İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LANDSAT UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK JEOTERMAL KAYNAKLARIN ARAŞTIRILMASI, ANKARA ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necib ÇAPAR

Anabilim Dalı: Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Geomatik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LANDSAT UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK JEOTERMAL KAYNAKLARIN ARAŞTIRILMASI, ANKARA ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necib ÇAPAR

501071621

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 4 Mayıs 2009

Tezin Savunılduğu Tarih: 2 Haziran 2009

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cankut ÖRMECİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mahir VARDAR (İTÜ)
Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Uzaktan algılama sistemleri dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemi özellikle bilimsel çevrelerde her geçen gün artarak devam etmekte olan yaşamsal nitelikli sistemler bütünüdür.

Bizim üzerinde çalıştığımız ve araştırdığımız "Landsat Uydu Görüntüleri Kullanılarak Jeotermal Kaynakların Araştırılması, Ankara Örneği" adlı yüksek lisans tezimiz, bizden önce yapılmış olan az sayıdaki araştırmaların dışında, Ankara ili örneğinde jeotermal kaynaklara ilişkin olarak bu sistemlerin kullanılıp uygulandığı ilk çalışma olmaktadır. Böylece adı geçen bu tezimiz ileride ülkemizin başka bölge ve yörelerinde bu alanda çalışma yapacak olanlara bir referans oluştururken aynı zamanda varolan literatüre de katkı sağlayacaktır. Ne varki, tezimizin hazırlanma aşamasında bazı zorluklarla karşılaşıldığının bilinmesi gerekir. Özellikle, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğün'de varolan ülkemiz jeotermal kaynaklarına ilişkin raporlara gizli olmaları nedeniyle ulaşılamamıştır. Öte yandan, Enerji ve Doğal Kaynaklar Bakanlığın'dan elde edilmesi beklenilen bilgi ve bulgular ise arama ruhsatı izinleri düzeyinde kaldığından, ne yazık ki bunlardan da yeterince yararlanılamamıştır. Geri kalan tüm bilgi ve bulgular dikkat ve özenle araştırılıp incelenmiştir.

Buna karşın yardım moral desteğini aldığım pekçok kişi ve kuruluş söz konusudur. Özellikle tez konusunun seçiminde ve tezin hazırlanma sürecinde birinci derecede katkısı olan hocam Prof. Dr. Cankut ÖRMECİ'ye minnettarlığımı belirtmek isterim. Yine öğrenciliğim süresince bana yol göstericiliği yapmış olan hocam Prof. Dr. Mahir VARDAR'a şükran borçluyum. Ayrıca Ar. Gör. Dr. Elif SERTEL'e sorularıma verdiği yanıtlardan dolayı teşekkür ederim. Bunun yanı sıra Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Coğrafya Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Mesut ELİBÜYÜK'e de Ankara il sınırları içersinde kalan jeotermal kaynakların koordinatlarının bulunmasındaki katkıları nedeniyle teşekkür ederim.

Mayıs 2009 Necib ÇAPAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
KISALTMALAR ... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xi**
ÖZET ... **xv**
SUMMARY ... **xvii**
1. GİRİŞ ... **1**
1.1 Amaç ... 1
1.2 Yöntem ... 2
1.3 Çalışma Alanı ... 9
1.4 Çalışmada Kullanılan Veriler ... 10
1.4.1 Jeoloji haritaları ... 10
1.4.2 Topoğrafik haritalar ... 10
1.4.3 Deprem verileri ... 11
1.4.4 Uydu görüntüleri ... 11
1.4.5 Sayısal Yükseklik Modeli ... 11
2. JEOTERMAL KAYNAKLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER ... **11**
2.1 Giriş ... 13
2.2 Jeotermal KaynaklarınTanımı ... 13
2.3 Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması ... 13
2.3.1 Kaynak sıcaklıklarına göre sınıflama ... 14
2.3.1.1 Düşük sıcaklıklı kaynaklar ... 14
2.3.1.2 Orta sıcaklıklı kaynaklar ... 14
2.3.1.3 Yüksek sıcaklıklı kaynaklar ... 14
2.4 Jeotermal Sistemlerin.Sınıflandırılması ... 14
2.4.1 Buhar-baskın sistemler ... 14
2.4.2 Sıcak su sistemleri ... 16
2.4.3 Yer basınçlı sistemler ... 17
2.4.4 Sıcak kuru kaya sistemleri ... 18
2.4.5 Magma sistemleri ... 19
2.5 Jeotermal Enerjinin Kullanımı ... 19
2.5.1 Dünyada jeotermal kaynakların durumu ... 20
2.5.1.1 Amerika Birleşik Devletleri ... 20
2.5.1.2 Filipinler ... 22
2.5.1.3 Meksika ... 23
2.5.1.4 Endonezya ... 24
2.5.1.5 İtalya ... 24
2.5.1.6 Japonya ... 25
2.5.1.7 Yeni Zelanda ... 27
2.5.1.8 İzlanda ... 28
2.5.1.9 Rusya ... 29

2.5.2 Türkiyede jeotermal kaynakların durumu 30
3. JEOTERMAL KAYNAKLARIN ARANMASI 33
3.1 Giriş 33
3.2 Jeolojik ve Hidrolojik Teknikler 34
3.3 Jeokimyasal Teknikler 36
3.4 Jeofiziksel Teknikler 37
3.4.1 Termal yöntemler 37
3.4.2 Elektriksel yöntemler 38
3.4.3 Sismik yöntemler 39
3.4.4 Gravite ölçümleri 39
3.4.5 Manyetik yöntemler 39
3.5 Uzaktan Algılama Teknikleri 40
3.5.1 Termal anomalilerin belirlenmesi 40
3.5.2 Mineral aramaları 46
3.5.3 Çizgiselliklerin belirlenmesi 47
3.6 Keşif Sondajları 58
4. UYGULAMA 61
4.1 Giriş 61
4.2 Çalışma Alanlarının Jeolojisi 61
4.2.1 Kızılcahamam 61
4.2.2 Seyhamamı 68
4.2.3 Çubuk-Melikşah 70
4.2.4 Ayaş-Karakaya 73
4.3 Çalışma Alanlarındaki Çizgiselikler 76
4.3.1 Kızılcahamam 77
4.3.2 Seyhamamı 78
4.3.3 Çubuk-Melikşah 79
4.3.4 Ayaş-Karakaya 80
4.4 Çalışma Alanındaki Termal Anomaliler 81
4.4.1 Kızılcahamam 82
4.4.2 Seyhamamı 92
4.4.3 Çubuk-Melikşah 100
4.4.4 Ayaş-Karakaya 109
4.5 Depremler 118
4.5.1 Kızılcahamam 119
4.5.2 Seyhamamı 120
4.5.3 Çubuk-Melikşah 121
4.5.4 Ayaş-Karakaya 122
5. SONUÇ 125
KAYNAKLAR 130
EKLER 134
ÖZGEÇMİŞ 139

KISALTMALAR

ALPHA **:**Alpha Emissivity Method
AVIRIS **:**Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer
DN **:**Digital Number
ETM+ **:**Enhanced Thematic Mapper Plus
HYMAP **:**Hyperspectral Mapper
LANDSAT **:**Land Observation Satellite
NOR **:**Normalized Emissivity Method
RE **:**Emissivity Renormalization Method
REF **:**Referance Channel Method
SEBASS **:**Spatially Enhanced Broadband Array Spectrograph System
SRTM **:**Shuttle Radar Topography Mission
TISI **:**Temperature-Independent Spectral Indices

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Ankara il sınırları içerisinde kalan Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait istasyonları üzerinde bulundukları enlemler, boylamlar ve kuruldukları yüksekliklerle birlikte gösteren çizelge. 9
Çizelge 2.1 : Jeotermal kaynakların kullanım alanlarını gösteren çizelge (Gupta,H.,2006, s. 208'den değiştirilerek alınmıştır). 19
Çizelge 2.2 : Amerika Birleşik Devletleri'nde üretim yapılan kaynaklardaki kurulu üretim kapasitesini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 214). 21
Çizelge 2.3 : Filipinlerde üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 214). 23
Çizelge 2.4 : Meksika'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 217). 24
Çizelge 2.5 : Endonezya'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 218). 24
Çizelge 2.6 : İtalya'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 219). 25
Çizelge 2.7 : Japonya'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 220). 26
Çizelge 2.8 : Yeni Zelanda'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 224). 28
Çizelge 2.9 : İzlanda'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 224). 29
Çizelge 2.10 : İzlanda'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 224). 29
Çizelge 2.11 : Türkiyede bölge ve bina ısıtmasının yapıldığı şehirleri gösteren çizelge (değiştirilerek Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 444 'ten alınmıştır). 31
Çizelge 2.12 : Türkiyede seracılık yapılan alanları bölgelere göre gösteren çizelge (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 446). 31
Çizelge 3.1 : Malzemelerin 8-12 mikrometre arasında ölçülmüş emisivite değerlerini gösteren çizelge (Sabins, F. F., 1996, s.138'den değiştirilerek alınmıştır). 43
Çizelge 3.2 : Malzemelerin 8-14 mikrometre arasında ölçülmüş emisivite değerlerini gösteren çizelge (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 376'den değiştirilerek alınmıştır). 44
Çizelge 4.1 : Kızılcahamam Jeotermal alanında açılan sondajları gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 47). 68
Çizelge 4.2 : Kızılcahamam Jeotermal alanındaki kaynakları gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 47). 68
Çizelge 4.3 : Seyhamamı Jeotermal alanındaki kaynağı gösteren çizelge (Akkuş, İ.,2005, s. 51). 69

Çizelge 4.4 : Çubuk-Melikşah Jeotermal alanında açılan sondajları gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 53). 73
Çizelge 4.5 : Çubuk-Melikşah Jeotermal alanındaki kaynağı gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 53). 73
Çizelge 4.6 : Ayaş-Karakaya Jeotermal alanında açılan sondajları gösteren çizelge (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61). 76
Çizelge 4.7 : Ayaş-Karakaya Jeotermal alanındaki kaynağı gösteren çizelge (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61). 76
Çizelge 4.8 : Kızılcahamam Kaynağının içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktalarının koordinatlarını gösteren çizelge (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme,12 Ocak 2009). 77
Çizelge 4.9 : Seyhamamı Kaynağı'nın içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktalarının koordinatlarını gösteren çizelge (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009). 78
Çizelge 4.10 : Çubuk-Melikşah Kaynağının içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktalarının koordinatlarını gösteren çizelge (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009). 79
Çizelge 4.11 : Ayaş-Karakaya Kaynağı'nın içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktalarının koordinatlarını gösteren çizelge (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009). 80
Çizelge 4.12 : Ankara il sınırları içerisinde 2000 yılında Ankara Bölge İstasyonun'da ölçülmüş rüzgarlara ait bilgileri gösteren çizelge. 87
Çizelge 4.13 : Kızılcahamam jeotermal bölgesindeki kayıtlı depremlerin episentırlarının koordinatlarını, ölçüm tarihleri ile zamanlarını, magnitüdlerini ve deprem merkezlerinin derinliklerini gösteren çizelge. 120
Çizelge 4.14 : Seyhamamı Jeotermal Bölgesindeki kayıtlı depremlerin episentırlarının koordinatlarını, ölçüm tarihleri ile zamanlarını, magnitüdlerini ve deprem merkezlerinin derinliklerini gösteren çizelge. 121
Çizelge 4.15 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesindeki kayıtlı depremlerin episentırlarının koordinatlarını, ölçüm tarihleri ile zamanlarını, magnitüdlerini ve deprem merkezlerinin derinliklerini gösteren çizelge. 122
Çizelge 4.16 : Ayaş-Karakaya Jeotermal Bölgesindeki kayıtlı depremlerin episentırlarının koordinatlarını, ölçüm tarihleri ile zamanlarını, magnitüdlerini ve deprem merkezlerinin derinliklerini gösteren çizelge. 123

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış Ankara il sınırlarının içerisinde bulunan jeotermal kaynakları gösteren harita. 8
Şekil 1.2 : Çalışma alanlarını gösteren harita. 10
Şekil 2.1 : Buhar-baskın jeotermal sistemi gösteren şekil (Gupta, H., 2006, s. 52)...16
Şekil 2.2 : Sıcak su sistemini gösteren şekil (Gupta, H., 2006, s. 53). 17
Şekil 2.3 : Dünyada üretim yapılan alanlar ile üretim için geliştirilmekte olan alanları gösteren şekil (Gupta, H., 2006, s. 29'dan değiştirilerek alınmıştır). 20
Şekil 2.4 : Amerika Birleşik Devletlerinde üretim yapılan kaynakların konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 213). 21
Şekil 2.5 : Filipinlerde üretim yapılan jeotermal kaynakları gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 214) 22
Şekil 2.6 : Meksika'da üretim yapılan kaynakların konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 217). 23
Şekil 2.7 : Endonezya'da üretim yapılan kaynakların konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 218). 24
Şekil 2.8 : İtalya'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 219). 25
Şekil 2.9 : Japonya'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 220). 26
Şekil 2.10 : Yeni Zelanda'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 223). 27
Şekil 2.11 : İzlanda'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 224). 28
Şekil 2.12 : Rusya'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 224). 29
Şekil 2.13 : Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılabilecek jeotermal kaynakları gösteren harita (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 439). 30
Şekil 3.1 : DN değerlerinin radyant sıcaklıklarla ilişkilendirilebilmesini sağlayan kalibrasyon eğrisi örneğini gösteren şekil (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 408'den değiştirilerek alınmıştır)..... 42
Şekil 3.2 : Malzemelerin radyant sıcaklıklarının günlük saate bağlı olarak değişimlerini gösteren şekil (Sabins, F. F., 1996, s. 143'den değiştirilerek alınmıştır.). 44
Şekil 3.3 : Eğim atımlı normal fayın yapısını gösteren şekil (Ketin, İ., 1998, s. 371) 48
Şekil 3.4 : Fay düzlemi ve gerilme yönlerini gösteren şekil (Ketin, İ., 1998, s.375). 48
Şekil 3.5 : Normal fay nedeniyle topoğrafyada oluşan ani değişimleri gösteren şekil (Prost, G. L., 1994, s.147). 49
Şekil 3.6 : Faylanmanın belirteci olabilecek drenaj şekilleri (Prost, G. L., 1994, s.150). 49

Şekil 3.7 : Eşolon kıvrımları gösteren şekil (Prost, G. L., 1994, s.159). 50
Şekil 3.8 : Doğrultu atımlı fayların oluşmasıyla yeryüzünde görülebilecek yapıları gösteren şekil (Burbang, D. W. and Anderson, R. S., 2001, s. 68). 51
Şekil 3.9 : Eğimleri 30^0 nin üzerinde olan ters faylar. 1 numaralı tabaka en yaşlı, 9 numaraları tabaka en genç tabakadır (Ketin, İ., 1998, s.379). 51
Şekil 3.10 : Bindirme, örtme ve aşınma nedeniyle oluşan yapıları gösteren şekil (Ketin,İ., 1998, s.379). 52
Şekil 3.11 : Bindirmelerde görülen kıvrımlardaki değişimleri gösteren şekil (Prost, G. L., 1994, s.179). 52
Şekil 3.12 : İmbrike sırtları gösteren şekil (Prost, G. L., 1994, s.179). 52
Şekil 4.1 : Kızılcahamam jeotermal bölgesinin jeoloji haritası (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 48). 67
Şekil 4.2 : Seyhamamı jeotermal bölgesinin jeoloji haritası (Akkuş, İ. vd., 2005, s.52). 69
Şekil 4.3 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesinin jeoloji haritası (Akkuş, İ. vd., 2005, s.53). 72
Şekil 4.4 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesinin jeoloji haritası (Akkuş, İ. vd., 2005, s.62). 75
Şekil 4.5 : Kızılcahamam Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita. 77
Şekil 4.6 : Seyhamamı Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita. 78
Şekil 4.7 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita. ...79
Şekil 4.8 : Ayaş Karakaya Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita. 80
Şekil 4.9 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası (Bakış yönü güney).....82
Şekil 4.10 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil.....84
Şekil 4.11 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009). 85
Şekil 4.12 : Kızılcahamam jeotermal kaynağının bulunduğu alana ait uydu görüntüleri. 85
Şekil 4.13 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait görünür bölgede algılanmış (band 3-2-1) ve renkli kızılötesi (band 4-3-2) uydu görüntüleri. 86
Şekil 4.14 : Ankara il sınırları içerisindeki meteoroloji istasyonlarının (lacivert üçgenler) konumları ile inceleme alanlarındaki kaynakların (kırmızı artılar) konumlarını gösteren harita. 88
Şekil 4.15 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita. 89
Şekil 4.16 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası. 90
Şekil 4.17 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita. 91
Şekil 4.18 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası. .92

Şekil 4.19 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güney). 94
Şekil 4.20 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güneydoğu). 95
Şekil 4.21 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait Google Earth ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009). 95
Şekil 4.22 : Seyhamamı jeotermal kaynağının bulunduğu alana ait uydu görüntüleri 96
Şekil 4.23 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait görünür bölgede algılanmış (band 3-2-1) ve renkli kızılötesi (band 4-3-2) uydu görüntüleri. 97
Şekil 4.24 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita. 98
Şekil 4.25 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası...99
Şekil 4.26 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita. 100
Şekil 4.27 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası. 101
Şekil 4.28 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güney). 102
Şekil 4.29 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güneydoğu). 103
Şekil 4.30 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait görünür bölgede algılanmış (band 3-2-1) ve renkli kızılötesi (band 4-3-2) uydu görüntüleri. 105
Şekil 4.31 : Çubuk-Melikşah jeotermal kaynağının bulunduğu alana ait uydu görüntüleri 106
Şekil 4.32 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita. 107
Şekil 4.33 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası. 108
Şekil 4.34 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası ve bölgedeki olası fayları gösteren harita. 109
Şekil 4.35 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası. 110
Şekil 4.36 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güney). 111

Şekil 4.37 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güneydoğu). 112
Şekil 4.38 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü kuzeybatı). 112
Şekil 4.39 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait görünür bölgede algılanmış (band 3-2-1) ve renkli kızılötesi (band 4-3-2) uydu görüntüleri. 113
Şekil 4.40 : Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının bulunduğu alana ait uydu görüntüleri. 114
Şekil 4.41 : Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının bulunduğu alanın Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009). 115
Şekil 4.42 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası ve bölgedeki olası fayları gösteren harita. 116
Şekil 4.43 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası. 117
Şekil 4.44 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası ve bölgedeki olası fayları gösteren harita. 118
Şekil 4.45 : Ankara il sınırları içerisinde kalan koordinatları bilinen jeotermal kaynaklar ile Kandilli Rasathanesinden alınan deprem episentırlarını gösteren harita. 119
Şekil 4.46 : Kızılcahamam Jeotermal Bölgesine ait olası fayları ile bölgede olmuş kayıtlı depremleri gösteren şekil. 120
Şekil 4.47 : Seyhahamı jeotermal bölgesine ait olası fayları ile bölgede olmuş kayıtlı depremleri gösteren şekil. 121
Şekil 4.48 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait olası fayları ile bölgede olmuş kayıtlı depremleri gösteren şekil. 122
Şekil 4.49 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait olası fayları ile bölgede olmuş kayıtlı depremleri gösteren şekil. 123

LANDSAT UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK JEOTERMAL KAYNAKLARIN ARAŞTIRILMASI, ANKARA ÖRNEĞİ

ÖZET

Amacı uydu görüntüleri kullanılarak Ankara il sınırları içerisinde olası jeotermal kaynakların bulunması olan çalışmamız beş bölümden oluşmuştur. Sırasıyla Giriş, Jeotermal Kaynaklar Hakkında Genel Bilgiler, Jeotermal Kaynakların Aranması, Uygulama ve Sonuç bölümlerine sahip bu çalışma Ankara örneği üzerinde yapılan ilk araştırmadır.

Giriş bölümünde çalışmanın amacı, araştırma yürütülürken izlenen yöntem, çalışma alanı ve kullanılan veriler hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca literatürde uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak yapılan jeotermal kaynak arama çalışmaları özetlenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümü olan Jeotermal Kaynaklar Hakkında Genel Bilgiler bölümünde jeotermal kaynakların tanımı verilmiş ardından jeotermal kaynakların ve jeotermal sistemlerin sınıflandırılması hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu bilgilere ek olarak dünyadaki ve Türkiye'deki jeotermal kaynakların durumu özetlenmiştir.

Araştırmanın üçüncü bölümü olan Jeotermal Kaynakların Aranması bölümünde jeotermal kaynaklar aranırken kullanılan jeolojik, hidrolojik, jeokimyasal, jeofiziksel yöntemler ile uzaktan algılama teknikleri hakkında bilgi verilmiş olup uzaktan algılama yöntemlerinin bu tip keşif çalışmalarında kullanıldığı yerler netleştirilmiştir.

İncelemenin dördüncü bölümü olan Uygulama bölümünde ise araştırmanın birinci bölümünde belirtilmiş çalışma alanlarında uydu görüntülerinin yorumlanmasıyla bulunmuş olası faylar ve aynı bölgelerin termal görüntülerinin işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritaları sunulmuştur. Ayrıca bu bölgelerin içerisinde geçtiğimiz yaklaşık 100 yıllık süre içerisinde kaydedilmiş depremlere ait bilgiler de verilmiştir.

Tezimizin beşinci bölümü olan sonuç kısmında tez metninde ayrıntılı olarak ele alıp tanımladığımız, irdelediğimiz tüm bilgi , bulgu ve verilerden elde ettiğimiz sonuçlar sunulmuştur.

INVESTIGATION OF GEOTHERMAL RESOURCES BY USING LANDSAT SATELLITE IMAGES, EXAMPLE OF ANKARA

SUMMARY

This master thesis which it's aim is to find probable geothermal resources in Ankara's administrative province borders consists of five sections respectively called Entry, General Information About Geothermal Resources, Geothermal Resource Exploration, Application and Result. Also it's the first research of this kind that have been handled on the example of Ankara.

In the Entry section information about the aim of the study, methods used in the study, study area, and the data that have been used in the study has been given. Furthermore the summary of the geothermal resource exploration studies have been made.

In the second section of the thesis which is called General Information About Geothermal Resources, information about the definition of geothermal resources, the classification of geothermal resources and geothermal systems have been presented. In addition to that information the status of geothermal resource in the world and in Turkey have been summarized.

In the third section of the reseach which is named as Geothermal Resource Exploration, information about geological, hydrological, geochemical, geophysical methods and remote sensing techniques used in geothermal resource exploration have been given. Also the place of the usage of remote sensing methods in that type of exploration study have been clarified.

In the Application section which is the fourth section of the research, probable faults in the study areas that have been mentioned in the entry section of the study which are determine by the photo interpretation of satellite images and the radiant temperature maps which are obtained by processing of the thermal images of the same study areas have been presented. Also the data about the past earthquakes detected in the observation areas have been given.

In the final section of the study results obtained from the information, evidence and datas which were exhaustively defined and examined in the research have been presented.

1. GİRİŞ

İlk çağlardan başlayıp 20. yüzyıla kadar insanlar, sıcak su kaynaklarını sadece tedavi edici ve dinlendirici olarak kullanmışlardır. İtalya'da 1904 – 1905 yıllarında başlayan jeotermal enerji araştırmaları sonucu Larderello kentinde bulunan jeotermal kaynağın elektrik üretimi için kullanılmaya başlanmasıyla dünyada bir ilk yaşanmıştır (Yılmaz, Ö., 1999, s.1). Bu olay sonucunda jeotermal enerjinin önemi kavranmış, jeotermal enerjinin kullanım yöntemleri geliştirilip uygulamaya konmuştur.

Günümüzde jeotermal akışkanlar ağırlıklı olarak elektrik enerjisi ve ısı enerjisi elde etmek için kullanılmaktadır. Elektrik üretimi ile ısıtma dışında kimyasal madde üretiminde ve çeşitli endüstri alanlarında da jeotermal akışkanlardan faydalanılmaktadır (Şimşek, Ş., s.6-8). Jeotermal enerji temiz olması, yenilenebilir olması ve işletme maliyetinin düşük olması nedeniyle enerji türleri arasında büyük bir öneme sahiptir (Yılmaz, Ö., 1999, s.1). Fosil yakıtların rezervlerinin giderek azalması ve artan nüfusa bağlı olarak büyüyen enerji ihtiyacı sebebiyle jeotermal kaynakların aranması, üzerinde yapılan çalışmaların arttığı bir konu haline gelmiştir.

Jeotermal kaynakların aranmasında jeolojik, hidrolojik, jeokimyasal, jeofiziksel tekniklerin yanında uzaktan algılama teknikleri de kullanılmaktadır (Gupta H. ve Roy, S., 2006, s.61).

1.1 Amaç

Çalışmanın amacı Ankara il sınırları içerisinde kalan bölgede jeotermal kaynak bulunma ihtimali olan alanların ETM+ verileri kullanarak belirlemektir. Diğer enerji kaynaklarına göre çevreyi daha az kirleten jeotermal enerji kaynakları bulunması ile ülke ekonomisine katkı sağlanacak ve ülkenin enerji yüzünden dışa bağımlılığı azaltılabilecektir.

1.2 Yöntem

Öncelikle İstanbul Teknik Ünivertsitesi Kütüphanesinde, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Kütüphanesi'nde, Hacettepe Üniversitesi Kütüphanesi'nde, Milli Kütüphane'de, Türkiye Büyük Millet Meclisi Kütüphanesi'nde, Maden Tetkik Arama Kurumu Kütüphanesi ve Derleme Bölümü'nde literatür taraması yapılmıştır. Yapılan taramada jeotermal kaynakların oluşumu, jeotermal kaynakların Türkiye ve dünyadaki durumu, jeotermal kaynakların aranmasında kullanılan yöntemler hakkında bilgi toplanmıştır. Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda jeotermal kaynakların aranmasında aşağıdaki yöntemlerin kullanılabildiği görülmüştür.

Schultz (1988), çalışmasında uzaktan algılama verilerinin hidroloji çalışmalarındaki kullanımları hakkında bilgi vermiştir. Çalışmanın yapıldığı tarihte yeraltı sularının sadece uzaktan algılama verileri kullanılarak bulunamadığını belirtmiş, uzaktan algılama verileri ile yeraltı sularının belirteci olan jeolojik ve jeomorfolojik yapıların belirlenebileceğini belirtmektedir. Ayrıca elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölgesinde Landsat uyduları tarafından yapılan ölçümler sonucunda elde edilen verilerin jeolojik ve jeomorfolojik yapıların aranmasında tercih edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Schimschal (1991), çalışmasında gravite ölçümleri, uzaktan algılama verileri, rezistivite ölçümleri, su analizleri ve sıcaklık-gradyan ölçümleri kullanarak kuzey Kaliforniya'daki Honey Gölü Havzasında düşük sıcaklıklı jeotermal kaynakları aramıştır. Uzaktan algılama verileri olarak yüksek irtifadan çekilmiş renkli kızılötesi fotoğraflar ile sırasıyla 3-5 mikrometre ile 8-14 mikrometre arasındaki bantları kullanan iki ayrı detektörün 1500 metre yükseklikteki 7 adet uçuş çizgisi ve 900 metre yükseklikteki 4 adet uçuş çizgisi üzerinde uçurulmasıyla termal kızılötesi bölgede elde edilen görüntüler yararlanılmıştır. Bu görüntüler alınırken aynı anda arazide önceden belirlenen noktalarda yüzey sıcaklığı ölçümleri yapıldığı belirtilmiştir. Yorumlanan renkli kızılötesi fotoğraflardaki çizgiselliklerin bölgedeki bilinen faylarla örtüştüğü gözlemlenmiştir. Termal kızılötesi bölgede elde edilen verilerin yorumlanma yöntemi belirtilmemiştir fakat bu görüntülerin sıcaklık anomalilerinin bulunmasında kullanıldığı görülmüştür.

Mongillo ve Bromley (1992) ise, Yeni Zelanda'nın Rotorua Jeotermal Bölgesinde helikopter ile termal kızılötesi tarayıcı kullanılarak yaptıkları çalışmada jeotermal

kaynakların aranmasında kullanılacak bir başka yöntem sunmuşlardır. FLIR Systems 1000a Tarayıcısı ve Inframetrics 525 Tarayıcısı kullanılarak elde edilen veriler, 3 ayrı grup tarafından önceden belirlenmiş 62 ayrı noktadaki insan yapısı su kütleleri ve doğal su kütleleri üzerinde hava ölçümleri ile eşzamanlı olarak yapılan sıcaklık ölçümleri baz alınarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyonda atmosfer etkisi gözardı edilmesine rağmen bölgede varlığı bilinen kaynaklar başarıyla tespit edilmiştir.

Mongillo (1994) daha sonra, GEOSCAN Mk II multispektral tarayıcısı kullanarak yürüttüğü çalışmasında elektromanyetik spektrumun termal kızılötesi bölgesinde alınmış verilerle jeotermal yapıları incelemiştir. Çalışma alanındaki bilinen sıcaksu kaynakları, sıcaksu akıntıları, göllerdeki termal sızıntılar gibi jeotermal yapılar başarıyla belirlenmiştir. Görüntülerin kalibrasyonu yerde önceden belirlenmiş 6 adet su kütlesinde uçuşlarla eş zamanlı olarak yapılan sıcaklık ölçümleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Yapılan arama çalışmalarının başlangıç aşamasında, bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda hedef bölgelerin belirlenmesi ve arazi çalışmalarının yönetilmesi için termal kızılötesi görüntülerin oldukça yarar sağladığı sonucuna varılmıştır.

Yang vd. (2000), çalışmalarında Yeni Zelandadaki Waireki Jeotermal Sisteminde açılmış 5 adet kuyuda ISPL PIMA II kızılötesi spektrometre kullanarak hidrotermal alterasyon sonucu oluşmuş mineralleri incelemişlerdir. Hidrotermal alterasyon sonucu bozunmuş, volkanik ve çökel kayaçların içerisinde oluşan minerallerin derecelenme gösterdiği gözlemlenmişlerdir. Kuyu içerisinde sığdan derine gidildikçe sırasıyla mordenit, smektit, illit ve epidot zonlarına rastlanılmıştır. Bu sıralamanın asıl nedeninin sıcaklık olduğu ve kuyu içerisindeki litolojinin belirli bölgelerdeki klorit oluşumu hariç diğer minerallerin oluşumunda ikincil derecede etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Yine Yangın ekibiyle 2001'de yaptığı bir başka çalışmada, Yeni Zelanda'daki Broadlands-Ohaaki Jeotermal Sisteminde açılmış 8 adet kuyuda ISPL PIMA II kızılötesi spektrometre kullanarak hidrotermal alterasyon sonucu oluşmuş mineralleri incelenmiştir. Hidrotermal alterasyon sonucu bozunmuş volkanik ve çökel kayaçların içerisinde oluşan minerallerin derecelenme gösterdiği gözlemlenmiştir. Kuyu içerisinde sığdan derine gidildikçe sırasıyla smektit, illit klorit-illit zonlarının bulunduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın bölgedeki kil alterasyonunun ana nedeni olduğu sonucuna varılmıştır. Arazide yapılan kısa dalga kızılötesi spektroskopinin jeotermal

aramalarda yararlanılabilecek bir teknik olduğu belirtilmiş, elde edilen verilerin düşük maliyetli ve daha kısa sürede edilebilir olması nedeniyle X-ışını difraksiyonu gibi pahalı laboratuar yöntemleriyle elde edilen verilerin yerine kullanılabileceği söylenmiştir.

Nash vd. (2003), çalışma bölgelerinde jeotermal aktivite sonucu sızan gazların bitkiler üzerindeki spektral etkilerini araştırmışlardır. Taşınabilir spektroradyometre ile *Artemisia tridentata* bitkisi üzerinde 4 ayrı tarihte yapılan ölçümlerde zehirli gazların ve toprak asiditesinin artması sonucu spektral olarak belirlenebilen etkilerin bitkiler üzerinde gözlemlenebildiği görülmüştür. Bitkiler üzerinde görülen bu spektral anomalilerin bölgedeki jeolojik yapılarla ilişkilendirilmesi sonucunda, çalışmalarında sunulan metodun jeotermal kaynak aramalarında kullanılabileceğini önermişlerdir.

Hellman ve Ramsey (2004), ASTER ve AVIRIS verileri kullanarak Yellowstone Ulusal Parkındaki sıcaksu kaynakları ile bu kaynaklara bağlı olarak oluşmuş çökelleri incelemişlerdir. Arazide 14 çalışma bölgesi belirlenerek uydu görüntüleri ile karşılaştırmak amacıyla toprak örnekleri toplanmış ve bunların spektroradyometrik incelemeleri yapılmıştır. Aktif ve kurumuş kaynakların arazi ölçümlerinde aktif kaynaklarda güçlü su ve klorofil emilimi gözlemlenmiş, kurumuş kaynaklarda görünür bölgede ve yakın kızılötesi bölgede yapılan ölçümlerde belirgin bir anomali gözlemlenmemiştir. AVIRIS verilerinde kısa dalga kızılötesi reflektans değerlerinin aktif ve kurumuş kaynaklar için benzer olduğu görülmüş fakat kurumuş kaynaklarda 2.25 mikrometrede daha belirgin ve derin bir emilim yapısı bulunduğu saptanmıştır. ASTER verilerinde 4. bandın 6. banda oranı ile AVIRIS verilerindeki 139. bandın 195. banda oranının termal alterasyonların belirlenmesinde kullanılabileceği söylenmiştir. Bitki örtüsü bulunmayan kurumuş kaynaklarda band oranlarının aktif kaynaklara göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Nash vd. (2004), çalışmalarında AVIRIS verileri kullanarak yapılan kontrollü ve kontrolsüz sınıflama sonucu elde edilen minerolojik bilgilerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmada kullanılan kontrolsüz sınıflama yönteminin bölge hakkında jeoloji bilgisine sahip olmadan kullanılabileceği ve bu yöntemle yorumlanabilir verilerin hızlı bir şekilde elde edilebileceği belirtilmiştir. Çalışmada yer alan kontrollü sınıflama tekniklerinin kullanımlarının zor olmasına ve veri elde etmek için

daha uzun zaman gerektirmelerine rağmen, ayrıntılı veri istendiğinde uygulanması gereken teknikler olduğu söylenmektedir.

Yang vd. (2005), çalışmalarında Çindeki Tuwu Maden Yatağında karotların kısa dalga kızılötesi spektrometre ile taranarak hidrotermal alterasyon zonlarını belirlemeye çalışmışlardır. Bölgede hidrotermal alterasyon sonucu oluşmuş mineraller klorit, serizit, montmorillonit, kaolin, epidot, kalsit ve jips olarak belirlenip ayırtedici spektral özellikleri karotlar üzerinde yapılan ölçümlere dayanılarak verilmiştir.

Coolbaugh vd. (2007) ASTER verileri kullanılarak Nevadadaki Bradys Sıcaksu Kaynaklarını içine alan bir çalışma bölgesinde jeotermal anomalileri saptamaya çalışmışlardır. Albedodaki değişimler nedeniyle yüzey sıcaklığında oluşan farklılıkların önüne geçmek için kalibrasyon işleminde görünür ve yakın kızılötesi bölgede alınmış ASTER verileri kullanılmış, topoğrafik etkileri en aza indirgemek içinse dijital yükseklik modeli kullanılmıştır. Termal atalet düzeltmesi yapmak amacıyla 24 saat aralıkla arazide yüzey sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Adı geçen bu araştırma jeotermal aramalarda termal kızılötesi bölgede alınmış verilerin işlenmesinde izlenecek yollar hakkında fikir veren bir kaynaktır.

Rowan vd. (2006), ASTER verileri ile araziden alınmış örnekler üzerinde laboratuarda yapılan spektral ölçümleri karşılaştırarak çalışma bölgesinde hidrotermal alterasyona uğramış kayaç gruplarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu araştırma mineralojik haritalama çalışmasının nasıl yapılabileceğini göstermesi açısından önem taşımaktadır.

Kratt vd. (2006), Hymap verilerinden yararlanarak jeotermal haraketliliğin belirteci olan minerallerin bulunmasını sağlayan bir yöntem önermişlerdir. Bu verilerin önerdikleri yöntem ile jeoloji haritaları ve jeofizik verileri içeren bir coğrafi bilgi sistemi veritabanında birlikte işlendiğinde yeryüzünde anlamlı termal izler bırakmayan jeotermal kaynakların bulunmasında kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Jeotermal kaynakların aranmasında uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenebilen belirteçler yukarıda verilen çalışmalardan anlaşıldığı gibi termal anomaliler, hidrotermal alterasyon sonucu oluşan minerallerin belirli bölgelerde kümelenmeleri ve sıcaklık nedeniyle yeryüzündeki bitki örtüsünde ölçülebilen etkilerdir. Ayrıca uzaktan algılama yöntemlerinin jeolojide jeomorfoloji çalışmaları (Gupta, R. P.,

2003, s. 431) ile kıvrımların (Gupta, R. P., 2003, s. 450) ve fayların (Gupta, R. P., 2003, s. 456) belirlenmesinde kullanıldığıda bilinmektedir.

Yukarıdaki çalışmaların ışığında tarafımızca jeotermal kaynakların aranmasında uzaktan algılama yöntemleri ile incelenebilecek parametreler çizgisellikler ve termal anomaliler olarak belirlenmiştir. İncelenecek parametreler belirlendikten sonra kullanılacak veri seti tez yürütücüsü tarafından ulaşılabilen tek kaynak olması nedeniyle tez danışmanın onayı alınarak Landsat 7 ETM+ 'a ait uydu görüntüleri olarak saptanmıştır.

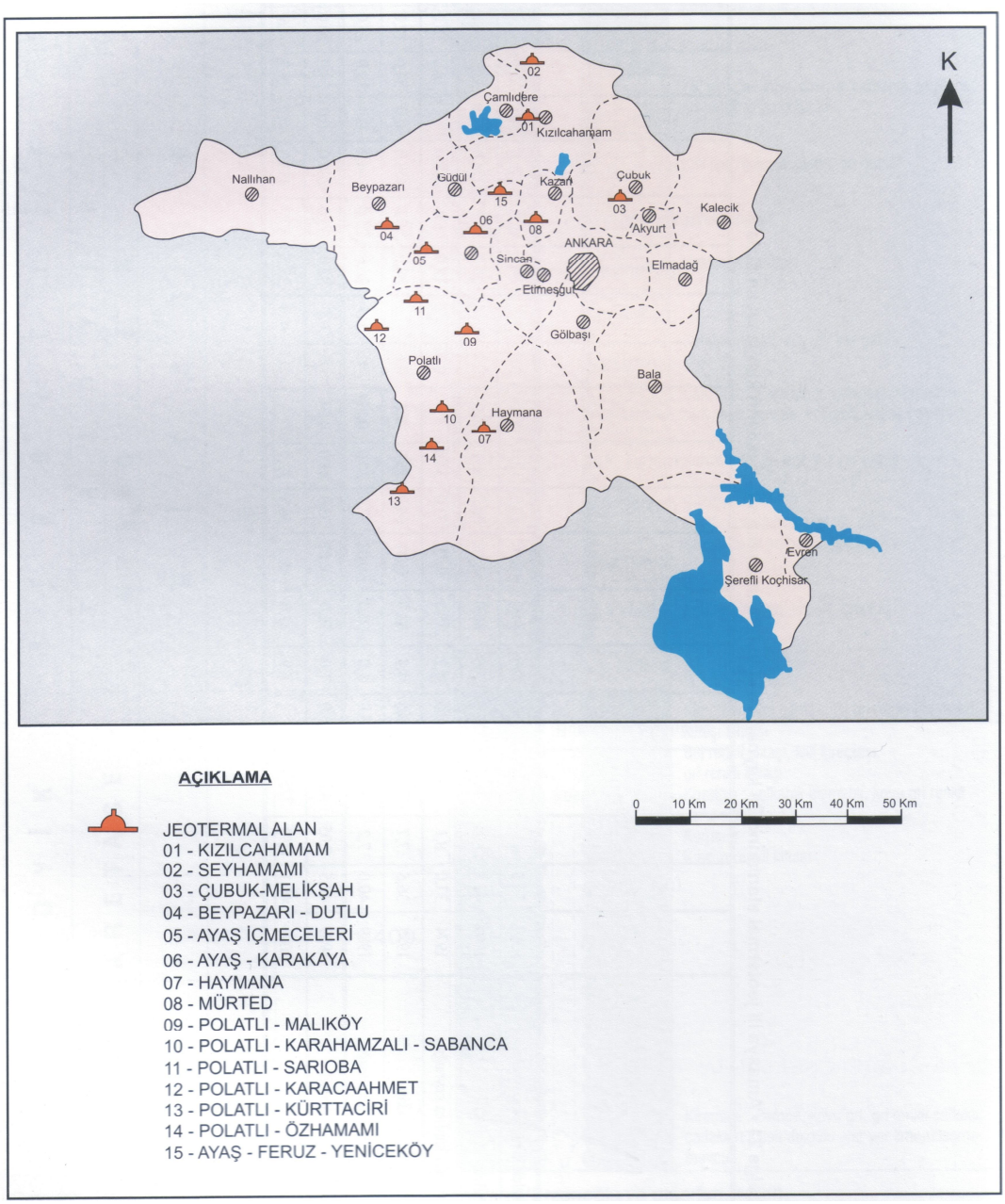
Ardından Ankara il sınırları içerisindeki jeotermal kaynaklar hakkında bilgi toplamak amacıyla Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Kütüphanesi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi İşlem Dairesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Hacettepe Üniversitesi Kütüphanesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi'nde ikinci bir literatür taraması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda hakkında en çok bilgi bulunabilen jeotermal kaynakların çevreleri, çalışma alanı olarak saptanmıştır. Ankara il sınırları içerisinde bulunan tüm jeotermal kaynakları gösteren harita Şekil 1.1'de sunulmuştur.

Çalışma alanı içerisindeki çizgisellikler pankromatik görüntülerin filtrelenerek yorumlanması ile belirlenmiştir. Çizgiselliklerin doğruluğunun belirlenmesi amacıyla Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Kütüphanesi Derleme Bölümü'ndeki raporlar içerisinde yer alan 1/25000 ölçekli jeoloji haritalarının tarafımızca kullanılması düşünülmüştür. Fakat Ankara il sınırları içerisinde kalan tüm jeotermal kaynaklara ait raporların gizli raporlar olması ve hizmete açık olmaması nedeniyle Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından basılmış 1/100000 ölçekli jeoloji haritalarından yararlanılmıştır. Ayrıca Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nden alınan deprem episentırlarının koordinatları ile karşılaştırma yapılmıştır.

Termal anomalilerin saptanması için yüzey sıcaklık değerleri, kullanılan uydu görüntülerinin 2000 yılına ait olması ve görüntünün alındığı anda arazide yapılmış sıcaklık ölçüm değerlerinin bulunmaması sebebiyle hesaplanamamıştır. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı İstatistik ve Yayın Şube Müdürlüğü'nden 2000-2003 yılları arasında Ankara il sınırları içerisinde kalan günlük saatlere bağlı sıcaklık ölçümleri ile toprak sıcaklık ölçümleri dilekçe ile talep edilmiştir. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire

Başkanlığı İstatistik ve Yayın Şube Müdürlüğü'nden Ankara il sınırları içerisinde kalan ölçüm istasyonlarından alınan saatlik sıcaklık verileri, günlük minimum/maksimum/ortalama sıcaklık verileri ile 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, derinlikte ölçülen günlük minimum/maksimum/ortalama toprak sıcaklık verileri alınmıştır. Ankara il sınırları içerisinde kalan Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait tüm ölçüm istasyonları üzerinde bulundukları enlemler, boylamlar ve kuruldukları yükseklikler ile birlikte Çizelge 1.1'de sunulmuştur.

Tez yürütücüsüne Beypazarı ve Polatlı ölçüm istasyonlarından elde edilen saatlik sıcaklık verileri; Kalecik, Esenboğa, Elmadağ, Etimesgut Meydanı, Ankara, Kızılcahamam, Nallıhan, Beypazarı ve Polatlı ölçüm istasyonlarına ait minimum/maksimum/ortalama sıcaklık verileri ile Esenboğa, Etimesgut Meydanı, Ankara, Kızılcahamam, Nallıhan, Beypazarı ve Polatlı ölçüm istasyonlarından alınmış günlük toprak sıcaklığı verileri verilmiştir. Fakat ölçüm istasyonlarının sayısının az olması, istasyonların konumlarının Kızılcahamam ölçüm istasyonu hariç jeotermal kaynaklarla ilişkilendirilebilecek durumda olmaması ve bazı istasyonlardaki verilerin yetersiz olması nedeniyle talep edilen verilerin kullanımı mümkün olmamıştır. Tez danışmanının atmosfer modellerinin bu çalışmada kullanılmayacağını belirtmesi nedeniyle termal anomalilerin saptanması için sadece radyant sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.



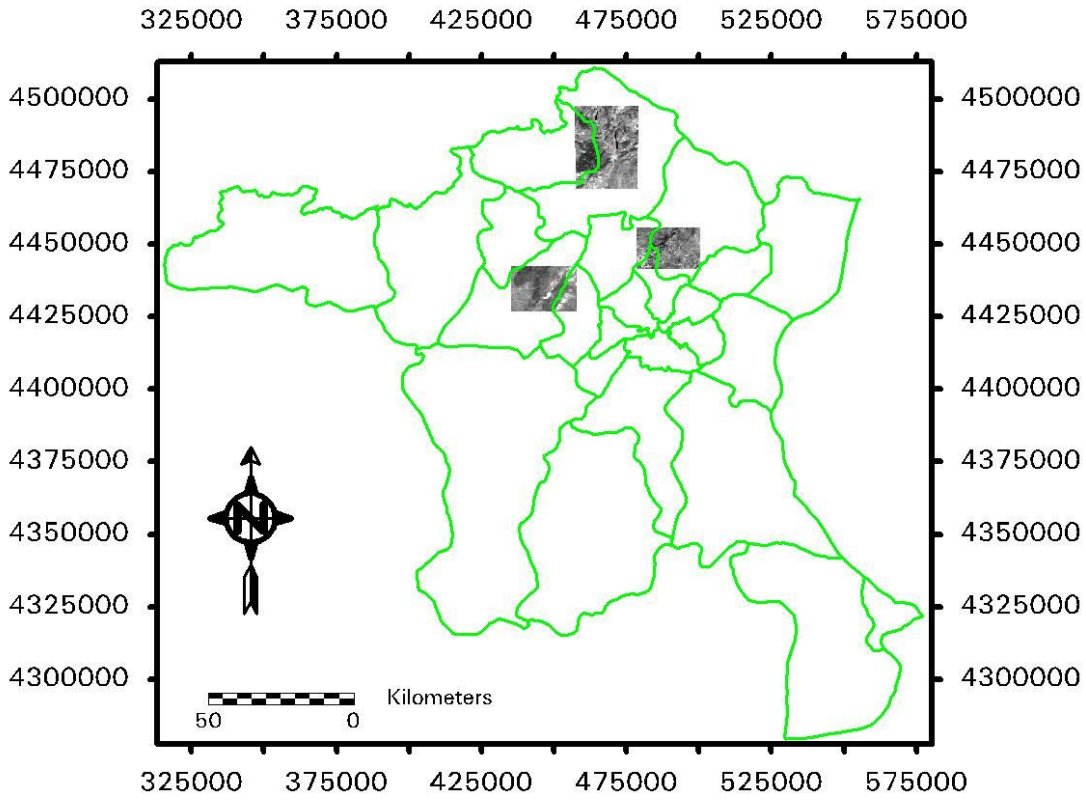
Şekil 1.1 : Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış Ankara il sınırlarının içerisinde bulunan jeotermal kaynakları gösteren harita.

