298	0.3	1528	2.9	295	1.6	1518	6.2
309	0.2	1561	4.1	307	0.2	1536	3.0	304	1.7	1527	6.3
318	0.2	1571	4.2	316	0.2	1546	3.1	312	1.7	1537	6.4
327	0.2	1581	4.3	324	0.2	1557	3.2	321	1.7	1547	6.5
336	0.2	1591	4.3	333	0.2	1566	3.2	330	1.8	1556	6.6
345	0.2	1601	4.4	342	0.1	1577	3.2	338	1.8	1566	6.6
354	0.2	1612	4.4	351	0.1	1586	3.3	347	1.9	1576	6.7
363	0.2	1622	4.5	360	0.2	1595	3.4	356	1.9	1586	6.8
372	0.2	1631	4.6	369	0.2	1605	3.5	364	2.0	1595	6.9
381	0.2	1642	4.7	377	0.3	1614	3.5	373	2.0	1605	7.0
390	0.2	1651	4.7	386	0.3	1624	3.6	381	2.1	1615	7.0
399	0.2	1662	4.7	395	0.4	1634	3.7	390	2.1	1625	7.1
408	0.2	1672	4.8	404	0.4	1645	3.8	399	2.1	1634	7.2
417	0.2	1683	4.9	413	0.5	1655	3.8	408	2.1	1644	7.3
426	0.2	1693	5.0	422	0.5	1665	3.9	416	2.1	1654	7.4
435	0.3	1703	5.1	431	0.6	1675	4.0	425	2.1	1664	7.5
443	0.3	1713	5.1	439	0.6	1685	4.1	434	2.1	1674	7.5
452	0.4	1723	5.2	448	0.7	1694	4.1	442	2.1	1683	7.6
461	0.4	1734	5.2	457	0.7	1705	4.2	451	2.1	1693	7.7
471	0.4	1744	5.3	466	0.7	1715	4.3	460	2.1	1703	7.8
480	0.5	1754	5.4	475	0.8	1724	4.3	469	2.1	1713	7.9
489	0.5	1765	5.4	484	0.8	1734	4.4	477	2.2	1723	8.0
498	0.5	1774	5.3	493	0.9	1744	4.5	486	2.2	1733	8.1
507	0.6	1784	5.4	502	0.9	1754	4.5	495	2.2	1742	8.2
516	0.6	1794	5.4	511	0.9	1764	4.6	504	2.3	1752	8.3
525	0.6	1805	5.5	520	1.0	1774	4.6	512	2.3	1762	8.4
535	0.7	1816	5.6	529	1.0	1785	4.7	521	2.4	1772	8.4
544	0.8	1824	5.7	538	1.0	1795	4.8	530	2.4	1782	8.5
553	0.8	1836	5.7	547	1.1	1805	4.8	539	2.5	1792	8.6
562	0.9	1846	5.8	556	1.1	1815	4.9	548	2.5	1802	8.7
571	0.9	1856	5.9	565	1.2	1824	5.0	557	2.5	1812	8.8
580	1.0	1868	6.0	574	1.2	1834	5.1	566	2.5	1822	8.8
589	1.0	1878	6.1	583	1.2	1844	5.1	574	2.4	1832	8.9
598	1.1	1887	6.2	592	1.3	1854	5.2	583	2.4	1842	9.0
608	1.2	1899	6.4	601	1.3	1864	5.4	592	2.4	1851	9.1
617	1.2	1909	6.5	610	1.4	1875	5.4	601	2.4	1861	9.1
626	1.3	1919	6.5	619	1.5	1887	5.4	610	2.4	1871	9.2
636	1.4	1930	6.6	628	1.6	1895	5.5	619	2.4	1881	9.3
645	1.4	1941	6.7	637	1.6	1905	5.5	628	2.3	1891	9.4
654	1.5	1950	6.8	646	1.7	1915	5.6	636	2.2	1901	9.5
663	1.6	1962	6.8	655	1.8	1926	5.7	645	2.1	1911	9.6
672	1.6	1971	6.8	664	1.8	1936	5.7	654	2.0	1921	9.7
681	1.7	1981	6.9	674	1.9	1945	5.7	663	1.9	1932	9.8
690	1.8	1992	7.0	683	2.0	1956	5.8	672	1.8	1942	9.9
700	1.8	2003	7.1	692	2.0	1966	5.8	681	1.7	1952	10.0
709	1.9	2014	7.2	701	2.0	1978	5.8	690	1.7	1962	10.0