Çizelge 1.1 : Ankara il sınırları içerisinde kalan Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait istasyonları üzerinde bulundukları enlemler, boylamlar ve kuruldukları yüksekliklerle birlikte gösteren çizelge.

İSTASYON ADI	ENLEM	BOYLAM	YÜKSEKLİK (metre)
ANKARA BÖLGE	39.57	32.53	890.52
ANKARA KÖY HİZ.	39.53	32.45	924
ANKARA-Z.ARASTIRMA	39.57	32.53	860
ANKARA-Z.FAKÜLTESİ	39.57	32.53	900
AYAŞ	40.01	32.20	910
AKYURT[RAVLI]	40.08	33.05	1000
BALA	39.33	33.07	1300
BALA TAR.İŞL.	39.33	33.08	1000
BEYPAZARI	40.10	31.56	682
CAMLIDERE-ANKARA	40.29	32.29	1175
ÇAMLIDERE-MECRİHAN	37.09	39.05	540
ÇUBUK	40.14	33.02	940
ELMADAĞ	39.55	33.14	1130
ELMADAĞ (RADAR)	0.00	0.00	1807
ETİMESGUT	39.57	32.41	806.15
ETİMESGUT MEYDAN	39.57	32.41	799
GÖLBASI	37.47	37.38	900
GUDUL	40.13	32.15	735
HAYMANA	39.26	32.30	1225
HAYMANA TARIM	0.00	0.00	1161.46
KALECİK	40.06	33.25	780
KIZILCAHAMAM	40.28	32.39	1033
NALLIHAN	40.11	31.22	650
POLATLI	39.35	32.09	886
POLATLI TAR.İŞL.	39.12	32.04	940
SİNCAN-ANKARA	39.57	32.34	800
SEREFLIKOCHISAR	38.57	33.32	975
YENİMAHALLE	39.59	32.38	883

1.3 Çalışma Alanı

Çalışma alanları Harita Genel Komutanlığı tarafından 1959 yılında basılmış 1/25000 ölçekli fiziki haritalardan, Bolu H29a1 ile Bolu H29a2 paftalarını içine alan Kızılcahamam Kaynağı ve çevresi; Bolu G29d3 ve Bolu G29d4 paftalarını içine alan Seyhamamı Kaynağı ve çevresi; Bolu H29c1 ve Bolu H29c2 paftalarını içine alan Çubuk-Melikşah Kaynağı ve çevresi; Bolu H28c3 ve Bolu H28c4 paftalarını içine alan Ayaş-Karakaya kaynağı ve çevresidir. Çalışma alanları UTM projeksiyon sisteminde datumu WGS84 olarak belirlenmiş Ankara ilçelerini gösteren haritada sunulmuştur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Çalışma alanlarını gösteren harita.

1.4 Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmada jeoloji haritalari, topoğrafik haritalar, Ankara il sınırları içerisinde olmuş depremlerin episentır koordinatları ve büyüklükleri ile uydu görüntüleri kullanılmıştır.

1.4.1 Jeoloji haritaları

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi tarafından hazırlanıp 2002 yılında Ankarada basılan 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisine ait 41 numaralı Bolu H28 paftası, 42 numaralı Bolu H29 paftası, 36 numaralı Bolu G29 paftası çalışmada kullanılmıştır. Bu haritaların üzerinde çizildiği projeksiyon sistemi ve çizimde kullanılan elipsoid ile ilgili bir bilgi verilmemekle beraber harita üzerindeki koordinatların belirlenmesine yardımcı olacak enlem ve boylam bilgileri bulunmamaktadır.

1.4.2 Topoğrafik haritalar

Harita Genel Komutanlığı tarafından 1959 yılında basılan 1/25000 ölçekli, UTM projeksiyon sistemi ve ED50 elilpsoidi kullanılarak çizilmiş Bolu H28 c3, Bolu H28

c4, Bolu H29 a1, Bolu H29 a2, Bolu H29 c1, Bolu H29 c2, Bolu G29 d3, Bolu G29 d4 paftaları kullanılmıştır.

1.4.3 Deprem verileri

Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Ensititüsünden, merkezi 39.93 derece kuzey enlemi ile 32.84 derece doğu boylamı üzerinde olan 300 km. yarıçaplı dairesel alan içerisinde 12.5.1901 ile 31.10.2008 tarihleri arasında kaydedilmiş depremlerin episentır koordinatları enlem-boylam ve episentır derinlikleri kilometre olarak alınmıştır. Ayrıca depremlerin manyitüdleride alınmıştır. Bu üç öge çalışmamızın deprem verilerini oluşturmuştur.

1.4.4 Uydu görüntüleri

Landsat 7 uydusu üzerindeki ETM+ adlı algılayıcı tarafından alınmış, GeoTIFF olarak kaydedilmiş, tüm bantlara ait L1G ürünü görüntüler kullanılmıştır. Bu tip görüntüler radyometrik düzeltmesi, geometrik düzeltmesi ve belirlenen bir projeksiyon sistemine göre rektifikasyonu yapılmış olarak son kullanıcıya sunulmaktadır (Lindrose, L., 1998, s.12). Çalışmada kullanılan görüntülerin UTM projeksiyonu WGS84 elipsoidine göre rektifikasyonları yapılmıştır.

1.4.5 Sayısal Yükseklik Modeli

SRTM radarının C bandına ait mekansal çözünürlüğü 3 ark saniye (90 metre) olan ve çalışma alanlarının içerisinde bulunduğu yerleri kapsayan veriler kullanılmıştır.

2. JEOTERMAL KAYNAKLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Giriş

Bu bölümde jeotermal kaynakların tanımı, sınıflandırılması, dünyada ve Türkiye'de jeotermal kaynakların dağılımı ve jeotermal enerjinin kullanım alanları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

2.2 Jeotermal KaynaklarınTanımı

Jeotermal kaynak teriminin literatürde birden fazla tanımı bulunmaktadır. Edwards vd. (1982, s. 61), kitaplarında jeotermal kaynağı belirli bir zaman aralığında belirli teknolojik ve ekonomik şartlar sağlanarak kullanılabilir duruma gelecek jeotermal ısının miktarı olarak tanımlamışlardır. Jeotermal kaynak terimi için bir diğer tanım yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ile yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak verilmiştir (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001, s. 4). Literatürdeki başka bir tanımlama ekonomik olarak çıkarılabilir ve yakın gelecekte elektrik üretiminde veya tarımsal, endüstriyel ile günlük kullanımda kullanılabilecek ısıya sahip olan rezervuarlar olarak ortaya konulmuştur (Gupta, H., 2006, s. 49). Çalışmada Devlet Planlama Teşkilatı tarafından yapılmış tanım kullanılacaktır.

2.3 Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması

Jeotermal kaynaklar sıcaklıklarına göre ve kaynakların rezervuarlarının tiplerine göre sınıflandırılmaktadır.

2.3.1 Kaynak sıcaklıklarına göre sınıflama

Jeotermal kaynaklar sıcaklıklarına göre düşük sıcaklıklı kaynaklar, orta sıcaklıklı kaynaklar ve yüksek sıcaklıklı kaynaklar olarak üçe ayrılmaktadır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001, s. 5).

2.3.1.1 Düşük sıcaklıklı kaynaklar

Bu kaynaklar sıcaklıkları 20^{o}C ile 70^{o}C arasında değişen kaynaklardır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001, s. 5).

2.3.1.2 Orta sıcaklıklı kaynaklar

Adı geçen kaynaklar sıcaklıkları 70^{o}C ile 150^{o}C arasında değişen kaynaklardır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001, s. 5).

2.3.1.3 Yüksek sıcaklıklı kaynaklar

Bu tür kaynaklar sıcaklıkları 150^{o}C'den yüksek kaynaklardır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001, s. 5).

2.4 Jeotermal Sistemlerin.Sınıflandırılması

Jeotermal sistemlerin oluşması için bir ısı kaynağına, ısıyı toplamak için bir rezervuara ve toplanan ısının sistem içerisinde tutulmasını sağlamak için bir bariyere ihtiyaç vardır (Gupta, H., 2006, s. 50). Doğada bu bileşenlerin değişik şekillerde bir araya gelmesiyle farklı tipte jeotermal sistemler oluşmaktadır. Bu jeotermal sistemler buhar-baskın (vapor dominated) sistemler, sıcak su (hot water) sistemleri, yer basınçlı (geopressured) sistemler, sıcak kuru kayalar (Hot dry rock - HDR) ve magma sistemleridir (Gupta, H., 2006, s. 50).

2.4.1 Buhar-baskın sistemler

Günümüzde kullanılan birçok jeotermal sahada yüksek basınçlı ve sıcaklığı 100^{o}C'den yüksek su bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 50). Yeryüzüne çıkarılan su basınç düşmesiyle nedeniyle buhara dönüşmektedir. Böylece açılan kuyudan su ve buhar elde edilmektedir. Sahada üretilen suyun buhara oranı sahadan sahaya değişmektedir (Gupta, H., 2006, s. 50).

Buhar-baskın sistemler kuru buhar (dry steam) ve ıslak buhar (wet steam) sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadırlar (Gupta, H., 2006, s. 50). Su ve buharın üretildiği ıslak buhar sahalarına örnek olarak Amerika'daki Salton Sea Sahası, Japonya'daki Otake Sahası, İzlanda'daki Reykjavik Sahası, Yeni Zelanda'daki Waireki Sahası ve Meksika'daki Cerro Prieto Sahası verilebilir (Gupta, H., 2006, s. 50). Sadece buhar üretilen kuru buhar sahalarına örnek olarak İtalya'daki Larderello Sahası verilebilir (Gupta, H., 2006, s. 50).

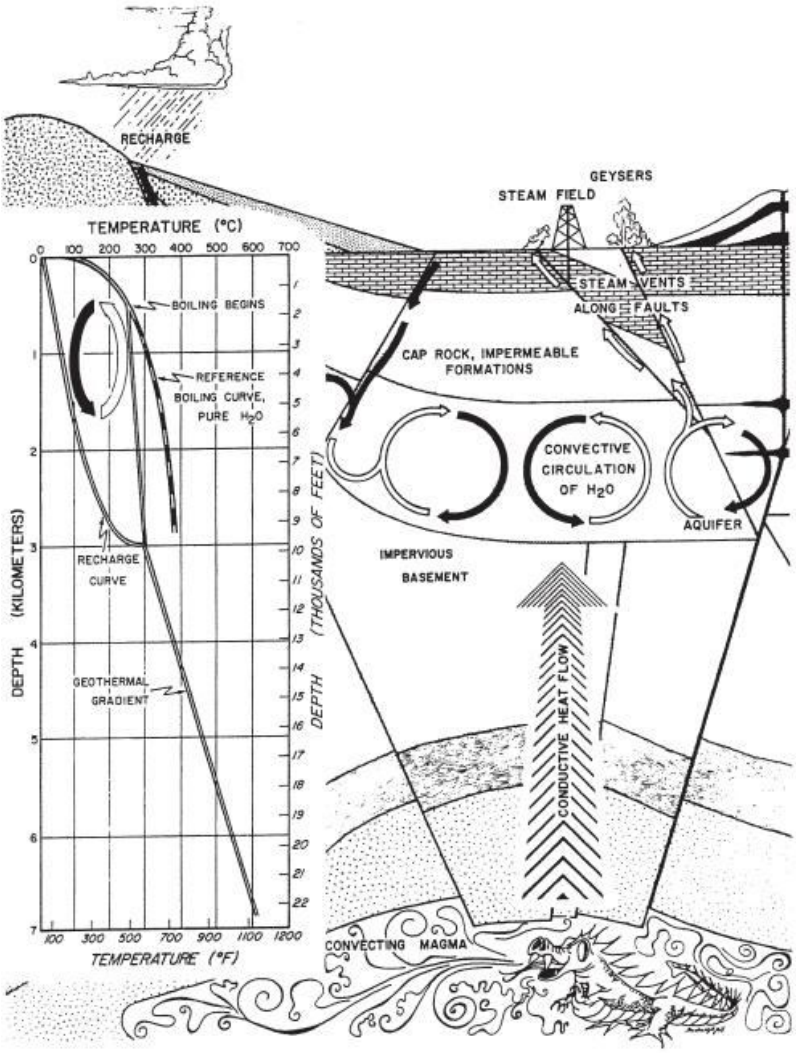
Buhar baskın sistemler genelde genç ve yüksek sıcaklığa sahip (500-1000 oC) sokulumların yeraldığı bölgelerde bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 51). Aktif volkanlar, sıcak sular ve gayzerler yeryüzünde bu tip sahaların belirteçleridir (Gupta, H., 2006, s. 51).

Buhar-baskın sistemlerin, jeotermal sistemlerin oluşması için gerekli bileşenlere ek olarak kaynağın sürekliliği için yeterli suya ihtiyacı vardır (Gupta, H., 2006, s. 50). İzotop analizleri sonucu bu tip jeotermal sahalardan elde edilen suların %90'ının meteorik su olduğu belirlenmiştir (Gupta, H., 2006, s. 51). Bu durum geçirgen akiferlerden oluşan rezearvuarın yağmur suyunun toplandığı geniş bölgeler ile bağlantılı olduğunu ve rezervuarın bu bölgelerden gelen su ile beslendiği göstermektedir (Gupta, H., 2006, s. 51).

Mağmatik sokulumların boşluklu ve geçirimli tabakalar ile karşılaşması sonucu rezervuar oluşmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 51). İçerisindeki su ve buharın konveksiyon akımları sebebiyle hareket etmesi rezervuarın üst ve alt kısımları arasındaki sıcaklık farkının dengelenmesini sağlamaktadır (Gupta, H., 2006, s. 51). İyi rezervuar kayaçlarına örnek olarak İtalya'daki Larderello sahasında bulunan çatlaklı kireçtaşı ve dolomit; Yeni Zelanda'daki Waireki sahasında bulunan pümisli breş ve tüf; Meksika'daki Cerro Prieto sahasında bulunan delta kumu verilebilir (Gupta, H., 2006, s. 50).

Rezervuarın üzerinde bulunan geçirimsiz tabaka sıcak akışkanların konveksiyon yolu ile rezervuardan kaçmasını engellemektedir (Gupta, H., 2006, s. 53).

Buhar-baskın sistem modeli Şekil 2.1'de sunulmuştur.

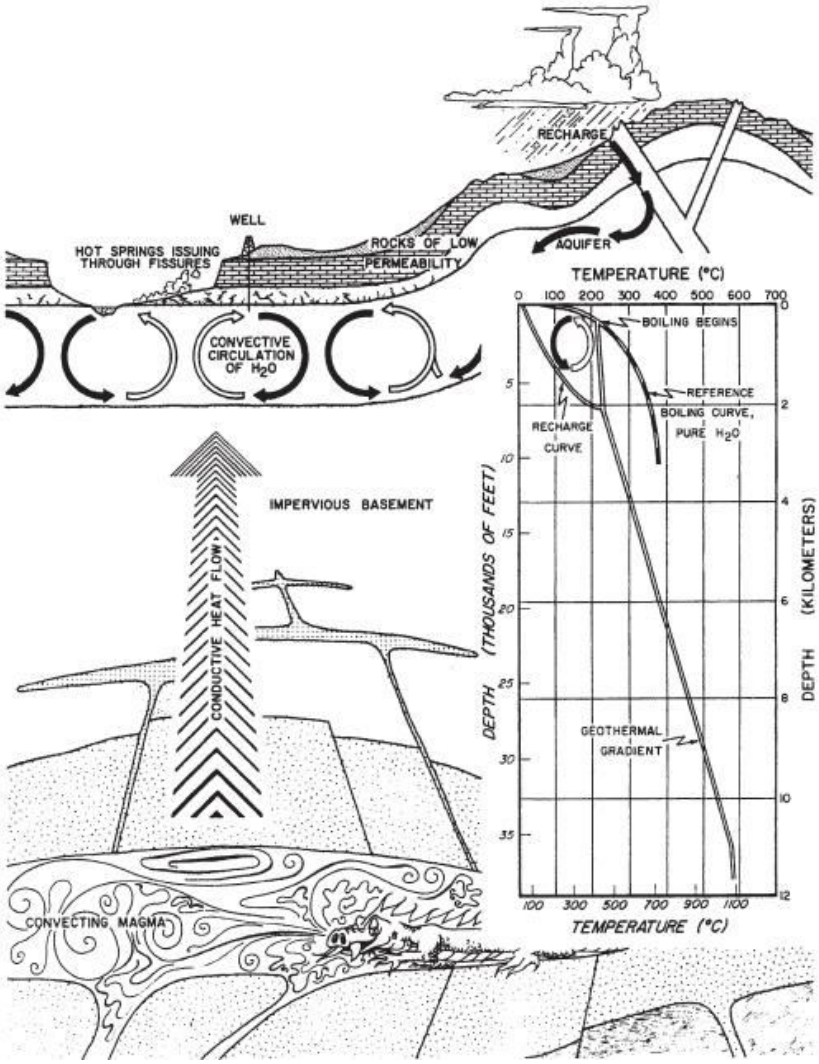


Şekil 2.1 : Buhar-baskın jeotermal sistemi gösteren şekil (Gupta, H., 2006, s. 52)

2.4.2 Sıcak su sistemleri

Bu tip sistemlerin yapısı buhar-baskın sistemler ile aynı olmakla birlikte sıcak su sistemlerinin buhar-baskın sistemlerden tek farkı rezervuar içerisinde sadece suyun bulunmasıdır (Gupta, H., 2006, s. 53). Sıcak su rezervuarlarının sıcaklığı 60 ^{o}C ile 100 ^{o}C arasında değişmekte ve bu rezervuarlar 1500 metreden 3000 metreye kadar olan derinliklerde bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 53).

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi termal gradyan ve akiferin derinliği konveksiyon akımı oluşturacak kadar yeterli olduğundan örtü kayaç bulunmadan sıcak su sistemleri oluşabilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 53).



Şekil 2.2 : Sıcak su sistemini gösteren şekil (Gupta, H., 2006, s. 53).

2.4.3 Yer basınçlı sistemler

Yer basınçlı jeotermal sistemler hızlı çökelme ile dolan jeosenklinlerin çökelme sonucu havzada hapsedilen suyu 5-10 kilometre arasındaki derinliklere batırması sonucu oluşmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 55). Bu süreç soğuk çökel kayaçların sıcak kayaçların içine sokulmalarına (Gupta, H., 2006, s. 55) konsolidasyonunu tamamlamamış çökellerin yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalmasına neden olmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 55). Sıvı basıncının üzerindeki litostatik basınca ulaşmasıyla su - kaya sisteminin özgül ısısı artar ve bölgede normalden daha yüksek termal gradyan değerlerinin görülmesine neden olur (Edwards, L. M., 1982, s. 60). Arama kuyularındaki termal gradyan ölçümlerindeki ani artışlar bu tip bir sistemin belirteci olabilir. Ayrıca jeosenklin içerisinde bulunan kil minerallerinin diyajenez tepkimelerinin endotermik olmaları nedeniyle, içinde kil minerali bulunduran

jeobasınçlı sistemlerde yeryüzü ile yapılan ısı transferinde azalma görülür (Gupta, H., 2006, s. 55). Bu durum bu tip kaynakların yüzeye yakın derinliklerde çizilen jeotermal gradyan haritalarında normalin altındaki değerleri gösteren bölgelerde bulunabileceğini göstermektedir. Jeobasınçlı sistemlerden elde edilen akışkanların içerisinde yüksek oranlarda çözünmüş metan gazı bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 55). Meksika Körfezi'ndeki kaynaklar bu tip sistemlere örmek olarak gösterilebilir (Gupta, H., 2006, s. 53).

2.4.4 Sıcak kuru kaya sistemleri

Dünyada içinde akışkanların bulunmadığı ve jeotermal enerji elde edilebilen sistemler bulunmaktadır. Bu tip sistemlerde jeotermal enerji yerkabuğunun sığ derinliklerinde bulunan, hiçbir akışkan sistemiyle ilişkisi bulunmayan sıcak ve geçirimliliği düşük kayaçlar tarafından muhafaza edilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 57). Bu tip sistemler mağmatik sokulumlar nedeniyle magmanın ısısını etrafında bulunan kuru kayaçlara vermesiyle, üst mantonun çok yüksek ısıya sahip bir noktasının ısı transferiyle yerkabuğunun sığ kısımlarını ısıtmasıyla veya yerkabuğunun belirli bölgelerinde radyoaktif minerallerin yoğunluğunun artarak bölgede kümelenmesi ve bozunarak bölgenin sıcaklığını arttırmasıyla oluşmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 57). Bu tip sistemler volkanizmanın görüldüğü, yüksek ısı akışının izlendiği ve bölgesel radyoaktif ısı kaynaklarının bulunduğu alanlarda bulunabilirler (Gupta, H., 2006, s. 58).

Sıcak kuru kaya sistemlerinden eneji elde etmek için geçirimsiz ve sıcak olan kayaçların bulunduğu bölgelerde yapay kırık sistemleri oluşturup, kırık sistemlerinin içerisine su pompalanıp, pompalanan suyun yeryüzüne çekilmesi gerekmektedir (Gupta, H., 2006, s. 58). Enjeksiyon ve üretim kuyusu olarak iki adet kuyu açılarak enjeksiyon kuyusundan pompalanan basınçlı su ile geçirimsiz kayaçlar içerisinde süreksizlikler oluşturulmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 58). Üretim kuyusundan ise pompalanan su yeryüzeyine çıkartılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 58). Sistemdeki en büyük problem sistem içerisindeki akışkan kaybının kontrolü ve sistemin içerisinde yeterli büyüklükte bir kırık sisteminin oluşturulabilmesidir (Gupta, H., 2006, s. 58).

Bu tip sistemler ile ilgili araştırmalar Amerika'da New Mexico Eyaaleti'ndeki Valles Kalderası'nda başlamıştır (Gupta, H., 2006, s. 58). Fransa ve Almanya tarafından Upper Rhine Grabeninde pilot bir proje yürütülmektedir (Gupta, H., 2006, s. 58).

2.4.5 Magma sistemleri

Volkanik bölgelerdeki yüzeye yakın magma kütleleri büyük müktarda ısıya sahiptir (Edwards, L.M., 1982, s.60). Hawai'de 1980'lerde bir test sondajı yapılmasına rağmen günümüzde magmadan enerji elde edilebilmesini sağlayacak teknoloji geliştirilememiştir (Gupta, H., 2006, s. 58). En büyük problem sondaj yapılacak bölgelerin kesin olarak belirlenmesi, sondaj maliyetleri ve kuyu içi ekipmanının sıcak ve aşındırıcı ortamdaki kullanılabilirlik süresidir (Gupta, H., 2006, s. 58).

2.5 Jeotermal Enerjinin Kullanımı

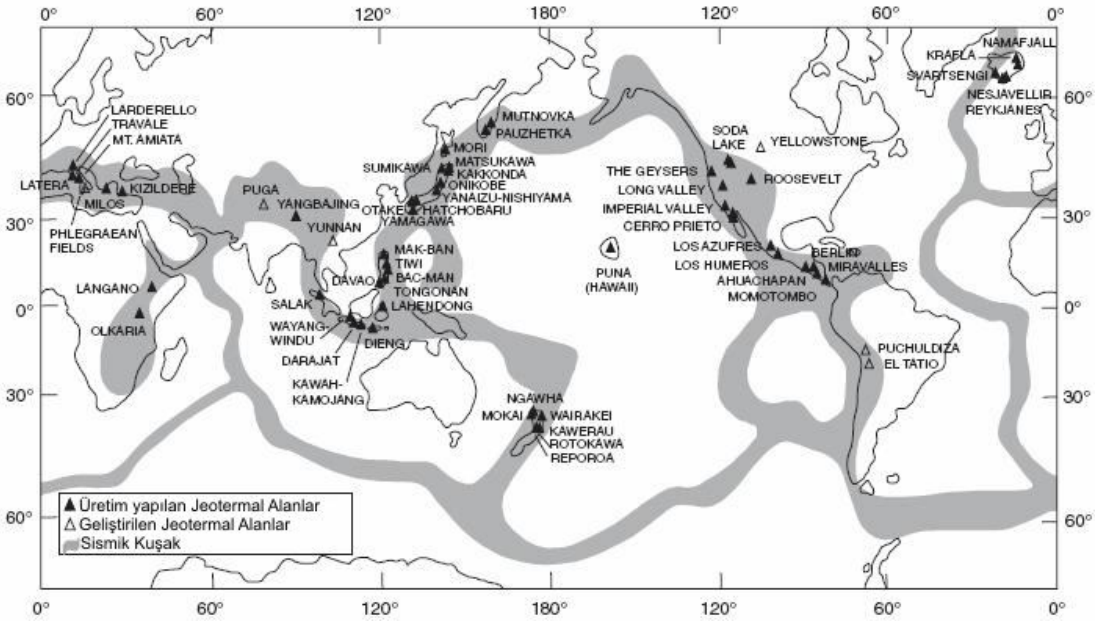
Jeotermal enerjinin kullanım alanları elektrik üretimi ve elektrik üretimi dışında kalan alanlar olarak ikiye ayrılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 199). Volkanik aktivitenin görüldüğü ve ada yaylarının bulunduğu bölgelerde bulunan yüksek sıcaklıklı kaynakları elektrik üretiminde kullanmak mümkün olurken, genelde kıtalar üzerinde bulunan orta ve düşük sıcaklıklı kaynaklar elektrik üretimi dışında kalan alanlarda kullanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 58). Jeotermal enerjinin elektrik üretimi dışında kalan alanlardaki kullanımları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Jeotermal kaynakların kullanım alanlarını gösteren çizelge (Gupta, H.,2006, s. 208'den değiştirilerek alınmıştır).

Sıcaklık (Santigrad)	Kullanım Alanları
170	Hidrojen sülfid süreci ile ağır su üretimi, diyatomitlerin kurutulması
160	Kereste ve balıkların kurutulması
150	Bayer yöntemiyle aluminyum eldesi
140	Çiftlik ürünlerinin kurutulması ve konservecilik
130	Şeker endüstrisi ve tuz elde edilmesi
120	Damıtma ile su eldesi
110	Çimento kurutulması
100	Organik malzemelerin, yiyeceklerin, deniz yosunu ve çimenin kurutulması, yünün yıkanması ve kurutulması
90	Balık kurutma
80	Ev ve sera ısıtması
70	Soğutma (alt sınır)
60	Kümes ve ahır ısıtma
50	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar
40	Toprak ısıtma, kent ısıtma (alt sınır), sağlık tesisleri
30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri
20	Balık çiftlikleri

2.5.1 Dünyada jeotermal kaynakların durumu

Dünyada üretim yapılan jeotermal alanlar genellikle dalma-batma zonlarının bulunduğu, okyanus ortası riftlerin bulunduğu levha sınırlarına yakın bölgelerde yer almaktadır (Gupta, H., 2006, s. 29). Dünyada üretim yapılan ve üretim yapılması için geliştirilmekte olan sahalar Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Dünyada üretim yapılan alanlar ile üretim için geliştirilmekte olan alanları gösteren şekil (Gupta, H., 2006, s. 29'dan değiştirilerek alınmıştır).

Günümüzde 24 ülke jeotermal kaynakları elektrik üretiminde kullanmaktadır ve bu kaynaklardan yılda dünyadaki toplam elektrik üretiminin % 0.4'ü olan 57000 MWe 'lık enerji üretilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 209).

2.5.1.1 Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki jeotermal kaynaklar ülkenin batısında yoğunlaşmıştır (Gupta, H., 2006, s. 210). Elektrik üretimi için kurulan tesislerin kapasitesi 2534 MWe'tır ve dünyadaki en yüksek üretim kapasitesine sahip ülke Amerika Birleşik Devletleridir (Gupta, H., 2006, s. 209). Ülkedeki üretim yapılan kaynakların konumları Şekil 2.4'te, üretim kapasiteleri ise Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde jeotermal kaynakların elektrik üretimi dışındaki kullanım alanlarında değerlendirilmesi için kurulan tesislerin elde yeterli kayıt olmaması nedeniyle tahmini üretim kapasitesi 7817 MWt tır (Gupta, H., 2006, s.212). Genellikle Amerika Birleşik Devletlerinde jeotermal enerji elektrik üretimi

dışında ısıtmada, tarımsal kurutmada, seraların iklimlendirilmesinde ve kar eritmede kullanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s.213).



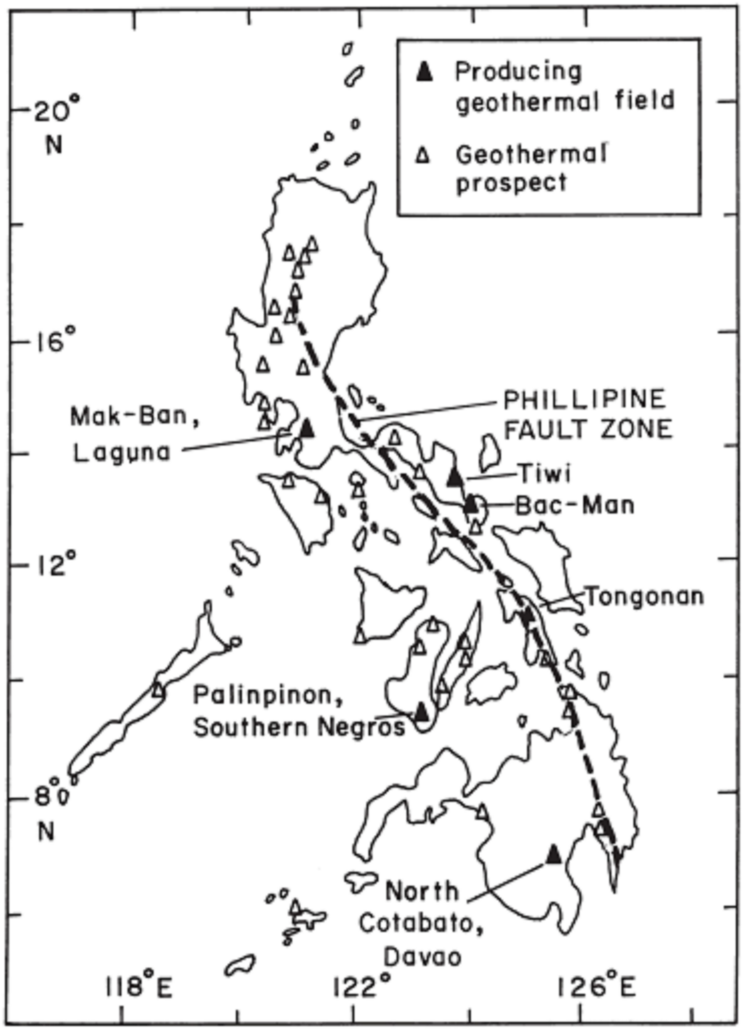
Şekil 2.4 : Amerika Birleşik Devletlerinde üretim yapılan kaynakların konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 213).

Çizelge 2.2 : Amerika Birleşik Devletleri'nde üretim yapılan kaynaklardaki kurulu üretim kapasitesini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 214).

Eyalet	Jeotermal Alan	Kurulu Kapasite(MWe)
Kaliforniya	The Geysers	1421.0
	East Mesa, Imperial Valley	79.0
	Heber, Imperial Valley	85.0
	Salton Sea, Imperial Valley	336.0
	Honey Lake Valley	3.8
	Coso	274.0
	Casa Diablo	40.0
Nevada	Beowave	16.6
	Brady	21.1
	Desert Peak	12.5
	Dixie Valley	62.0
	Empire	4.8
	Soda Lake	26.1
	Steamboat	58.6
	Stillwater	21.0
	Wabuska	2.2
	Steamboat Hills	14.4
Utah	Roosevelt	26.0
Hawaii	Puna	30.0
	Toplam	***2534.1***

2.5.1.2 Filipinler

Filipinler Pasifik plakasının batıya doğru heraket ederek Filipin Trençi boyunca batması ve Avrasya levhasının doğuya doğru hareket ederek ederek Manila Trençi boyunca batması sonucu oluşmuş bir ada yayıdır (Gupta, H., 2006, s. 214). İki batma zonunun ortasında ise yanal atımlı bir aktif fay olan Filipin Fayı bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 214). Bu jeolojik durum ülkede yüksek sıcaklıklı kaynakların görülmesine neden olmuştur (Gupta, H., 2006, s. 214). Üretim yapılan kaynaklar Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Filipinlerde üretim yapılan jeotermal kaynakları gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 214)

Ülkede elektrik üretmek için kurulmuş tesislerin kapasitesi 1931 MWe'tır(Gupta, H., 2006, s. 214). Çizelge 2.3'te ülkede elektrik üretimi yapılan kaynakların kapasiteleri verilmiştir.

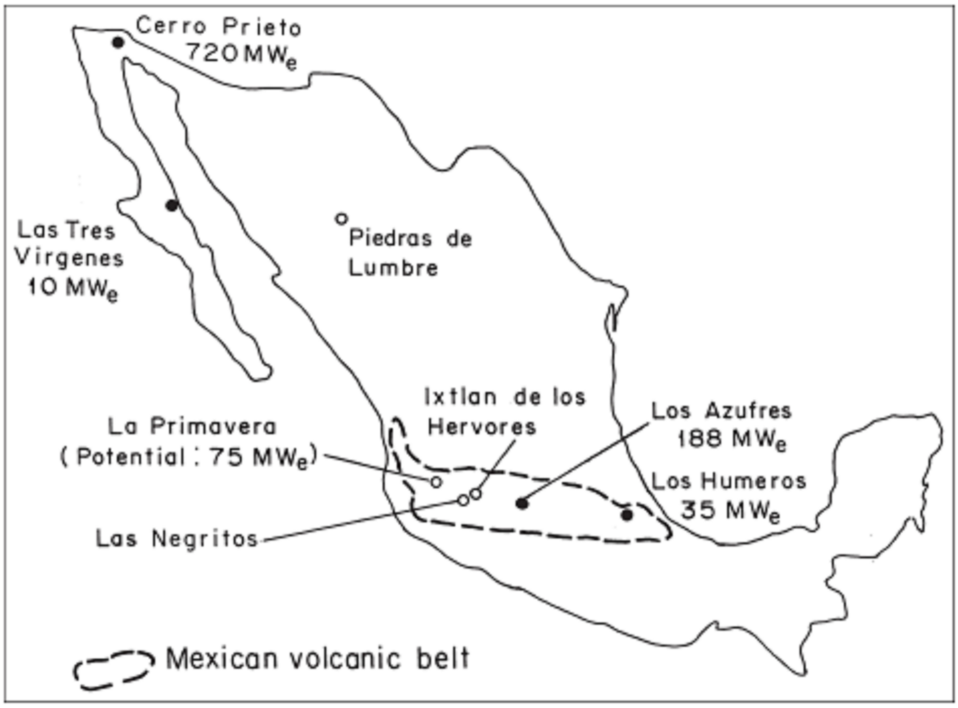
Çizelge 2.3 : Filipinlerde üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 214).

Jeotermal Alan	Kurulu Kapasite(MWe)
Tiwi, Albay	330.0
Makilin Banahaw (Mak-Ban), Laguna	425.7
Tongonan, Leyte	722.7
Palinpinon, Güney Negros	192.5
Bacon-Manito (Bac-Man), Albay, Sorsogon	151.5
Kuzey Cotabato, Davao	108.5
Toplam	***1930.9***

Elektrik üretimi dışında jeotermal kaynaklardan tarımsal kurutmada faydalanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 215).

2.5.1.3 Meksika

Meksika'da jeotermal kaynaklar elektrik üretiminde kullanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 216). Tesislerin üretim kapasitesi 953 MWe'tır (Gupta, H., 2006, s. 216). Kaynakların konumları Şekil 2.6'da üretim kapasiteleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.



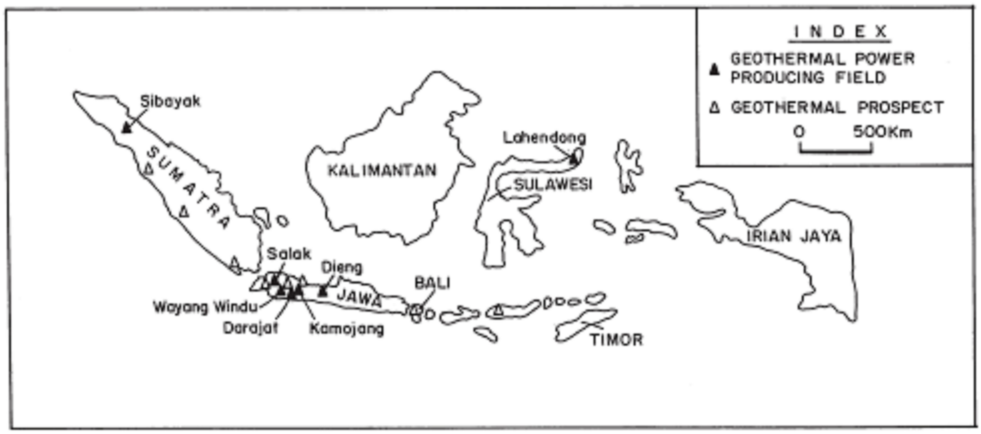
Şekil 2.6 : Meksika'da üretim yapılan kaynakların konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 217).

Çizelge 2.4 : Meksika'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 217).

Jeotermal Alan	Kurulu Kapasite(MWe)
Cerro Prieto	720.0
Los Azufres	188.0
Los Humeros	35.0
Las Tres Virgenes	10.0
Toplam	***953.0***

2.5.1.4 Endonezya

Endonezya'da ülkenin Hint-Avustralya levhasının sınırında bulunması nedeniyle yüksek sıcaklıklı kaynaklar bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 217). Ülkede üretim yapılan kaynaklarda elektrik üretimi için kurulan tesislerin üretim kapasitelerinin toplamı 807MWe'tır. Kaynakların konumları Şekil 2.7'de üretim kapasiteleri Çizelge 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.7 : Endonezya'da üretim yapılan kaynakların konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 218).

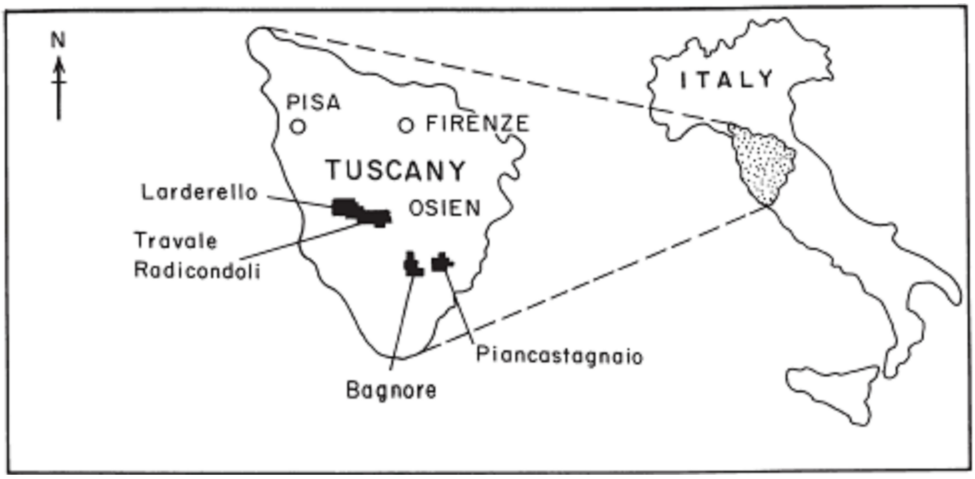
Çizelge 2.5 : Endonezya'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 218).

Jeotermal Alan	Kurulu Kapasite(MWe)
Cerro Prieto	720.0
Los Azufres	188.0
Los Humeros	35.0
Las Tres Virgenes	10.0
Toplam	***953.0***

2.5.1.5 İtalya

İtalya dünyada elektrik üretimi için ilk üretim kuyusunu açmış ülkedir ve bu kuyu Larderello alanında açılmışır (Gupta, H., 2006, s. 218). Ülkede üretim yapılan kaynaklarda elektrik üretimi için kurulan tesislerin üretim kapasitelerinin toplamı 790MWe'tır (Gupta, H., 2006, s. 219). Elektrik üretimi dışında kaynaklardan sera ve evlerin ısıtılmasında, balneolojide, tarımda faydalanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s.

219). Üretim tesislerinin bulunduğu alanların konumları Şekil 2.8'de üretim kapasiteleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.8 : İtalya'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 219).

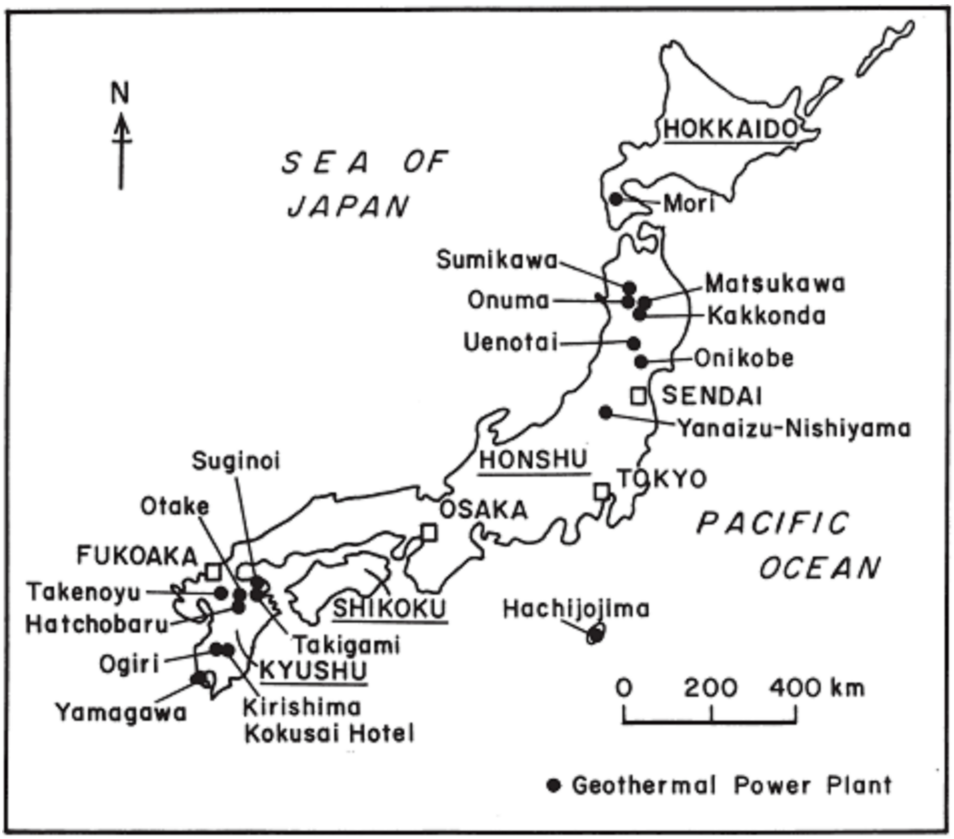
Çizelge 2.6 : İtalya'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 219).

Jeotermal Alan	**Kurulu Kapasite(MWe)**
Larderello	542.5
Travale-Radicondoli	160.0
Mt.Amiata (Bagnore, Piancastagnio)	88.0
Toplam	***790.5***

2.5.1.6 Japonya

Japonya Kuvarterner yaşlı 200 adet volkanı ve bunlara bağlı jeotermal kaynaklarıyla dünyanın tektonik olarak en hareketli bölgelerinde biridir (Gupta, H., 2006, s. 220). Ülkede genelde sıcak su ve buharın birlikte çıkarıldığı kaynaklar bulunmasına rağmen Matsukawa'da sadece buhar çıkarılan bir kaynak mevcuttur (Gupta, H., 2006, s. 220). Kaynaklara elektrik üretmek için kurulan tesislerin toplam kapasitesi 535 MWe 'tır (Gupta, H., 2006, s. 220). Üretim tesislerinin bulunduğu alanların konumları Şekil 2.9'da üretim kapasiteleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Ayrıca jeotermal enerji ısıtmada ve tarımda kullanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 220).



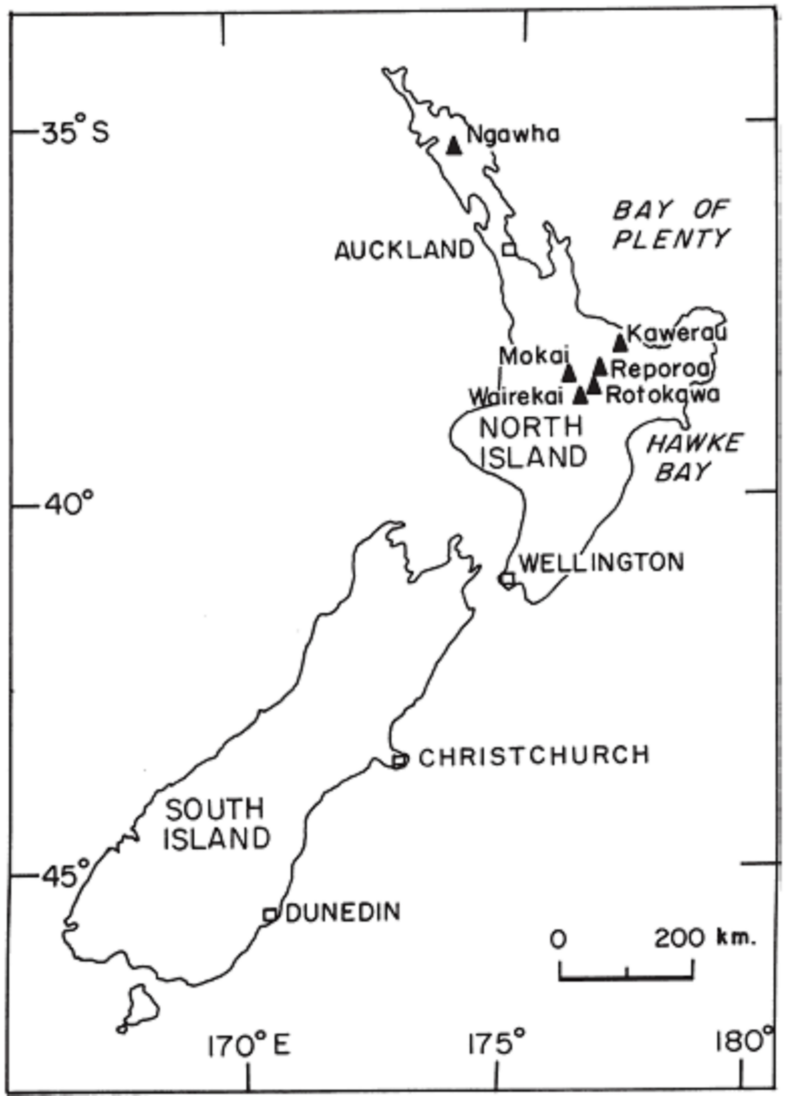
Şekil 2.9 : Japonya'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 220).

Çizelge 2.7 : Japonya'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 220).

Yönetim Birimleri	**Jeotermal Alan**	**Kurulu Kapasite(MWe)**
Hokkaido	Mori	50.0
Akita	Sumikawa	50.0
	Uenotai	28.0
	Onuma	9.5
Iwate	Matsukawa	23.5
	Kakkonda	80.0
Fukushima	Yanaizu-Nishiyama	65.0
Miyagi	Onikobe	12.5
Oita	Otake	12.5
	Hatchobaru	110.0
	Suginoi	3.0
	Takigami	25.0
	Kujyukannko Oteli	2.0
Kumamoto	Takenoyu	0.05
	Kirishima Kokusai Oteli	0.1
Kagoshima	Yamagawa	30.0
	Ogiri	30.0
Tokyo	Hachijojima	3.3
	Toplam	***534.5***

2.5.1.7 Yeni Zelanda

Yeni Zelanda'da toplam elektrik üretimi 435 MWe'ı geçen yüksek sıcaklıklı kaynakları bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 222). Bunların yanında ülkede sıcaklıkları 45^{o}C ile 140 ^{o}C arasında değişen ve ısıtmada kullanılan kaynaklar yer almaktadır (Gupta, H., 2006, s. 222). Üretim tesislerinin bulunduğu alanların konumları Şekil 2.10'da üretim kapasiteleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.