718	2.0	2024	7.2	710	2.0	1987	5.9	699	1.7	1972	10.1
727	2.1	2034	7.2	719	2.0	1997	6.0	708	1.8	1982	10.2
737	2.2	2045	7.3	728	2.0	2007	6.1	717	1.8	1992	10.3
746	2.2	2056	7.4	738	2.0	2017	6.2	726	1.9	2002	10.4
755	2.3	2065	7.5	747	2.0	2027	6.3	735	1.9	2012	10.5
765	2.4	2076	7.6	756	2.0	2039	6.4	744	2.0	2022	10.6
774	2.5	2086	7.6	765	2.0	2048	6.5	753	2.0	2032	10.7
783	2.5	2098	7.6	774	2.0	2059	6.5	762	2.0	2043	10.8
792	2.6	2109	7.7	783	2.0	2069	6.5	772	2.1	2053	10.8
802	2.6	2120	7.8	793	2.0	2079	6.6	781	2.2	2063	10.9
811	2.7	2130	7.9	802	2.0	2090	6.7	790	2.2	2073	11.0
820	2.7	2141	8.0	811	1.9	2100	6.8	799	2.3	2083	11.1
830	2.7	2151	8.1	820	1.9	2111	6.9	808	2.3	2093	11.2
839	2.8	2161	8.1	830	1.9	2121	7.1	817	2.4	2104	11.2
849	2.8	2172	8.2	839	1.9	2132	7.1	826	2.4	2114	11.3
858	2.8	2182	8.4	848	1.9	2141	7.2	835	2.5	2124	11.4
867	2.9	2193	8.5	857	1.9	2151	7.3	844	2.6	2134	11.5
877	2.9	2203	8.6	867	1.9	2163	7.4	853	2.6	2144	11.5
886	2.9	2216	8.7	876	1.9	2173	7.5	862	2.7	2155	11.6
896	3.0	2225	8.7	885	1.9	2182	7.6	872	2.8	2165	11.7
898	3.0	2236	8.8	895	1.9	2195	7.7	881	2.8	2175	11.8
905	3.1	2246	8.9	904	1.9	2204	7.8	890	2.9	2185	11.9
914	3.2	2258	9.0	913	1.9	2215	7.9	899	2.9	2196	12.0
924	3.2	2269	9.1	920	1.8	2225	8.0	908	3.0	2206	12.0
933	3.3	2281	9.2	929	1.8	2235	8.1	918	3.0	2216	12.1
943	3.3	2291	9.3	938	1.8	2245	8.2	924	2.9	2227	12.2
956	3.3	2302	9.3	947	1.8	2256	8.3	933	3.0	2237	12.3
966	3.2	2312	9.4	955	1.8	2266	8.4	941	3.0	2247	12.3
975	3.0	2323	9.5	965	1.5	2277	8.5	951	3.0	2258	12.3
984	2.8	2334	9.6	974	1.4	2287	8.6	960	3.0	2268	12.3
993	2.8	2344	9.6	985	1.4	2299	8.7	969	3.0	2278	12.3
1003	2.8	2356	9.7	994	1.4	2310	8.8	978	3.0	2289	12.3
1012	2.9	2365	9.7	1002	1.5	2320	8.9	987	3.0	2299	12.3
1022	2.9	2378	9.7	1012	1.6	2330	9.0	997	3.0	2310	12.3
1032	2.8	2389	9.8	1022	1.6	2340	9.1	1007	3.0	2320	12.3
1041	2.7	2399	10.0	1031	1.6	2351	9.2	1015	3.0	2330	12.2
1049	2.6	2410	10.1	1040	1.7	2363	9.2	1024	3.0	2341	12.0
1059	2.5	2421	10.2	1049	1.7	2373	9.2	1033	3.0	2351	11.7
1068	2.4	2431	10.2	1059	1.7	2384	9.1	1043	3.0	2362	11.5
1077	2.5	2442	10.3	1068	1.7	2394	9.1	1052	3.0	2372	11.2
1087	2.5	2453	10.4	1077	1.6	2404	9.2	1061	3.0	2383	11.0
1097	2.5	2464	10.5	1086	1.4	2416	9.3	1072	2.7	2394	10.7
1107	2.5	2475	10.7	1096	1.3	2426	9.3	1082	2.8	2404	10.4
1117	2.4	2486	10.8	1105	1.2	2437	9.4	1091	2.8	2415	10.2
1126	2.2	2497	10.8	1115	1.1	2448	9.5	1100	2.9	2425	10.0
1136	2.2	2508	10.9	1124	1.0	2458	9.6	1110	3.0	2436	9.9
1146	2.1	2519	11.0	1133	1.0	2469	9.7	1119	3.0	2447	9.7
1156	2.1	2531	11.1	1143	1.0	2480	9.7	1128	3.1	2457	9.6
1165	2.0	2542	11.2	1153	1.1	2491	9.7	1138	3.2	2468	9.5
1174	2.0	2552	11.3	1162	1.2	2502	9.7	1147	3.3	2479	9.3
1184	2.0	2562	11.3	1171	1.3	2512	9.7	1156	3.3	2490	9.2
1195	2.0	2573	11.4	1180	1.3	2522	9.8	1166	3.4	2500	9.1
1204	2.0	2585	11.5	1191	1.4	2533	9.8	1175	3.5	2511	8.9
1213	2.0			1200	1.4	2544	9.9	1184	3.6	2522	8.9
1223	2.0			1209	1.4	2555	9.9	1194	3.7	2533	9.0
1233	2.0			1219	1.4	2566	9.9	1203	3.7	2544	9.0
1243	2.0			1228	1.4	2576	9.7	1213	3.8	2554	9.1
1252	1.9			1237	1.4	2587	9.6	1222	3.9	2565	9.1
								1231	4.0	2576	9.1
										2587	9.2