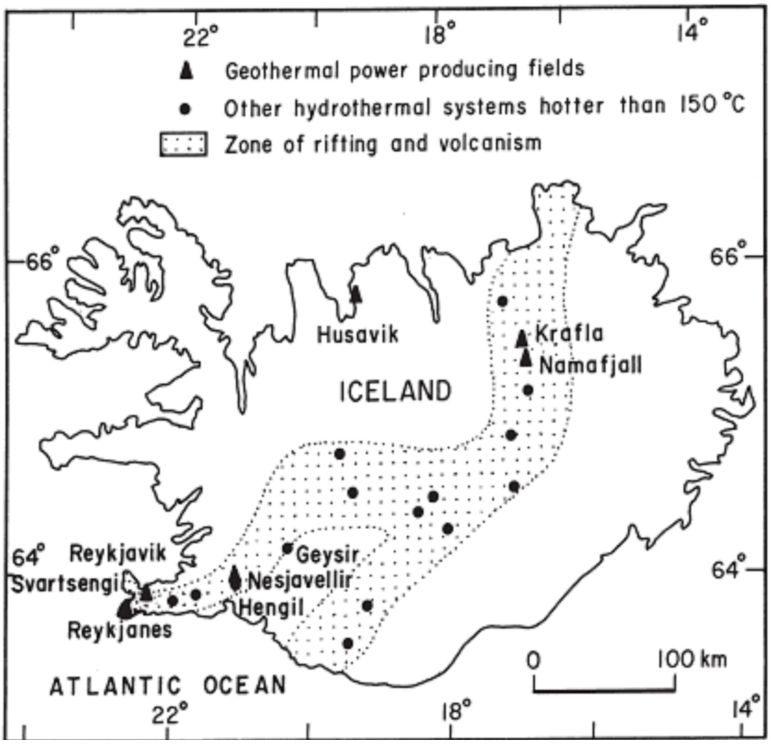
Şekil 2.10 : Yeni Zelanda'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 223).

Çizelge 2.8 : Yeni Zelanda'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 224).

Jeotermal Alan	Kurulu Kapasite(MWe)
Wairakei	165.0
Reporoa (Ohaaki)	104.0
Kawerau	14.5
Rotokawa	31.0
Northland (Ngawha)	11.0
McLachlan-Wairakei	55.0
Mokai	55.0
Toplam	***435.5***

2.5.1.8 İzlanda

İzlanda bir okyanus ortası sırtı olan Orta Atlantik Sırtı üzerinde bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 222). Ülkedeki jeotermal kaynakların yoğun olarak bulunmasının nedeni okyanus ortası sırt yüzünden oluşan tektonik aktivite ve volkanizmadır (Gupta, H., 2006, s. 222). Elektrik üretimi için kurulmuş tesislerin üretim kapasitesi 200 MWe'tır (Gupta, H., 2006, s. 222). Jeotermal enejinin ülkedeki ana kullanım alanı soğuk iklim nedeniyle ısıtmadır (Gupta, H., 2006, s. 223). Üretim tesislerinin bulunduğu alanların konumları Şekil 2.11'de üretim kapasiteleri Çizelge 2.9'da verilmiştir.



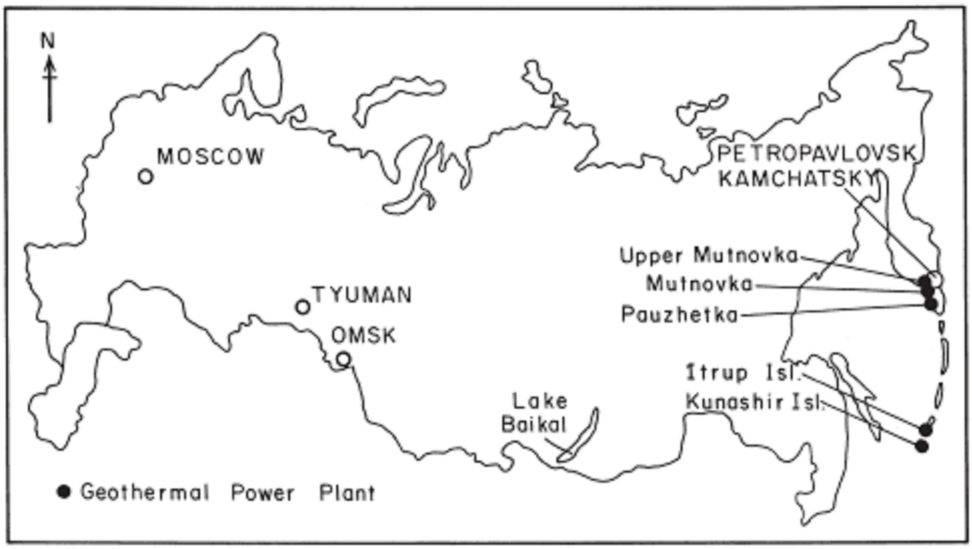
Şekil 2.11 : İzlanda'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 224).

Çizelge 2.9 : İzlanda'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 224).

Jeotermal Alan	Kurulu Kapasite(MWe)
Namafjall	3.2
Krafla	60.0
Svartsengi	45.0
Nesjavellir	90.0
Reykjanes	0.5
Husavik	2.0
Toplam	***200.7***

2.5.1.9 Rusya

Rusya'da jeotermal kaynaklar elektrik üretiminde ve ısıtmada kullanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 227). Elektrik üretebilen tesislerin toplam kapasitesi 79 MWe'tır (Gupta, H., 2006, s. 227). Üretim tesislerinin bulunduğu alanların konumları Şekil 2.12'de üretim kapasiteleri Çizelge 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.12 : Rusya'da elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanıldığı tesislerin konumlarını gösteren harita (Gupta, H., 2006, s. 224).

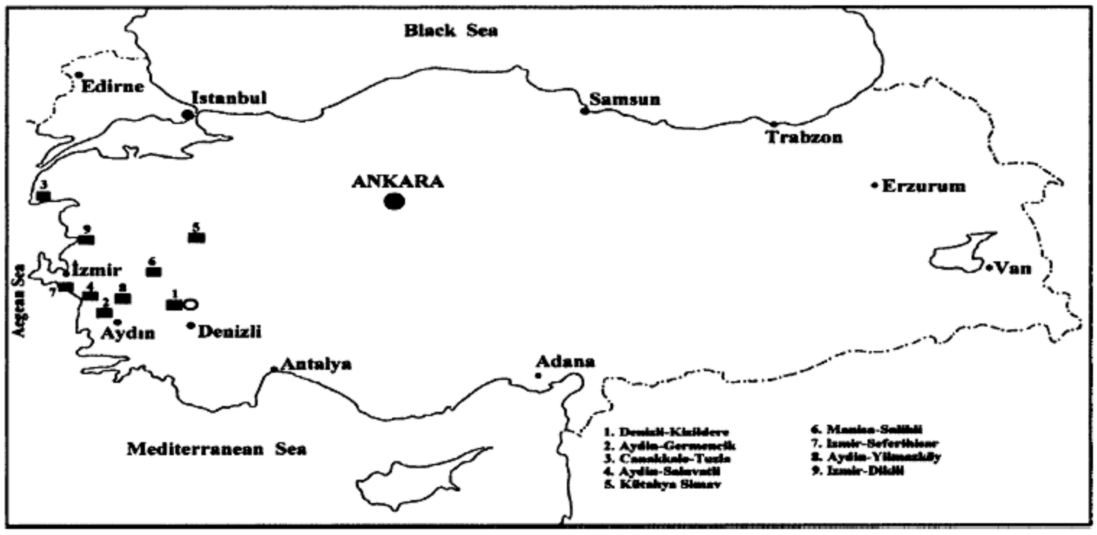
Çizelge 2.10 : Rusya'da üretim yapılan kaynakların kapasitelerini gösteren çizelge (Gupta, H., 2006, s. 224).

Bölge	Jeotermal Alan	Kurulu Kapasite(MWe)
Kamçatka	Pauzhetka	11.0
	Verkhne-Mutnovka	12.0
	Mutnovka	50.0
Kuril Adası	Iturup Adaları	3.4
	Kunashir Adaları	2.6
	Toplam	***79.0***

2.5.2 Türkiye'de jeotermal kaynakların durumu

Türkiye bulundurduğu jeotermal kaynakların sayısı ile dünyada jeotermal kaynaklara sahip ülkeler arasında yapılan sıralamada ilk yedi ülke arasına girmektedir. (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 433). Ülkede sıcaklıkları 45^{o}C ile 242^{o}C arasında değişen 170 adet kaynak bulunmaktadır (Hepbaşlı, A. and Özgener, L., 2004, s. 439). Bu kaynakların %95'inin düşük veya orta sıcaklıklı kaynaklar olması nedeniyle genelde kaynaklar elektrik üretimi dışındaki alanlarda kullanılmaktadır. (Lund, J.W. vd., 2005, s. 708).

Elektrik üretimine uygun yüksek sıcaklıklı kaynaklar Denizli-Kızıldere (200-242 ^{o}C), Aydın-Germencik (232^{o}C), Çanakkale-Tuzla Kaynağı (174^{o}C), Aydın-Salavatlı ı (171 ^{o}C), Kütahya-Simav (162^{o}C), Manisa-Salihli (150^{o}C) ve İzmir-Seferihisar (153^{o}C) kaynaklarıdır. Kaynaklar Şekil 2.13'de gösterilmiştir (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 439).



Şekil 2.13 : Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılabilecek jeotermal kaynakları gösteren harita (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 439).

Yüksek sıcaklıklı kaynaklar genç tektonizma nedeniyle oluşmuş grabenlerin bulunduğu Türkiyenin batısında bulunmaktadır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001, s. 30). Türkiyede elektrik üretimi yapan tek tesis Denizli-Kızıldere kaynağında kurulmuştur (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 440; Bertani, R. 2005, s. 680). Tesisin üretim kapasitesi 20.4MWe tır (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 440; Bertani, R. 2005, s. 680). Ayrıca bölgede kuyulardan yoğun olarak CO_2 çıkması nedeniyle 40000 ton/yıl kapasiteli bir

kuru buz ve sıvı CO2 üretim tesisi 1986'da kurulmuştur, 1999 yılında kapasite 120000 ton/yıl'a çıkartılmıştır (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 440).

Elektrik üretimi dışındaki 1495 MWt'lık kullanım kapasitesiyle Türkiye (Lund, J.W. vd., 2005, s. 694) sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri, İsveç, Çin ve İzlanda'dan sonra dünyada beşinci sırada yeralmaktadır (Lund, J.W. vd., 2005, s. 694; Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 442). Elektrik üretiminin dışında jeotermal enerji Türkiye'de bölge ısıtma ve bina ısıtma amacıyla, seracılıkta, balneolojide ve endüstriyel alanda kullanılmaktadır (Lund, J.W. vd., 2005, s. 708). Bölge ve bina ısıtmasının yapıldığı şehirler Çizelge 2.11'de sunulmuştur.

Çizelge 2.11 : Türkiye'de bölge ve bina ısıtmasının yapıldığı şehirleri gösteren çizelge (değiştirilerek Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 444 'ten alınmıştır).

Alan	Şehir	Kapasite (MWt)	Jeotermal Akışkan Sıcaklığı (Santigrad)
Gönen	Balıkesir	32.0	80
Simav	Kütahya	25.0	120
Kırşehir	Kırşehir	18.0	54 - 57
Kızılcahamam	Ankara	25.0	80
Balçova (Narlıdere)	İzmir	72.0	115
Kozaklı	Nevşehir	11.2	90
Afyon	Afyon	40.0	95
Sandıklı	Afyon	45.0	70
Diyadin	Ağrı	42.0	78
Salihli	Manisa	142.0	94

Seracılıkta ısıtmada kullanılan jeotermal sistemlerin toplam kapasitesi 81 MWt 'tır (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 445). Kullanım Ege Bölgesinde yoğunlaşmıştır (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 445). Bölgelerdeki seraların toplam alanları Çizelge 2.12'de sunulmuştur.

Çizelge 2.12 : Türkiye'de seracılık yapılan alanları bölgelere göre gösteren çizelge (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 446).

Bölge	Alan (Hektar)
Ege	25.66
İç Anadolu	0.39
Karadeniz	0.05
Güneydoğu Anadolu	9.37
Marmara	0.06
Doğu Anadolu	0.20
Akdeniz	X
TOPLAM	35.73

Jeotermal kaynakların ülkede endüstriyel alandaki en önemli kullanımı Denizli-Kızıldere kaynağındaki CO_2 ve kurubuz üretimidir (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 446). Ayrıca tekstil alanında jeotermal akışkanlar kimyasal özellikleri nedeniyle beyazlatmada ve Balıkesir-Gönen'deki ısıtma tesisinden çıkan atık su bölgedeki tabakhanelerde kullanılmaktadır (Hepbaşlı, A., ve Özgener, L., 2004, s. 446).

3. JEOTERMAL KAYNAKLARIN ARANMASI

3.1 Giriş

Jeotermal kaynaklar kendi aralarında farklı özelliklere sahip olmaları nedeniyle bu kaynakların aranmasında kullanılan teknikler değişmektedir. Aranılan kaynağın tipi ve bulunduğu bölgenin jeolojik durumu farklılık göstermesine rağmen keşif çalışmalarında izlenilen ortak bir yol bulunmaktadır (Edwards, L. M. vd., 1982, s.218). Jeotermal kaynakların aranması için yürütülen keşif çalışmalarında amaç ekonomik olarak elde edilebilecek kaynakların bulunmasıdır (Edwards, L. M. vd., 1982, s.218). Bu amaç doğrultusunda arayıcı çalışmaya geniş bir alanda başlayıp, elde ettiği verilerle çalışma alanını aranan kaynak buluncaya kadar küçültmelidir (Edwards, L. M. vd., 1982, s.218). Jeotermal kaynaklar bulunduktan sonra üretim yapılacak kuyuların açılacağı yerlerin belirlenmesi için derinlerdeki sıcaklık ve geçirgenlik değerleri yaklaşık olarak verilebilmeli ve bunlara bağlı olarak kaynak tipi tahmin edilebilir olmalıdır (Gupta, H., 2006, s. 61). Ayrıca jeotermal sistem içindeki jeotermal akışkanların kimyalarının belirlenmesi istenebilir (Gupta, H., 2006, s. 61). Tüm bu bilgilerin elde edilmesi için kullanılacak teknikler arasında önemli olanlar aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

a) Jeolojik ve Hidrolojik Teknikler

b) Jeokimyasal Teknikler

c) Jeofiziksel Teknikler

d) Uzaktan Algılama Teknikleri

e) Keşif Sondajları

Bu bölümde jeolojik ve hidrolojik teknikler, jeokimyasal teknikler, jeofiziksel teknikler, uzaktan algılama teknikleri ve keşif sondajları hakkında bilgi verilecektir.

3.2 Jeolojik ve Hidrolojik Teknikler

Ön keşif çalışmasında bir bölge belirlemek için ilk olarak jeotermal kaynakların yüzeyde belirteci olabilecek yapılar aranmalıdır. Bu yapılar termal kaynaklar, fümeroller, çamur volkanları ve gayzerlerdir (Gupta, H., 2006, s. 62). Bu yapıların bulunduğu yerlerin bölgenin bulunabilen en detaylı jeoloji haritasıyla karşılaştırılmasıyla jeotermal kaynak bulunabilme potansiyeli olan kayaç grupları ve/veya yapısal zonlar belirlenebilir (Gupta, H., 2006, s. 62). Geçirgen olmayan örtü kayacının sismik aktivite sonucu kırılarak akışkanların yüzeye veya yüzeye yakın yeraltı sularına ulaşmasıyla oluşan bu belirteçler jeotermal sistemlerin niteliği hakkında bilgi edinmemizi sağlamakla beraber jeotermometreler sayesinde rezervuar sıcaklığı hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır (Edwards, L.W., 1982, s.219). Ayrıca araştırmanın yürütüldüğü bölgede silisli sinterlerin ve travertenlerin bulunması bölgede geçmişte jeotermal bir sistemin yer aldığının kanıtıdır (Edwards, L.W., 1982, s.219).

Magma sistemleri, sıcak kuru kaya sistemleri ve sıcak su sistemleri ile buhar baskın sistemleri kapsayan hidrotermal sistemler magmanın yerkabuğu içine sokulması sonucu oluşan jeotermal sistemlerdir (Gupta, H., 2006, s. 62). Magma yerkabuğuna sokulurken geçirimsiz ve süreksizlik barındırmayan bir birime rastladığında yer kabuğu içerisinde yukarılara ilerleyemeyerek durur ve iletim yoluyla içerisine sokulduğu komşu kayaçları ısıtır. Böylece sıcak kuru kaya sistemleri oluşur (Gupta, H., 2006, s. 63). Hidrotermal sistemlerde ise süreksizlikleri izleyerek yerkabuğu içerisinde ilerleyip geçirimli kayaçlar içerisinden geçen meteorik suların, geçirimli ve süreksizlikler içeren bir birim içerisine oturmuş sıcak magma ile karşılaşması sonucu ısı akışkana aktarılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 63). Akışkan yeryüzüne ulaşarak veya yeryüzüne ulaşamadan belirli bir derinlikte rezervuar oluşturarak ısıyı iletir (Gupta, H., 2006, s. 63). Bu nedenle magmatik aktivetinin görüldüğü bölgelerde bu tip kaynaklar aranmalıdır. Aktif volkanizmanın görüldüğü bölgeler ve genç ekstrüsif magmatik kayaçlar yüksek jeotermal gradyanın belirteci olduklarından (Edwards, L.W., 1982, s.219) aramalar sırasında bunların bulunduğu bölgeler potansiyel kaynakların yer aldığı bölgeler olarak değerlendirilmelidir.

Her keşif çalışmasının temelini oluşturan jeolojik haritalama çalışması yapılırken ısı kaynağı olabilecek genç magmatik kayaçların arazideki dağılımları, potansiyel rezerv kayalarının dağılımları, hidrotermal alterasyonlar ve bunların dağılımı ile arazideki

fay ile çatlakların yapıları, dağılımları, konumları belirlenmelidir (Edwards, L.W., 1982, s.220). Bu arazi çalışması uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları ile desteklenmelidir (Edwards, L.W., 1982, s.220). Bu aşamada yapılacak haritalama çalışmaları için kullanılabilecek haritaların ölçeklerinin 1/125000 ile 1/62500 arasında bulunması uygun olacaktır (Edwards, L.W., 1982, s.220). Çalışma alanı daraltıldıkça harita ölçeğinin büyümesi gerektiğinden ayrıntılı çalışmalar için kullanılabilecek en küçük ölçek 1/24000 ve en büyük ölçek ise 1/5000 olmalıdır (Edwards, L.W., 1982, s.220).

Bölgedeki çatlak ve fay sistemlerinin incelenmesi akışkan içeren sistemlerde açılan kuyudan üretimi doğrudan etkilemesi sebebiyle önemlidir (Edwards, L.W., 1982, s.221). Yer basınçlı sistemlerde bu süreksizlikler rezervuarın büyüklüğünü belirlemektedir (Edwards, L.W., 1982, s.221). Sıcak kuru kaya sistemlerinde ise çatlaklar ve çatlakları dolduran mineraller bölgeden enerji elde edilip edilmeyeceğini gösteren parametrelerdir (Edwards, L.W., 1982, s.221). Bu nedenle bölgedeki çatlak ve fay sistemlerinin incelenmesi oldukça önemlidir.

Bölgedeki termal anomalilerle ilişkili magmatik kayaçlar, rezervuar kayaçları ve geçirimsiz kayaçlar üzerinde yürütülecek petrolojik çalışmalar alandaki anomalinin büyüklüğü hakkında bilgi vermesinin yanında alandaki geliştirme ve üretim faaliyetlerini etkileyen akışkan özelliklerinin tahmininde yardımcı olacaktır (Edwards, L.W., 1982, s.221).

Hidrolojik araştırmalar ile sistemdeki akışkanın kaynağı, boşalım bölgeleri, yer altında su tutan yapılar anlamına gelen akiferlerin konumları, akiferlerin derinlikleri ve akifer içerisindeki basınçlar belirlenebilmektedir (Edwards, L.W., 1982, s.226). Böylece jeotermal sistemin anlaşılması kolaylaşmaktadır (Edwards, L.W., 1982, s.226). Ayrıca inceleme alanının hidrolojik durumu yüzeyde görülebilecek yapıların oluşumunu etkilemektedir (Gupta, H., 2006, s. 63). Yeraltında yeterli ısıya sahip jeotermal bir sistemin durgun yeraltı suyu ile karşılaşması suyun jeotermal sistemden aldığı ısı ile kaynamasına ve yeryüzünde buhar çıkışlarının görülmesine neden olmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 63). Aynı biçimde jeotermal sistem soğuk su içeren büyük bir akifer ile karşılaştığında ise akifer içerisindeki suyun ısıyı emmesi sonucu yüzeyde bir değişiklik olmayabilir veya ısı kaynağının çevresindeki geniş alanda ılık su kaynakları oluşabilir (Gupta, H., 2006, s. 63).

3.3 Jeokimyasal Teknikler

Yeryüzüne ulaşan sıcak suların ve buharın incelenmesi ile elde edilen kimyasal veriler keşif çalışmasının ilerlemesini etkilemektedir (Gupta, H., 2006, s. 67). J Üzerinde araştırma yapılan alana ilişkin yapısal bilgiler jeolojik, hidrolojik ve jeofiziksel teknikler ile elde edilen verilerin birleştirilmesiyle oluşturulur (Gupta, H., 2006, s. 67). Yapısal bilgiler ve jeokimyasal teknikler ile üretilen diğer verilerin birleştirilmesiyle ise keşif kuyularının açılacağı yerlerin belirlenmesi mümkün olur (Gupta, H., 2006, s. 67). Sondaj ile yeryüzüne çıkartılan akışkanların kimyasal analizi ile yeraltındaki akış modeli oluşturulabilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 67). Kimyasal jeotermometreler aracılığı ile rezervuar sıcaklığı bulunabilmekte ve olası jeotermal kaynakların enerji potansiyeli hesaplanabilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 67). Ayrıca üretim sırasında çıkarılan akışkanların kimyası kontrol edilerek rezervuardaki su miktarı ve rezervuar sıcaklığı hakkında bilgi edinmek de mümkün olmaktadır(Gupta, H., 2006, s. 67).

Birçok jeotermal sistemdeki suyun kökeninin ağırlıklı olarak meteorik sular olduğu ve zaman zaman juvenil suların meteorik sulara az oranda karışarak (%5-10) sistem içerisindeki akışkanı oluşturdukları bilinmektedir (Gupta, H., 2006, s. 68). Akışkan barındırdığı çözünmüş kimyasalların ise akışkanın içerisinde ilerlediği komşu kayaç ile meteorik suların etkileşimi sonucu oluştukları düşünülmektedir (Gupta, H., 2006, s. 68). Sodyum klorit suyu, asit sülfat/klorit suyu, asit sülfat suyu, bikarbonat suyu olmak üzere dört çeşit su tanımlanmıştır (Gupta, H., 2006, s. 68). Bu tip sular çeşitli oranlarda birbirleri ile karışarak hibrit suları oluşturmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 68). Sodyum klorit suları genelde su baskın jeotermal sistemlerde; asit sülfat suyu fümerolik bölgelerde, sıcak rezervuardan çıkan buharın yüzeyde yoğunlaştığı yerlerde bulunmaktadır. Suların diğer özellikleri için Gupta'nın (2006) çalışmasına başvurulabilir.

Jeotermometreler sıcaksu kaynaklarının jeokimyasal ve/veya izotopik bileşimlerinden türetilen yeraltındaki sıcaklıklar hakkında bilgi veren belirteçlerdir (Gupta, H., 2006, s. 71). Kimyası bilinen su içerisindeki minerallerin dengesi sıcaklığa bağlıdır (Gupta, H., 2006, s. 71). Yani elimizdeki suyun içerisindeki belirli kimyasalların oranını bilirsek suyun oluştuğu sıcaklığıda hesaplamamızın mümkün olduğu açıktır. Jeotermometreler izotop jeotermometreleri, silika jeotermometreleri, Na-K jeotermometreleri ve Na-K-Ca jeotermometreleri olarak alt gruplara

ayrılmaktadır. Ayrıntılı bilgi için Gupta'nın (2006) çalışmasına ve Edwards'ın (1982) çalışmasına başvurulabilir.

3.4 Jeofiziksel Teknikler

Jeofiziksel tekniklerle ile yapılan aramaların temeli kayaçların yoğunlukları, elektrik iletimi, ses iletimi, ısı iletimi, mıknatıslık kazanabilmeleri, içerdiği gözenek miktarı ve geçirimliliği gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesine dayanmaktadır (Şimşek, Ş., 2001, s. 9). Rezervuar içerisindeki kayaçların ve akışkanların rezervuar dışında kalan birimlerden fiziksel özellikler bakımından farklı olmaları sebebiyle görülen jeofiziksel anomaliler (Gupta, H., 2006, s. 78) tespit edilerek rezervuarın büyüklüğü, yapısı ve yeraltındaki birimlerin rezervuar ile ilişkileri belirlenebilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 77). Jeotermal kaynak aramalarında kullanılan jeofiziksel teknikler termal yöntemler, elektriksel yöntemler, sismik yöntemler, gravite ölçümleri ve manyetizma ölçümleri olarak sıralanabilir.

3.4.1 Termal yöntemler

Termal yöntemler ısı akısı ölçümleri ve termal gradyan ölçümleri olarak iki başlık altında toplanabilir.

Termal gradyan ölçümleri yeraltındaki sıcaklık hakkında bilgi sahibi olmamızı sağladığından açılacak üretim kuyularının yerlerinin belirlenmesi için oldukça önemlidirler (Gupta, H., 2006, s. 82). Ölçüm için iki ucunda termistör bulunan problar kullanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 82). Gradyan termistörler arasındaki sıcaklık farkının termistörler arasındaki uzaklığa oranlanmasıyla bulunmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 82). Yeryüzüne yakın bölgelerdeki normal gradyan değeri $3^{o}C/100m$'dir (Gupta, H., 2006, s. 82). Potansiyel kaynakların bulunduğu bölgelerde bu değer $7^{o}C/100m$'den büyük olmalıdır (Gupta, H., 2006, s. 82).

Isı akısı ve termal gradyan ölçüldüğü kayaç grubunun termal iletkenliğinin fonksiyonudur (Gupta, H., 2006, s. 83). Bu nedenle karotlardaki kayaçların termal iletkenliğinin ölçülmesi gerekmektedir (Gupta, H., 2006, s. 83). Dünyanın ortalama ısı akısı $87mW/m^2$ 'dir (Gupta, H., 2006, s. 81). Ekonomik olarak işletilen kaynaklardaki ısı akısı normalin üzerindedir (Gupta, H., 2006, s. 81). Bu nedenle normalin üzerinde ısı akısına sahip alanlar potansiyel kaynaklar olarak değerlendirilebilir.

3.4.2 Elektriksel yöntemler

Jeotermal aramalarda kullanılan elektriksel yöntemler özdirenç (resistivity) ölçümleri, yapay uçlaşma (inductive polarization) ölçümleri ve doğal uçlaşma ölçümleri (self polarization) olarak üç başlık altında toplanabilir.

Özdirenç ölçümleri yeraltında dik veya yatay konumda bulunan, elektriksel süreksizlikler oluşturan yapıların incelenmesi ve elektrik iletkenliğine sahip üç boyutlu kütlelerin araştırılmasında kullanılmaktadır (Kearey, P. and Brooks, M., 1991, s.173). Ölçümler yere elektrotlar yardımıyla akım verilerek elektrotlar arasındaki potansiyel farklarının okunmasıyla yapılmaktadır (Kearey, P. and Brooks, M., 1991, s.173). Jeotermal sistemler ve jeotermal sistemlerin etrafındaki kayaçların özdirençleri arasındaki farkı çeşitli etmenler denetlemektedir. Özdirenç sıcaklık arttığında azalmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 92). Artan sıcaklıkla birlikte çözünürlük de artmakta ve buna bağlı olarak tuzluluk artarak özdirenci düşürmektedir (Gupta, H., 2006, s. 92). Jeotermal sistemin merkezindeki kayaçlardaki boşluk miktarı sıcaklık ile artmaktadır. Tuzlu akışkan ile dolan kayaçların özdirençleri daha da düşmektedir (Gupta, H., 2006, s. 92). Genel olarak jeotermal sistemlerde özdirenç 5Ωm olurken komşu kayaçlarda özdirenç 100 Ωm olmaktadır. Özdirenç(resistivity) ölçümlerinden elde edilen verilerle tektonik durum, örtü ve rezervuar kayanın yeri ile kalınlığı hakkında yorum yapılabilmektedir (Şimşek, Ş., 2001, s.9) fakat yorum yapılırken mutlaka elde litoloji ve yeraltı suyunun tuzluluk oranı hakkında bilgi bulunması gerekmektedir (Gupta, H., s. 94).

Yapay uçlaşma (Induced Potential) ölçümleri ile iletken minerallerin yeraltında yoğunlaştığı bölgeler belirlenebilmektedir (Kearey, P. and Brooks, M., 1991, s.173).

Doğal uçlaşma (Self Potential) ölçümleri ise yeraltında elektrokimyasal süreçler nedeniyle oluşan doğal akımların kaydedilip işlenmesiyle alışılmışın dışında iletkenlik değerlerine sahip sığ kütlelerin bulunmasını sağlamaktadır (Kearey, P. and Brooks, M., 1991, s.173). Hidrotermal sistemlerde doğal uçlaşma ölçümlerindeki birkaç on ile birkaç yüz milivolt arasında değişen anomaliler Long Valley (Kaliforniya), Kilauea (Hawai), Cerro Prieto (Meksika), Mori (Japonya), Sumikawa (Japonya) ve Yanaizu-Nishiyama (Japonya) jeotermal sahalarında görülmüştür (Gupta, H., 2006, s. 100). Yerkabuğunda yukarı doğru ilerleyen sıcak suların bu yöntemle belirlenebilmesi mümkün olurken anomalilerin oluşum mekanizmalarının çözülememesi, ölçümlerin topografyadan etkilenmesi, tellürik akımların hatalı

ölçümlere neden olması sebebiyle bu yöntemle elde edilen verilerin dikkatli bir biçimde incelenmesi gerekmektedir (Edwards, L. M. vd., 1982, s.232).

3.4.3 Sismik yöntemler

Sismik yöntemlerden elde edilen veriler jeotermal alanın tektonik ve stratigrafik durumu hakkında bilgi vermektedir (Şimşek, Ş., 2001, s.11). Sismik yöntemler aktif ve pasif metodlar olarak ikiye ayrılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 101). Aktif metodlarda kullanılan sismik dalgalar yapay olarak patlayıcılar ve vibratörler yardımı ile üretilirken pasif metodlarda deprem sonucu oluşan dalgalar ve sismik gürültü gibi doğal kaynaklar kullanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 101). Aktif metodlar olan sismik kırılmaların ve sismik yansımaların profillerinin çıkarılması ile jeolojik yapı ve rezervuar belirlenebilmektedir (Edwards, L. M. vd., 1982, s.236). Yapısal unsurların belirlenmesinde pasif metodlarda kullanılmakla beraber mikro-deprem ve sismik gürültü çalışmaları ile rezervuarın kendisi hakkında bilgi edinilebilmektedir (Edwards, L. M. vd., 1982, s.236). Büyüklükleri 1 ile 3 arasında değişen mikrodepremlerin çalışılmasıyla jeotermal sistem içerisindeki akışkan devinimi anlaşılabilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 108).

3.4.4 Gravite ölçümleri

Gravite ölçümleri jeotermal sistem içerisindeki ısı kaynağının yeri ile boyutunun ve sıvı baskın sistemlerde faylar gibi yapıların belirlenmesinde kullanılmaktadır (Edwards, L. M., 1982, s 228). Yöntem yeraltındaki kayaların birbirlerine göre farklı konumlarda bulunması ve aralarında yoğunluk farklarının olması nedeniyle yerçekiminde anomaliler oluştuğu ilkesine dayanmaktadır (Şimşek, Ş., 2001, s. 10).

3.4.5 Manyetik yöntemler

Manyetik tekniklerin amacı, yeraltında bulunan kayaçların manyetik özellikleri nedeniyle dünyanın manyetik alanında yarattığı anomalilerin belirlenmesi yoluyla yeraltındaki jeolojik durumun anlaşılmasının sağlanmasıdır (Kearey, P. and Brooks, M., 1991, s.148). Özellikle hidrokarbon aramalarında yapısal ve litolojik haritalamada kullanılan manyetik ölçümler, yüksek oranda manyetit içeren basalt ve gabronun aranmasında kullanılabilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 110). Bu nedenle manyetik ölçümlerden jeotermal aramalarda aranan yüzeye yakın volkanik kayaçların bulunmasında yararlanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 110). Manyetik

aramalar yerden ve havadan yürütülebilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 110). Havadan yapılan manyetik ölçümler ile aynı hatlar üzerinde çıkartılan özdirenç profilleri kullanılarak yeraltındaki sıcaklık dağılımları hakkında bilgi edinilebilmektedir (Gupta, H., 2006, s. 111). Havadan yapılan yüksek çözünürlüklü ölçümler ile sığ derinliklerdeki fayların belirlenmesi mümkün olmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 112).

3.5 Uzaktan Algılama Teknikleri

Jeotermal kaynakların aranmasında uzaktan algılama yöntemleri yeryüzündeki termal anomalilerin belirlenmesinde ve hidrotermal alteresyon sonucu oluşmuş minerallerin (killer ve sülfitler) bulunmasında kullanılmaktadır (Gupta, H., 2006, s. 111). Ayrıca faylar ve kıvrım eksenleri gibi yapıların haritalanmasında da uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen verilerden faydalanılmaktadır (Gupta, R. P., 2003, s. 450-456).

3.5.1 Termal anomalilerin belirlenmesi

Termal anomaliler yüzey sıcaklıkları hesaplanarak belirlenmektedir. Yüzey sıcaklıları radyans değerleri kullanılarak hesaplanabilmektedir (Gupta, R. P., 2003, s.210). Bu hesabın yapılabilmesi için öncelikle raster verideki DN değerlenin radyansa dönüştürülmesi gerekmektedir. DN değerlerinin radyans değerlerine dönüştürülmesi için L_λ radyans, L_{max} sensörün algılayabildiği en yüksek radyans, L_{min} sensörün algılayabildiği en düşük radyans, Q_{calmax} maksimum DN değeri ve Q_{cal} incelenen pikselin DN değeri olmak üzere denklem 3.1 kullanılmaktadır.(Gupta, R. P., 2003, s.207). L_{max} ve L_{min} değerleri her bant için farklı olup görüntülerle birlikte gelen metadata dosyasında bu değerler verilmiştir.

$$L_\lambda = L_{\min} + \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{Q_{cal\,\max}} \right) Q_{cal} \qquad \textbf{(3.1)}$$

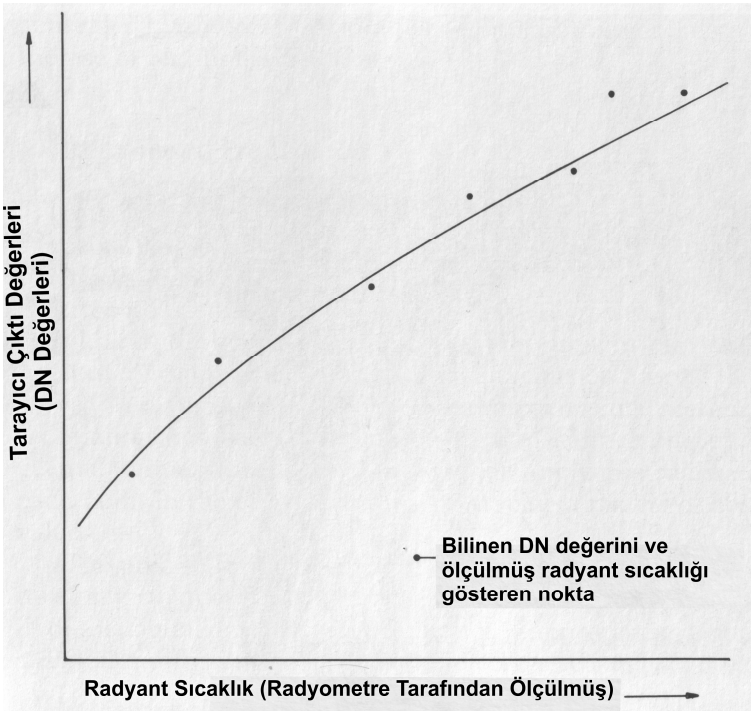
ETM+ 6.band verilerinden radyant sıcaklığı elde etmek için denklem 3.2 kullanılmaktadır.(Gupta, R. P., 2003, s.210). Denklem T_R radyant sıcaklık, L_λ denklem 3.1 kullanılarak elde edilen radyans değeri, K_1 değeri 666.06 watt m^{-2} sr^{-1} μm^{-1} olan sabit, K_2 değeri 1282.71 kelvin olan sabitten oluşmaktadır.

$$T_R = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Bulunan bu radyans değeri yerdeki cismin sıcaklığının mutlak sıfırın üzerinde olması nedeniyle oluşan termal yayılım bileşeninden; atmosferin sıcaklığının mutlak sıfırın üzerinde olması nedeniyle ışıma yapması, cismin yaptığı ışımanın atmosfer tarafından emilmesi ve cismin yaptığı ışımanın atmosfer içerisinde kırılması gibi atmosferik olaylar sonucu meydana gelen bir bileşen ile güneşin yaydığı ışımanın yeryüzü ile atmosferden yansıması sonucu ortaya çıkan bir bileşenden oluşmaktadır. Yerdeki sıcaklığı bulmak istiyorsak sensörde yapılan okumaların yukarıdaki etmenler gözönüne alınarak düzeltilmesi gerekmektedir. Atmosferik etkiler LOWTRAN7 veya MODTRAN gibi atmosferik modeller kullanılarak hesaplanan yaklaşık atmosferik bileşenin sensör okumasından çıkarılmasıyla düzeltilebilmektedir (Gupta, R. P., 2003, s.208). Bu modellerin kullanılabilmesi için sıcaklık, basınç ve CO_2 konsantrasyonu gibi çevresel parametrelerin ölçülmesi gerekmektedir (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 408). Bahsi geçen faktörlerin ölçümü ve modellenmesinin oldukça karışık bir işlem olması nedeniyle atmosferik etkiler, uzaktan algılama yöntemleri ile görüntü elde etmek için algılama yapılırken arazide eş zamanlı olarak yürütülen yüzey sıcaklık ölçümleri çalışmalarından elde edilen sonuçların kalibrasyon eğrileri kullanılarak ilişkilendirilmesiyle ortadan kaldırılmaktadır (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 408). Arazide yürütülen yüzey sıcaklık ölçümü çalışmalarında, inceleme alanı içerisinde yüzey sıcaklıklığının geniş bir bölge üzerinde sabit olduğu tahmin edilen yerlerde termometreler, termistörler veya termal radyometreler kullanılarak ölçüm yapılmaktadır (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 408). Uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen termal görüntüde yerde yapılan ölçümlere karşılık gelen DN değerleri belirlenerek Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bir ekseni DN değerlerini diğer ekseni ise arazide ölçülen radyant sıcaklık değerlerini gösteren iki boyutlu grafiğe oturtulmaktadır. Ardından bu grafikte kullanılarak kalibrsayon eğrisi oluşturulup uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilmiş termal görüntüde yer ölçümü yapılmamış noktalardaki sıcaklıklar belirlenmektedir (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 408). Genelde kalibrasyon eğrisi oluşturmak için lineer

regresyon işlemlerinden faydalanılmaktadır (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 408).

Mansor (1994) çalışmasında LOWTRAN7 ile yapılan düzeltmenin termal anomaliler üzerinde bir etkisi bulunmadığını ayrıca Prakash ve Gupta (1999) termal anomaliler üzerinde çalışırken atmosferik etkilerin termal anomaliler üzerinde fazla etkili olmadığını çalışmalarında göstermişlerdir (Gupta, R. P., 2003, s. 208).



Şekil 3.1 : DN değerlerinin radyant sıcaklıklarla ilişkilendirilebilmesini sağlayan kalibrasyon eğrisi örneğini gösteren şekil (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 408'den değiştirilerek alınmıştır).

Yüzey sıcaklığı (kinetik sıcaklık) T_R radyant sıcaklık, T_K yüzey sıcaklığı ve ε emisivite olmak üzere denklem 3.3 kullanılarak hesaplanabilmektedir (Gupta, R. P., 2003, s.192).

$$T_R = \varepsilon^{1/4} . T_K \qquad \textbf{(3.3)}$$

Malzemelerin emisivite değerleri içerisinde bulundukları geometrik konuma ve yaydıkları ışınımın dalga boyuna göre değişiklik göstermektedir (Gupta, R. P., 2003, s. 208). Kinetik sıcaklığı bulmak için Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de sunulan emisivite değerleri kullanılabilmektedir. Bunun yanında pasif sensörler tarafından elde edilen verilerden de yaklaşık emisivite değerlerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Referans Kanal Metodu (REM), Normalize Edilmiş Emisivite Metodu (NOR),

Sıcaklık-Bağımsız Spektral Indisler (TISI), ALPHA Emisivite Metodu (ALPHA) ve Emisivite Renormalizasyon Metodu (RE) pasif sensörler tarafından elde edilen verilerden yaklaşık emisivite değerlerinin belirlenmesini sağlayan metodlardan birkaçıdır (Dinhi, H. T. M., vd., 2007, s.[2]). Bahsi geçen metodlara ek olarak Spektral Oran Metodu (Spectral Ratio Method), NDVI Metodu, Sınıflandırma Temelli Yaklaşım (Classification Based Estimation) ve Sıcaklık Emisivite Ayrım Metodu (Temperature Emissivity Seperation Method) da yaklaşık emisivite değerlerine ulaşmak için kullanılabilmektedir (Weng, Q., vd., 2004, s. 469).

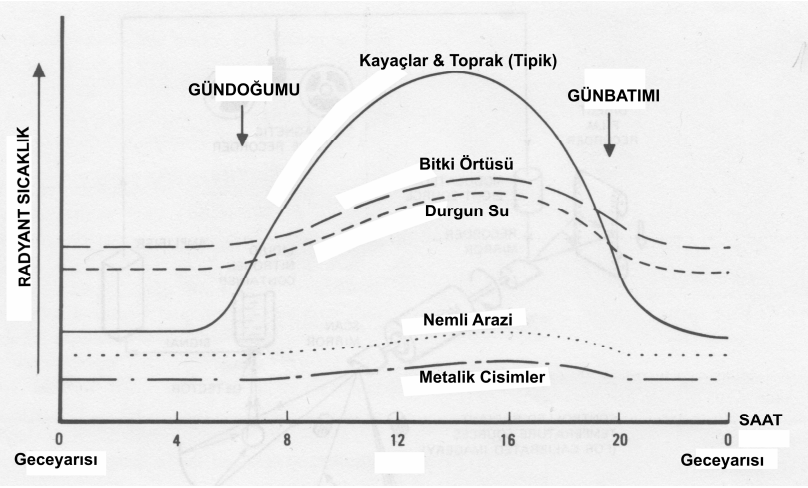
Çizelge 3.1 : Malzemelerin 8-12 mikrometre arasında ölçülmüş emisivite değerlerini gösteren çizelge (Sabins, F. F., 1996, s.138'den değiştirilerek alınmıştır).

Malzeme	**Emisivite**
Granit (Tipik)	0.815
Dunit	0.856
Obsidyen	0.862
Feldspat	0.870
Granit (Kaba)	0.898
Silisli Kumtaşı (Cilalanmış)	0.909
Kum, Kuvars (İri Taneli)	0.914
Dolomit (Cilalanmış)	0.929
Basalt (Kaba)	0.934
Dolomit (Kaba)	0.958
Asfalt Kaldırım	0.959
Beton Yürüme Yolu	0.966
Su (Üzerinde ince petrol tabakası ile)	0.972
Su (Saf)	0.993

Çizelge 3.2 : Malzemelerin 8-14 mikrometre arasında ölçülmüş emisivite değerlerini gösteren çizelge (Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994, s. 376'den değiştirilerek alınmıştır).

Malzeme	**Tipik Ortalama Emisivite (8-14 mikrometre arasında)**
Temiz Su	0.98 - 0.99
Nemli Kar	0.98 - 0.99
İnsan Derisi	0.97 - 0.99
Kaba Buz	0.97 - 0.98
Sağlıklı Yeşil Bitki Örtüsü	0.96 - 0.99
Nemli Toprak	0.95 - 0.98
Tuğla	0.93 - 0.94
Ahşap	0.93 - 0.94
Bazaltik Kayaç	0.92 - 0.96
Portland Çimentosu Beton	0.92 - 0.94
Boya	0.90 - 0.96
Kuru Bitki Örtüsü	0.88 - 0.94
Kuru Kar	0.85 - 0.90
Granitik Kayaç	0.83 -0.87
Cam	0.77 - 0.81
Demir Levha (Paslı)	0.63 - 0.70
Cilalanmış Metaller	0.16 - 0.21
Aluminyum Folyo	0.03 - 0.07
Cilalanmış Altın	0.02 - 0.03

Radyant sıcaklık görüntüleri yorumlanırken topoğrafyanın etkisi ve arazi örtüsünün etkisi dikkate alınmalıdır. Çeşitli malzemelerin radyant sıcaklıklarının gün içerisindeki saate bağlı değişimleri Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.2 : Malzemelerin radyant sıcaklıklarının günlük saate bağlı olarak değişimlerini gösteren şekil (Sabins, F. F., 1996, s. 143'den değiştirilerek alınmıştır.).

Gündüz alınan termal görüntülerde topoğrafik yapıların etkisi gece alınan termal görüntülere göre daha fazla gözlenmektedir (Sabins, F. F., 1996, s. 148). Tepelerin güneşe bakan yamaçları engebeli topoğrafya nedeniyle tepelerin gölgede kalmış yamaçları ile tepelerin güneşe bakmayan yamaçlarından daha fazla güneş enerjisi almaktadır (Gupta, R. P., 2003, s. 196). Bu durumun sonucu olarak yüzey sıcaklıklarında farklılıklar oluşmaktadır (Gupta, R. P., 2003, s. 196).

Yüzey sıcaklıklarını etkileyen bir diğer etmen ise yükseklikliktir. Ortalama olarak her 1000 metrede sıcaklık 6.5^0C düşmektedir (Gupta, R. P., 2003, s. 196).

Yüzey ısısının dağılmasına neden olan rüzgar, çalılar veya iri kaya parçaları gibi kendisine engel olan cisimlerle karşılaştığında görüntüde çevresine göre daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip gölgemsi izler bırakmaktadır (Gupta, R. P., 2003, s. 196).

Çıplak kara gün boyunca ısınmakta ve gece boyunca soğumaktadır (Şekil 3.1) (Gupta, R. P., 2003, s. 196).Şekil 3.2 dikkate alındığında durgun sulara, bitki örtüsü ile kaplı bölgelere ve nemli arazilere göre çıplak kara parçalarının gündüz alınan termal görüntülerde daha parlak görünmeleri gerektiği belirlenmiştir.

Durgun su ise gece alınan termal görüntülerde ılık olması nedeniyle parlak, gündüz alınan görüntülerde ise soğuk olması nedeniyle koyu olarak görülmektedir (Gupta, R. P., 2003, s. 196). Gündüz suyun sıcaklığı artmakta ve buna bağlı olarak görülen buharlaşma enerjinin havaya aktarılmasına neden olmaktadır (Gupta, R. P., 2003, s. 196). Böylece enerji kaybeden su termal görüntülerde soğuk olarak görülmektedir (Gupta, R. P., 2003, s. 196). Gece suyun soğuması devam ederken konveksiyon akımları ile derinlerden yüzeye taşınan ılık su, yüzeydeki suda görülen net sıcaklık düşüşünü azaltmaktadır (Gupta, R. P., 2003, s. 196). Sonuç olarak su daha sıcak olarak görülmektedir (Gupta, R. P., 2003, s. 196).

Nemli arazilerin yüzey sıcaklıkları genelde düşüktür (Gupta, R. P., 2003, s. 196). Bunun nedeni içlerindeki nemin buharlaşma sonucu ısı kaybına sebep olmasıdır (Gupta, R. P., 2003, s. 196). Ayrıca Şekil 3.1 incelendiğinde gündüz ve gece alınan termal görüntülerdeki kontrast farkının düşük olması gerektiği görülmektedir.

Bitki örtüsü bulunan bölgeler bitki örtüsü bulunmayan bölgelere göre genel olarak gece alınan görüntülerde daha sıcak, gündüz alınan görüntülerde daha soğuk olarak gözlemlenmektedir (Gupta, R. P., 2003, s. 198). Gözlemlenen düşük gündüz sıcaklıklarının nedeni bitkilerde görülen terleme, yüksek gece sıcaklıklarının nedeni

ise yaprakların sahip oldukları daha yüksek nem miktarlarıdır (Gupta, R. P., 2003, s. 198). Ayrıca yeryüzündeki kuru bitkiler yeri atmosferden yalıtarak yerin gece görüntülerinde daha sıcak, gündüz görüntülerinde ise daha soğuk görünmesini sağlamaktadır (Gupta, R. P., 2003, s. 198).

Palmaso vd. (1970) yaptıkları çalışmada İzlanda'nın Reykjanes ve Torfajokull bölgesinde 4.5µm ile 5.5 µm arasında algılama yapan tarayıcı ile alınan verileri bölgede yaptıkları jeolojik çalışmalardan elde edilen verilerle karşılaştırarak yorumlamışlardır (Gupta, H., 2006, s. 114). Jeolojik çalışmalara ek olarak 0.5m derinlikte yapılan sıcaklık ölçümleri ile bir yeraltı sıcaklık haritası hazırlanmıştır (Gupta, H., 2006, s. 114). Sonuçta kızılötesi bölgede elde edilen verilerin yüzeyde görülen anomalilerin belirlenmesinde faydalı olabileceğine karar verilmiştir (Gupta, H., 2006, s. 114).

Hodder (1970), görünür ve yakın kızılötesi bölgede aldığı çok bantlı fotoğraflar, 8 µm ile14 µm arasında yapılan pasif kızılötesi görüntüleme ve radyometri ölçümleri ve 16 ile 19 Ghz'de yapılmış pasif mikrodalga radyometri çalışmaları ile uzaktan algılama yöntemlerinin jeotermal kaynak aramalarında kullanılabilirliklerini incelemiştir (Gupta, H., 2006, s. 114). Yerde yapılan jeofizik ölçümleri ile desteklenen çalışmada termal anomalilerin kızılötesi bölgede belirlenebilmesinin yanısıra elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde de belirlenebildiği ortaya çıkmıştır(Gupta, H., 2006, s. 114).

Schimschal (1991) düşük sıcaklıklı jeotermal kaynakları aramak için Kaliforniya'da yürüttüğü çalışmada jeofiziksel tekniklerin yanında 3-5 µm ile 8-14 µm arasında algılama yapan iki ayrı detektör kullanmıştır. Detektörlerden elde edilen verilerin havada yapılan ölçümlerle aynı anda yerde önceden belirlenmiş noktalarda yapılan sıcaklık ölçümleri ile birlikte değerlendirilmesiyle termal anomaliler saptanmıştır.

3.5.2 Mineral aramaları

AVIRIS, HyMap, SEBASS gibi hiperspektral algılama yapabilen sensörler sayesinde günümüzde mineral aramaları yapılabilmektedir. Sıcaksu kaynakları yüzeyde silisli sinterlerin oluşmasına, travertenlerin oluşmasına ve diğer minerallerin birikmesine neden olmaktadır (Kruse, F. A., 1999?, s. 1). Sıcaksu kaynakları çökelttikleri mineraller ve su kimyalarına göre alkali sistemler, traverten sistemleri ve asit-sülfat sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır (Kruse, F. A., 1999?, s. 1). Sinter-traverten

veya alkalin sülfat gibi geçiş sistemleri de bulunmaktadır(Kruse, F. A., 1999?, s. 1). Bunlar yerlatında her iki sistemden gelen akışkanların karışmasıyla oluşmaktadır(Kruse, F. A., 1999?, s. 1).

Klorit, karbonat ve çözünmüş silika ihtiva eden ve kaynama sıcaklığına yakın sıcaklıklarda su bulunduran alkali sistemler silisli sinterler oluşturmaktadırlar (Kruse, F. A., 1999?, s. 1). Travertenler ise karbon dioksit yönünden zengin suların derinlerdeki karbonatları çözüp yüzeyde çökeltmesiyle oluşmaktadır (F. A., 1999?, s. 1). Traverten tipi oluşumların kireçtaşlarıyla ilişkileri bulunmasına rağmen andezit ve bazalt gibi kayaçların bulunduğu bölgelerde görülebilmektedir (F. A., 1999?, s. 1). Asit-sülfat sistemleri baskın olarak alunit gibi sülfat mineralleri, sülfürik asit ve kaolinit gibi kil minerallerinin oluşmasına neden olmaktadır (F. A., 1999?, s. 1). Buralarda az miktarda silisli sinter çökelimi görülebilir (F. A., 1999?, s. 1). Genelde asit sülfat sistemlerine sülfür gazlarının baskın olduğu ve çamur volkanlarının oluştuğu bölgelerde rastlanılmaktadır (F. A., 1999?, s. 1).

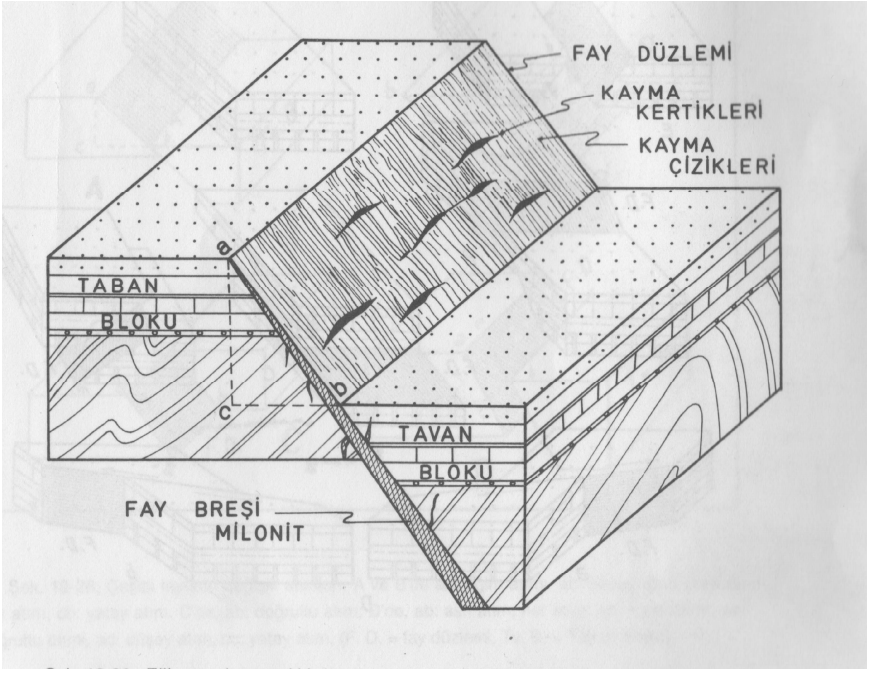
Uydu görüntüleri kullanılarak yapılan jeotermal kaynak aramalarına Kratt vd.nin (2006) çalışması, Hellman ve Ramseyin (2004) çalışması, Nash vd.nin (2004) çalışması ve Rowan vd.nin (2006) çalışması örnek olarak verilebilir.

3.5.3 Çizgiselliklerin belirlenmesi

Jeotermal kaynak aramalarında bulunmak istenen en önemli yapı jeotermal sistem içersindeki akışkanların yüzeye çıkmalarını sağlamaları nedeniyle faylardır. Jeomorfolojik olarak çizgisellikler yeryüzünde bulunan, haritalanabilir, çevresindeki yapıların dokusundan ayırtedilebilir ve yeraltında gelişen olayların belirteci olabilen yapılardır (Gupta, R. P., 2003, s.462). Faylar topoğrafik veya litolojik atımlarla, akarsu yataklarının atım yapmasıyla veya birbirinden farklı kayaçların yanyana bulunmasıyla kendini belli etmektedir (Prost, G. L., 1994, s.140). Ayrıca üçgensel yüzler ile aynı şekilde sıralanmış akarsular, bitkiler ve göller fay belirteci olabilmektedir(Gupta, R. P., 2003, s. 456).

Faylar atımlarına ve mekanik özelliklerine göre sınıflanmaktadır. Yaptıkları atımlara göre eğim atımlı, doğrultu atımlı ve yan atımlı faylar olmak üzere üçe (Ketin, İ., 1998, s.371); mekanik özelliklerine göre ise normal fay, ters fay ve doğrultu atımlı fay olmak üzere yine üçe ayrılmaktadır (Ketin, İ., 1998, s.372). Eğim atımlı normal

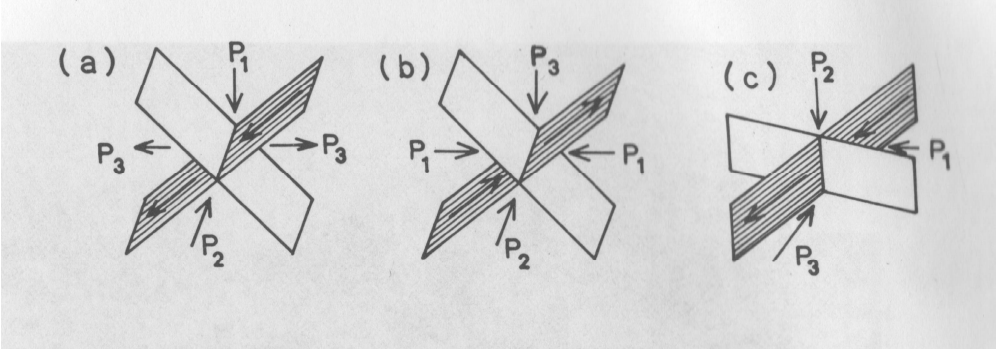
bir fayın yapısı şekil 3.1'de sunulmuştur. Şekilde ab eğim atımı, ac düşey atım, cb yatay atımdır.



Şekil 3.3 : Eğim atımlı normal fayın yapısını gösteren şekil (Ketin, İ., 1998, s. 371)

Eğim atımlı faylarda kayma fay düzleminin eğimi boyunca gerçekleşir (Ketin, İ., 1998, s.371). Doğrultu atımlı faylarda blokların hareketi fay düzleminin doğrultusu üzerinde gerçekleşmektedir (Ketin, İ., 1998, s.371). Yan atımlı faylarda ise blokların hareketi fay düzleminin eğim ve doğrultusundan farklı yönlerde oblik olarak gerçekleşir (Ketin, İ., 1998, s.372).

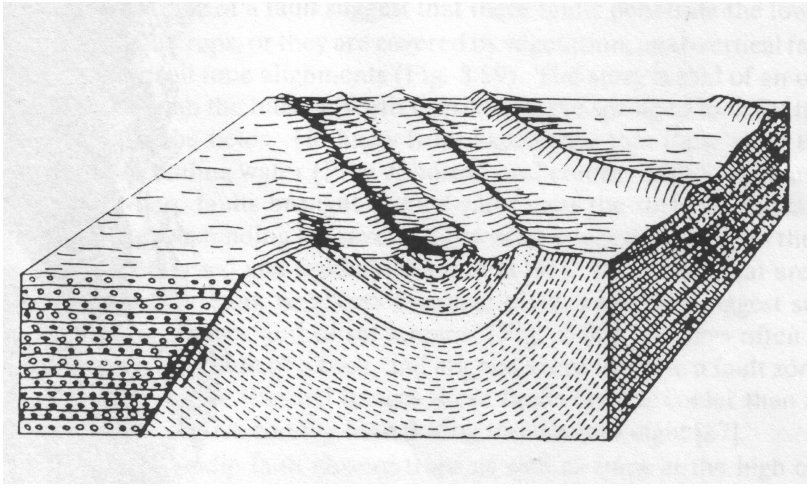
Fayların mekanik olarak sınıflandırılmasında kesme yüzeyi konumunda olan fay düzleminin gerilme yönleri ile olan bağıntısı etkili olmaktadır. Bu ilişki şekil 3.2'de gösterilmiştir. Şekilde çizikli düzlem fay düzlemi, P_1, P_2, P_3, $P_1 > P_2 > P_3$ olacak şekilde gerilmeleri göstermektedir.



Şekil 3.4 : Fay düzlemi ve gerilme yönlerini gösteren şekil (Ketin, İ., 1998, s.375).

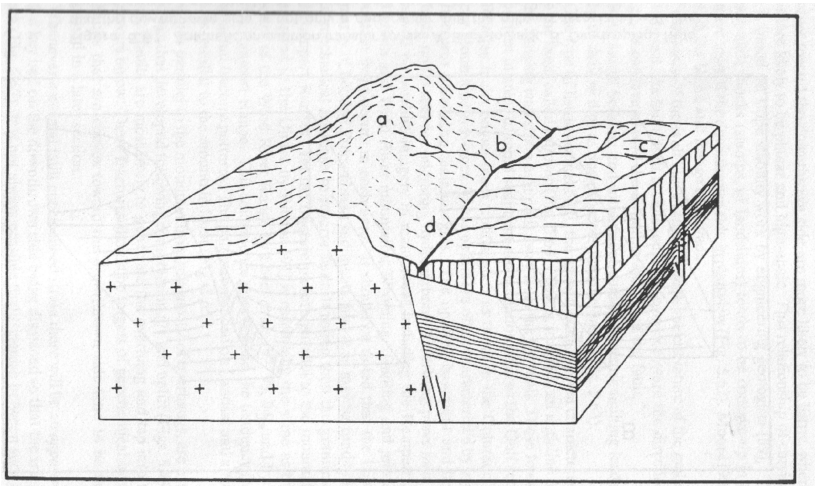
Normal faylarda tavan bloğu aşağı doğru ters faylarda ise yukarı doğru hareket etmektedir (Ketin, İ., 1998, s.371).Doğrultu atımlı faylarda hareket fay düzleminin doğrultusu boyunca gerçekleşmektedir (Ketin, İ., 1998, s.371).

Normal ve ters fayları görüntü üzerinde birbirinden ayırt etmek ikisinin yüzeyde çizgisel izler bırakmaları sebebiyle oldukça güçtür (Prost, G. L., 1994, s.145). Genelde bu tip faylarda yukarı hareket eden bloğun oluşturduğu dağ eteklerinin, birkaç metre içerisinde teraslara dönüşmesi gibi ani topoğrafik değişimlerle kendilerini belli ederler (Şekil 3.3) (Prost, G. L., 1994, s.145).



Şekil 3.5 : Normal fay nedeniyle topoğrafyada oluşan ani değişimleri gösteren şekil (Prost, G. L., 1994, s.147).

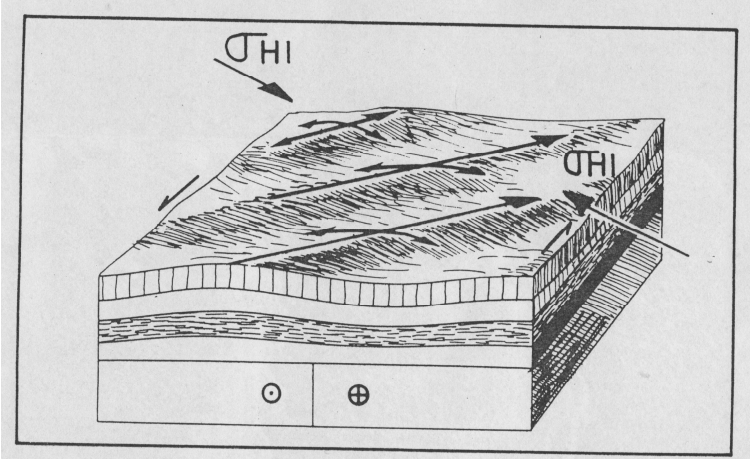
Kilometrelerce uzunluktaki çizgisel akarsular ve vadiler(Şekil 3.4d) (Prost, G. L., 1994, s.145), akarsuların aynı hizada duran kolları (Şekil 3.4a, Şekil 3.4b), ve iğnemsi kollar(Şekil 3.4c) fay göstergesi olabilmektedir (Prost, G. L., 1994, s.150).



Şekil 3.6 : Faylanmanın belirteci olabilecek drenaj şekilleri (Prost, G. L., 1994, s.150).

Bitki örtüsü ile kaplı bölgelerde görüntüdeki ton değişimleri fayların göstergesi olabilmektedir (Prost, G. L., 1994, s.145).

Doğrultu atımlı faylar üzerlerinde bulunan litolojik birimlerin, akarsuların, sırtların, yolların, arabaların veya çitlerin yatay düzlemde yaptıkları kaymalarla kendilerini görüntülerde belli etmektedir (Prost, G. L., 1994, s.159). Ayrıca elmas fasetalarına benzeyen bir anda kesilmiş gibi gözüken yönlü çıkıntılar ile sırtlar bu tip fayların belirtecidir (Prost, G. L., 1994, s.159). Faylarla birlikte gelişen ve fayla 30 ile 45 derece arasında açı yapan eşolon kıvrımlar doğrultu atımlı fayların bulunmasında kullanılabilecek yapılardır (Şekil 3.5) (Prost, G. L., 1994, s.159).



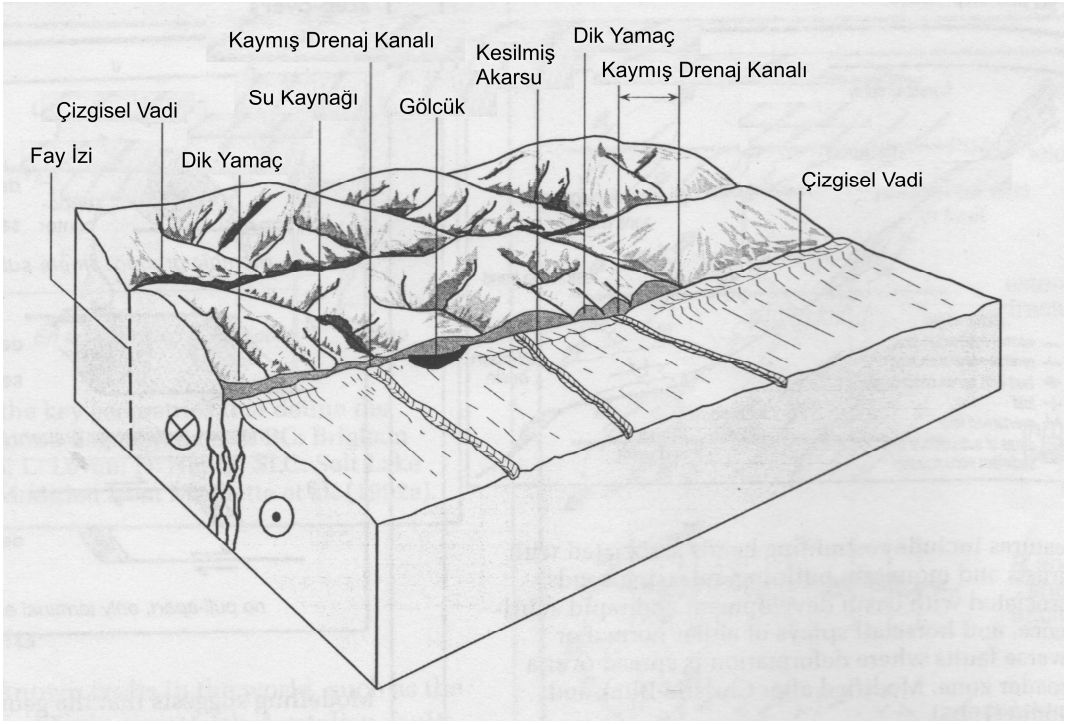
Şekil 3.7 : Eşolon kıvrımları gösteren şekil (Prost, G. L., 1994, s.159).

Doğrultu atımlı fay nedeniyle yeryüzünde oluşabilecek yapılar Şekil 3.8'de sunulmuştur. Faylanma sebebiyle oluşan uzun çizgisel vadiler ve bu vadilerin alçak kesimlerinde oluşan göller, kesilmiş akarsu kolları, kesilmiş sırtlar ile kaymış drenaj kanalları şekilde açıkça görülmektedir.

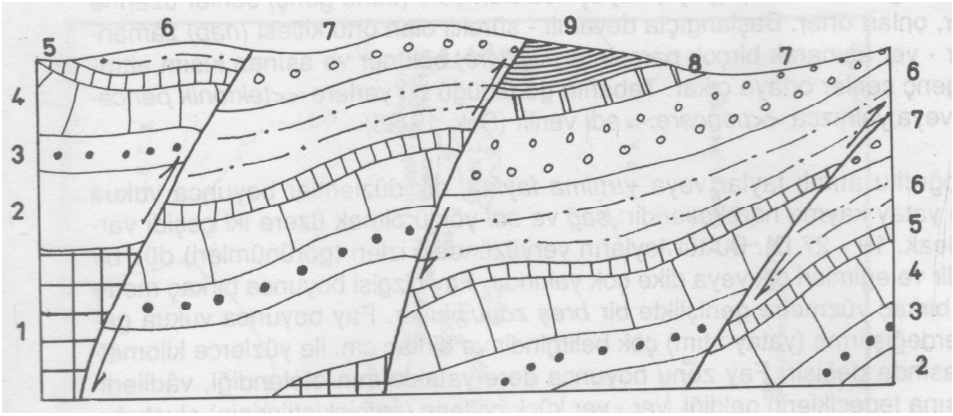
Bindirme fayları fay düzleminin eğim derecesine göre ters fay (Şekil 3.9), bindirme (şariyaj), örtü fayı (nap fayı) (Şekil 3.10) olarak üç gruba ayrılmaktadır (Ketin, İ., 1998, s.375). Ters faylarda fay düzleminin eğimi 35^0 ile 75^0, bindirmelerde fay düzleminin eğimi 10^0 ile 35^0, örtü faylarında ise 0^0 ile 10^0 arasında değişmektedir (Ketin, İ., 1998, s.375). Ters fayların eğim atımları metrelerle ölçülürken, bindirmelerin yaptıkları atımlar kilometreleri bulabilmektedir (Ketin, İ., 1998, s.375). Örtü faylarının atımları ise yüzlerce kilometreyi bulabilmektedir (Ketin, İ., 1998, s.375).

Bindirmelere ait, fay düzleminin yeryüzü ile kesişmesi sonucu oluşan fay izi normal ve doğrultu atımlı faylardaki gibi çizgisel olmak yerine genelde topoğrafik kontürleri

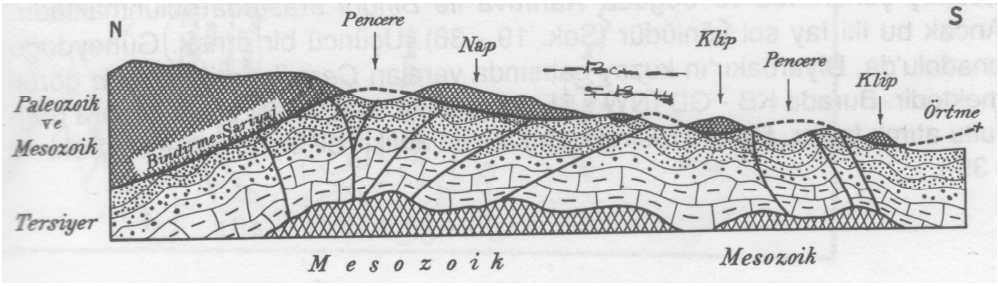
takip ettiğinden görüntülerde bu tip fayların ayırt edilmesi güçtür (Prost, G. L., 1994, s.166). Genelde harita üzerinde bindirmelerin fay izleri hareket yönüne doğru dışbükeydir (Prost, G. L., 1994, s.166). Yeryüzündeki görülen sık kıvrımlanmadan geniş kıvrımlanmaya ani geçişler (Şekil 3.11), tavan bloğunun dilimlenip dilimlerin birbiri üzerine bindirmesiyle oluşan imbrike sırtlardan (Şekil 3.12) kıvrımlanmaya ani geçişler bu tip faylanmanın belirtecidir (Prost, G. L., 1994, s.166).



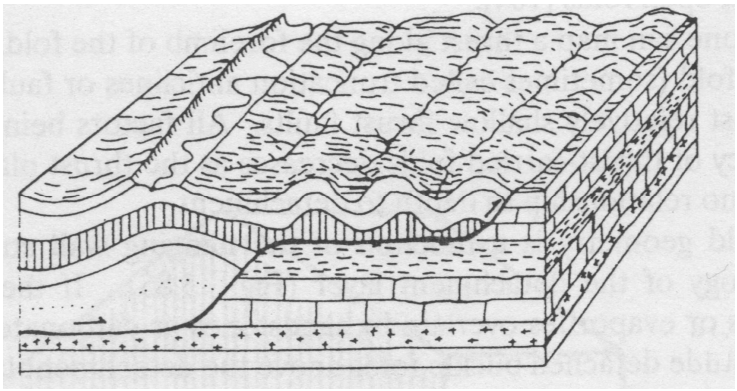
Şekil 3.8 : Doğrultu atımlı fayların oluşmasıyla yeryüzünde görülebilecek yapıları gösteren şekil (Burbang, D. W. and Anderson, R. S., 2001, s. 68).



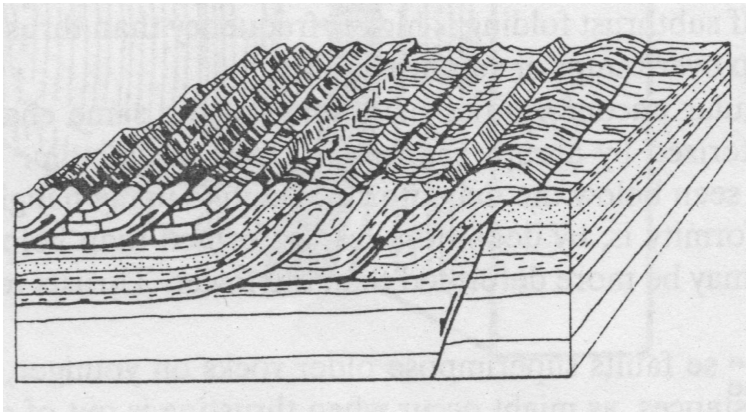
Şekil 3.9 : Eğimleri 30^0 nin üzerinde olan ters faylar. 1 numaralı tabaka en yaşlı, 9 numaraları tabaka en genç tabakadır (Ketin, İ., 1998, s.379).



Şekil 3.10 : Bindirme, örtme ve aşınma nedeniyle oluşan yapıları gösteren şekil (Ketin,İ., 1998, s.379).



Şekil 3.11 : Bindirmelerde görülen kıvrımlardaki değişimleri gösteren şekil (Prost, G. L., 1994, s.179).



Şekil 3.12 : İmbrike sırtları gösteren şekil (Prost, G. L., 1994, s.179).

Görüntüdeki çizgisellikler sadece görüntülerin yorumlanmasıyla bulunabileceği gibi görüntü zenginleştirme teknikleri kullanılarak bulunabilmektedir. Görüntünün herhangi bir bölgesindeki belirli bir uzaklık içerisinde görüntüyü oluşturan piksellerin parlaklık değerlerinin yaptıkları değişim sayısı olan mekansal frekans (spatial frequency), mekansal konvolüsyon filtreleri (spatial convolution filters) veya Fourier analizi yapılarak güçlendirilebilir veya bastırılabilir (Jensen, J. R., 1996, s. 153). Bu teknikler kullanılarak görüntüdeki yüksek frekansa sahip ayrıntılar, düşük

frekansa sahip ayrıntılar ve kenarlar güçlendirilerek görüntüde istenen bölgeler belirlenebilmektedir.

Konvolüsyon filtreleri 3x3, 5x5, 7x7 veya 9x9 çekirdekler kullanılarak görüntünün zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. Çekirdek içerisindeki katsayılar üzerlerine geldikleri piksellerin parlaklık değerleri ile çarpılıp, çarpımların toplanarak çekirdek içerisindeki toplam piksel sayısına bölünmesiyle elde edilen değer çekirdeğin ortasındaki katsayıya karşılık gelen piksele atanır. Böylece çekirdeğin ortasındaki piksele ait parlaklık değeri filtre tarafından işlenmiş olur. Görüntüdeki her pikselin işlenmesi gerektiğinden çekirdek bir piksel sağa kaydırılarak çekirdeğin ortasındaki katsayıya karşılık gelen yeni piksel işlenir. Satır sonuna gelindiğinde bir alt satıra geçilerek ordaki pikseller aynı şekilde işlenir. Çekirdekteki her katsayıya bir parlaklık değerinin karşılık gelmesi gerektiğinden görüntüdeki tüm pikseller işlenemez. Örnek vermek gerekirse 3x3 büyüklüğünde bir çekirdek görüntüye uygulandığında görüntü iki satır ve iki sütun küçülür. Görüntüdeki çizgisellikleri belirlemek için kullanılabilecek konvolüsyon filtreleri yüksek geçirgen filtre ve kenar zenginleştiren filtrelerdir.

Yüksek geçirgen filtre için kullanılan çekirdekler Denklem 3.1, Denklem 3.2, Denklem 3.3 te sunulmuştur.

$$\text{Çekirdek } A_{3x3} = \begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix} \quad \textbf{(3.1)}$$

$$\text{Çekirdek } B_{5x5} = \begin{matrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 24 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{matrix} \quad \textbf{(3.2)}$$

$$\text{Çekirdek } C_{7x7} = \begin{matrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 48 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{matrix} \quad \textbf{(3.3)}$$

Kenar zenginleştiren filtreler görüntüdeki çeşitli cisimleri çevreleyen kenarların zenginleştirilerek cismin daha kolay algılanabilir hale gelmesini sağlamaktadır (Jensen, J. R., 1996, s. 158). Görüntüdeki kenarlar iki pikselin parlaklık değerleri arasındaki farklılıklar nedeniyle gözün algılayabildiği keskin değişiklikler olarak tanımlanmaktadır (Jensen, J. R., 1996, s. 158). Yönlü filtreler ve Laplace filtreleri çizgisel yapıların bulunması için uygundur.

Yönlü filtreler belirli bir yöndeki farklılıkları vurgulamak için kullanılmaktadır. Filtre içindeki katsayıların toplamı 0 olduğundan çevresindeki piksellerden farklı değere sahip olmayan pikseller için tepki vermez (Jensen, J. R., 1996, s. 160). Yönlü filtreleme yapmak için kullanılabilecek çekirdekler zenginleştirme yaptıkları yön ile birlikte Denklem 3.4, Denklem 3.5, Denklem 3.6, Denklem 3.7, Denklem 3.8, Denklem 3.9, Denklem 3.10, Denklem 3.11' de verilmiştir (Jensen, J. R., 1996, s. 160).

$$\text{Çekirdek } D_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix} \quad \text{(Kuzey)} \qquad \textbf{(3.4)}$$

$$\text{Çekirdek } E_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{matrix} \quad \text{(Kuzeydoğu)} \qquad \textbf{(3.5)}$$

$$\text{Çekirdek } F_{3x3} = \begin{matrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad \text{(Doğu)} \qquad \textbf{(3.6)}$$

$$\text{Çekirdek } G_{3x3} = \begin{matrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad \text{(Güneydoğu)} \qquad \textbf{(3.7)}$$

$$\text{Çekirdek } H_{3x3} = \begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad \text{(Güney)} \qquad \textbf{(3.8)}$$

$$\text{Çekirdek } I_{3x3} = \begin{matrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad \text{(Güneybatı)} \qquad \textbf{(3.9)}$$

$$\text{Çekirdek } J_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{matrix} \quad \text{(Batı)} \qquad \textbf{(3.10)}$$

$$\text{Çekirdek } K_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{matrix} \quad \text{(Kuzeybatı)} \qquad \textbf{(3.11)}$$

Yataydaki, dikeydeki ve köşegenlerdeki kenarları bulmak için kullanılabilecek ek çekirdekler Denklem 3.12, Denklem 3.13, Denklem 3.14, Denklem 3.15 te sunulmuştur (Jensen, J. R., 1996, s. 160).

$$\text{Çekirdek } L_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{matrix} \quad \text{(Dikey)} \qquad \textbf{(3.12)}$$

$$\text{Çekirdek } M_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{matrix} \quad \text{(Yatay)} \qquad \textbf{(3.13)}$$

$$\text{Çekirdek } N_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{matrix} \quad \text{(Köşegen)} \qquad \textbf{(3.14)}$$

$$\text{Çekirdek } O_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{matrix} \quad \text{(Köşegen)} \qquad \textbf{(3.15)}$$

Laplace filtreleri yönsüz filtrelerdir. Filtrenin ilerlediği yön hariç her yöndeki çizgisellikleri zenginleştirirler (Sabins, F. F., 1996, s. 270). Laplace filtrelerine ait çekirdekler Denklem 3.16, Denklem 3.17, Denklem 3.18 de sunulmuştur.

$$\text{Çekirdek } P_{3x3} = \begin{matrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{matrix} \qquad \textbf{(3.13)}$$

$$\text{Çekirdek } R_{3x3} = \begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix} \qquad \textbf{(3.14)}$$

$$\text{Çekirdek } S_{3x3} = \begin{matrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{matrix} \qquad \textbf{(3.15)}$$

Laplace filtresi ile bulunan kenarların asıl görüntüden çıkarılmasıyla daha kolay yorumlanabilir bir görüntü elde edilebilmektedir (Jensen, J. R., 1996, s. 161). Ayrıca bu işlem görüntüdeki süreksizliklerin kontrastını arttırarak görüntüyü keskinleştirmektedir (Jensen, J. R., 1996, s. 161). Bunun için Denklem 3.16 da verilen çekirdek kullanılmaktadır.

$$\text{Çekirdek } T_{3x3} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -7 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} \qquad \textbf{(3.16)}$$

Laplace filtresi kullanılarak bulunanan kenarların asıl görüntüye eklenmesiyle de görüntü keskinleştirilebilir (Jensen, J. R., 1996, s. 161). Bunun için 3.17 de verilen çekirdek kullanılmaktadır.

$$\text{Çekirdek } U_{3x3} = \begin{matrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{matrix} \qquad \textbf{(3.17)}$$

Fourier analizi görüntüyü mekansal frekans bileşenlerine (spatial frequency components) ayıran matematiksel bir tekniktir (Jensen, J. R., 1996, s. 165). Fourier teoremi herhangi bir sürekli fonksiyonun mekansal çözünürlükleri değişen sinüsoidal bir seri terimin toplamı olarak gösterilebileceğini söylemektedir (Jensen, J. R., 1996, s. 165). Sürekli bir fonksiyon olan f(x)'in Fourier dönüşümü olan F(u), u mekansal frekans, $i\sqrt{-1}$'e eşit olan kompleks sayı olmak üzere Denklem 3.18'deki formül kullanılarak hesaplanabilmektedir (Jensen, J. R., 1996, s. 165).

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i u x} dx \qquad \textbf{(3.18)}$$

Ters Fourier Dönüşümü yapılarak F(u)'dan f(x)'e geçiş yapılabilmektedir. Bunun için Denklem 3.19 kullanılmaktadır (Jensen, J. R., 1996, s. 165).

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{2\pi i u x} du \qquad \textbf{(3.19)}$$

Dijital görütü işlemede bu formüllerin kullanılabilmesi için değişiklikler yapılmıştır. Öncelikle formüller içerisinde kullanılan fonksiyonlar kullanılan görüntünün iki boyutlu olması nedeniyle tek boyutlu değil iki boyutlu olmalıdır. İki boyutlu fonksiyonlar kullanılarak Denklem 3.18 baştan yazıldığında Denklem 3.20 haline gelmektedir (Jensen, J. R., 1996, s. 165).

$$F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) e^{-2\pi i (ux+vy)} dx dy \qquad \textbf{(3.20)}$$

Ayrıca görüntüdeki piksellerimizin koordinatlarının ayrık ve tamsayı olması nedeniyle denklem 3.20 nin ayrık bir fonksiyon olarak yazılması gerekmektedir. İki boyutlu ayrık Fourier Dönüşümü, N x yönündeki toplam piksel sayısı, M y yönündeki toplam piksel sayısı olmak üzere, Denklem 3.21 de gösterilmiştir (Jensen, J. R., 1996, s. 165).

$$F(u,v) = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x,y) e^{-2\pi i \left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M} \right)} \qquad \textbf{(3.21)}$$

İki boyutlu ayrık Ters Fourier Dönüşümü için ise Denklem 3.22 kullanılmaktadır (Jensen, J. R., 1996, s. 165)..

$$f(x,y) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} F(u,v) e^{2\pi i \left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M} \right)} \qquad \textbf{(3.22)}$$

Denklem 3.21 ve Denklem 3.22'deki f(x,y) fonksiyonu asıl görüntüyü, F(u,v) ise asıl görüntüye ait mekansal frekans bilgisini barındıran frekans spektrumunu ifade etmektedir (Jensen, J. R., 1996, s. 165). F(u,v) kompleks bir fonsiyon olduğundan denklem 3.23 teki gibi reel ve sanal kısımlarına ayrılabilmektedir (Jensen, J. R., 1996, s. 165).

$$F(u,v) = R(u,v) + iI(u,v) \qquad \textbf{(3.23)}$$

Euler teoremi kullanılarak denklem 3.23 denklem 3.24 gibi yazılabilmektedir.

$$F(u,v) = |F(u,v)|e^{i\phi(u,v)} \qquad \textbf{(3.24)}$$

$|F(u,v)|$ Fourier Dönüşümünün Magnitüdüdür ve iki boyutlu bir görüntü olarak gösterilebilmektedir (Jensen, J. R., 1996, s. 166). $\phi(u,v)$ ise Fourier Dönüşümünün Fazıdır ve görüntü içerisindeki yapıların birbirlerine göre konumları hakkında bilgi taşımaktadır (Schowengerdt, R. A., 2007, s. 254). $|F(u,v)|$ reel bir fonsiyon olup açılımı denklem 3.25 te verilmiştir (Jensen, J. R., 1996, s. 166).

$$F(u,v) = \sqrt{R(u,v)^2 + I(u,v)^2} \qquad \textbf{(3.25)}$$

$\phi(u,v)$'nin açılımı ise denklem 3.26 da verilmiştir (Schowengerdt, R. A., 2007, s. 253).

$$\phi(u,v) = \arctan\left(\frac{I(u,v)}{R(u,v)}\right) \qquad \textbf{(3.26)}$$

Magnitüd görüntüleri görüntünün merkezine göre simetriktir ve frekans değeri görüntünün merkezinden uzaklaştıkça artmaktadır (Jensen, J. R., 1996, s. 166). Asıl görüntüdeki çizgisel yapılar Fourier Dönüşümü yapılmış görüntüde görüntünün merkezinde bulunan F(0,0) notasından geçen ve konum olarak asıl görüntüdeki çizgisel yapıların doğrultularına dik olan bir çizgi olarak görünmektedirler (Schowengerdt, R. A., 2007, s. 254).

3.6 Keşif Sondajları

Keşif sondajlarının açılması yapılan jeotermal kaynak aramalarının son aşamasıdır (Gupta, H., 2006, s. 118). Sondaj kuyularının açılacağı noktalar jeolojik, hidrolojik, jeokimyasal ve jeofiziksel teknikler kullanılarak elde edilen verilerin yeraltındaki jeolojik durumu anlamak için yorumlanmasıyla belirlenir (Gupta, H., 2006, s. 118). Yeraltındaki termal anomalilerin boyutlarının belirlenmesinde, rezervuar içerisindeki kırık sistemlerinin geometrilerinin belirlenmesinde, rezervuarın geçirgenliğinin

belirlenmesinde ve güç üretiminin sürekliliğinin sağlanması için yapılan üretim testlerinin uygulanmasında bu kuyulardan yararlanılır (Gupta, H., 2006, s. 118).

4. UYGULAMA

4.1 Giriş

Bu bölümde uygulama alanı olarak seçilen Kızılcahamam Kaynağı ve çevresinin, Seyhamamı Kaynağı ve çevresinin, Çubuk-Melikşah Kaynağı ve çevresinin, Ayaş-Karakaya Kaynağı ve çevresinin jeolojisi hakkında bilgi verilmiştir. Ardından uygulama alanlarında uydu görüntülerinin yorumlanması ile elde edilen çizgisellikler sunulmuştur. Uydu görüntüsü kullanılarak hesaplanan radyant sıcaklık haritaları verilmiştir. Uygulama alanlarındaki deprem merkezleri gösterilmiştir.

4.2 Çalışma Alanlarının Jeolojisi

Bu bölümde çalışma alanları olan Kızılcahamam ve çevresi, Seyhamamı ve çevresi, Çubuk-Melikşah ve çevresi ile Ayaş-Karakaya ve çevresinin jeolojisi hakkında bilgi verilecektir.

4.2.1 Kızılcahamam

Tatlının (1975) Kızılcahamamın doğusunda Eğerlibaşköy, Yıldırımören ve Başören Köyleri civarı ile Pazarbucağı doğusunda yaptığı çalışmada bölgedeki litolojik birimleri Üst Kretase yaşlı Yaşmese Formasyonu (Tatlı, S., 1975, s. 9); Tersiyer yaşlı Asmalı Formasyonu (Tatlı, S., 1975, s.12), Karataş Formasyonu (Tatlı, S., 1975, s.13), Pazar Formasyonu (Tatlı, S., 1975, s.13), Sinap formasyonu (Tatlı, S., 1975, s.16) olarak vermiştir.

Bölgedeki en yaşlı birim olan Üst Kretase yaşlı Yaşmese Formasyonu az gözenekli, sarı-kahverengi-yeşilimsi kilden bloğa kadar değişen dokulu, gevşek veya iyi tutturulmuş çimentolu, sert-ufalanır sertlikte, laminalı bazen çapraz tabakalı, doku ve gereç değişimli, som veya yerel olarak ince-orta tabakalı konglomera-kumtaşı-şeyl kiltaşları ve kireçtaşlarından oluşmaktadır (Tatlı, S., 1975, s. 9). Tabanı gözükmeyen birimin kalınlığı tam olarak verilememekle beraber en kalın yerinde birimin kalınlığı 600 metredir (Tatlı, S., 1975, s. 10).

Eğerlibaşköy yaylasının doğusunda ve kuzeydoğusunda görülen Asmalı Formasyonu kızıl-kahverengi-sarı-yeşilimsi-boz renkli iri çakıl-kaba kum dokulu, sıkı veya gevşek tutturulmuş beyaz küresel çakıllı FeO ve killi çimentolu kalın-çok kalın tabakalı konglomeralar ve kumtaşlarından oluşmaktadır (Tatlı, S., 1975, s. 10). Görünür kalınlığı 100m olan birimde kesin yaş tayini yapılamadığı halde yaşının Paleosen olduğu düşünülmektedir (Tatlı, S., 1975, s. 11).

Sarıkaya formasyonu sarı-akça topraksı renkli ve kırıklı oldukça sert bazen az sert, belirgin kalın-çok kalın tabakalı ve eklemli, çokça düzensiz kırıklı, killi kumlu kireçtaşlarını içermektedir (Tatlı, S., 1975, s. 11). Birimin görünür kalınlığı 100m yaşı Luthesiendir (Tatlı, S., 1975, s. 12).

Karataş Formasyonu sarı kahverengi, çok kaba kum-çakılcık dokulu, gevşek tutturulmuş, kireç çimentolu, oldukça sert-elle ufalanır sertlikte, belirgin orta-kalın tabakalı konglomera ve kumtaşı ardalanmalarından oluşmuştur (Tatlı, S., 1975, s. 13). Formasyonun görünür kalınlığı 100 metre ve yaşı Oligosen-Miyosendir (Tatlı, S., 1975, s. 13).

Pazar Formasyonu az gözenekli, boz-ak-sarı-kara-kahverengi renkli, ince kumdan çakıla doğru değişen kırıntı veya arenit kireçtaşı dokulu, gevşek tutturulmuş kireç çimentolu, oldukça sert, belirgin ince-orta-kalın tabakalı, nodüllü ve killi kireçtaşı-konglomera-kumtaşı-tuffit ara tabakalı kayaçlardan oluşmuştur (Tatlı, S., 1975, s. 13). Formasyonun yaşı Miyosen olarak belirlenmiştir (Tatlı, S., 1975, s. 13).

Az gözenekli, sarı-kahverengi, kilden bloğa değişen fakat çoğunlukla kil dolgulu, topraksı, gevşek tutturulmuş çimentolu, elde kolayca ufalanır sertlikte, laminalı, bazen çapraz tabakalı, genel olarak doku ve gereç değişimli dereceli tabakalı, çamur çatlaklı Sinap formasyonu kuvvetli yatay ve dikey değişimler göstermektedir (Tatlı, S., 1975, s. 16). Konglomera ve kumtaşlarının ara maddesi kil olup içinde değişik boyutlarda ve değişik cinslerde lav çakıllarıyla birlikte değişik kireçtaşları(Kretase, Jura, Tersiyer, Permiyen Kireçtaşları gibi), peridotit, bazen şist parça ve çakılları bulunmaktadır (Tatlı, S., 1975, s. 16). Formasyonun görünür kalınlığı 100m ve yaşı Alt Pliosendir (Tatlı, S., 1975, s. 17).

Tatlı (1975) çalışmasında yukarıdaki birimlere ek olarak Travertenler ve Kuvaterner Yaşlı Molozlar olmak üzere iki alt birimden oluşan Eski Alüvyonlar isminde bir birim daha tanımlamıştır (Tatlı, S., 1975, s. 17). Travertenler Yıldırımhacılar'ın 2.5

km batısında ve Bayırköy Mahallesinin 15km kuzeydoğusunda lavlar içinde kırık boyunca yüzeye çıkan ılık suların $CaCO_3$ çökelimi bırakarak oluşturdukları yapılardır (Tatlı, S., 1975, s. 17). Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ise lav parçalarının dik yamaçlardan kopup vadi eteklerinde birikmesiyle oluşmuş molozlar bazalt, andezit, obsidyen ve asit lav (riyolit, riyosit) parça ve blokları içeren bir birimdir (Tatlı, S., 1975, s. 17). Volkanik kayaçların bulunduğu bölgelerde izlenmektedir (Tatlı, S., 1975, s. 17).

Volkanik kayaçlar çalışmada aa lavlar ve piroklastik ürünler olarak iki gruba ayrılmıştır (Tatlı, S., 1975, s. 18).

Piroklastik ürünler kendi aralarında tüfler, karmaşık tüfler ve piroklastik tortullar olarak ayrılmıştır (Tatlı, S., 1975, s. 19).