İKİLİ KARŞILAŞTIRMA İÇİN YAPILAN ANKET ŞABLONU

JEOTERMAL SAHALARI BELİRLEYEN ÖLÇÜTLER

1. ÖGE	2. ÖGE						
	ÖLÇÜTLER	Yer Yüzev Sıcaklığı	Aktif Faylar	Jeolojik Oluşumlar	Mevcut Kaynak ve Kuyulara Yakınlık	Drenaj Yoğunluğu - Besleme	Yağış Yoğunluğu - Besleme
	Yer Yüzev Sıcaklığı	1					
	Aktif Faylar		1				
	Jeolojik Oluşumlar			1			
	Mevcut Kaynak ve Kuyulara Yakınlık				1		
	Drenaj Yoğunluğu - Besleme					1	
	Yağış Yoğunluğu - Besleme						1

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önemli
3	1. öge 2. ögeye göre biraz daha önemli
5	1. öge 2. ögeye göre fazla önemli
7	1. öge 2. ögeye göre çok fazla önemli
9	1. öge 2. ögeye göre aşırı derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Tablodaki boşlukları, Potansiyel Jeotermal Alanları Etkileyen ölçütlerin, birbirine göre önem derecesine göre yandaki tabloya göre doldurunuz. Gerekli görülen durumlarda ara değerler kullanılabilir.

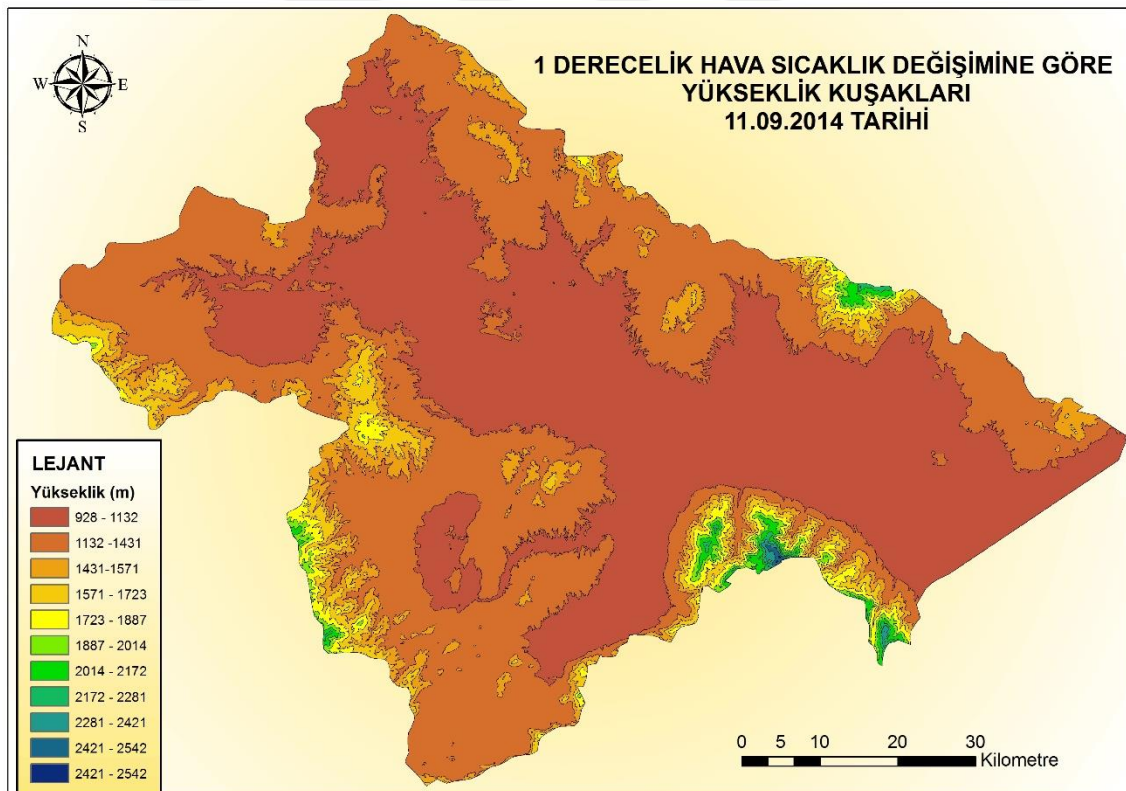
Gerekli olmadığını düşündüğünüz ölçütler:

Eklenmesini düşündüğünüz ölçütler:

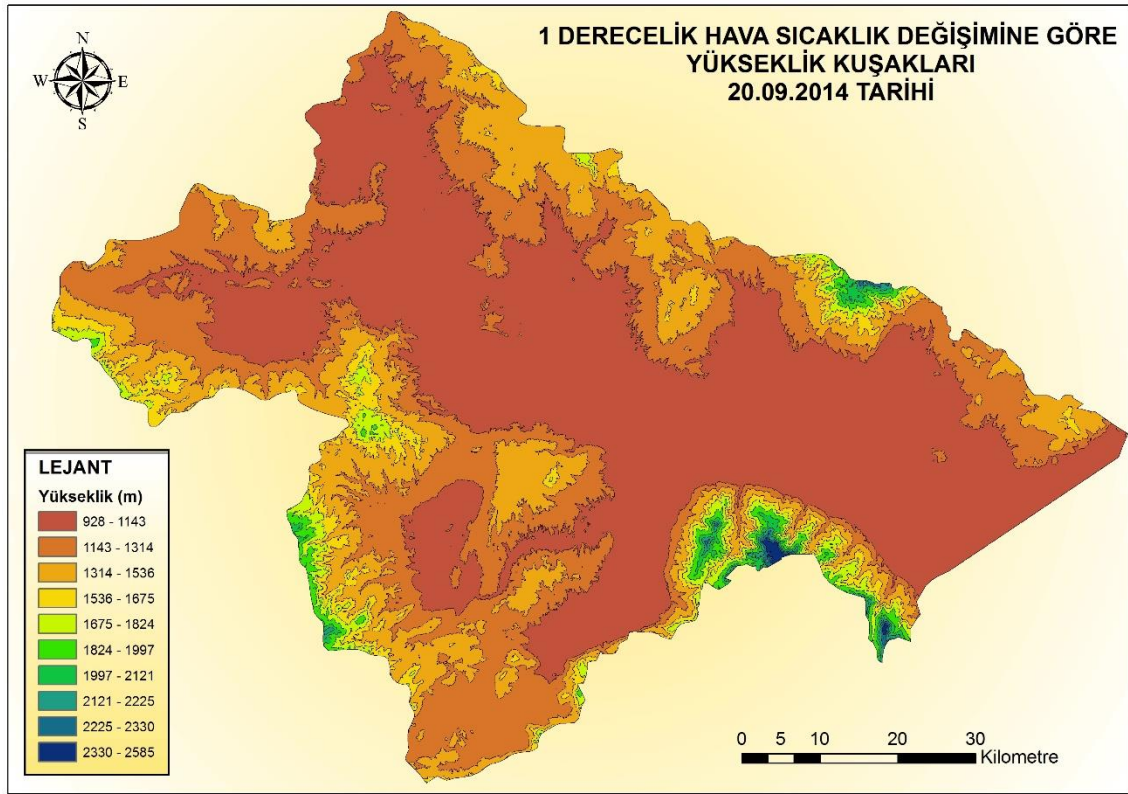
TEŞEKKÜRLER.....