Tüfler 4mm'den küçük kül, toz, kum ile 32 mm'den küçük sünger taşı ve lapilli yüklü bulutların yüzeye çökelerek karada veya suda depolanması ile oluşmuş (Tatlı, S., 1975, s. 20), arazide dağınık olarak bulunan (Tatlı, S., 1975, s. 21), miyosen yaşlı bir birimdir (Tatlı, S., 1975, s. 21). Siyah renkli tüfler bazaltik olup ojit-bazalt-ojit diabaz, olivin- ojit diabaz fragmentleri içerip camsı matriks içerisinde bulunmaktadır (Tatlı, S., 1975, s. 21). Ak renkli tüfler andezitik olup andesin ve biotit kristallerinin camsı matriks içinde toplanmasıyla oluşmuştur (Tatlı, S., 1975, s. 21).

Karmaşık tüfler boyutları 1/4 mm ile 256 mm arasında değişen, kızgın bulut, kızgın çığ, volkan breşleri ve çamur akıntıları sonucu oluşmuş parçacıklar içeren bir birimdir (Tatlı, S., 1975, s. 22).

Piroklastik tortullar ise inceleme alanında bulunan volkanik kayaçların ayrışıp aşınarak su ile taşınıp diyajeneze uğraması sonucu oluşmuşlardır (Tatlı, S., 1975, s. 22). Tüfit katkıları ile birlikte andezit ve bazalt lavları gözlenmiştir birim içerisinde (Tatlı, S., 1975, s. 22).

Bölge Alpin orojenezi etkisinde kalmıştır (Tatlı, S., 1975, s. 29). Üst Kretase Yaşmese Formasyonu üstüne açısal diskordans ile Asmalı Formasyonu oturmaktadır (Tatlı, S., 1975, s. 29). Senozoyik kendi arasında uyumsuzluk göstermektedir (Tatlı, S., 1975, s. 29). Bölgede Paleosen sonu veya Eosen başında başlayan volkanik etkinlikle bu etkinliğin ürünlerinin Asmalı Formasyonu üstüne geldiği belirlenmiştir (Tatlı, S., 1975, s. 29).. Oligosen yaşlı Karataş Formasyonu stratigrafik bir boşlukla

Lütesien yaşlı Sarıkaya Formasyonunu örttüğü düşünülmektedir (Tatlı, S., 1975, s. 29).

Tatlının (1975) çalışmasına göre Kızılcahamamın doğusundaki bölge Paleosen sonu ve Eosen başında volkanizma etkisinde kalmıştır.

Kızılcahamam ve çevresinde Koçakın (1977) Kızılcahamamı içine alan 50 kilometrekarelik alanda yaptığı çalışmasında ise volkanik lavlar, piroklastik kayaçlar ve tüflere ek olarak vadileri dolduran genç oluşumlar olan alüvyonlar ile Kızılcahamamın güneydoğusunda bulunan muhtemelen Pliyosen yaşlı gölsel çökelleri bölgede ayırt edilebilen birimler olarak belirlemiştir (Koçak, A, 1977, s. 5).

Volkanik lavlar kendi aralarında bölgede yayılmış ilk lavlar olan aa lavları (Koçak, A, 1977, s. 5) ve sert, gözeneksiz olan ara lavlar olarak ikiye ayrılmaktadır (Koçak, A, 1977, s. 6). Plato tipi bazalt akıntıları olan aa lavların yaşı Paleosen-Lüthesiyen olarak belirlenmiştir (Koçak, A, 1977, s. 5). Ara lavların yaşının ise Miyosen-Pliyosen olduğu tahmin edilmektedir (Koçak, A, 1977, s. 6).

Tüflerin lavların altında kaldığı saptanmıştır (Koçak, A, 1977, s. 6). Birimin kalınlığı 150-200 metre arasındadır (Koçak, A, 1977, s. 6). Kil tüfü, kum tüfü ve sünger taşı tüfü birim içerisinde ayırt edilebilmiştir (Koçak, A, 1977, s. 6). Kızılcahamamın kuzeyinde ve Sey Çayının doğu kesiminde geniş yer işgal eden birim gri, kül rengi, mor, kırmızı, kahverengi ve sarı renklerde gözlemlenmiştir (Koçak, A, 1977, s. 6).

Piroklastik kayaçlar olarak volkanik etkinlik sırasında bacadan fırlatılan ürünlerin çevrede depolanmasıyla oluşan aglomeralar bölgede bulunmaktadır (Koçak, A, 1977, s. 7). İri volkanik blok ve çakılların lav ve tüflerle tutturulmasıyla oluşmuş birim genelde koyu renklidir (Koçak, A, 1977, s. 7).

Kızılcahamamın doğusunda pliyosen yaşlı olması muhtemel olan, çok az tutturulmuş konglomera, kumtaşı ve kiltaşından oluşan, içerisinde az yuvarlaklaşmış volkanik kayaç çakıllarından oluşan konglomera seviyeleri bulundururan tipik göl çökeli niteliğinde bir birim bulunmaktadır (Koçak, A, 1977, s. 7). Birim sarı kahverengi renkli olup kalınlığı 50 metredir (Koçak, A, 1977, s. 7).

Alüvyonlar vadilerde akarsuların taşıdığı malzemelerin yığışması ile oluşmuştur ve Sey Çayı ile Kocaçay boyunca geniş düzlükler içerisinde görülmektedirler (Koçak, A, 1977, s. 7).

Bölgede volkanizmanın Paleosenden Üst Miyosene kadar sürdüğü belirtilmiştir (Koçak, A, 1977, s. 7). Kızılcahamamdan geçen Doğu-Batı doğrultulu vadinin fay tarafından oluşturulduğu ve sıcaksuların bu kırık zonlarından yüzeye çıktığı belirlenmiştir (Koçak, A, 1977, s. 8).

Koçakın (1977) çalışmasına bakılarak Kızılcahamamın volkanizma etkisinde kaldığı açıkça görülebilir.

Gevrek vd. tarafından 1986 yılında Kızılcahamam ve çevresinde yapılan çalışmanın raporunda da bölgedeki hakim litolojinin volkanitler olduğunun saptandığı ve volkanitlerin lavlar ile piroklastikler olarak iki ayrı grupta toplandığı görülmektedir (Gevrek, A. İ. vd., 1986, s. 2).

Lavlar kendi aralarında plato tipi bazalt akıntıları olan aa lavlar; andezit, bazalt, dasit, riyodasit ve trakitten oluşmuş çeşitli patlamaların ürünleri olan ara lavlar ve tüf ile tüfitlerin içinde dayk şekilinde bulunan andezit ve bazalttan oluşan üst lavlar olarak üç gruba ayrılmıştır (Gevrek, A. İ. vd., 1986, s. 2).

Piroklastikler ise piroklastik depolar (Gevrek, A. İ. vd., 1986, s. 2) ve piroklastik depoların aşınıp taşınması sonucu sedimentasyon havzalarında çökelen tüfit ve aglomeralardan oluşan piroklastik tortullar(Gevrek, A. İ. vd., 1986, s. 3) olarak ikiye ayrılmaktadır. Piroklastik depolar volkan etkinliği sırasında bacadan fırlatılan ürünlerin çevrede depolanmasıyla oluşmaktadır (Gevrek, A. İ. vd., 1986, s. 2). Bu birim lahar, volkan breşi, kaba tüfler ve lav-tüfler olarak dört alt gruba bölünmüştür (Gevrek, A. İ. vd., 1986, s. 2).

Yörede Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu normal fayları kesen yaklaşık Doğu-Batı doğrultulu oblik özellikli faylar bulunduğu belirtilmiştir (Gevrek, A. İ. vd., 1986, s. 3).

Bu fayların jeotermal sistem açısından en önemli olanının ilçenin içinden geçen 2250 metre uzunluğundaki Doğu-Batı doğrultulu Kızılcahamam Fayı olduğu saptanmıştır (Gevrek, A. İ. vd., 1986, s. 3).

Tevfik (2005) çalışmasında Kızılcahamam Jeotermal bölgesinin Tersiyer yaşlı Galatya Volkanik Kompleksi içerisinde bulunduğunu belirtmiştir (Tevfik, K., 2005, s. 46). Lav akıntıları, tüfler ve aglomeralar ile göl çökellerinden oluşan birimin üzerine oturduğu temel Paleozoyik şistler ve Permo-Triyasik kireçtaşlarından oluşmuştur (Tevfik, K., 2005, s. 46). Mesozoyikte Alt Kretase yaşlı

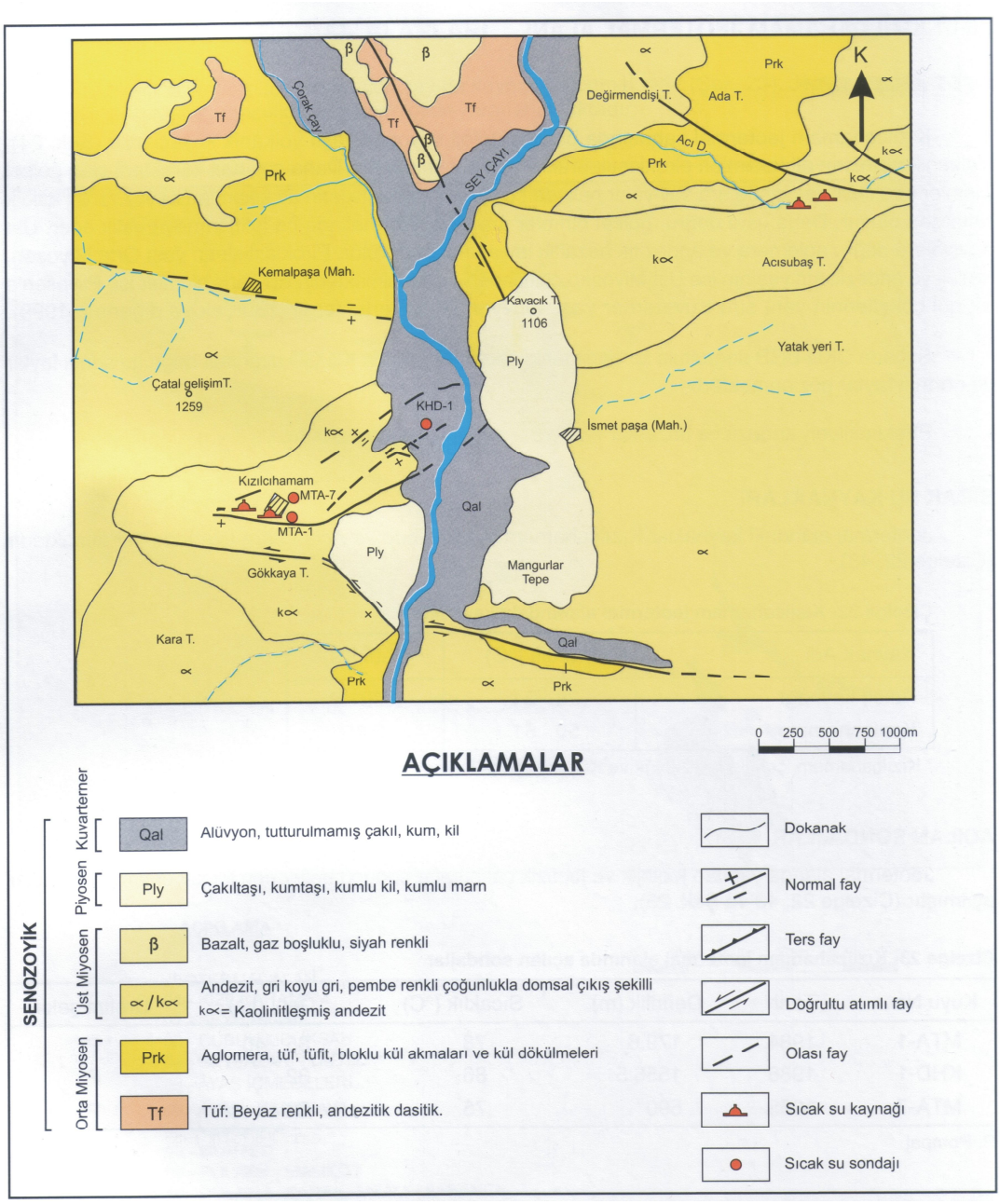
kireçtaşları ve Üst Kretase yaşlı filişler Paleozoyik yaşlı temelin üzerine gelerek temeli örtmüşlerdir (Tevfik, K., 2005, s. 46). Ardından bu birim Galatya volkanik kompleksi tarafından örtülmüştür (Tevfik, K., 2005, s. 46). Kompleksin oluşmasına neden olan volkanik aktivitenin Üst Kretasenin sonunda başladığı ve Miyosende doruk noktasına ulaştığı belirtilmiştir (Tevfik, K., 2005, s. 46). Ardından Kuvaterner yaşlı alüvyonlar kompleksi örtmüştür (Tevfik, K., 2005, s. 46). Adı geçen çalışmada volkanik aktivitenin dasitik ve andezitik lav akıntıları ile başlayıp, bölgesel olarak tüf ve aglomeradan oluşan piroklastik birikimleri halinde devam ederek, andezitik-bazaltik lav akıntıları ile son bulduğu belirtilmektedir (Tevfik, K., 2005, s. 46).

Akkuş vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada ise Kızılcahamam jeotermal sahasında baskın litolojinin Miyosen yaşlı volkanik kayaçlar olduğu belirtilmektedir (Akkuş, İ., 2005, s. 47). Volkanik ürünlerin alt kesimlerinin alt kesimleri beyaz renkli asidik tüflerden oluşan piroklastiklerden oluştuğu söylenmiştir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 47). Tüfit karakterli olan gölsel birimlerin piroklastikler içerisinde ara seviyeler halinde bulunduğu ve piroklastiklerin üst seviyelerinde aglomera ve andezitik bazaltik lav akıntıları görüldüğü tespit edilmiştir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 47). Piroklastiklerin yaşı Orta Miyosen olarak verilirken, bazalt ve andezitlerin yaşının Üst Miyosen olabileceği söylenmiştir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 47). Bölgedeki en genç birimlerin ise Pliyosen'e ait göl çökelleri ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ile travertenler olduğu belirtilmektedir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 47).

Bölgenin Doğu Kuzeydoğu – Batı Güneybatı doğrultulu bir gerilmenin etkisinde kaldığı ve buna bağlı olarak bölgede doğrultuları Kuzeybatı – Güneydoğu olan doğrultu atımlı faylar ile normal faylar oluştuğu söylenmektedir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 47).

Bölgedeki piroklastikler, andezit ve bazaltların rezervuar kayayı oluşturdukları belirlenmiştir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 47).

Bölgenin jeoloji haritası Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1 : Kızılcahamam jeotermal bölgesinin jeoloji haritası (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 48).

Bölgede açılan jeotermal sondaj kuyuları, kuyulardan elde edilen akışkanın sıcaklığı ve debisi ile kuyuların derinliği Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kızılcahamam Jeotermal alanında açılan sondajları gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 47).

Kuyu No	Tarih	Derinlik(m)	Sıcaklık(^{o}C)	Debi(l/s)
MTA-1	1984	179.6	78	35-40
KHD-1	1986	1556.5	86	32
MTA-7	1995	590	75	22

Jeotermal alandaki kaynaklar sıcaklıkları ve debileri ile Çizelge 4.2'de sunulmuştur (Akkuş, İ., 2005, s. 47).

Çizelge 4.2 : Kızılcahamam Jeotermal alanındaki kaynakları gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 47).

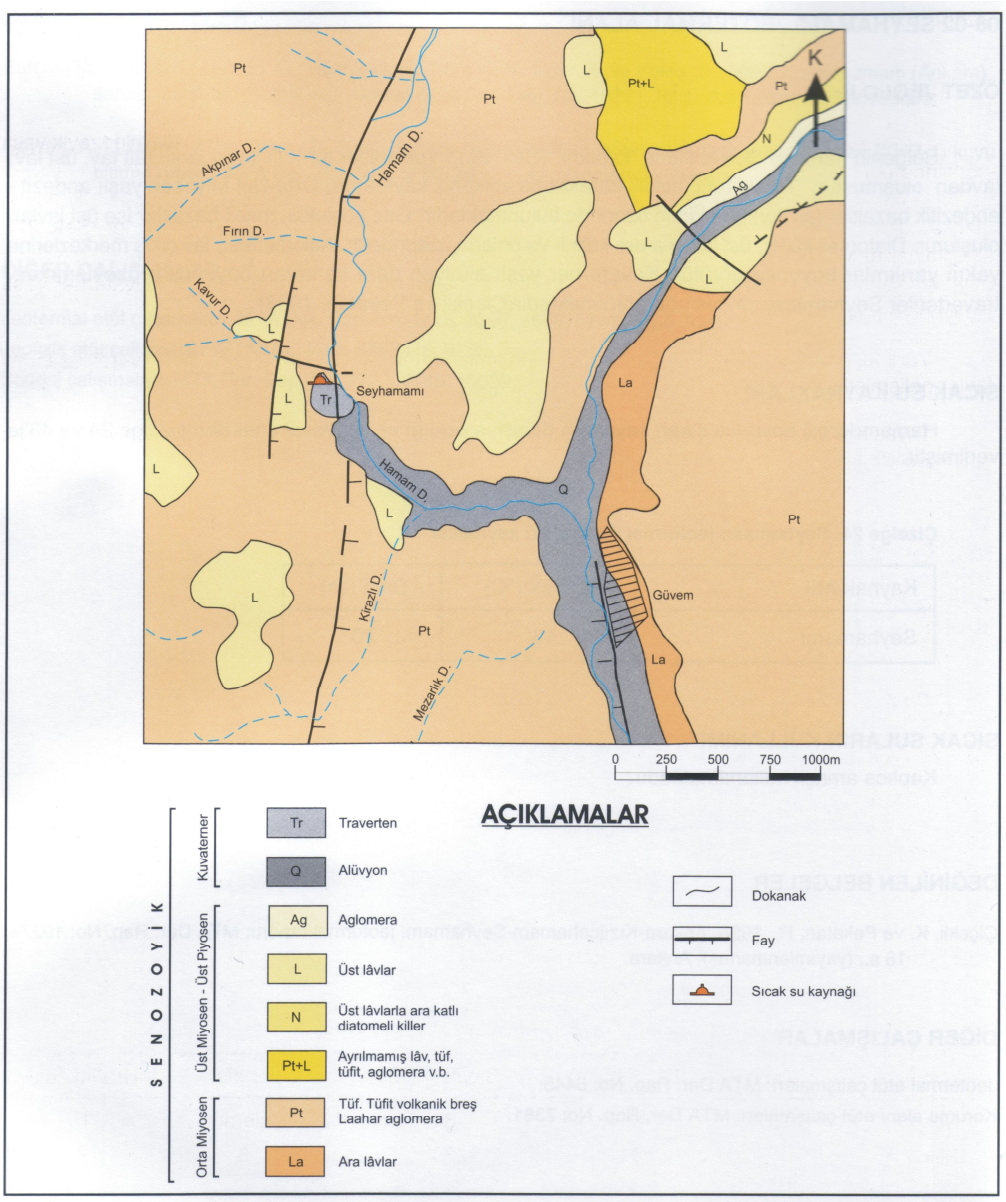
Kaynak Adı	Sıcaklık (^{o}C)	Debi (l/s)
Acısu Kaynağı	28 - 34	0.29 – 3
Kızılcahamam	50 - 51	2,8

Kızılcahamam ve çevresinin volkanizma etkisinde kaldığı, bölgede fay sistemlerinin bulunduğu yukarıda verilen çalışmalarda açıkça görülmektedir. Bu nedenle bölge yeni jeotermal kaynakların aranması için uygundur.

4.2.2 Seyhamamı

Bölgedeki hakim litoloji volkanitlerdir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 51). Volkanitler asidik tüf-tüfitler ile lavlardan oluşmaktadır (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 51). Lavlar kendi aralarında Orta-Üst Miyosen yaşlı andezit ve andezitik bazaltlardan oluşan alt lav ve gaz boşluklu masif bazaltlardan oluşan üst lav olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 51). Aglomeralar lav çıkış merkezlerinin yakınında görülmektedir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 51). Kuvaterner yaşlı alüvyonlar dere kenarlarında gözlemlenirken travertenler Seyhamamı çevresinde görülmektedir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 51).

Seyhamamı jeotermal alanının jeoloji haritası Şekil 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.2 : Seyhamamı jeotermal bölgesinin jeoloji haritası (Akkuş, İ. vd., 2005, s.52).

Alandaki jeotermal kaynaktan çıkan akışkanın sıcaklığı ve kaynağın debisi Çizelge 4.3'te verilmiştir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 51).

Çizelge 4.3 : Seyhamamı Jeotermal alanındaki kaynağı gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 51).

Kaynak Adı	Sıcaklık(^{o}C)	Debi (l/s)
Seyhamamı	43	20

Akkuş vd.nin (2005) çalışması incelendiğinde bölgenin Orta Miyosen ve Üst Pliyosen arasında volkanizma etkisi altında kaldığı açıktır. Ayrıca bölgenin jeoloji

haritası (Şekil 4.2) incelendiğinde bölgede fayların bulunduğu görüldüğünden Seyhamamı ve çevresinin jeotermal kaynak aramak için uygundur.

4.2.3 Çubuk-Melikşah

Çubuk ilçesinin kuzeydoğusunda Gül (2006) yaptığı çalışamada bölgedeki temel kayaçların alt triyas yaşlı olduğunu belirlemiş bunların üzerine neojen yaşlı volkaniklerin ve sedimenter birimlerin uyumsuzluk ile geldiğini, neojen yaşlı birimlerin üzerine ise kuvaterner yaşlı alüvyonların uyumsuzluk ile oturduğunu belirlemiştir (Gül, B., 2006, s. 6).

Temel kayaçlarının metakonglomera, metakumtaşı, metasilttaşı, kumlu kireçtaşı, kuvars-mika-şist, klorit-kalkşist, mika-kuvars şist, albit-klorit şistten ve metavolkanitlerden oluştuğu, birimin sarı, boz ve kahverengi renklerde arazide görüldüğü belirtilmiştir (Gül, B., 2006, s. 6).

Volkanikler volkanoklastikler ve riyolitik birimler olarak ikiye ayrılmıştır (Gül, B., 2006, s. 6).

Volkanoklastikler bazaltik trakiandezit, trakiandezit, trakit, dasit ve andezit bileşimli lav, blok ve kül akıntıları ile piroklastik akıntılar şeklinde arazide görülmektedir (Gül, B., 2006, s. 7).

Bazaltik trakiandezit bileşimli kayaçların koyu gri ve siyahımsı renge sahip lav akıntıları olduğu ve bu kayaçların Dedeler Köyü Güneyinde bulunduğu belirtilmiştir (Gül, B., 2006, s. 7).

Trakiandezit bileşimli kayaçlar siyahımsı gri renkte görünen lav akıntıları şeklinde arazide gözlemlenmektedir (Gül, B., 2006, s. 9).

Andezit bileşimli kayaçlar koyu gri lav akıntıları şeklinde Deliviran Köyünün Güneybatısında ve Dedeler Köyünün Kuzeydoğusunda görülmektedir (Gül, B., 2006, s. 9).

Dasit bileşimindeki kayaçlar pembemsi, kızılımsı kahverengi tonlarında ve pembemsi gri renkte lavlar ile domlar halinde arazide gözükmektedir (Gül, B., 2006, s. 9).

Trakit bileşimindeki kayaçların pembemsi gri ve kahverengi olup arazide porfirik yapıya sahip lav akıntıları olarak mostra verdikleri belirtilmiştir (Gül, B., 2006, s. 9).

Bodurlar civarında görülen pembemsi ve bej renk tonuna sahip piroklastiklerin yoğun hidrotermal alterasyona uğramaları sonucu silisifiye oldukları saptanmıştır (Gül, B., 2006, s. 9).

Riyolitik birimlerin arazide pembemsi gri, kızıl kahverengi ve yeşil renkte lav ile domlar şeklinde görüldüğü belirtilmiştir (Gül, B., 2006, s. 9).

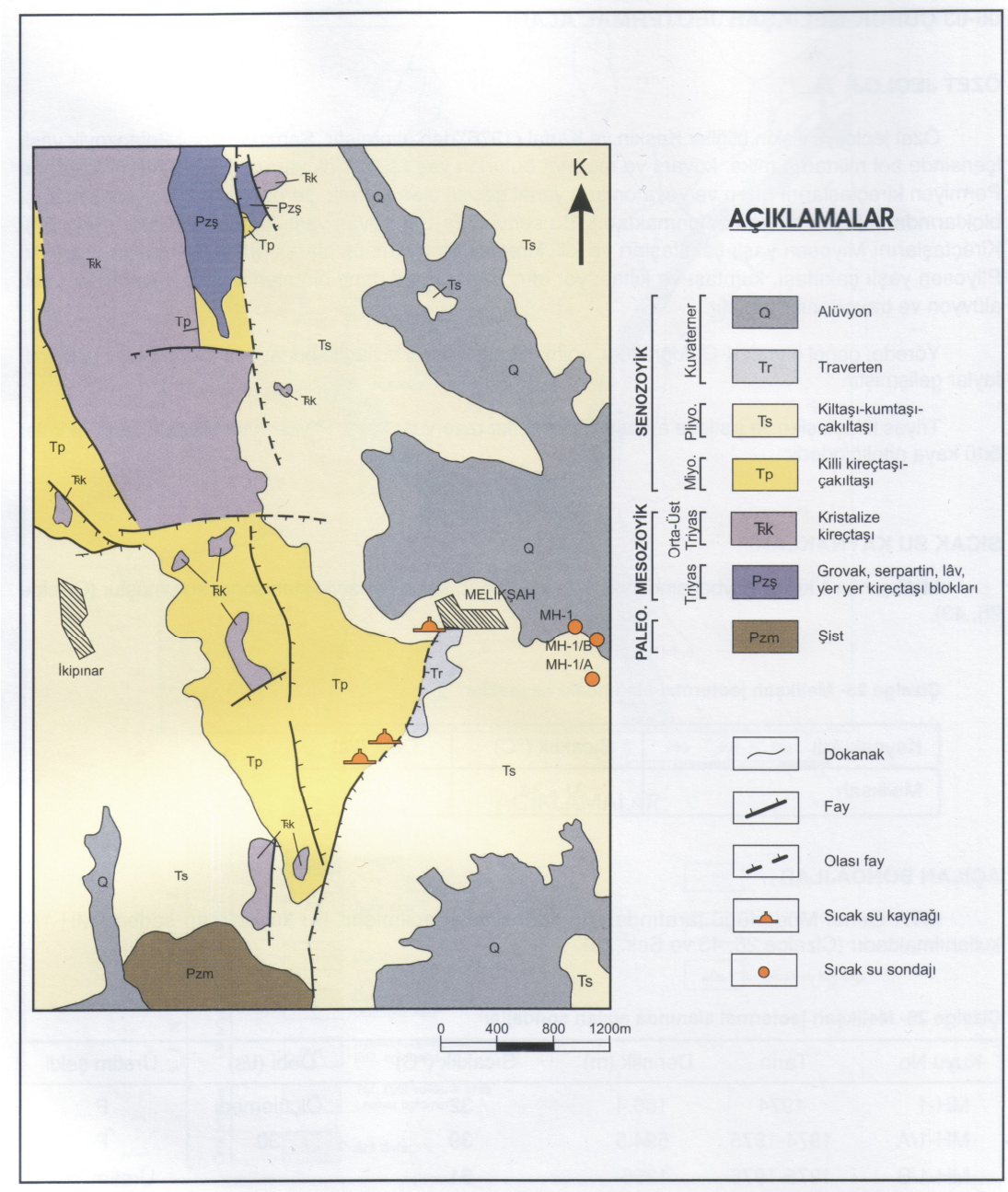
Bölgedeki sedimenter kayaçlardan oluşan birim sarımsı boz renklere sahip olup tutturulmamış veya az tutturulmuş, çeşitli boylarda çakıllar içeren konglomeradan oluşmuştur (Gül, B., 2006, s. 14). Konglomeralar içerisinde volkanik parçalar yaygın olarak bulunmaktadır (Gül, B., 2006, s. 14).

Kuvaterner yaşlı alüvyonlar akarsu boylarında çökelen kum, kil ve çakıldan oluşmaktadır (Gül, B., 2006, s. 15).

Akkuş vd. (2005) çalışmalarında bölgedeki temeli içerisinde bol miktarda mika, kuvars ve mermer bulunduran yeşil şistlerin oluşturduğunu saptamışlardır. Bu birimin üzerinde Permiyen yaşlı kireçtaşlarını örten ve onlarla yanal geçişli olan grovak, serpantin, lav ve yer yer kireçtaşları bloklarından oluşan bir seri bulunmaktadır (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 53). Bu seriyi Orta-Üst Triyas Kireçtaşları izlemektedir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 53). Miyosen yaşlı çakıltaşları ve killi kireçtaşları Orta-Üst Triyas Kireçtaşlarını uyumsuz olarak örterken Pliyosen yaşlı çakıltaşları, kumtaşları ve kiltaşları Miyosen yaşlı birimin üzerine gelmektedir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 53). Kuvaterner yaşlı birimler ise alüvyonlar ve travertenlerden oluşmaktadır (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 53).

Bölgedeki faylar Kuzey-Güney doğrultusu boyunca uzanmaktadır (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 53). Normal faylar olan bu fayların doğrultusuna dik doğrultuda uzanan faylar arazide mevcuttur (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 53).

Çubuk-Melikşah jeotermal alanının jeoloji haritası Şekil 4.3'te sunulmuştur.



Şekil 4.3 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesinin jeoloji haritası (Akkuş, İ. vd., 2005, s.53).

Bölgede açılan jeotermal sondaj kuyuları, kuyulardan elde edilen akışkanın sıcaklığı ve debisi ile kuyuların derinliği Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Çubuk-Melikşah Jeotermal alanında açılan sondajları gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 53).

Kuyu No	Tarih	Derinlik(m)	Sıcaklık(^{o}C)	Debi(l/s)
MH-1	1974	166.4	32	Ölçülemedi
MH-1/A	1974 – 1975	594.5	39	30
MH-1/B	1975 – 1976	1296	61	---

Alandaki kaynaktan çıkan akışkanın sıcaklığı ve kaynağın debisi Çizelge 4.5'te verilmiştir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 53).

Çizelge 4.5 : Çubuk-Melikşah Jeotermal alanındaki kaynağı gösteren çizelge (Akkuş, İ., 2005, s. 53).

Kaynak Adı	Sıcaklık(^{o}C)	Debi (l/s)
Melikşah	31-34	0,5

Gülün (2006) çalışması incelendiğinde Çubukun kuzeydoğusunun neojende volkanizma etkisinde kaldığı görülmüştür. Akkuş vd.nin (2005) yaptıkları çalışmada Melikşah ve çevresinde içinde lav bulunan bir birim tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada Melikşah çevresinde bir fay sistemi belirlenmiştir. Bunlara dayanılarak Melikşah ve çevresinin yeni jeotermal kaynaklar aramak için uygun bir bölge olduğu saptanmıştır.

4.2.4 Ayaş-Karakaya

Şahinci (1970) çalışmasında bölgedeki en eski birimin paleozoyik yaşlı şistler olduğunu belirtmiş, bu birimin üzerine mesozoyik yaşlı kalkerler geldiğini ve en üstte ise tüf, andezit, bazalt gibi volkanik akıntılarla aratabakalı olarak görülen neojen yaşlı göl birimlerinin geldiğini belirlemiştir (Şahinci, A., 1970, s. 1).

Genellikle serisitli, mikalı, grafitli şistler halinde arazide görülen Paleozoyik yaşlı birimler Ayaş Çayı ve Çaldağı çevresinde bulunmaktadır (Şahinci, A., 1970, s. 5). Gri-yeşil veya siyah renge sahip şistler (Şahinci, A., 1970, s. 5) Ayaş çayı boyunca rekristalize kalkerler ile aratabakalı olarak görülmektedir (Şahinci, A., 1970, s. 5). Permo-karbonifer yaşlı bu birimlerin hersiniyen orojenezi nedeniyle kıvrıldıkları belirtilmiştir (Şahinci, A., 1970, s. 11).

Mesozoyik yaşlı kalkerlerin beyaz-kırmızımtrak renge sahip ve masif görünüşlü oldukları ve de 150-200 metre kalınlığa ulaştıkları belirtilmiştir (Şahinci, A., 1970, s. 6). Şistleri uyumsuz olarak örten bu birimin yaşı Üst Jura

olarak verilmiştir (Şahinci, A., 1970, s. 6). Bu birim, altındaki paleozoyik şistlerle birlikte Alpin orojenezi sebebiyle kıvrılmaya uğramıştır (Şahinci, A., 1970, s. 11).

Neojen birimleri eski birimlerin üzerini uyumsuz olarak örtmektedir (Şahinci, A., 1970, s. 6). Neojende bölgede etkili olan magmatizma Miyosende volkanik cam ve bazalt akıntıları, Üst Miyosen Alt Pliyosende bazalt ve andezit, Üst Pliyosende ise volkanik cam olarak kendini göstermiştir (Şahinci, A., 1970, s. 6).

Çetin (2006) çalışmasında bölgede Triyastan başlayıp Kuvaternere kadar uzanan çökel, mağmatik ve metamorfik kayaçlardan oluşan bir istifin yer aldığını belirtmiştir (Çetin, A., 2006, s. 11).

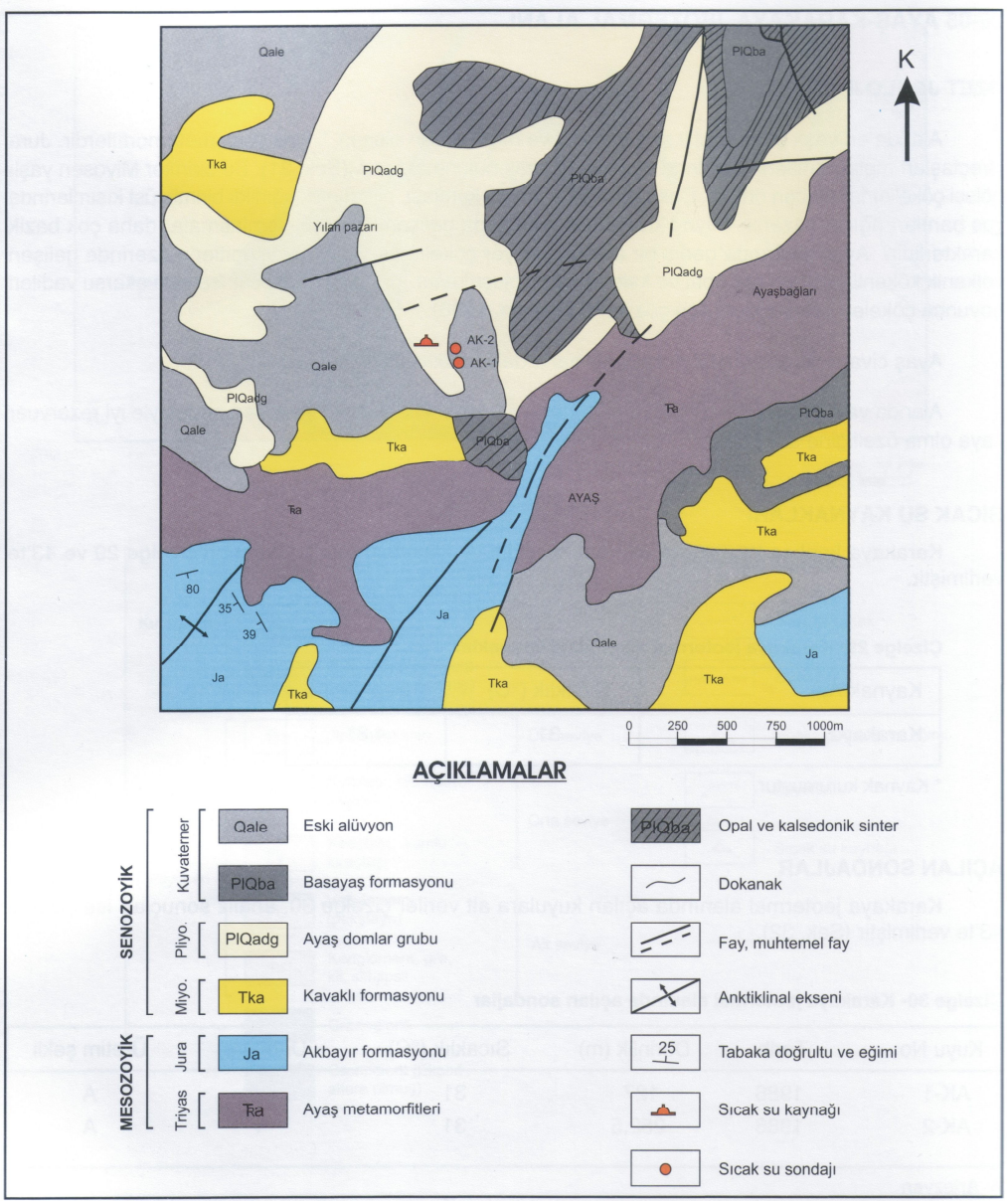
Kalkşist, killişist, grafitşistlerden ve bunların içerisinde mercekler halinde bulunan mermerlerden oluşan Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı (Tk) bölgedeki en yaşlı birimdir (Çetin, A., 2006, s. 11). Jura yaşlı kireçtaşlarından oluşan Bilecik Kireçtaşı (Jkb) ise metamorfitlerin üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Çetin, A., 2006, s. 11). Killi kireçtaşı, marn, silttaşı, kumtaşı, çakıltaşı ve tüfit ardalanmasından oluşan ve içerisinde andezit silleri görünen Hançılı Formasyonu Jura kireçtaşlarının üzerine uyumsuz olarak oturmaktadır (Çetin, A., 2006, s. 16). Alt–Orta Miyosen yaşlı bu birim (Çetin, A., 2006, s. 12) karasal bir havzadaki ırmak ve gölde çökelmiştir (Çetin, A., 2006, s. 17). Gölsel çökellerin üzerine andezit, trakiandezit, bazalt, tüf, aglomera ve dasitten oluşan Tekke Volkanitleri (Tt) gelmektedir (Çetin, A., 2006, s. 18). Miyosende bölgede görülen volkanizma sonucu oluşan bu birimin tüf ve lavları göl ile akarsularda çökelimini sürdüren kaya türlerinin içerisinde siller halinde bulunmaktadır (Çetin, A., 2006, s. 18). Sığ göllerde gelişmiş jips, çamurtaşı, kumtaşı, tüfit ardalanmalarından oluşan Üst Miyosen yaşlı Bozkır Formasyonu (Tbo) uyumsuzluk ile Tekke Volkanitlerinin üzerindedir (Çetin, A., 2006, s. 19). Kuvaterner çökelleri ise kendi aralarında Uğur Çayı boyunca görülen taraçalarda çökelmiş gevşek çakıl ve kumdan oluşan Taraça (Qt) birimi ile Uğur Çayı, Ayaş Deresi, Sızma Deresi boyunca görülen, kil laminalı ince kumlardan oluşan Alüvyon(Qal) olarak ikiye ayrılmaktadır (Çetin, A., 2006, s. 19).

Akkuş vd.nin (2005) çalışmasında bölgedeki en yaşlı birimin killi şist, kalkşist, ve mermerden oluşan Triyas yaşlı metamorfitler olduğu belirtilmiştir. Metamorfitleri uyumsuz olarak örten Jura kireçtaşları ise Miyosen yaşlı gölsel çökeller tarafından örtülmektedir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61). Çakıltaşı, kiltaşı, marn, kumtaşı ve piroklastiklerden oluşan bu birimin üst kısımlarında jips bantları bulunmaktadır

(Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61). Pliyo-Kuvaterner aralığında gelişen volkanik domların daha çok bazik karakterli olduğu belirlenmiştir (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61). Bölgede volkanik kökenli silisifiye bir zon olduğu ve bu zonun opal ile kalsedondan oluştuğu saptanmıştır (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61). Bölgedeki en genç birimler ise akarsu vadileri boyunca çökelen alüvyonlardır (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61).

Bölgedeki tektonik hatlarda belirlenen baskın doğrultu Kuzeydoğu-Güneybatıdır (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61).

Ayaş Karakaya Jeotermal alanının jeoloji haritası Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil 4.4 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesinin jeoloji haritası (Akkuş, İ. vd., 2005, s.62).

Bölgede açılan jeotermal sondaj kuyuları, kuyulardan elde edilen akışkanın sıcaklığı ve debisi ile kuyuların derinliği Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Ayaş-Karakaya Jeotermal alanında açılan sondajları gösteren çizelge (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61).

Kuyu No	Tarih	Derinlik(m)	Sıcaklık(^{o}C)	Debi(l/s)
AK-1	1986	127	31	16
AK-2	1986	252,5	31	1

Bölgedeki kaynaktan çıkan akışkanın sıcaklığı ve debisi Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Ayaş-Karakaya Jeotermal alanındaki kaynağı gösteren çizelge (Akkuş, İ. vd., 2005, s. 61).

Kaynak Adı	Sıcaklık(^{o}C)	Debi (l/s)
Karakaya	31	4,8

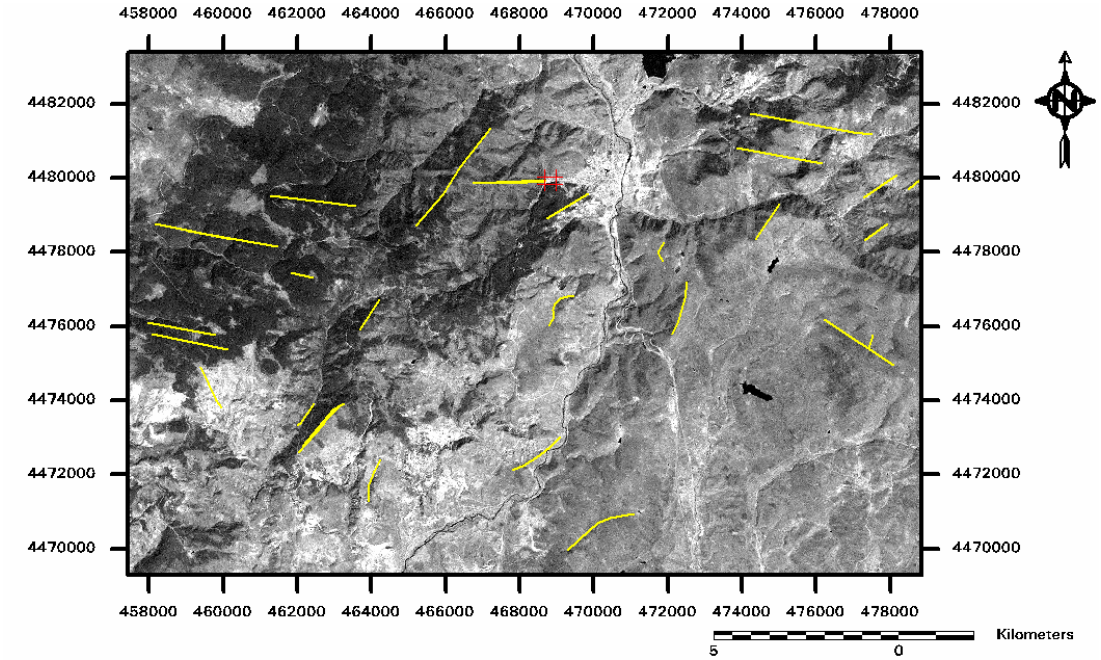
Şahinci tarafından 1970 yılında yapılan çalışmada bölgede tespit edilen tüf, andezit, bazalt gibi volkanik akıntılarla aratabakalı olarak görülen neojen yaşlı göl birimleri, alanın neojen boyunca volkanizma etkisi altında kaldığını göstermektedir. Akkuş vd.nin 2005 yılında yürüttükleri araştırmada Ayaş-Karakaya çevresinde doğrultuları kuzeydoğu-güneybatı olan bir fay sistemi saptanmıştır. Bu nedenle Ayaş-Karakaya ve çevresi yeni jeotermal kaynak aramalarının yapılması için uygundur.

4.3 Çalışma Alanlarındaki Çizgiselikler

Çalışma alanları içerisindeki çizgisellikler ETM+ dan elde edilen pankromatik görüntünün bölüm 3.5.3'te sunulmuş olan esaslar dikkate alınarak yorumlanmasıyla belirlenmiştir. Öncelikle pankromatik görüntüye filtre uygulanmadan sahadaki çizgisellikler belirlenmiştir. Ardından bölüm 3.5.3'te sunulmuş olan çekirdekler kullanılarak bulunan çizgisellikler filtre uygulanmadan bulunan çizgiselliklerle beraber 1/25000 ölçekli topografik haritalar üzerine konularak topoğrafya ile ilgili olmayan çizgisellikler elenmiştir. Ayrıca ETM+ ile görünür bölgede elde edilmiş, bant 1, bant 2 ve bant 3 görüntülerinin sırasıyla mavi, yeşil ve kırmızı kanallara atanmasıyla elde edilen renkli görüntüde ayırt edilebilen yollar ve 1/25000 ölçekli haritalardaki yollarla örtüşen çizgisellikler kullanılmamıştır. Son olarak 3.5.3'teki esaslar göz önüne alınarak fay olduğu düşünülmeyen çizgisellikler de ayrılarak bölgedeki olası faylar belirlenmiştir.

4.3.1 Kızılcahamam

Kızılcahamam Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita Şekil 4.5'te sunulmuştur.



Şekil 4.5 : Kızılcahamam Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita.

Şekilde olası faylar sarı çizgilerle gösterilmiştir. Kızılcahamam Kaynağı ise Çizelge 4.8'de UTM projeksiyon sisteminde datumu WGS84 olacak şekilde koordinatları verilen ve kırmızı artılarla gösterilmiş olan noktaların köşelerini oluşturduğu poligon içerisinde kalmaktadır (Prof. Dr. Mesut Elibüyük. Ankara Üniversitesi. D.T.C.F. Coğrafya. Bölümü., kişisel görüşme, 12 Ocak 2009).

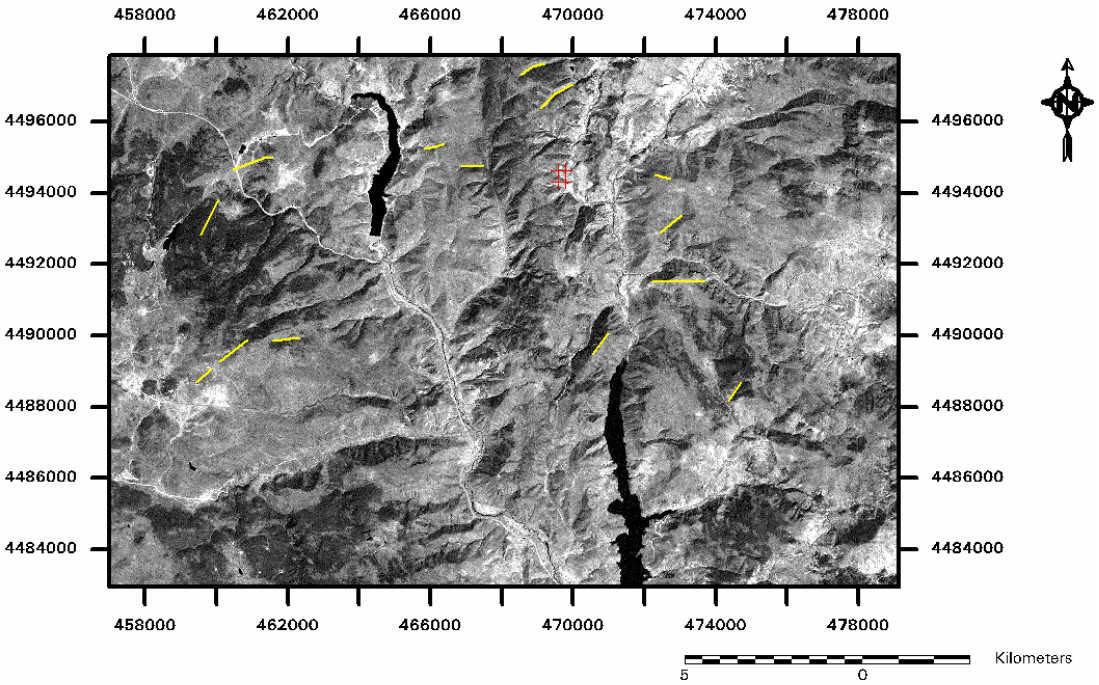
Çizelge 4.8 : Kızılcahamam Kaynağının içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktalarının koordinatlarını gösteren çizelge (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme,12 Ocak 2009).