1 DERECELİK HAVA SICAKLIĞI DEĞİŞİMLERİNE GÖRE YÜKSEKLİK KUŞAKLARI

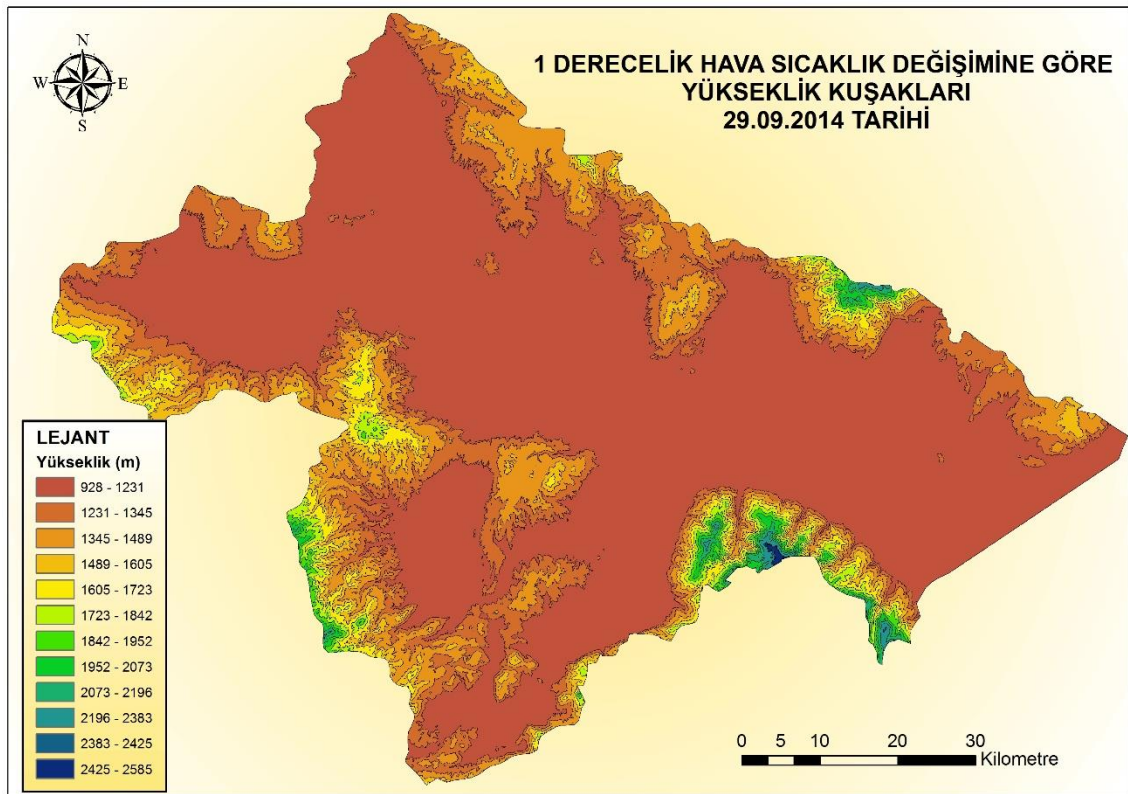
G-1 11.09.2014 TARİHLİ YÜKSEKLİK KUŞAKLARI