	X	Y
Kızılcahamam Nokta 1	468700	4480000
Kızılcahamam Nokta 2	469000	4480000
Kızılcahamam Nokta 3	469000	4479800
Kızılcahamam Nokta 4	468700	4479800

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi tarafından 2002 yılında basılmış olan 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisinin 42 numaralı Bolu H29 paftasındaki faylar ile uydu görüntüsü yorumlanarak bulunan ve Şekil 4.5'te gösterilmiş olan olası faylar karşılaştırıldığında Kaynağın üzerinde bulunduğu fay hariç hiçbir fay birbirini tutmamıştır.

4.3.2 Seyhamamı

Seyhamamı Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita Şekil 4.6'da sunulmuştur.



Şekil 4.6 : Seyhamamı Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita.

Seyhamamı Kaynağı'nın içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktaları harita üzerinde kırmızı artılarla gösterilmiş olup UTM projeksiyon sisteminde datumu WGS84 olacak şekilde noktaların koordinatları Çizelge 4.9'da sunulmuştur (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009).

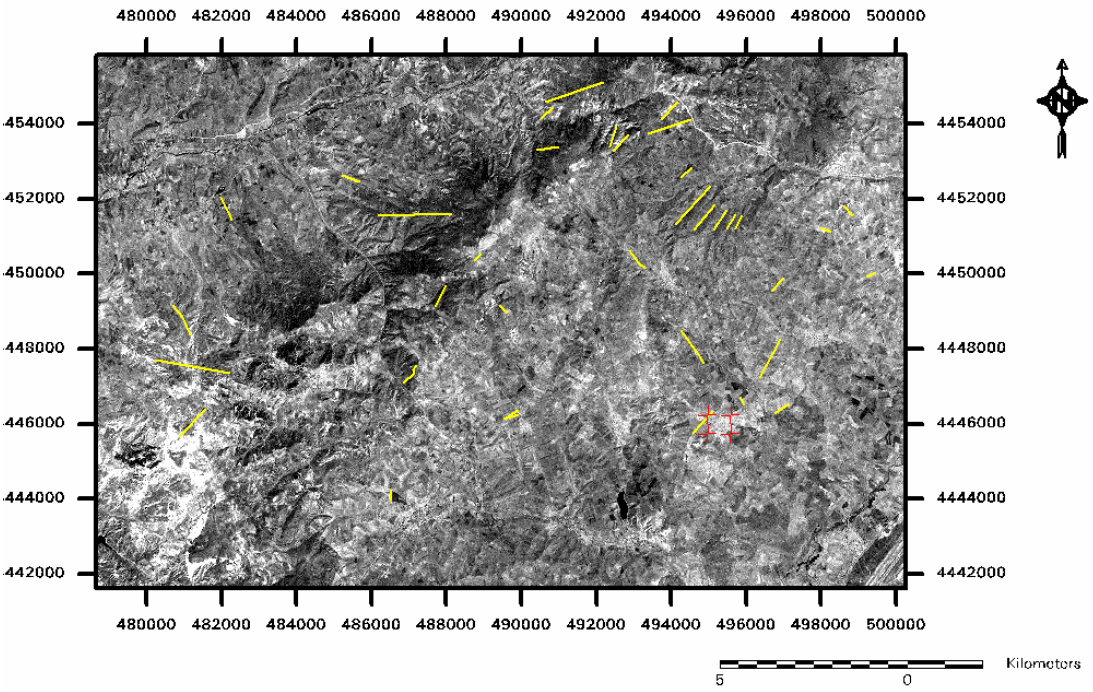
Çizelge 4.9 : Seyhamamı Kaynağı'nın içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktalarının koordinatlarını gösteren çizelge (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009).

	X	Y
Seyhamamı Nokta 1	469600	4494600
Seyhamamı Nokta 2	469800	4494600
Seyhamamı Nokta 3	469800	4494300
Seyhamamı Nokta 4	469600	4494300

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi tarafından 2002 yılında basılmış olan 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisinin 36 numaralı Bolu G29 paftasındaki faylar ile uydu görüntüsü yorumlanarak bulunan ve Şekil 4.6'da gösterilmiş olan olası faylar karşılaştırıldığında aralarında hiçbir uyuşma olmadığı görülmüştür.

4.3.3 Çubuk-Melikşah

Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita Şekil 4.7'de sunulmuştur.



Şekil 4.7 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita.

Çubuk-Melikşah Kaynağı'nın içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktaları harita üzerinde kırmızı artılarla gösterilmiş olup UTM projeksiyon sisteminde datumu WGS84 olacak şekilde noktaların koordinatları Çizelge 4.10'da sunulmuştur (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009).

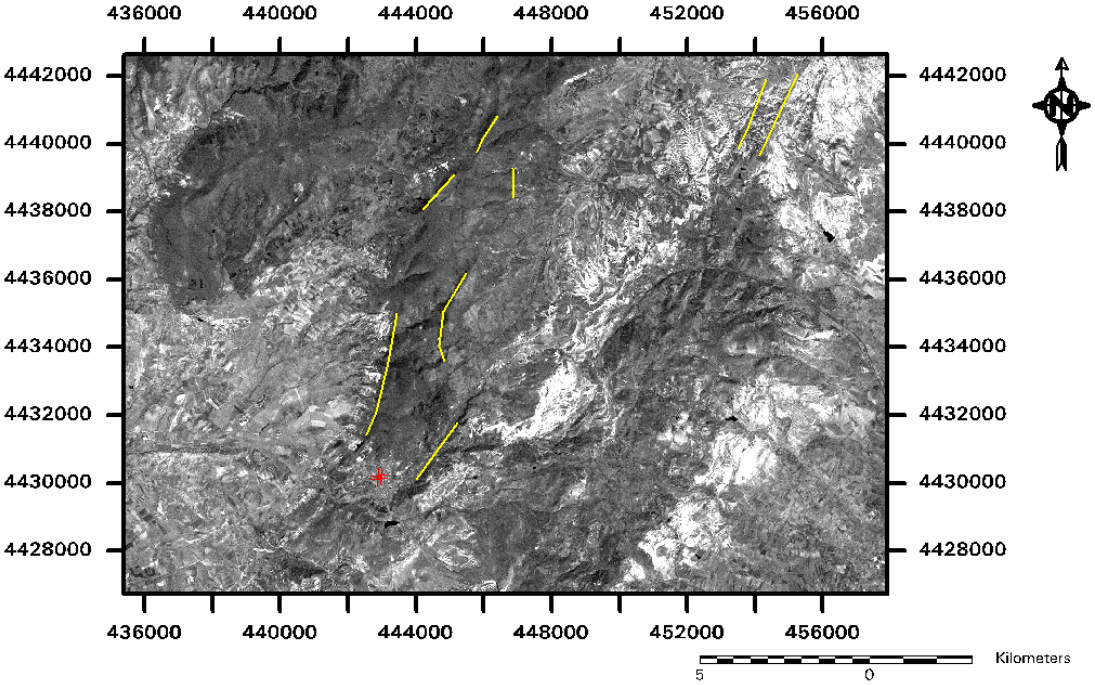
Çizelge 4.10 : Çubuk-Melikşah Kaynağının içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktalarının koordinatlarını gösteren çizelge (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009).

	X	Y
Çubuk-Melikşah Nokta 1	495000	4446200
Çubuk-Melikşah Nokta 2	495600	4446200
Çubuk-Melikşah Nokta 3	495600	4445700
Çubuk-Melikşah Nokta 4	495000	4445700

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi tarafından 2002 yılında basılmış olan 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisinin 42 numaralı Bolu H29 paftasındaki faylar ile uydu görüntüsü yorumlanarak bulunan ve Şekil 4.7'de gösterilmiş olan olası faylar karşılaştırıldığında hiçbir fayın birbirini tutmadığı görülmüştür.

4.3.4 Ayaş-Karakaya

Ayaş-Karakaya Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita Şekil 4.8'de sunulmuştur.



Şekil 4.8 : Ayaş Karakaya Jeotermal Bölgesine ait olası fayları gösteren harita.

Ayaş-Karakaya Kaynağı'nın içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktaları harita üzerinde kırmızı artılarla gösterilmiş olup UTM projeksiyon sisteminde datumu WGS84 olacak şekilde noktaların koordinatları Çizelge 4.11'de sunulmuştur (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009).

Çizelge 4.11 : Ayaş-Karakaya Kaynağı'nın içerisinde bulunduğu poligonun köşe noktalarının koordinatlarını gösteren çizelge (Prof. Dr. Mesut Elibüyük, kişisel görüşme, 12 Ocak 2009).

	X	Y
Ayaş-Karakaya Nokta 1	442900	4430200
Ayaş-Karakaya Nokta 2	443000	4430200
Ayaş-Karakaya Nokta 3	443000	4430100
Ayaş-Karakaya Nokta 4	442900	4430100

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi tarafından 2002 yılında basılmış olan 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisinin 41 numaralı Bolu H28 paftasındaki faylar ile uydu görüntüsü yorumlanarak bulunan ve Şekil 4.7 de gösterilmiş olan olası faylar karşılaştırıldığında aralarında hiçbir uyuşma olmadığı saptanmıştır. Adı geçen Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü

Jeoloji Etütleri Dairesi tarafından basılmış olan 1/100000 ölçekli jeoloji haritasına göre Ayaş-Karakaya Jeotermal bölgesinde hiçbir fay bulunmamaktadır.

4.4 Çalışma Alanındaki Termal Anomaliler

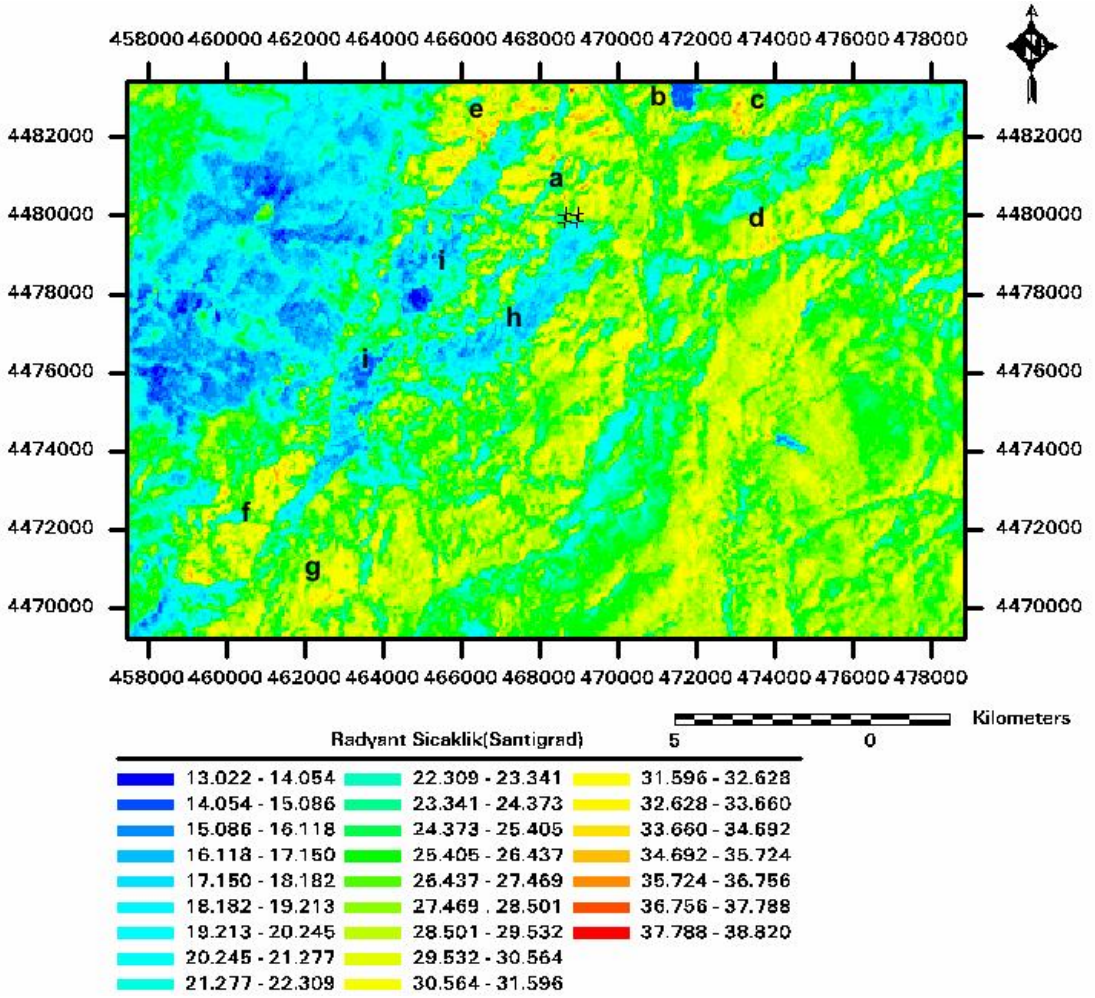
Yüzeyde jeotermal kaynağın belirteci olabilecek yapıların bulunması için aynı bölgenin gündüz ve gece, termal kızılötesi bölgede kaydedilmiş görüntüleri kullanılabilir. Yapıların bulunduğu bölgelerde sıcaklık, yeryüzüne çıkan akışkanlar sebebiyle gündüz ve gece fazla değişmeyeceğinden bu iki görüntünün farkı alınıp incelenebilir ve düşük sıcaklık farklarına sahip bölgeler belirlenebilir. Çalışmada kullanılan uydu verileri için aynı gün gündüz ve gece görüntüsünü alabilmek gibi bir olanağa sahip olunmadığından yukarıda sunulan yöntemi uygulamak mümkün olmamıştır.

Uydu görüntülerinin algılandığı zamanlarda arazide ölçüm yapılamadığından literatür taraması sonucu giriş bölümünde verilen çalışmalardaki yöntemleri uygulamak mümkün olmamıştır.

Bu nedenle Kızılcahamam, Seyhamamı, Çubuk-Melikşah ve Ayaş-Karakaya Jeotermal Kaynakları'nın bulunduğu bölgelerde termal anomalilerin belirlenebilmesi için Bölüm 3.5.1'de verilmiş olan denklem 3.1 ile 3.2 kullanılarak hesaplanan radyant sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Radyant sıcaklık değerlerinden oluşan görüntüler üzerinde yoğunluk dilimlemesi (level slicing) yapılarak sıcaklık değerleri yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiştir. Kullanılan uydu görüntüsü yüksek kazançlı ve düşük kazançlı olarak kaydedilmiş olup görüntülerin metadata dosyasında kayıt zamanı tam olarak belirtilmediğinden her iki görüntü için radyant sıcaklık değerleri hesaplanıp sunulmuştur. Yüksek kazançlı olarak kaydedilen görüntülerin kayıt altına alabildiği dinamik aralığın, metadata dosyasındaki ilgili banda ait, sensörün kaydedebildiği minimum ve maksimum radyans değerlerine karşılık gelen LMIN ve LMAX değerleri (Tuscherer, B., 2007, s. 66) incelendiğinde, düşük kazançlı olarak kaydedilen görüntülerin sahip olduğu dinamik aralığa göre daha dar olduğu görülmektedir. Yüksek kazançlı kanalda daha hızlı doygunluğa ulaşılmakta fakat kazancın yüksek olması nedeniyle daha hassas algılama yapılabilmektedir. Görüntüler incelenirken beklenen, kaynağın çevresinde kümeleşmiş ve genel olarak çevreden oldukça yüksek radyant sıcaklık değerlerine sahip bölgelerin görüntüde bulunmasıdır.

4.4.1 Kızılcahamam

Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı görüntünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık değerlerinin yoğunluk dilimlemesi (density slicing) yöntemiyle yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiş hallerini gösteren harita Şekil 4.9'da sunulmuştur.



Şekil 4.9 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası (Bakış yönü güney).

Bölgedeki en düşük sıcaklık 13.022^{o}C, en yüksek sıcaklık ise 38.820^{o}C'dır. Bölgedeki radyant sıcaklıkların ümit değeri 25.661^{o}C'dir. Jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu 54000 m^2'lik alandaki en yüksek sıcaklık 30.475^{o}C, en düşük sıcaklık ise 20.001 ^{o}C'dır.

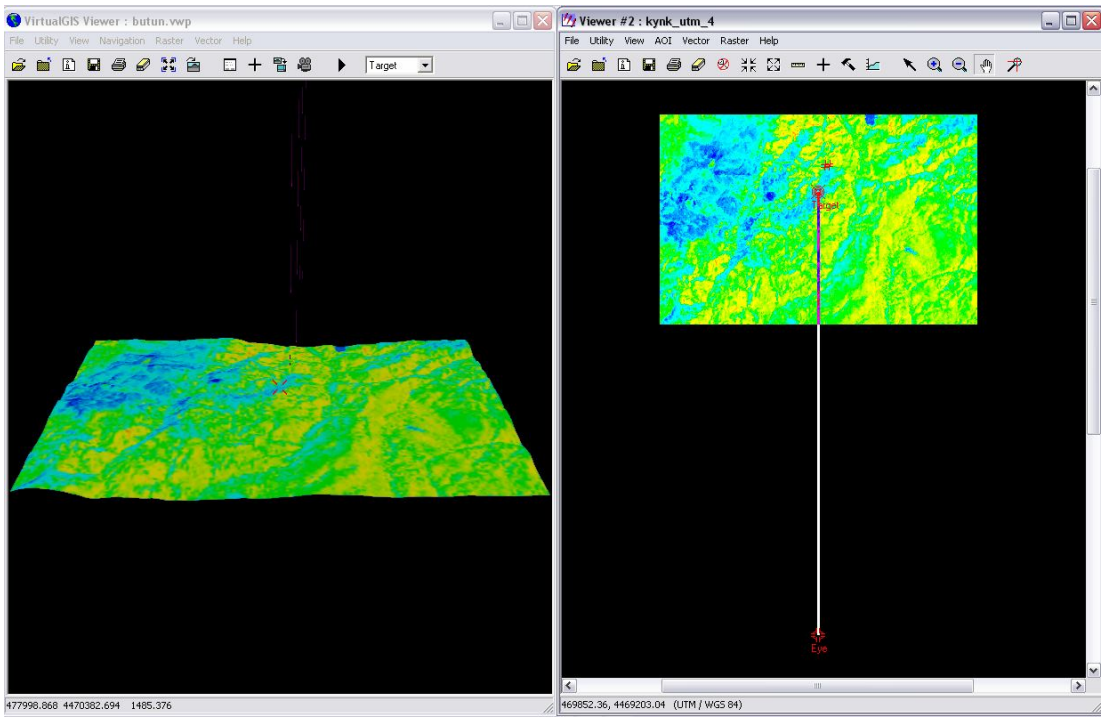
Şekil 4.9 incelendiğinde sıcaklıkları yaklaşık 35^{o}C ile 39^{o}C arasında değişen bölgelerin jeotermal kaynağın bulunduğu alanın kuzeyinde ve kuzeybatısında

yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca haritanın güneybatısında, kuzeydoğusunda ve doğusunda da yüksek sıcaklıklı noktalar bulunmaktadır.

Kızılcahamam jeotermal kaynağının kuzeyindeki sıcak noktaların 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar incelendiğinde, Çatalgelişim Tepesi'nin (1295.6 metre) güneydoğuya bakan sırtları (Şekil 4.9 a), Seyçayı ile birleşip Kocaçayı oluşturan Çorakçay'ın arasında kalan Dede Tepe'nin (1010 metre) kuzeyindeki Çiçektoprağı Sırtı'nın güneydoğuya bakan yüzleri (Şekil 4.9 b) üzerinde bulundukları saptanmıştır. Jeotermal kaynağın kuzeydoğusundaki sıcak bölgenin Seyçayı'nın doğuya doğru uzanan bir kolu olan Acı Dere'nin kuzeyindeki Karadağ'ın (1180 metre) güneydoğuya bakan sırtları (Şekil 4.9 c), kaynağın doğusundaki sıcak bölgenin ise Kocaçayı besleyen Devret Deresi'nin kuzeyindeki Ortadede Tepesi'nin (1371 metre) güneydoğuya bakan sırtları (Şekil 4.9 d) olduğu görülmüştür.Haritada görülen bir diğer sıcak bölge ise jeotermal kaynağın kuzeybatısında bulunan ve Gök Deresi'nin içerisinde aktığı vadinin güneydoğuya bakan yamaçları üzerindeki Üçkaya ile Höpürcük Sırtları ile örtüştüğü belirlenen arazidir (Şekil 4.9 e). Haritanın güneybatı köşesindeki sıcak noktalar ise Daz Dağı'nın (1621 metre) güneydoğuya bakan sırtı olan Kırtıllıset Sırtı ile buranın güneybatısındaki Dişlence Sırtı üzerindedir (Şekil 4.9 f). Bu bölgenin güneydoğusundaki Işkınlı Tepe'nin (1310 metre) güneydoğuya bakan sırtı olan Doruk Sırtı (Şekil 4.9 g)bir diğer sıcak noktadır.

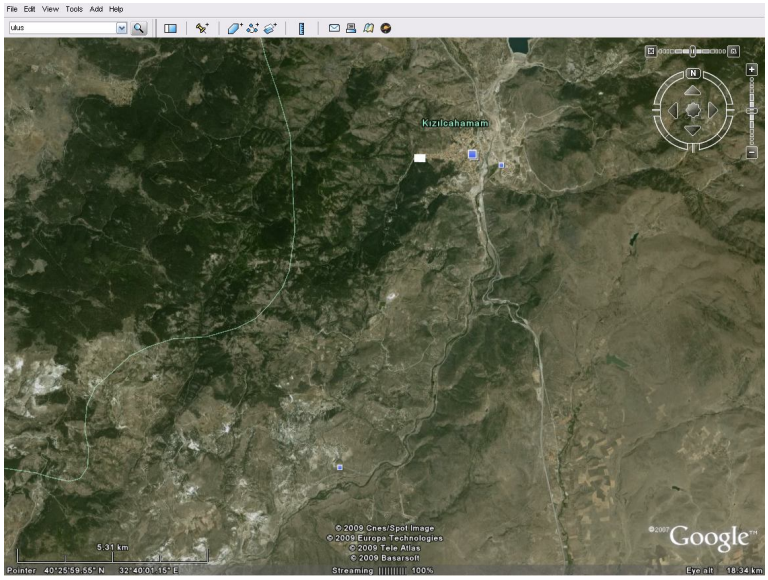
Sıcaklıkları yaklaşık 13^{o}C ile 20^{o}C arasında değişen soğuk bölgelerin haritanın batı ve kuzeybatı bölümünde kümelendiği Şekil 4.9'da görülmektedir. Ayrıca haritanın güneybatı ve kuzeydoğu köşelerinde bulunan soğuk bölgeler dikkat çekmektedir.

Genel olarak haritadaki soğuk bölgelerin arazideki yükseltilerin batı ve kuzeybatıya bakan yamaçları üzerinde bulunduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Şekil 4.10 incelendiğinde Şekil 4.9'da "h" ve "i" harfleriyle gösterilen kısımlar hariç, haritanın batısındaki sıcaklığı 20^{o}C'ı geçmeyen bölgelerin arazideki yükseltileri yön gözetmeksezin kapladığı görülmektedir.



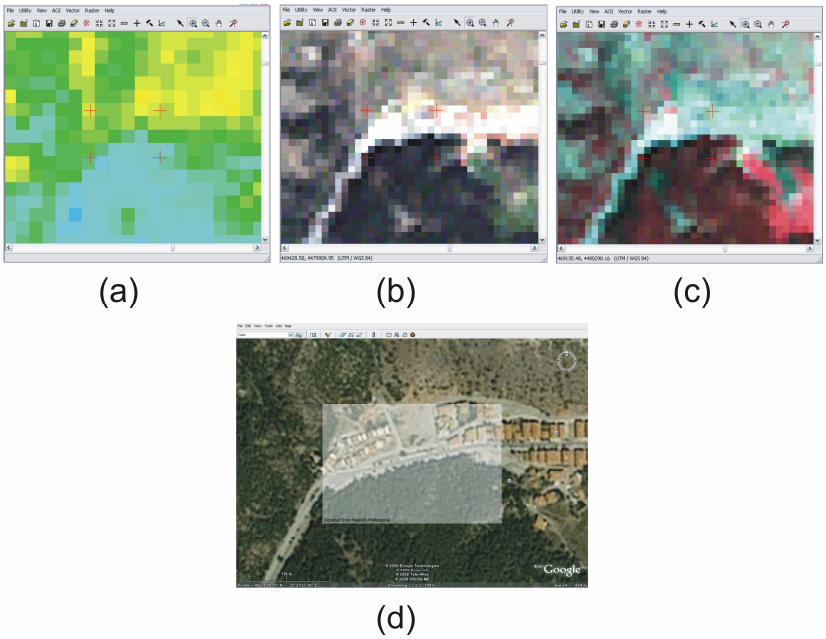
Şekil 4.10 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil

Şekil 4.9'da sıcaklıkları yaklaşık 35^{o}C ile 39^{o}C arasında değişen bölgelerin Şekil 4.13 incelendiğinde bitki örtüsü ile kaplı olmayan çıplak kara parçaları olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.13 ile Şekil 4.9 soğuk bölgeler için birlikte incelendiğinde, Şekil 4.13'teki görünür bölgede algılanmış görüntüde bulunan oldukça koyu renkli bölgelerin Şekil 4.9'daki soğuk bölgelerle örtüştüğü görülmüştür. İlk olarak bu alanların gölgede kaldıkları düşünülmüştür fakat sayısal yükseklik modeli ile Şekil 4.9'daki harita birlikte yorumlandığında, haritanın güneybatı ile kuzeydoğu köşeleri ve haritada "h" ile "i" harfleriyle gösterilen alanlar hariç koyu bölgelerle örtüşen soğuk yerler için böyle bir açıklama yapılamayacağı görülmüştür. Ardından bu bölgelerin bitki örtüsü ile kaplı oldukları düşünülmüştür fakat Şekil 4.13'teki renkli kızılötesi görüntü incelendiğinde koyu bölgelerin kızılötesi band ve yeşil banda ait DN değerleri arazide bitki örtüsü bulunan bölgelerin kızılötesi ve yeşil banda ait DN değerlerinden düşük çıkmıştır. Google Earth programı kullanılarak koyu bölgeler incelendiğinde buraların bitki örtüsü ile kaplı olduğu görülmüştür (Şekil 4.11).



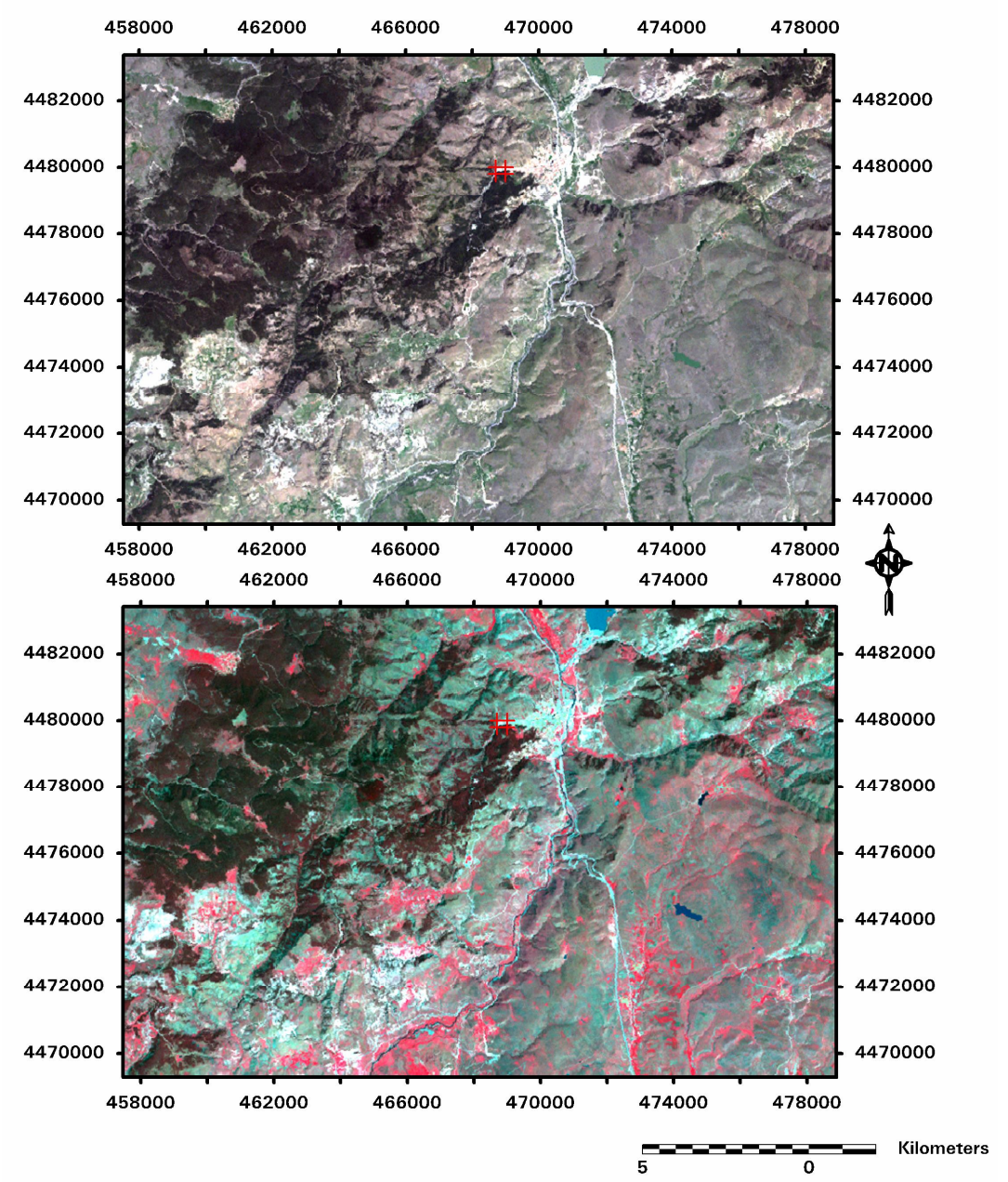
Şekil 4.11 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009).

Kızılcahamam jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu 54000 metrekarelik alan içerisindeki sıcaklık farklarının yüksekliği ise bölgedeki arazi örtüsü ile açıklanmaktadır. Bölgenin düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasındaki durumu (Şekil 4.12 a), görünür bölgede algılanmış görüntüsü (Band 3-2-1) (Şekil 4.12 b), renkli kızılötesi görüntüsü (Band 4-3-2) (Şekil 4.12 c) ve Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009) (Şekil 4.12 d) Şekil 4.12'de sunulmuştur.



Şekil 4.12 : Kızılcahamam jeotermal kaynağının bulunduğu alana ait uydu görüntüleri.

Şekil 4.12 a'da jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu alanın güneyinin kuzeyinden daha soğuk olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alınarak Şekil 4.12 b, Şekil 4.12 c ve Şekil 412 d incelendiğinde bölgenin güneyinin bitki örtüsü ile kaplı olduğu görülmektedir.

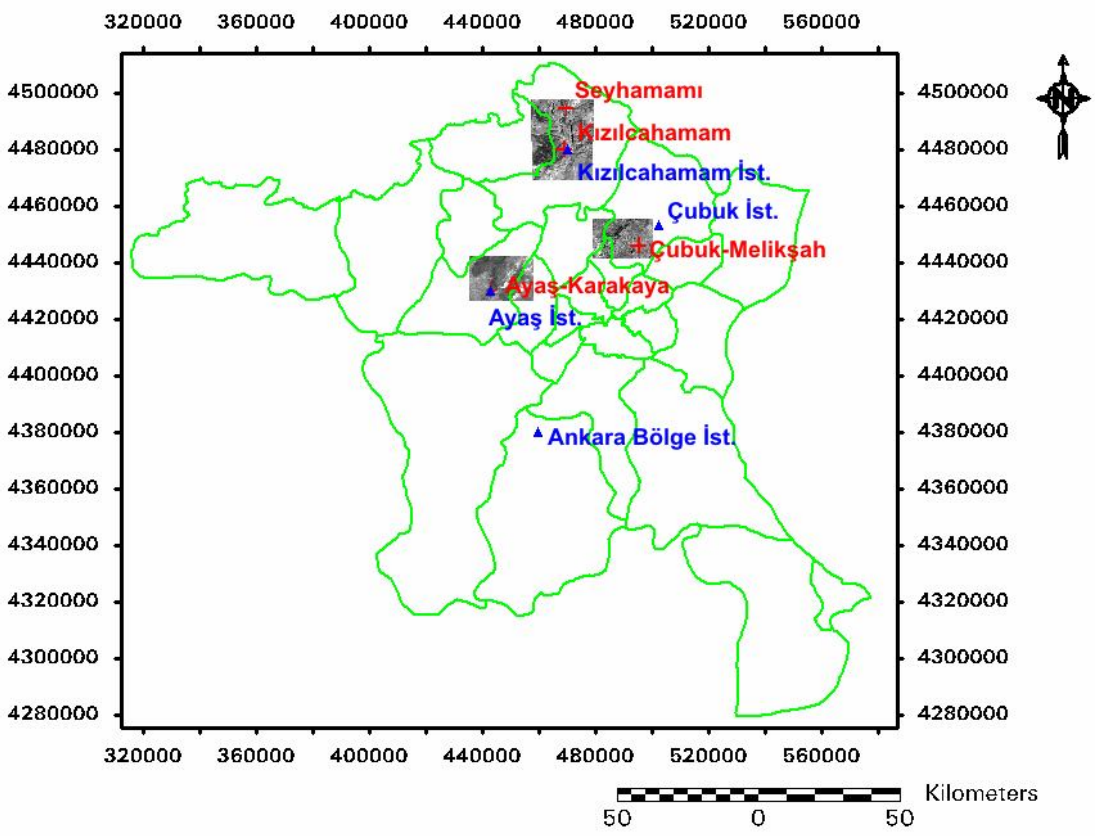


Şekil 4.13 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait görünür bölgede algılanmış (band 3-2-1) ve renkli kızılötesi (band 4-3-2) uydu görüntüleri.

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı İstatistik ve Yayın Şube Müdürlüğü'nden alınan Ankara il sınırları içerisinde Şekil 4.14'teki Ankara Bölge İstasyonun'da ölçülen rüzgarların aylara göre esme sayıları toplamı, ortalama hızları ve esme yönleri Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

Çizelge 4.12 : Ankara il sınırları içerisinde 2000 yılında Ankara Bölge İstasyonun'da ölçülmüş rüzgarlara ait bilgileri gösteren çizelge.

		AYLAR												
	YÖN	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**YILLIK**
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	K	138	109	124	134	94	110	106	87	96	175	152	119	1444
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	K	1.7	1.8	1.7	1.5	1.5	1.9	2.0	1.6	1.4	1.3	1.5	1.4	1.6
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	K-KD	182	170	146	113	133	162	230	213	191	194	172	197	2103
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	K-KD	2.3	2.2	2.3	2.1	2.3	2.3	2.8	2.7	2.2	2.1	1.8	2.3	2.3
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	KD	559	538	486	398	443	562	732	754	574	601	587	541	6775
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	KD	2.2	2.2	2.4	2.3	2.4	2.5	2.9	2.7	2.2	2.0	1.9	2.1	2.4
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	D-KD	334	308	324	298	462	470	621	595	483	435	394	345	5069
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	D-KD	2.1	2.2	2.2	2.1	2.4	2.4	2.7	2.6	2.2	2.2	2.0	2.2	2.3
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	D	231	167	223	204	290	324	308	256	203	183	141	222	2752
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	D	2.8	1.9	2.0	1.9	1.9	1.8	2.1	2.1	1.7	1.7	1.6	1.6	1.9
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	D-GD	53	39	48	56	68	65	69	61	45	32	37	67	640
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	D-GD	1.7	2.0	2.3	1.9	2.2	2.0	2.2	1.8	2.1	1.9	1.6	1.4	1.9
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	GD	67	57	81	68	81	54	84	87	57	38	37	67	778
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	GD	2.1	1.9	2.3	2.1	2.1	2.2	2.1	2.5	1.8	1.5	1.4	1.8	2.0
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	G-GD	54	41	48	51	47	16	18	23	35	24	31	37	425
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	G-GD	2.2	3.2	2.7	2.5	2.1	1.8	2.0	1.6	1.8	1.6	2.0	2.3	2.2
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	G	64	73	90	89	69	43	37	31	47	51	76	76	746
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	G	2.4	2.3	2.2	2.2	1.9	1.8	1.7	1.7	1.3	1.5	2.2	2.2	2.0
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	G-GB	75	80	78	97	63	22	31	40	50	54	72	88	750
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	G-GB	1.9	1.9	2.1	2.3	1.6	1.7	1.7	1.7	1.5	1.5	2.0	1.9	1.9
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	GB	248	233	280	284	242	166	113	146	176	188	204	252	2532
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	GB	1.9	1.9	2.1	2.2	2.0	1.8	1.9	1.9	1.9	1.6	1.7	1.8	1.9
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	B-GB	337	281	347	340	269	193	143	167	238	281	286	311	3193
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	B-GB	1.8	2.2	2.3	2.4	2.2	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.8	1.7	2.1
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	B	225	225	251	303	277	232	167	164	206	219	180	194	2643
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	B	1.6	1.7	2.0	2.3	2.3	2.2	2.0	2.1	2.0	1.8	1.6	1.7	2.0
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	B-KB	57	59	80	83	77	96	51	58	79	44	63	47	794
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	B-KB	1.6	1.8	2.1	2.3	2.1	2.4	2.2	2.0	1.9	1.5	1.7	1.7	2.0
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	KB	37	42	65	58	61	82	76	75	70	63	68	53	750
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	KB	1.4	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.7	1.8	1.5	1.9	1.8	1.9
Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı	K-KB	39	52	45	37	53	77	68	53	47	50	41	33	595
Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)	K-KB	2.0	2.0	2.2	2.1	2.1	2.3	2.3	2.3	1.8	1.4	1.8	1.8	2.0



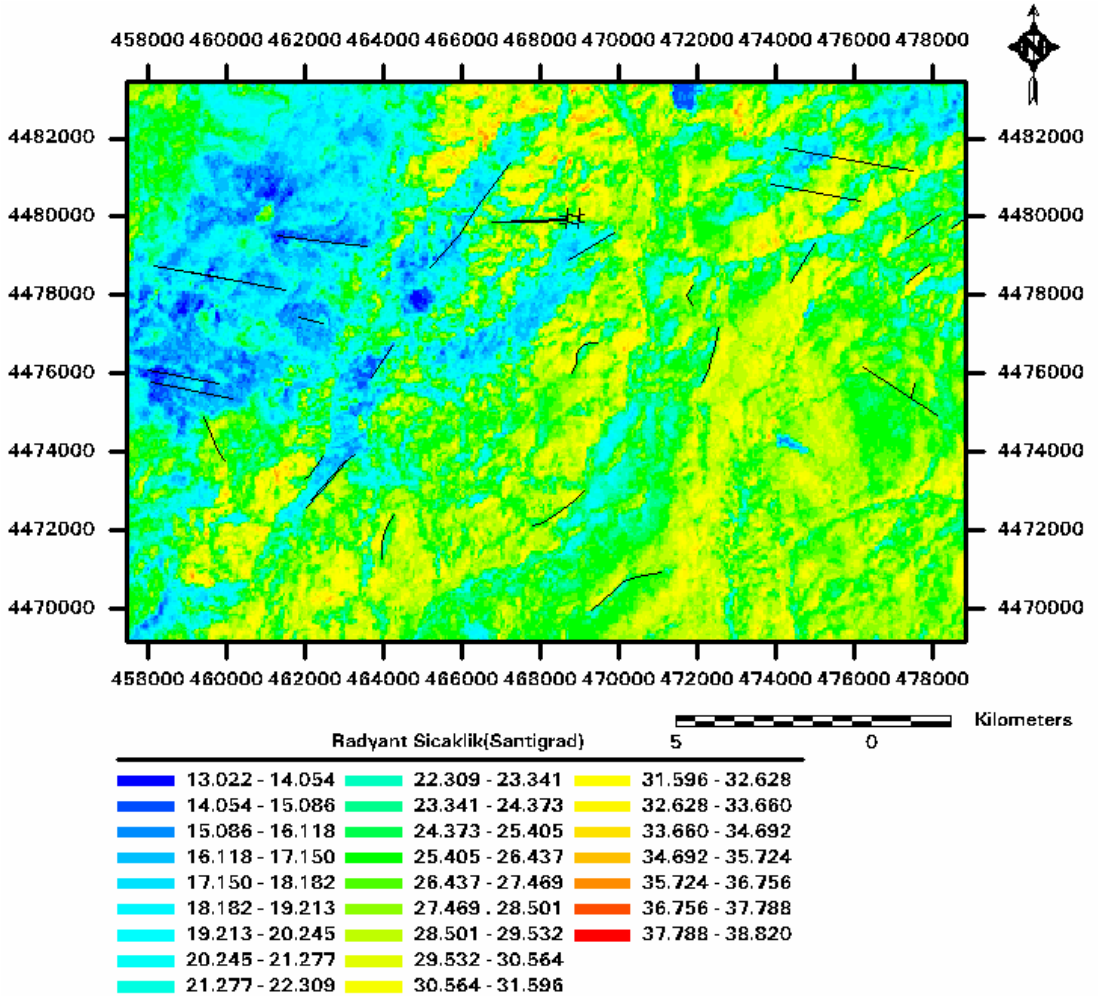
Şekil 4.14 : Ankara il sınırları içerisindeki meteoroloji istasyonlarının (lacivert üçgenler) konumları ile inceleme alanlarındaki kaynakların (kırmızı artılar) konumlarını gösteren harita.

Ankara Bölge İstasyonun'dan elde edilen veriler incelendiğinde 2000 yılı boyunca rüzgarın en fazla estiği yönün kuzeydoğu olduğu görülmektedir. Ayrıca meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı İstatistik ve Yayın Şube Müdürlüğünden 10.5.2000 tarihinde Kızılcahamam İstasyonunda yapılan rüzgar ölçümü verisi alınmıştır. İstasyonda yapılan ölçüme göre rüzgarın kuzey ve kuzeydoğudan 4.2 m/s hızla estiği saptanmıştır.

Bölgedeki olası fayların haritadaki sıcak noktalarla örtüşmediği Şekil 4.15'te görülmektedir.

Sonuç olarak Şekil 4.12 a'da kaynağın bulunduğu bölgedeki sıcaklık farkları bölgeyi kaplayan arazi örtüsü ile açıklanabilmektdir. Şekil 4.12 d incelendiğinde jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu bölgenin kuzeydoğusunda bitki örtüsü bulunmadığı görülmektedir. Bu yokluğun nedeninin jeotermal kaynak olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bitki örtüsü bulunmayan bu alanın sayısal yükseklik modeli incelendiğinde güney ve güneydoğuya eğimli olduğu saptanmıştır. Genel olarak görüntüdeki soğuk bölgelerin kuzeydoğudan esen rüzgarlar sebebiyle sıcaklığı düşen

bölgeler olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.9 'da haritanın batısındaki ve kuzeybatısındaki bölgelerde görülen düşük sıcaklıkların nedeninin ise bu bölgelerin bitki örtüsü ile kaplı olmalarıdır. Haritadaki yüksek sıcaklığa sahip bölgelerin ise arazide rüzgardan etkilenmeyecek konumlara sahip olmaları ve bitki örtüsü ile kaplı olmamaları nedeniyle yüksek sıcaklıklara sahip oldukları düşünülmektedir.

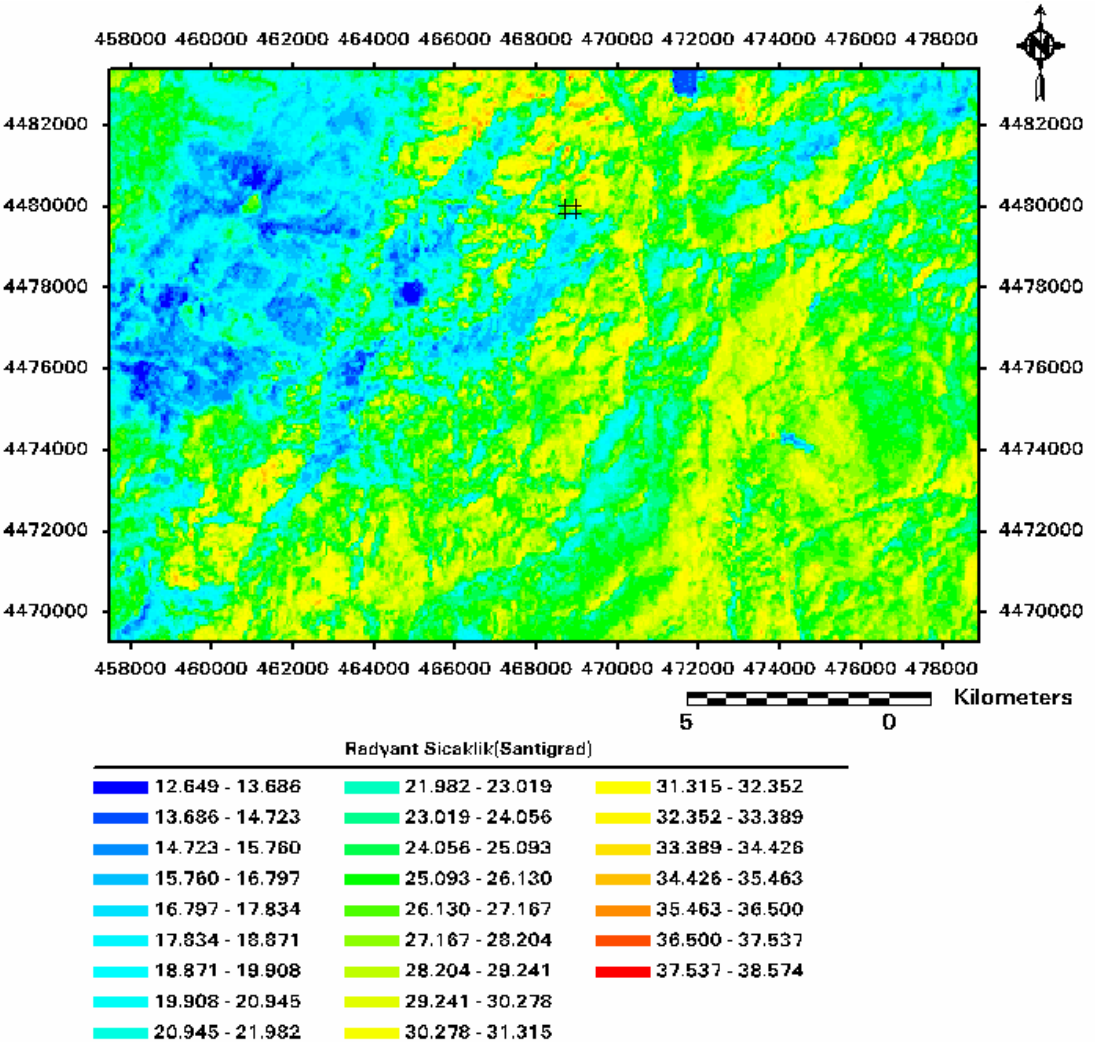


Şekil 4.15 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita.

Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı görüntünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık değerlerinin yoğunluk dilimlemesi (density slicing) yöntemiyle yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiş hallerini gösteren harita Şekil 4.16'da sunulmuştur.

Bölgedeki en düşük sıcaklık 12.649^{o}C, en yüksek sıcaklık ise 38.574^{o}C'dır. Bölgedeki radyant sıcaklıkların ümit değeri 25.562^{o}C'dir. Jeotermal kaynağın

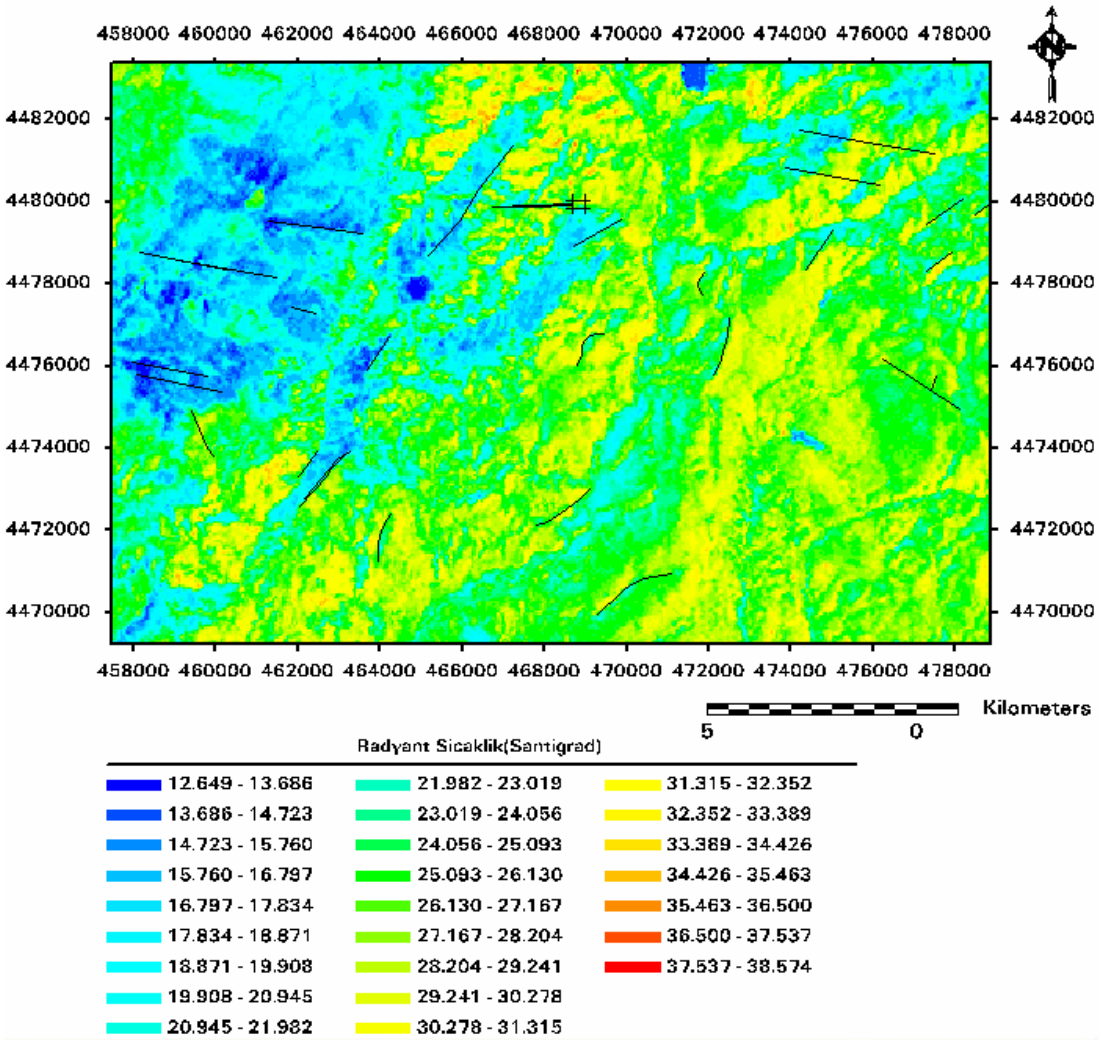
içerisinde bulunduğu 54000 metrekarelik alandaki en yüksek sıcaklık 30.337^{o}C, en düşük sıcaklık ise 20.101 ^{o}C'dır.



Şekil 4.16 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası.

Bölgedeki yüksek sıcaklığa sahip noktalar ile soğuk noktaların konumları ve durumları Şekil 4.9'daki harita ile aynıdır. Şekil 4.16 için yapılacak yorumlar Şekil 4.9 için yapılmış olan yorumlarla benzerdir. Bu nedenle Şekil 4.16 için ek olarak yorum yapılmamıştır.

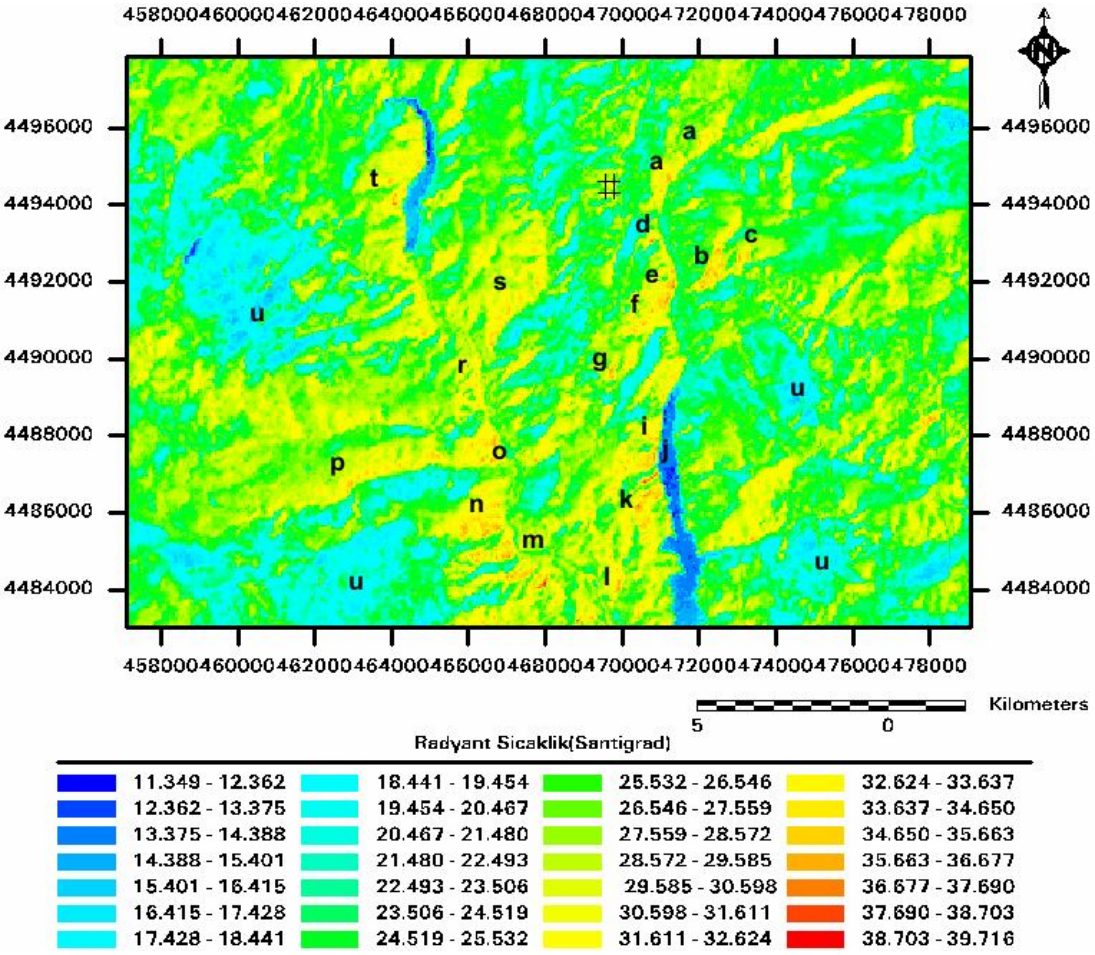
Şekil 4.17'de bölgedeki olası fayların haritadaki sıcak noktalarla örtüşmediği saptanmıştır.



Şekil 4.17 : Kızılcahamam jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita.

4.4.2 Seyhamamı

Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı görüntünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık değerlerinin yoğunluk dilimlemesi (density slicing) yöntemiyle yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiş hallerini gösteren harita Şekil 4.18'de sunulmuştur.



Şekil 4.18 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası.

Bölgedeki en düşük sıcaklık 11.349^{o}C, en yüksek sıcaklık ise 39.716^{o}C'dır. Bölgedeki radyant sıcaklıkların ümit değeri 26.136^{o}C'dir. Jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu 64800 metrekarelik alandaki en yüksek sıcaklık 33.782^{o}C, en düşük sıcaklık ise 26.094 ^{o}C'dır.

Haritada sıcaklığı yaklaşık 35.5^{o}C ile 40^{o}C arasında değişen bölgelerin genel olarak inceleme alanının güneyinde kümelendiği görülmekle beraber bölgedeki jeotermal kaynağın batısında da sıcak noktalar bulunmaktadır.

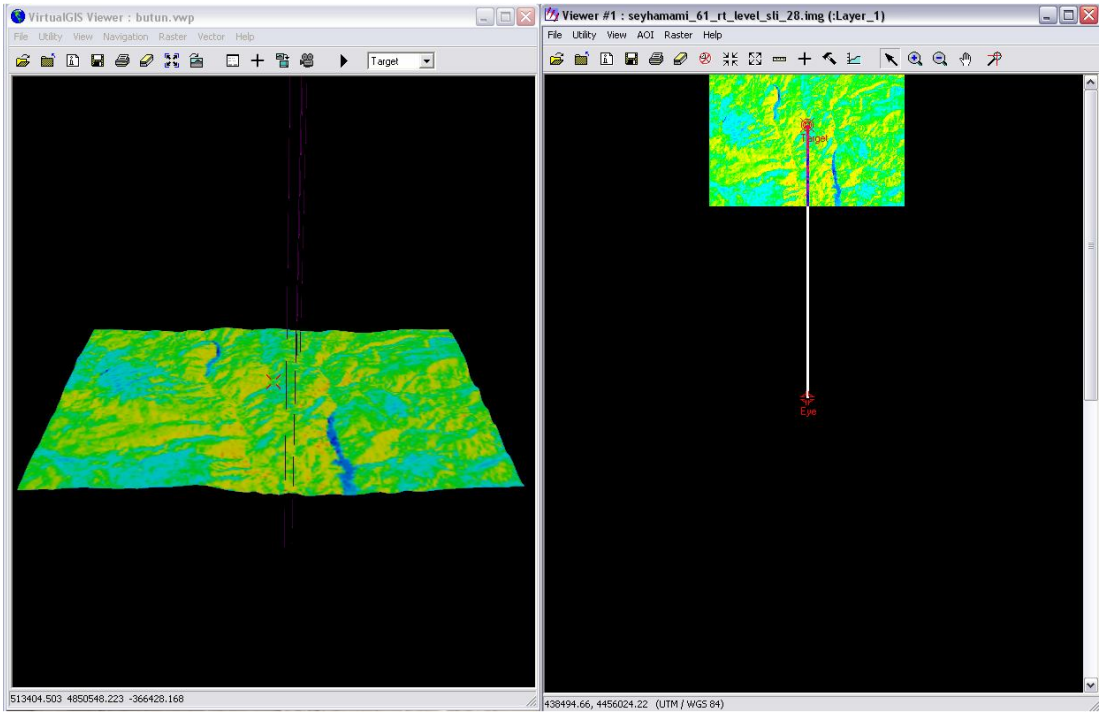
Jeotermal kaynağın bulunduğu Seyhamamı köyünün batısındaki Gürcü Deresi'nin içinde aktığı vadinin güneydoğuya bakan yamaçları bölgedeki ilk göze çarpan sıcak bölgelerdendir (Şekil 4.18 a).Bahsedilen alan jeotermal kaynağın kuzeydoğusundaki Beygüneşi Tepesi'nin (1346 metre) güneydoğuya bakan sırtı olan Arküstü Sırtı ile Gölcük Tepe (1380 metre) ve Meşesökümü Tepe'nin (1346 metre) güneydoğuya bakan sırtlarını kapsamaktadır. Gürcü Deresi ile Hamam Deresi'nin birleştiği Güvem Köyü'nün güneydoğusundaki İmam Öldüğü Deresi'nin içerisinde aktığı vadinin güneydoğuya bakan sırtları (Şekil 4.18 b) ve Alinin Öldüğü Deresi'nin güneyindeki güneydoğuya eğimli Yataklık Sırtı (Şekil 4.18 c) haritada sıcak bölgelerin izlendiği diğer yerlerden birkaçıdır. Hamam Deresi'nin içerisinde aktığı vadinin güneydoğuya bakan yamaçlarını oluşturan Güvem Köyü batısındaki Kuvan Tepe'nin (1290 metre) sırtları (Şekil 4.18 d), Güvem Köyü'nün güneybatısındaki 1433 metre yükseklikteki Tepe'nin (Şekil 4.18 e) ve Meşesekisi Tepe'nin (1370 metre) (Şekil 4.18 f) sırtları da haritada sıcak bölgelerin bulunduğu yerlerdir. Meşesekisi Tepe ve Tepe gibi Hamam Deresi'nın bir kolu olan Mercimekli Deresi'nin içinde aktığı vadinin güneydoğuya bakan yamaçları üzerinde bulunan Çitlik Tepesi'nin (1330 metre) sırtları (Şekil 4.18 g) arazide belirlenen bir diğer sıcak bölgedir. Haritanın daha güneyindeki sıcak bölgeler ise Hamam Deresi'nin içinde aktığı vadinin güneydoğuya bakan yamaçları üzerindeki tepelerin sırtlarıdır. Bu sırtlar kuzeyden güneye sırasıyla Porsuğun Tepe'nin (1340 metre) (Şekil 4.18 i), Kurtininin Kayası Tepe'nin (1340 metre) (Şekil 4.18 j), Kuzgunbaşı Tepesi'nin (1313 metre) (Şekil 4.18 k) sırtlarıdır. Şekil 4.18'de "l" ile gösterilen sıcak bölge Yukarı Oluğun Başı Tepe'nin (1250 metre) güneydoğuya bakan sırtı olan yukarı oluk sırtı üzerindedir.

Haritanın güneybatısındaki sıcak bölgeler Çorak Çayı'nın aktığı vadinin batısındaki yükseltilerin güneydoğuya bakan sırtları üzerinde bulunmaktadır. Bu sırtlar sırasıyla güneyden kuzeye Kızılcaoğlan Köyü'nün kuzeybatısındaki Bakacak Sırtları (Şekil 4.18 m) ve Yüksekkır Tepesi'nin sırtlarıdır (1486 metre) (Şekil 4.18 n).

Çorak Çayın bir kolu olan Derebardakçılar Deresi'nin aktığı vadinin güneye ve güneydoğuya bakan yamaçları üzerindeki Asarlık Tepesi'nin (1323 metre) sırtları (Şekil 4.18 o), Fındıklar Tepesi'nin (1414 metre) sırtları (Şekil 4.18 p) ile Özbekler Köyü'nün kuzeybatısındaki Maşatlık Tepe'nin (1350 metre) güneydoğuya bakan sırtları da haritada göze çarpan sıcak bölgelerdendir. Şekil 4.18'de "s" ile gösterilen bölge ise Bulak Çayı ve ona bağlanan Kavacık Deresi arasında kalan Doruk Tepe'nin

(1420 metre) güneydoğuya bakan sırtıdır. Dereci Köyü'nün batısındaki Cikcikkaya Tepe (1530 metre), Mehmetdede Tepe (1582 metre) ve Burungölcük Tepe'nin (1510 metre) güneydoğuya bakan sırtları haritada "t" ile gösterilen sıcak bölgelerle örtüşmektedir.

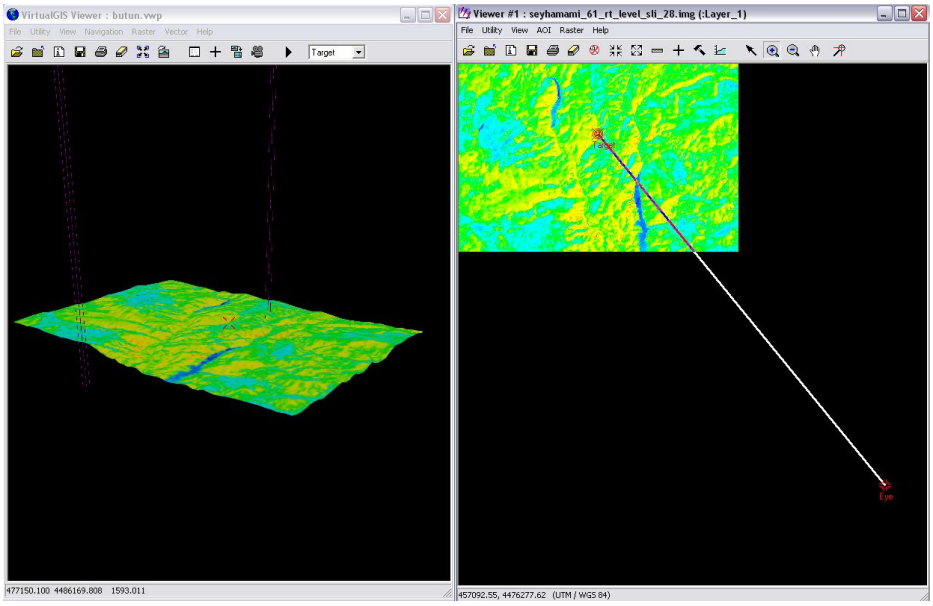
Haritada sıcaklıkları yaklaşık 11°C ile 20°C arasında değişen soğuk bölgelerin arazinin güneybatısında ve batısında kümelendiği görülmektedir. Şekil 4.18'de "u" ile gösterilen bölgeler hariç diğer bölgeler arazideki yükseltilerin kuzeybatıya eğimli yamaçları üzerinde bulunmaktadır (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20).



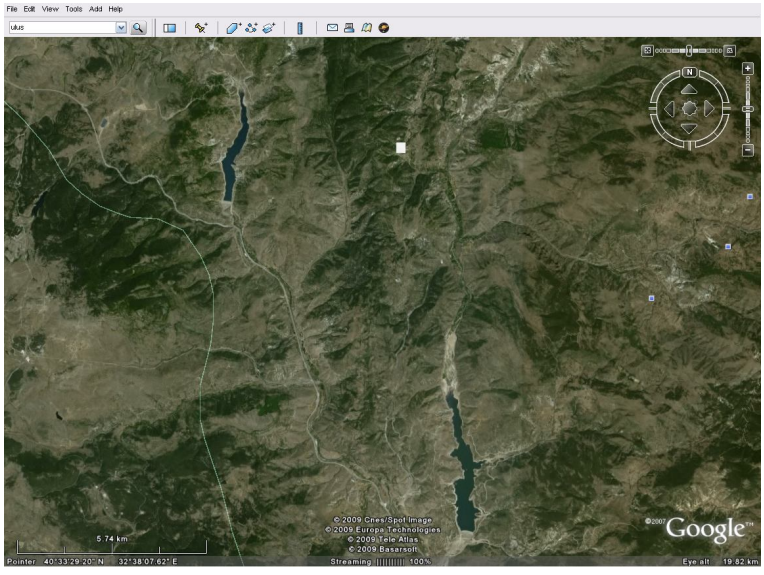
Şekil 4.19 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güney).

Şekil 4.18'de belirlenen sıcak bölgelerin Şekil 4.23 incelendiğinde arazide bitki örtüsü ile kaplı olmayan çıplak alanlarla örtüştüğü görülmüştür. Soğuk bölgeler için aynı şekiller birlikte incelendiğinde Şekil 4.18'de "u" ile gösterilen bölgelerin Şekil 4.23'te sunulan görünür bölgede algılanmış görüntülerde oldukça koyu renkli yerlerle örtüştüğü görülmüştür. Şekil 4.19'da ve Şekil 4.20'de bu bölgelerin arazideki yükseltilerin belirli yönlere eğimli sırtları üzerinde bulunmak yerine arazideki yükseltileri yön gözetmeksizin örttükleri belirlenmiştir. Şekil 4.23'teki renkli kızılötesi görüntüde aynı bölgelerin kırmızıya yakın renklere sahip olmaları nedeniyle arazideki bu yerlerin soğuk olmalarının sebebinin bitki örtüsü olduğu

düşünülmüştür. Şekil 4.21'de sunulan bölgelerin Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü bu düşünceyi desteklemektedir. Ayrıca Hamam Deresi'nin ve Çorak Çayın arasında yükseltilerin kuzeybatıya bakan sırtları üzerind bulunan soğuk bölgelerin Şekil 4.21 ve Şekil 4.23 incelendiğinde bitki örtüsü ile kaplı olduğu görülmektedir. Şekil 4.18'de sunulan haritanın kuzeydoğu köşesindeki soğuk bölgelerin durumunun aynı olduğu Şekil 4.21 ve Şekil 4.23 incelendiğinde ortaya çıkmaktadır.

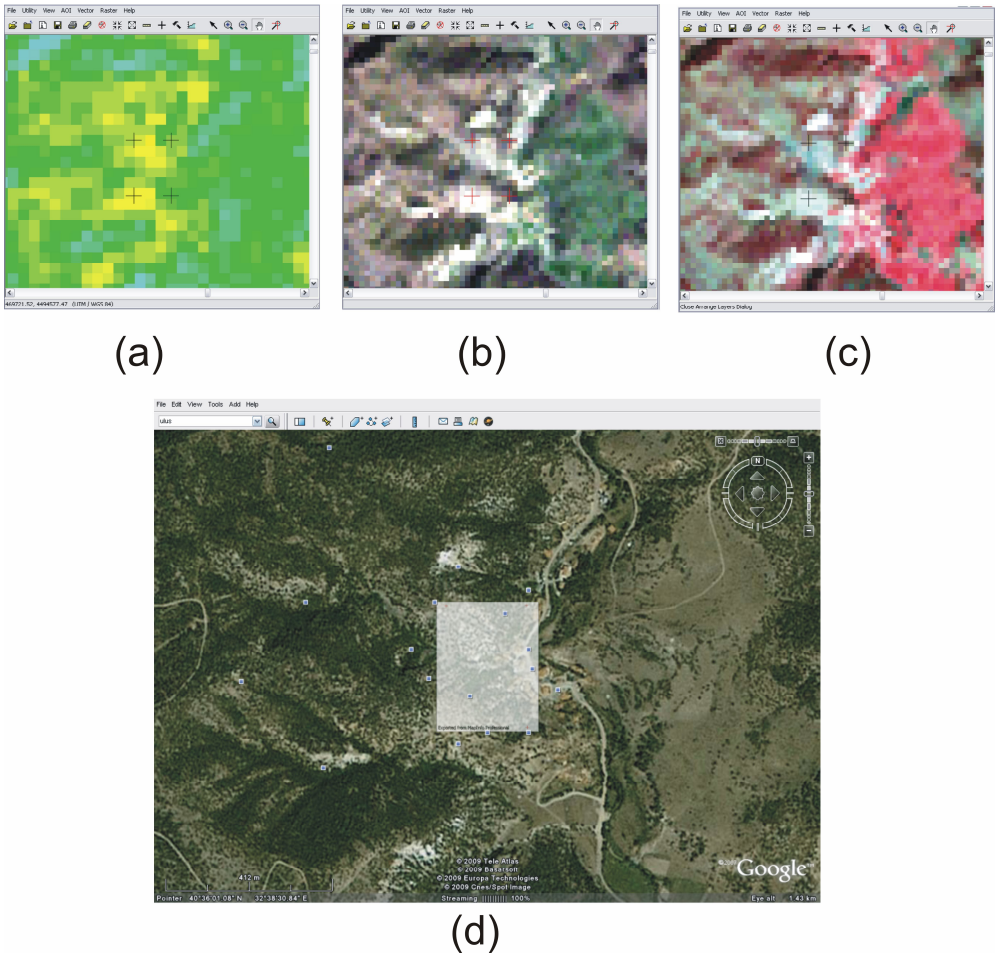


Şekil 4.20 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güneydoğu).



Şekil 4.21 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009).

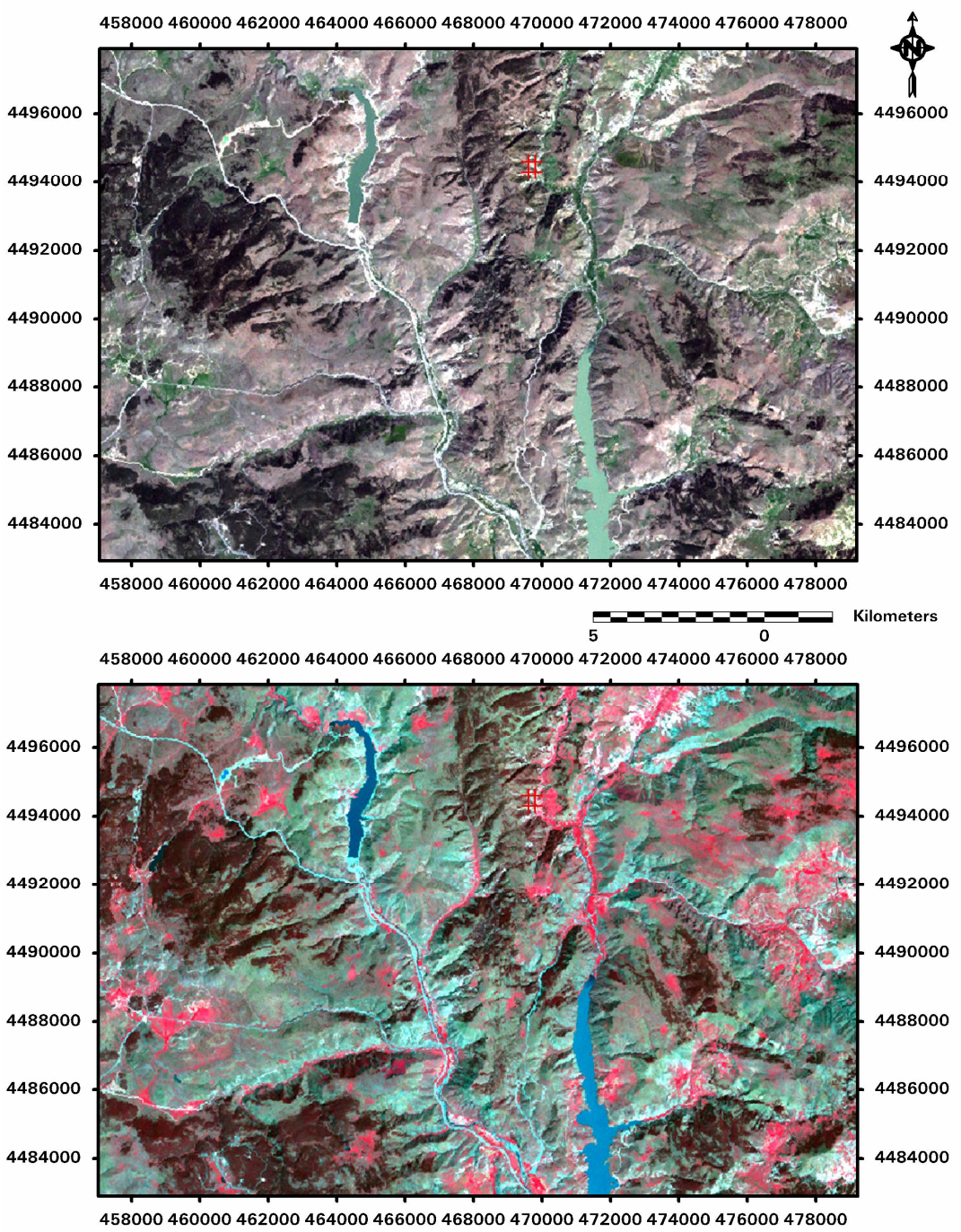
Şekil 4.22'de Seyhamamı jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu alanın düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasındaki durumu (Şekil 4.22 a), görünür bölgede algılanmış görüntüsü (Band 3-2-1) (Şekil 4.22 b), renkli kızılötesi görüntüsü (Band 4-3-2) (Şekil 4.22 c) ve Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009) (Şekil 4.22 d) sunulmuştur.



Şekil 4.22 : Seyhamamı jeotermal kaynağının bulunduğu alana ait uydu görüntüleri

Şekil 4.22 a'da görüldüğü gibi jeotermal kaynağın bulunduğu bölgenin batısı ve kuzeybatısı doğu ve güneydoğusuna göre daha sıcaktır. Şekil 4.22 b, Şekil 4.22 c ve Şekil 4.22 d incelendiğinde soğuk alanların bitki örtüsü ile kaplı olduğu görülmektedir. Şekil 4.22 d'de sıcak bölgelerin bitki örtüsünün seyreldiği bölgelerle örtüştüğü görülmektedir. Bu seyrelmenin jeotermal kaynağın oluşturduğu termal anomali sonucu oluştuğu düşünülmektedir.

Seyhamamı jeotermal bölgesine ait en yakın meteoroloji istasyonu Şekil 4.14'te görüldüğü gibi Kızılcahamam İstasyonu olduğundan yorum yapılırken rüzgarların esme yönleri için bu istasyonda yapılan ölçümler esas alınacaktır.

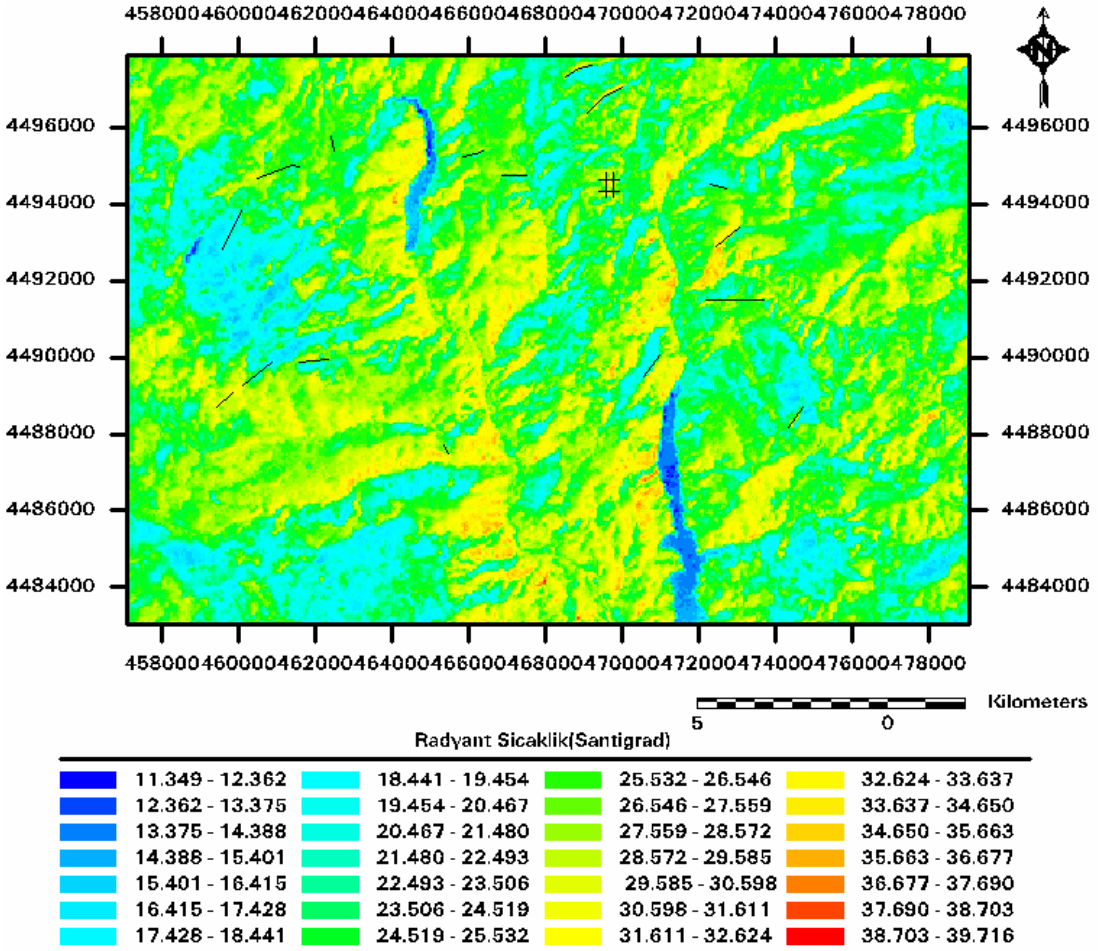


Şekil 4.23 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait görünür bölgede algılanmış (band 3-2-1) ve renkli kızılötesi (band 4-3-2) uydu görüntüleri.

Bölgedeki olası fayların haritadaki sıcak noktalarla bir bölge hariç örtüşmediği Şekil 4.24'te görülmektedir. Şekil 4.18'de "b" ile gösterilen alan ile olası bir fay jeotermal kaynağın 3 kilometre kadar güneydoğusunda örtüşmüştür.

Sonuç olarak kaynağın bulunduğu bölgede termal anomaliler görülmemektedir. Bu durumun nedeninin bölgedeki yerleşim birimleri olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanı içerisindeki yüksek sıcaklığa sahip bölgelerin ise sahip olduğu sıcaklıklar

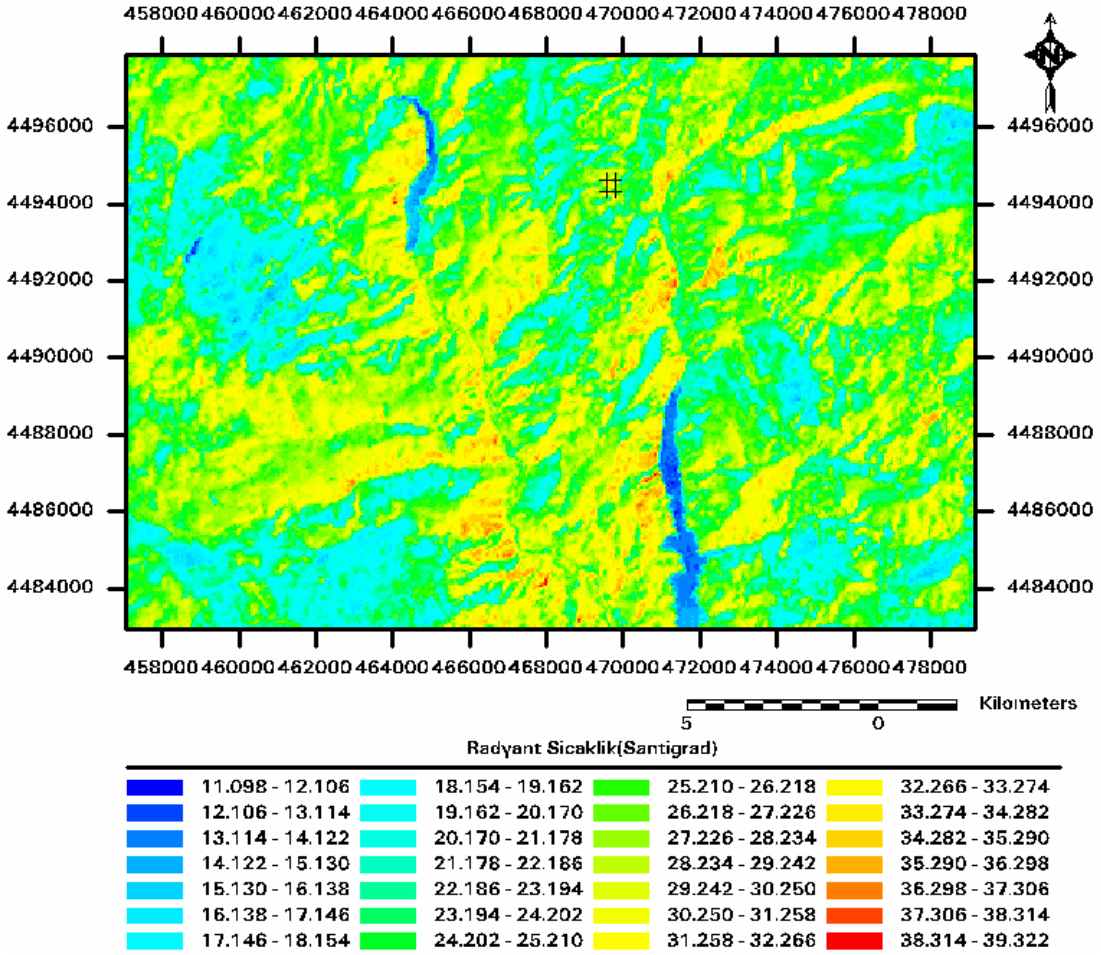
topoğrafya etkisi ve bu arazilerin bitki örtüsü ile örtülü olmamaları ile açıklanmaktadır. Şekil 4.18'de "u" ile gösterilen bölgelerin dışında kalan bölgelerin sahip olduğu düşük sıcaklıkların nedeninin kuzeydoğuya doğru esen rüzgarlarlar olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.18'de "u" ile gösterilen bölgelerin sahip olduğu düşük sıcaklıklar ise bu yerlerin bitki örtüsü ile kaplı olmaları ile açıklanmaktadır.



Şekil 4.24 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita.

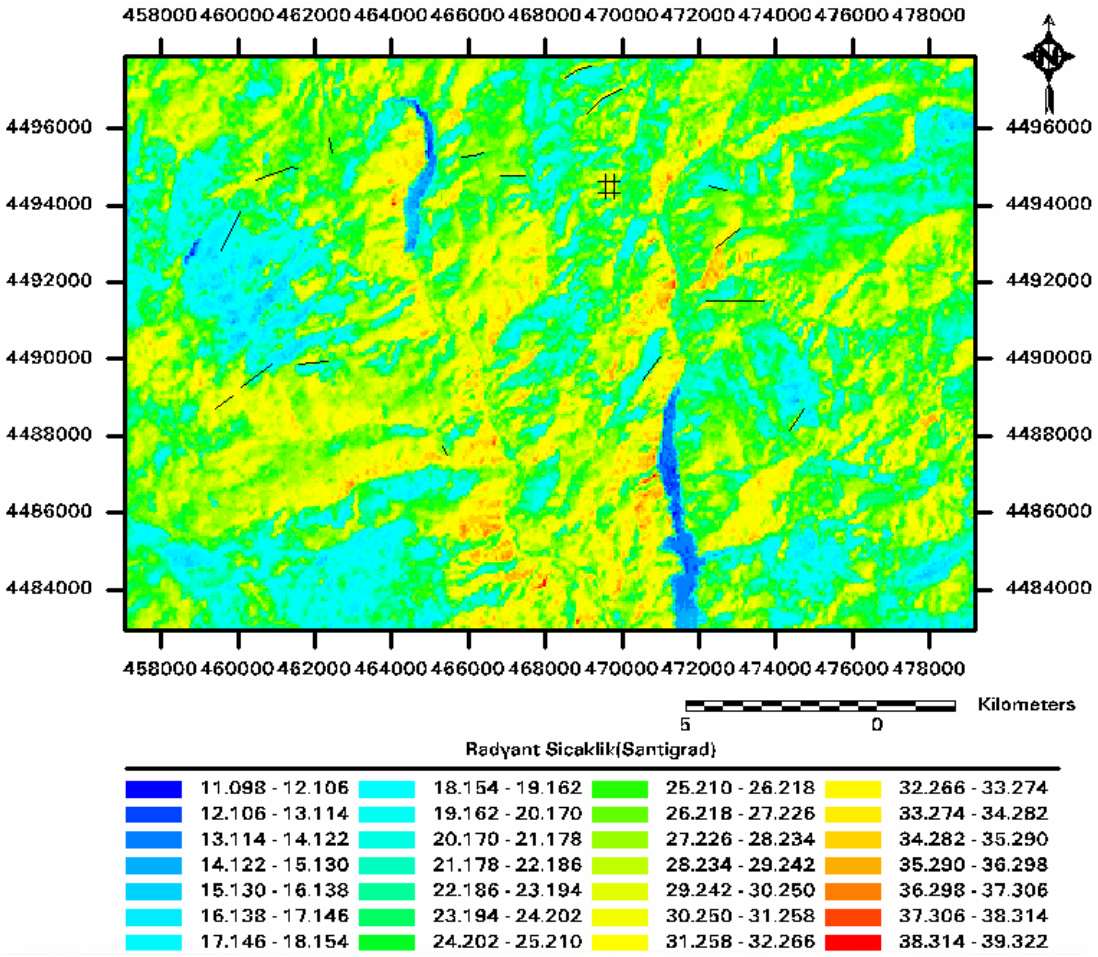
Seyhamamı jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı görüntünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık değerlerinin yoğunluk dilimlemesi (density slicing) yöntemiyle yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiş hallerini gösteren harita Şekil 4.25'te sunulmuştur.

Bölgedeki en düşük sıcaklık 11.098^{o}C, en yüksek sıcaklık ise 39.322^{o}C'dır. Bölgedeki radyant sıcaklıkların ümit değeri 26.038^{o}C'dir. Jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu 64800 m^2'lik alandaki en yüksek sıcaklık 33.745^{o}C, en düşük sıcaklık ise 26.014^{o}C'dır.



Şekil 4.25 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası.

Şekil 4.18'de görülen sıcak bölgeler Şekil 4.25'te belirginleşmiştir. Genel olarak Şekil 4.18 ile Şekil 4.25'teki sıcak ile soğuk bölgelerin arazi üzerindeki dağılımlarında bir farklılık göze çarpmamaktadır. Bu nedenle Şekil 4.18 için yapılan yorumlara ek olarak Şekil 4.25 için yorum yapılmamıştır. Şekil 4.26'da görüldüğü gibi bölgedeki olası fayların konumları da Şekil 4.24 ile aynıdır.



Şekil 4.26 : Seyhamamı jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita.

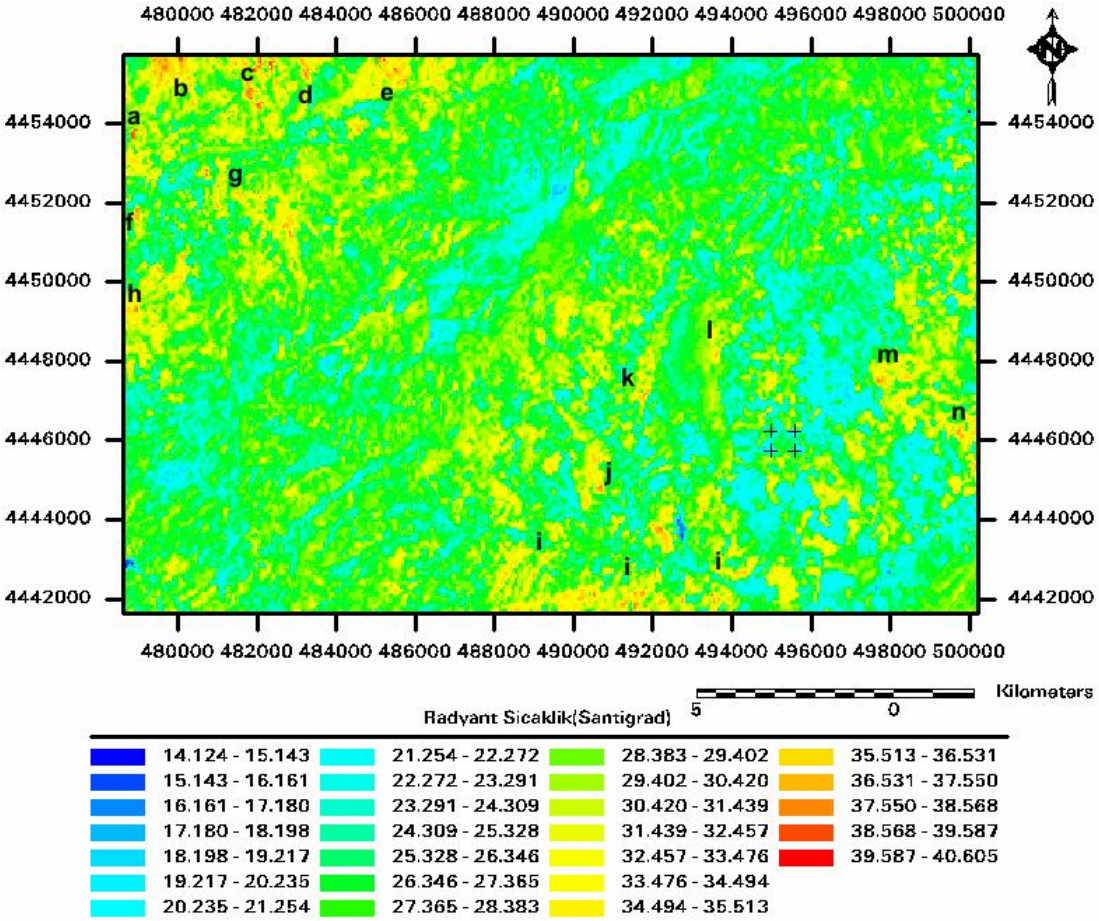
4.4.3 Çubuk-Melikşah

Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı görüntünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık değerlerinin yoğunluk dilimlemesi (density slicing) yöntemiyle yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiş hallerini gösteren harita Şekil 4.27'de sunulmuştur.

Bölgedeki en düşük sıcaklık 14.124^{o}C, en yüksek sıcaklık ise 40.605^{o}C'dır. Bölgedeki radyant sıcaklıkların ümit değeri 28.074^{o}C'dir. Jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu 288000 m^2'lik alandaki en yüksek sıcaklık 29.514^{o}C, en düşük sıcaklık ise 21.038^{o}C'dır.

Sıcaklığı yaklaşık 36^{o}C ile 40^{o}C arasında değişen bölgeler Şekil 4.27'de sunulan haritanın kuzeybatı köşesinde, Çubuk-Melikşah jeotermal kaynağının güneybatısı ile

doğusunda bulunduğu görülmektedir. Ayrıca haritanın ortasında da bu tip yerler göze çarpmaktadır.



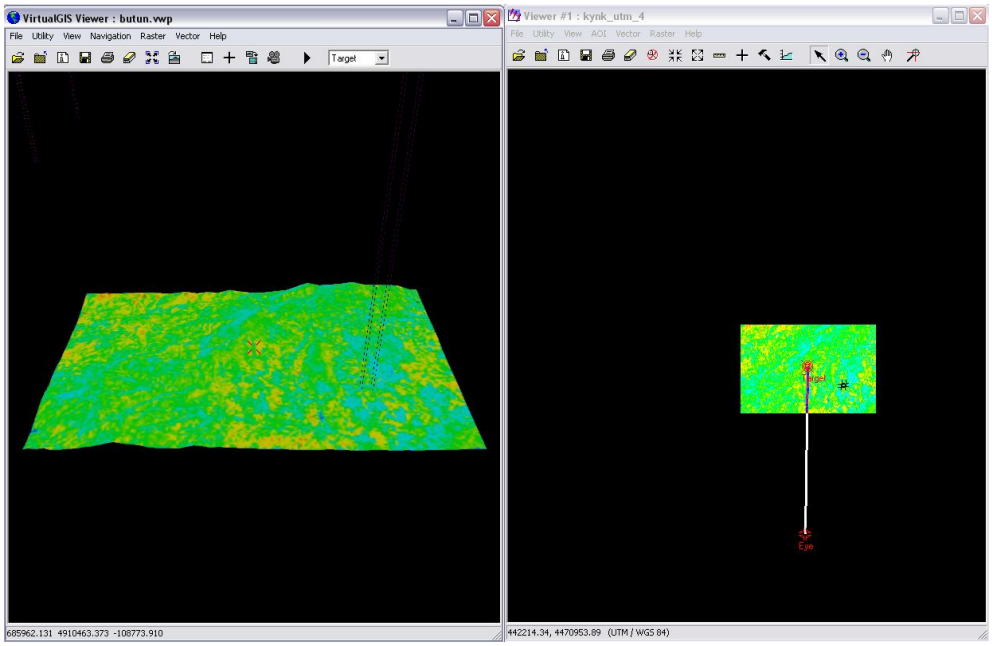
Şekil 4.27 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası.