G-2 20.09.2014 TARİHLİ YÜKSEKLİK KUŞAKLARI



G-3 29.09.2014 TARİHLİ YÜKSEKLİK KUŞAKLARI



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa YALÇIN
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.03.1986 / Bolvadin
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mustafayalcin86@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010 –	Afyon Kocatepe Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2010 - 2010	Aksaray Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2009 - 2010	İmpek Mühendislik Ltd. Şti.	Harita Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Erdoğan, S., Yalcin, M. ve Dereli M.A., (2013). "Exploratory spatial analysis of crimes against property in Turkey", Crime Law Social Change 59 (1):63–78
2. Dereli M.A., Erdoğan S., Soysal Ö.M., Çabuk A., Uysal M., Tiryakioğlu İ., Akbulut H., DüNDAR S., Erdoğan H., Saraçlı S., Yalçın M., Güla A.E., Taşbaş M., Kantar M. ve Arslan Y., (2015). "Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Trafik Kaza Kara Nokta Belirleme: Ampirik Bayes Uygulaması", Harita Teknolojileri Dergisi, 7(2): 36-42
3. Tiryakioğlu İ., Baybura T., Özkaymak Ç., Sözbilir H., Sandıkcıoğlu A., Erdoğan S., Yılmaz İ., Uysal M., Yılmaz M., Yıldız A., Dereli M.A, Yalçın M., İbrahim D.,Yalın H. ve Ertuğrul O., (2015). "Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi". Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1): 7-16
4. Dereli M.A., Yalçın M. ve Erdoğan S., (2010). "Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı", Harita Teknolojileri Dergisi, 2010

Bildiri

1. Yalçın M. ve Kilic Gul F., (2015). "Geothermal Exploration with GIS Based Multi Criteria Decision Analysis methods: Akarcay Basin (Afyonkarahisar)", 3rd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science, 3-5 Haziran, Valencia, İspanya
2. Yalçın M. ve Kılıç Gül F., (2015). "Jeotermal Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi İle Araştırılması: Akarçay Havzası (Afyonkarahisar)", 17. Akademik Bilişim Konferansı, 2-5 Şubat 2015, Eskişehir
3. Erdoğan S., Yalcin M., Yılmaz M. ve Korkmaz Takim A., (2015). "Temporal Statistic of Traffic Accidents in Turkey". Joint International Geoinformation Conference 2015, 28-30 Kasım, Kuala Lumpur, Malezya
4. Erdoğan S., Tiryakioğlu İ., Telli A. K., Karslı H. ve Yalcin M., (2015). "Planning Of Licensed Survey And Cadastre Engineering Offices: The Case Of Turkey". World Cadastre Summit 2015, 20-24 Nisan, İstanbul.
5. Erdoğan, S., Yalçın M. ve Yılmaz M., (2015). "Ülkemizdeki Trafik Kazalarının Zamansal Değişimlerinin İncelenmesi", 17. Akademik Bilişim Konferansı, 4-6 Şubat, Eskişehir.

6. Dereli M.A., Erdoğan S., Çabuk A., Tiryakioğlu İ., Uysal M., Erdoğan H., Saraçlı S., Akbulut H., Dündar S. ve Yalçın M., (2015). "İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Kara Nokta Belirleme Çalışmaları", 15. Türkiye Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı 2015, 25-28 Mart, Ankara.
7. Dereli M.A., Erdoğan S., Soysal Ö.M., Çabuk A., Uysal M., Tiryakioğlu İ., Akbulut H., Dündar S., Erdoğan H., Saraçlı S., Yalçın M., Güllal A.E., Taşbaş M., Kantar M. ve Arslan Y., (2015). "Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Trafik Kaza Kara Nokta Belirleme: Empirik Bayes Örneği", 17. Akademik Bilişim Konferansı, 4-6 Şubat 2015, Eskişehir.
8. Erdoğan, S., Yalçın M. ve Yılmaz M., (2015). "Güneşin Konumuna Göre Trafik Kazalarının İncelenmesi", 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2015, 25-28 Mart 2015, Ankara.
9. Mustafa Yalçın ve Kılıç Gül F., (2014). "Jeotermal Alanların CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Araştırılması: Akarçay Havzası (Afyonkarahisar) Örneği", 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, 14-17 Ekim 2014, İstanbul
10. Dereli M.A, Erdoğan S., Soysal, Ö.M., Tiryakioğlu İ, Uysal M, Akbulut H, Dündar S, Yalçın M, Güllal AE, Arslan Y, Kantar M, Çabuk A. Ve Soysal MÖ., (2014). "Trafik Kaza Kara Noktalarının Belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Destekli Mekânsal İstatistiksel Metotların Kullanılması", 7.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim 2014, Çorum
11. Dereli M.A, Erdoğan S, Tiryakioğlu İ, Uysal M, Akbulut H, Dündar S, Yalçın M, Güllal AE, Arslan Y, Kantar M, Çabuk A., (2014). "Determination of Traffic Accident Black Spots on Afyonkarahisar-Konya Highways", 1st International Geomaplica Conference, 11 Eylül 2014, Skiathos, Yunanistan
Erdoğan, S., Yalçın M. ve Yılmaz M., (2014). "Türkiye'deki Trafik Kazalarının Zamansal Analizi", 7.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim, Çorum
- 12.
13. Tiryakioğlu İ., Baybura, T., Erdoğan S., Yıldız, A., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Yılmaz, İ., Uysal, M. Güllü, M., Dereli, M.A. Yalçın, M., Dumlupınar, İ., Sandıkçioğlu, A., Yalın, H. ve Ertuğrul, O., (2012). "Sultandağı Fayının Batı Kısmı Tektonik Hareketlerinin GNSS Gözlemleri İle Belirlenmesi ve Paleostres Verileriyle Karşılaştırılması", 6. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 3-5 Ekim 2012, Afyonkarahisar
14. Yalçın, M., Kilic, F. Ve Erdoğan, S., (2012). "Determination of Susceptible Areas for Flooding With Geographic Information System Based Multi Criteria Decision Analysis Method: Example of Istanbul European Site", The 8th International Conference on Geo-information for Disaster Management (Gi4dm), 13-14 Aralık 2012, Enschede, Hollanda

15. Yalçın, M., Kılıç, F. Ve Erdoğan, S., (2012). "Sel Ve Taşkina Duyarlı Alanların Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi İle Belirlenmesi: İstanbul Avrupa Yakası Örneği", 6. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 3-5 Ekim 2012, Afyonkarahisar
16. Erdoğan S., Yalçın M. ve Dereli M.A., (2011). "Kriminolojide Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Mekansal İstatistiksel Yöntemlerin Kullanımı: Cinayet Suçu Örneği", Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 31 Ekim- 04 Kasım 2011, Antalya
17. Erdoğan S., Yalçın M. ve Dereli M.A., (2011). "Kriminolojide Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Mekansal İstatistiksel Yöntemlerin Kullanımı: Hırsızlık Örneği", 13. Türkiye Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara
18. Erdoğan S., Yalçın M. ve Dereli M.A., (2011). "Spatial Analysis Of Five Crime Statistics In Turkey", FIG Working Week, 18-22 Mayıs 2011, Marrakesh, Morocco
19. Yalçın M. ve Batuk F., (2010). "Toplu Konut Alanlarının Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemiyle Belirlenmesi:Bakırköy Örneği", UZALCBS2010, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
20. Batuk F. ve Yalçın M., (2010). "Site Selection for New Buildings with GIS & MCDM", GI4DM 2010 Conference (Geomatics for Crisis Management), February 2-4 2010, Torino, İtalya

Kitap

1. Bilgisayar Destekli Harita Yapımı ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temelleri/ Yazılım Uygulamaları (2014)., Erdoğan S.,Tiryakioğlu İ.,Toptaş T. E. ve Yalçın M., Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, 1.Baskı, ISBN:978-605-65031-1-5
2. Bilgisayar Destekli Haritalama 2, 1., 2. ve 3. Bölümler (2011)., Yılmaz İ., Tiryakioğlu İ., Dereli M. A. ve Yalçın M., Anadolu Üniversitesi Yayınları, ISBN:978-975-06-0974-9

Proje

1. Trafik Kaza Kara Noktalarının Belirlenmesi için CBS Destekli Mekansal İstatistiksel Metotlar ile Bir Model Geliştirilmesi, TÜBİTAK 1001 Projesi ÇAYDAG 113Y417, **Araştırmacı**, Nisan 2014- Devam Ediyor.
2. Afet Yönetimi-Hazırlık Bileşeni için Konumsal Veri Altyapısı Tasarlanması, Taşkina Duyarlı Alanlar: İstanbul Avrupa Yakası Örneği., Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

Koordinatörlüğü, Araştırmacı, 04.01.2011 – 04.09.2012

3. WEB Tabanlı 3 Boyulu Bina Modelleme: Ahmet Nejdet Sezer Kampüsü Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Araştırmacı, 09.07.2013-09.01.2015
4. Devlet Yollarında Trafik Kaza Kara Noktalarının İstatistiksel Metotlara Göre Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Araştırmacı, 22.11.2012-31.12.2015

ÖDÜLLERİ

1. TUBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB) 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Doktora Bursu, Nisan 2014