Haritanın kuzeyindeki sıcak bölgelerden Malçıkan Ovası'nın kuzeyinde kalanları arazideki tepelerin ve bu tepelerin güneydoğuya bakan sırtları üzerinde bulunmaktadır. Şekil 4.27'de "a" ile gösterilen Kornapa Tepesi'nin (998 metre) güneydoğuya bakan sırtı, "b" ile gösterilen Maymunlar Tepesi'nin (1020 metre) batısındaki güneydoğuya eğimli sırtlar, "c" ile gösterilen kısım Kocakıran Tepesi'nin (1009 metre) güneydoğuya bakan sırtı, "d" ile gösterilen Kölenin Tepesi'nin (1015 metre) güneydoğuya bakan sırtı, "e" ile gösterilen kısım ise Ova Çayı'nın kuzeyindeki güneydoğuya eğimli Güney Sırtıdır. Malçıkan Ovası'nın güneyindeki "f" ile gösterilen kısım Köprüaltı Deresi'nin batısındaki 953 metre yükseklikteki bir tepenin tam olarak üzerindedir. Şekil 4.27'de "g" ile gösterilen kısım Sincan Köyü'nün kuzeyindeki Kapa Tepesi'nin (956 metre) batısındaki ve doğusundaki kuzey-güney doğrultulu vadilerin doğuya bakan yamaçları üzerindedir. Haritada "h"

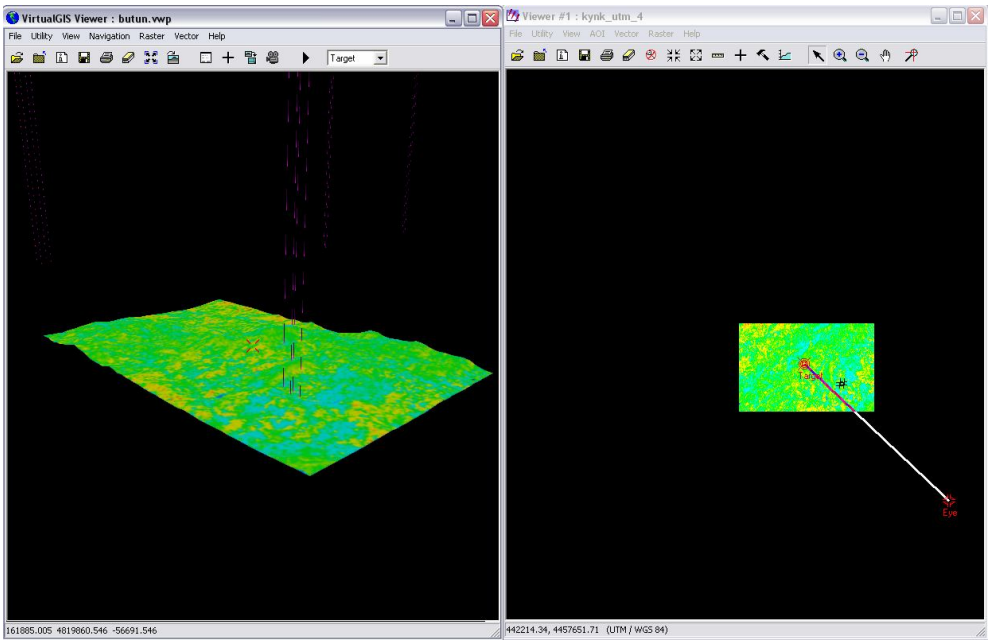
ile gösterilen kısım Akyarın Deresi'nin kuzeyinde zirvesi 1020 metre yükseklikte bulunan bir tepenin güneydoğuya bakan sırtı üzerindedir. Bunların dışında kalan haritanın kuzeybatısındaki sıcak bölgeler arazinin düz bölgelerinde bulunmaktadır.

Çubuk-Melikşah jeotermal kaynağının bulunduğu alanın güneybatısındaki Şekil 4.27'de "i" ile gösterilen bölgeler arazideki tepelerin güneye ve güneydoğuya eğimli sırtları ile örtüşmektedir. Haritada "j" ile gösterilen kısım Kızbehri Tepesi'nin (1060 metre) kuzeyindeki güneydoğuya eğimli sırttır. Şekil 4.27'de "k" ile gösterilen kısım Karanlık Deresi'nin içerisinde aktığı vadinin güneydoğuya eğimli yamaçları, "l" ile gösterilen noktanın ise Çalburun Tepesi'nin (1305 metre) doğuya bakan sırtıdır. Jeotermal kaynağın doğusundaki sıcak bölgelerden Şekil 4.27'de "m" ile gösterilen alanın Melikşah'ın kuzeydoğusundaki Bahadır Tepesi'nin güneydoğuya bakan sırtı olduğu belirlenmiştir. Haritada "n" ile gösterilen kısmın ise Gücükburun Tepesi'nin (980 metre) kuzeydoğusundaki güneydoğuya eğimli Değirmen sırtı olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.27'de sunulan haritanın güneydoğusundaki soğuk bölgeler hariç diğer soğuk bölgelerin tümünün arazideki yükseltilerin kuzeybatıya bakan sırtları üzerinde bulunduğu görülmüştür (Şekil 4.28 ve Şekil 4.29).



Şekil 4.28 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güney).



Şekil 4.29 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güneydoğu).

Arazideki sıcak bölgelerin tümünün Şekil 4.30'daki görüntüler incelendiğinde bitki örtüsü görülmeyen alanlar üzerinde bulundukları görülmektedir. Şekil 4.27'de "j", "k", "l", "m" ve "n" ile gösterilen yerlerle çevrelenmiş soğuk bölgelerin ise Şekil 4.30 incelendiğinde bitki örtüsü ile kaplı olduğu görülmektedir.

Şekil 4.31'de Çubuk-Melikşah jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu alanın düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasındaki durumu (Şekil 4.31 a), görünür bölgede algılanmış görüntüsü (Band 3-2-1) (Şekil 4.31 b), renkli kızılötesi görüntüsü (Band 4-3-2) (Şekil 4.31 c) ve Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009) (Şekil 4.31 d) sunulmuştur. Çubuk-Melikşah jeotermal kaynağının bulunduğu alanın yerleşim merkezi olduğu ve etrafının tarlalarla çevrili olduğu Şekil 4.31d'de görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.30'da sunulmuş renkli kızılötesi görüntüde jeotermal kaynağının çevresinin bitki örtüsü ile kaplandığı belirlenmiştir.

Bölgedeki olası fayların haritadaki sıcak noktalarla bir bölge hariç örtüşmediği Şekil 4.32'de görülmektedir. Şekil 4.27'de "g" ile gösterilen alanın 1 kilometre güneydoğusunda olası bir fay bölgedeki sıcak yerlerle örtüşmüştür.

Sonuç olarak jeotermal kaynağın bulunduğu alanda bir termal anomali tespit edilememiştir. Şekil 4.27'de jeotermal kaynağın bulunduğu bölgenin ortası çevresine

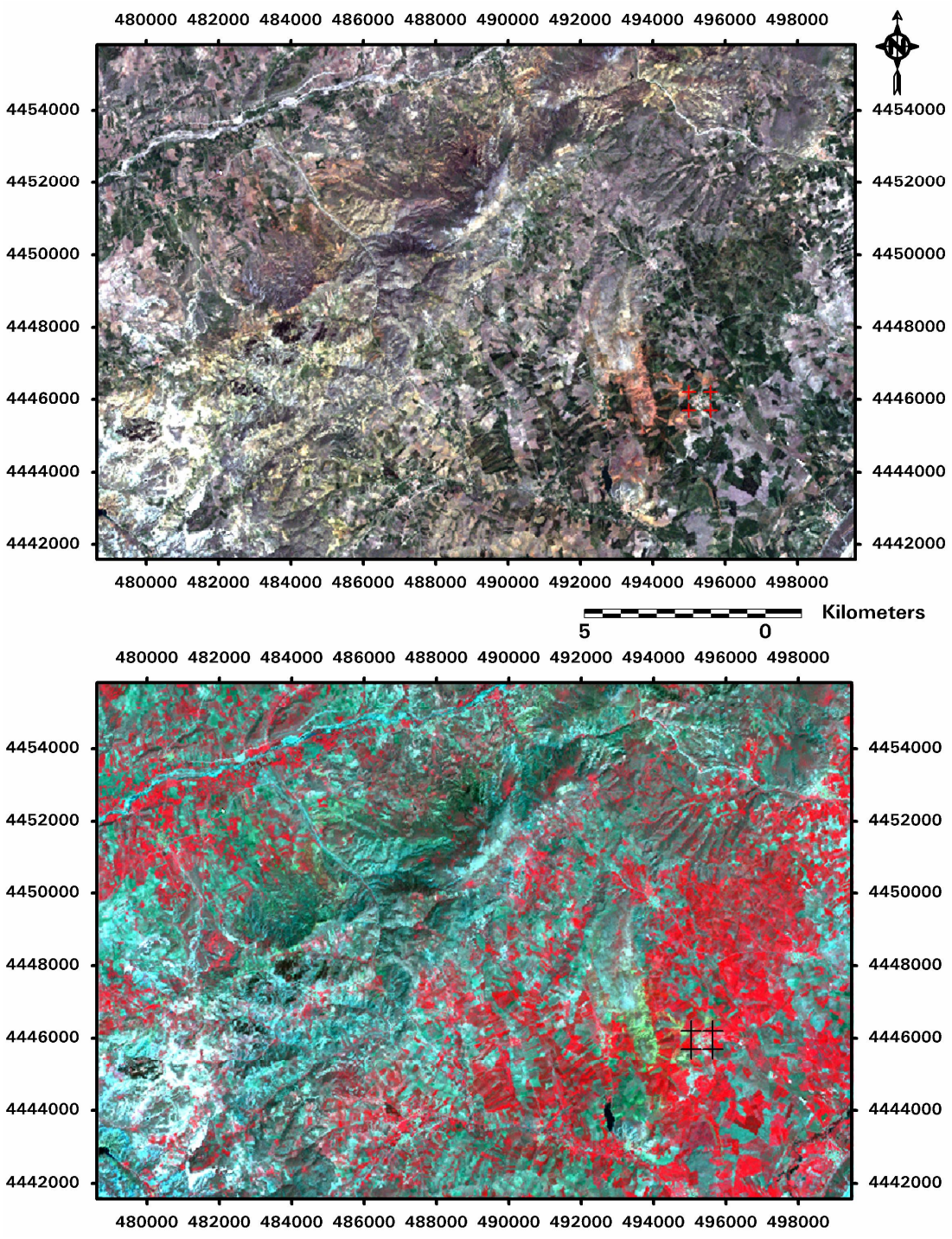
göre çevresine göre daha sıcak olmasının nedeninin sıcak kesimlerin genel olarak bitki örtüsü ile kaplı olmayan yerleşim birimleri olması olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.27'de sunulan haritanın kuzeybatı köşesindeki, güneybatısındaki ve doğusundaki sıcak bölgelerin genel olarak bitki örtüsü ile kaplı olmayan çıplak alanlar olmaları ve topoğrafik konumları nedeniyle bu kadar sıcak göründükleri düşünülmektedir. Arazideki soğuk bölgelerin bitki örtüsü kaplı olduğu Şekil 4.30'da görülmekle birlikte Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 incelendiğinde bölgenin güneydoğusundaki soğuk bölgelerde izlenen düşük sıcaklıkların, bu bölgelerin arazideki tepeleri yön gözetmeksizin örtmeleri nedeniyle topoğrafik konumları ile açıklanamayacağı görülmüştür. Bitki örtüsünün bu yerlerde görülen düşük sıcaklıkların nedeni olduğu düşünülmektedir. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı İstatistik ve Yayın Şube Müdürlüğü'nden alınan veriye göre 10.5.2000 tarihinde rüzgarın 6.2 m/s hızla güney ve güneydoğu yönünden estiği belirlenmiştir. Şekil 4.27'deki haritanın kuzeybatısında kalan soğuk bölgelerin Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da görüldüğü gibi arazideki yükseltilerin kuzeybatıya bakan yamaçları üstünde kalmaları nedeniyle rüzgarın bu bölgelerdeki düşük sıcaklıkları açıklayamayacağı görülmüştür. Daha önce belirtildiği gibi bu bölgelerin bitki örtüsü ile kaplı olmaları ve toporafik konumları nedeniyle yeterince güneş enerjisi alamamaları nedeniyle bu kadar düşük sıcaklıklara sahip oldukları düşünülmektedir.

Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı görüntünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık değerlerinin yoğunluk dilimlemesi (density slicing) yöntemiyle yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiş hallerini gösteren harita Şekil 4.33'te sunulmuştur.

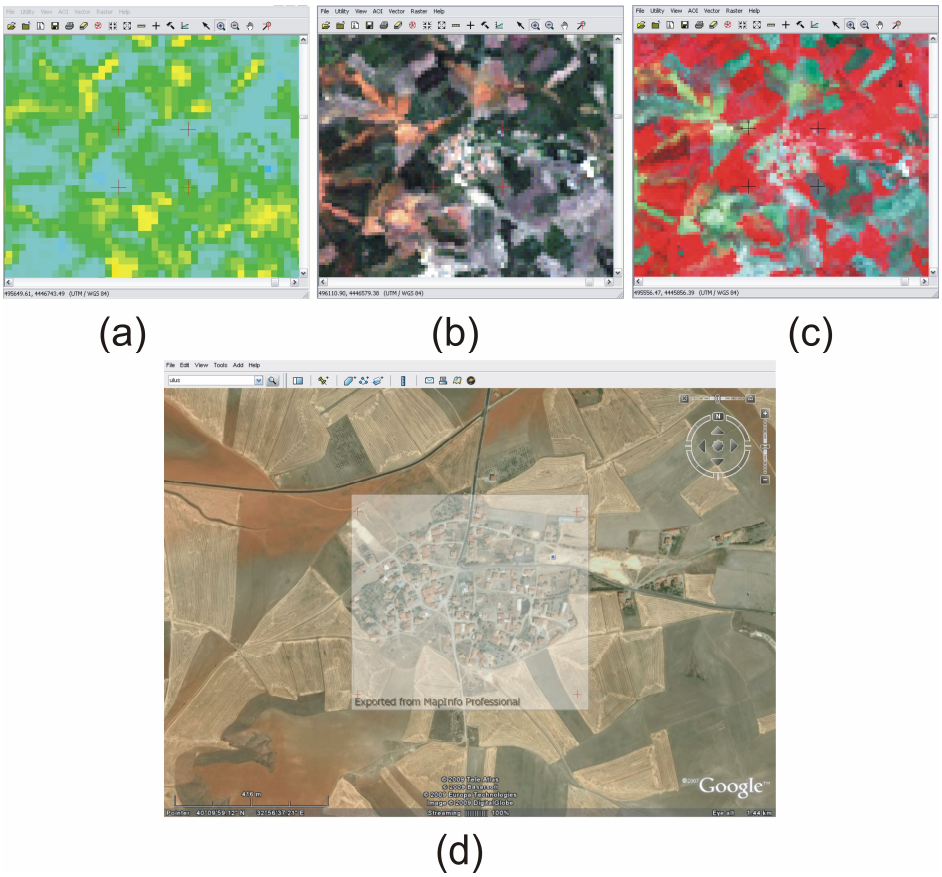
Bölgedeki en düşük sıcaklık 13.875^{o}C, en yüksek sıcaklık ise 40.559^{o}C'dır. Bölgedeki radyant sıcaklıkların ümit değeri 27.973^{o}C'dir. Jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu 288000 m^2'lik alandaki en yüksek sıcaklık 29.270^{o}C, en düşük sıcaklık ise 20.389^{o}C'dır.

Şekil 4.27'de görülen sıcak bölgeler Şekil 4.33'teki sıcak bölgelerle örtüşmektedir. Ayrıca bu şekillerde görülen soğuk bölgelerde de bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle Şekil 4.27 için yapılan yorumlara ek olarak Şekil 4.33 için yorum yapma gereği duyulmamıştır. Şekil 4.27 için yapılan yorumlar Şekil 4.33 için geçerlidir.

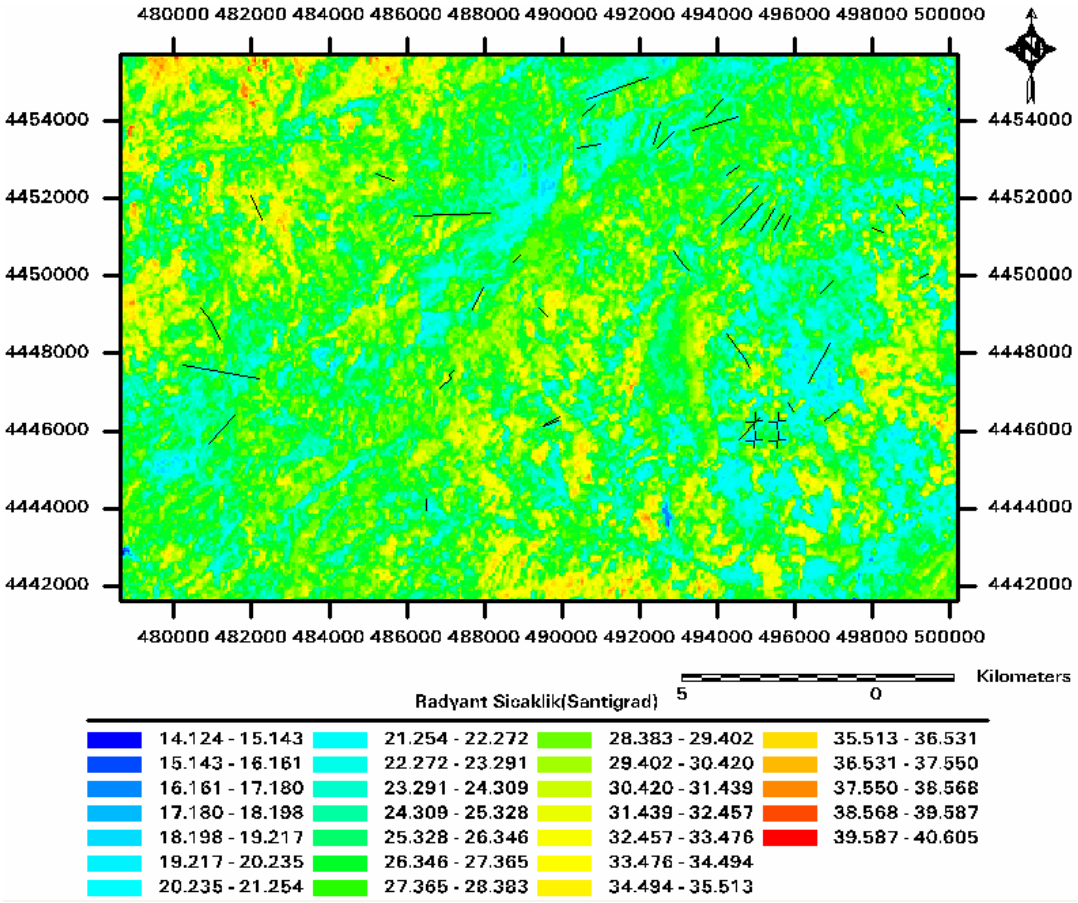
Şekil 4.34'te görüldüğü gibi bölgede belirlenmiş olası fayların konumları da Şekil 4.32 ile aynıdır.



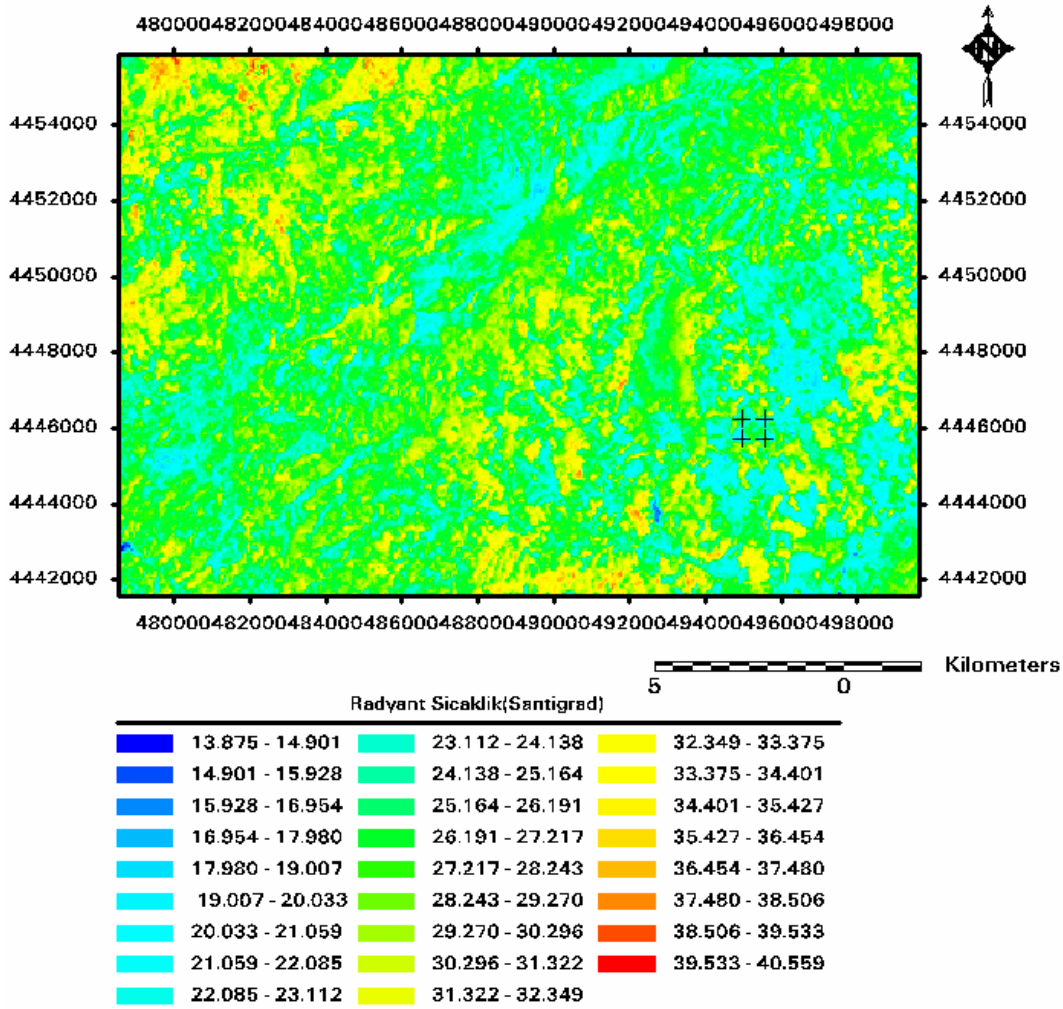
Şekil 4.30 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait görünür bölgede algılanmış (band 3-2-1) ve renkli kızılötesi (band 4-3-2) uydu görüntüleri.



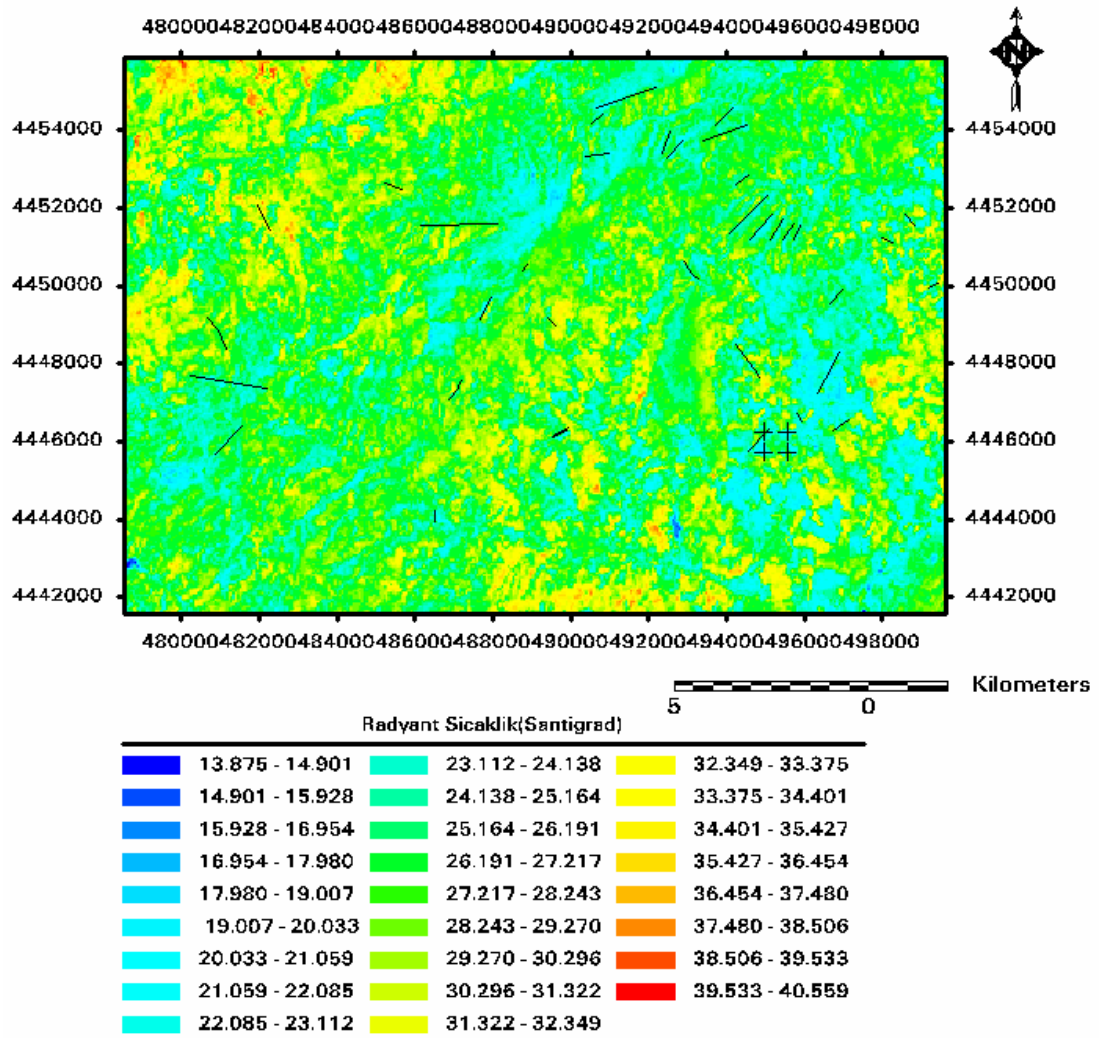
Şekil 4.31 : Çubuk-Melikşah jeotermal kaynağının bulunduğu alana ait uydu görüntüleri



Şekil 4.32 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklıkları ve bölgedeki olası fayları gösteren harita.



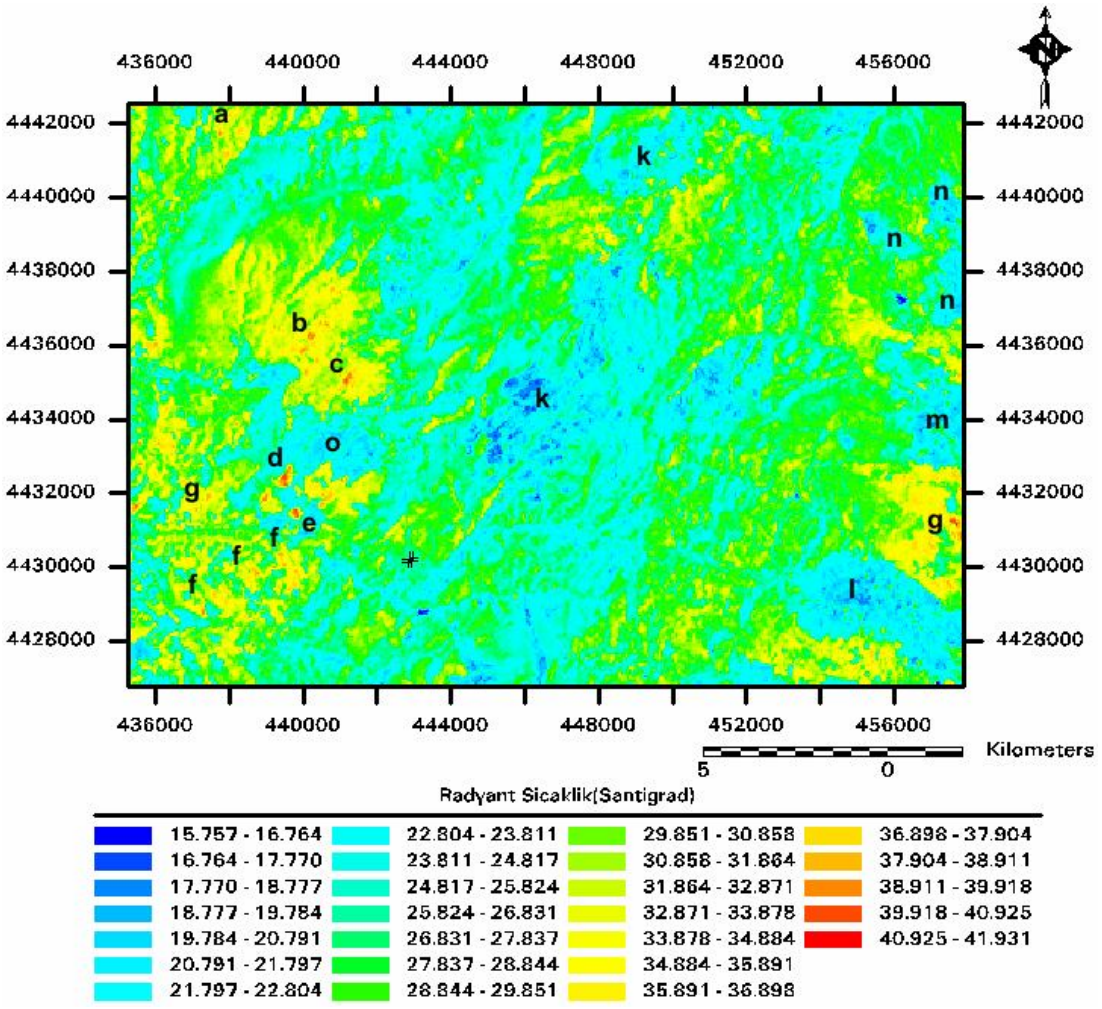
Şekil 4.33 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası.



Şekil 4.34 : Çubuk-Melikşah jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası ve bölgedeki olası fayları gösteren harita.

4.4.4 Ayaş-Karakaya

Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı görüntünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık değerlerinin yoğunluk dilimlemesi (density slicing) yöntemiyle yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiş hallerini gösteren harita Şekil 4.35'te sunulmuştur.



Şekil 4.35 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası.

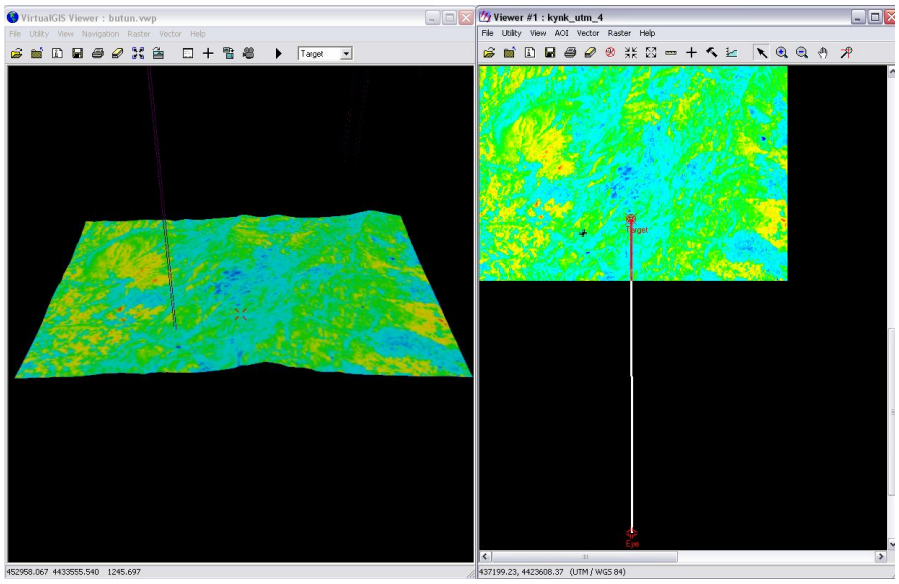
Bölgedeki en düşük sıcaklık 15.757^{o}C, en yüksek sıcaklık ise 41.931^{o}C'dır. Bölgedeki radyant sıcaklıkların ümit değeri 27.894^{o}C'dir. Jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu 14400 m^{2}'lik alandaki en yüksek sıcaklık 25.598^{o}C, en düşük sıcaklık ise 23.592^{o}C'dır.

İnceleme alanı içerisindeki sıcaklığı yaklaşık 37^{o}C ile 41^{o}C arasında değişen sıcak bölgeler Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının batısında ve kuzeybatısında bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 4.35'te sunulan haritanın güneydoğusunda da sıcak alanlar görülmektedir.

Genelde batıdaki ve kuzeybatıdaki sıcak yerler bölgedeki yükseltilerin güneydoğuya bakan sırtları üzerinde bulunmaktadır. Ilhan Çayı'nın kuzeyindeki güneydoğuya bakan Yürükkayası Sırtı bu tip bir sırttır (Şekil 4.35 a). Şekil 4.35'te "b" ile gösterilen bölgedeki sıcak yerler Halioğlu Tepesi'nin güneydoğuya bakan sırtları ile

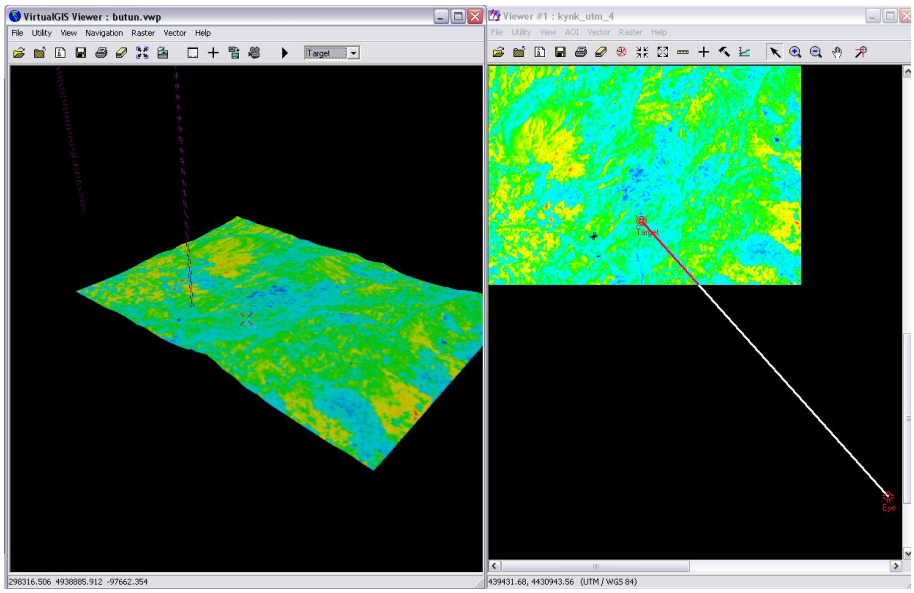
buranın kuzeyindeki güneydoğuya eğimli Kepez Sırtıdır. Şekil 4.35'te "c" ile gösterilen bölge Ak Tepesi'nin (921 metre) güneydoğuya bakan sırtları üzerinde bulunmaktadır. Bayramköy ve Arıklar deresi arasında kalan kısım , Şekil 4.35'te "d" ile gösterilmekte ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultusu boyunca uzanan bir tepenin (790 metre) güneydoğuya bakan sırtı üzerindedir. Bahsedilen bölgenin güneybatısındaki; Şekil 4.35'te "e" ile gösterilen nokta da 770 metre yüksekliğindeki bir tepenin güneydoğuya bakan sırtı üstündedir. Şekil 4.35'te "f" ile gösterilen sıcak bölgeler Selbasan Ovası'nı çevreleyen yükseltilerin güneydoğuya bakan yamaçları, "g" ile gösterilen bölüm ise Söbegeliş Tepesi'nin (860 metre) güneydoğuya bakan sırtları üzerindedir.

Şekil 4.35'te sunulan haritada "k", "l", "m", "n", ve "o" ile gösterilen bölgelerin dışında kalan soğuk bölgeler arazideki yükseltilerin kuzeybatıya bakan sırtları üzerinde bulunmaktadır (Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38).

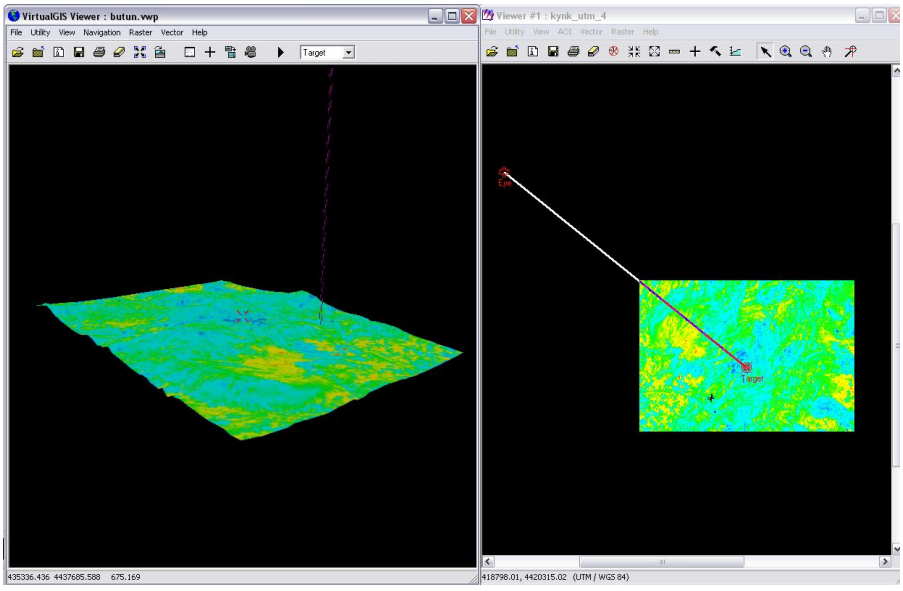


Şekil 4.36 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güney).

Arazideki sıcak bölgelerin tümünün Şekil 4.39 incelendiğinde bitki örtüsü ile kaplı olmayan alanlarla örtüştüğü açıkça görülmektedir. Şekil 4.35'te "k", "l", "m", "n", "o" harfleriyle gösterilen yerlerin Şekil 4.39 incelendiğinde bitki örtüsü ile kaplı oldukları saptanmıştır. Bunların dışında kalan ve sıcaklıkları yaklaşık 15.5 ^{o}C ile 18^{o}C arasında değişen bölgelerin de Şekil 4.39 incelendiğinde bitki örtüsü ile kaplı oldukları belirlenmiştir.

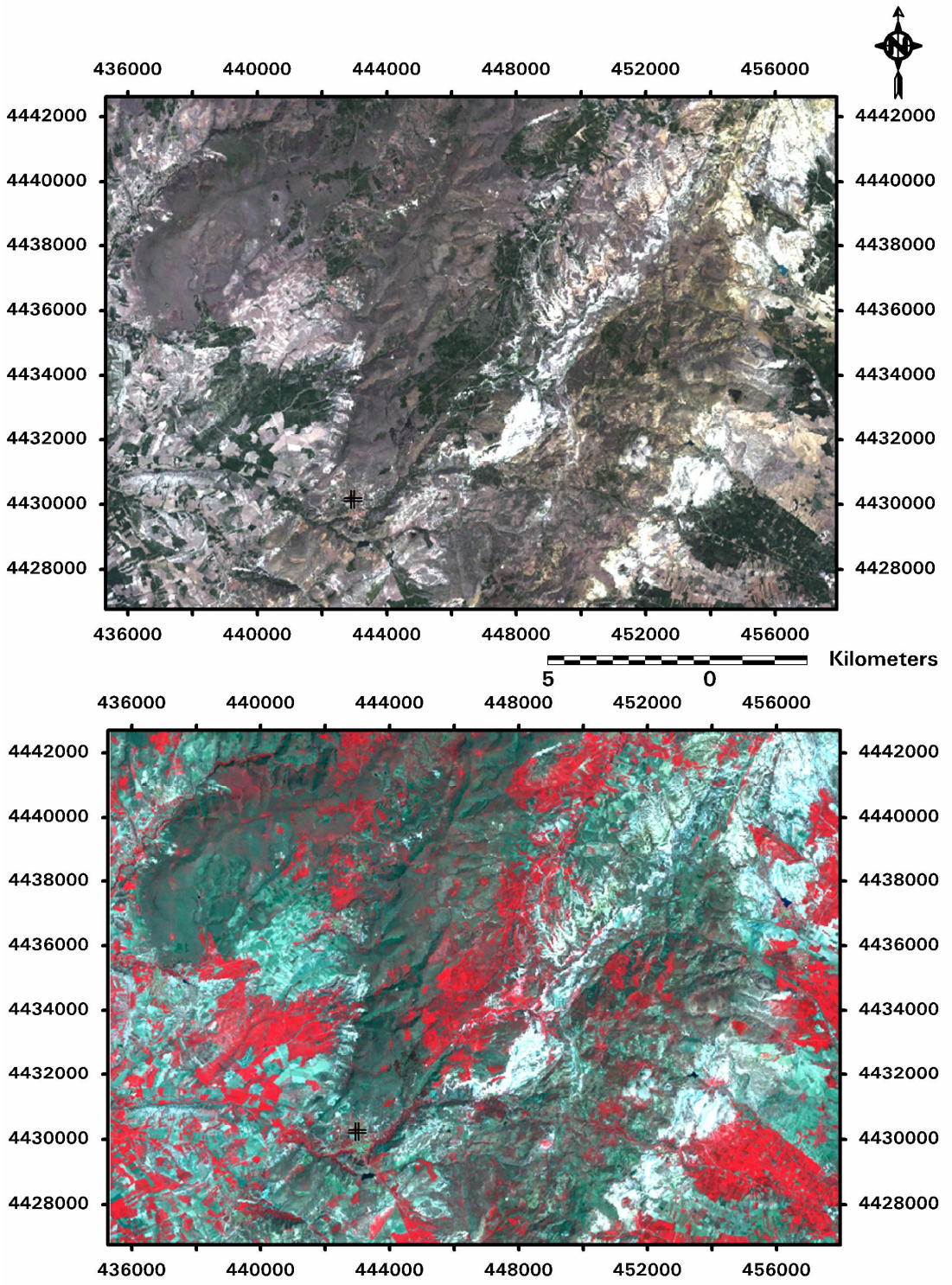


Şekil 4.37 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü güneydoğu).



Şekil 4.38 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasının sayısal yükseklik modeli üzerine oturtulmuş durumunu ve haritaya bakış açısını gösteren şekil (Bakış yönü kuzeybatı).

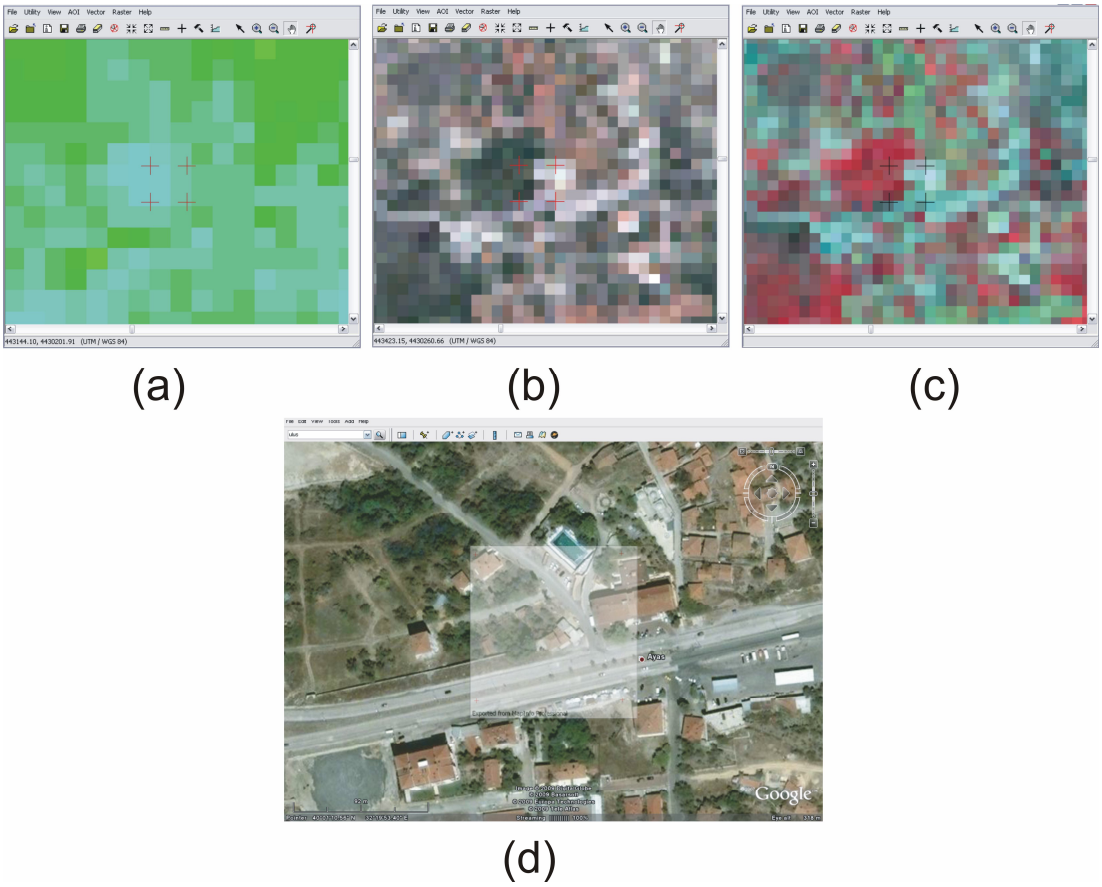
Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı İstatistik ve Yayın Şube Müdürlüğü'nden 10.5.2000 tarihinde, Şekil 4.14'te sunulan haritada Ankara il sınırları içerisideki konumu belirtilmiş Ayaş meteoroloji istasyonuna ait kayıtlı veri bulunmaması nedeniyle bahsi geçen tarihte bölgede esen rüzgarın yönü ve hızı hakkında bilgi alınamamıştır.



Şekil 4.39 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait görünür bölgede algılanmış (band 3-2-1) ve renkli kızılötesi (band 4-3-2) uydu görüntüleri.

Şekil 4.40'ta Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu alanın düşük kazançlı radyant sıcaklık haritasındaki durumu (Şekil 4.40 a), görünür bölgede algılanmış görüntüsü (Band 3-2-1) (Şekil 4.40 b), renkli kızılötesi görüntüsü (Band 4-3-2) (Şekil 4.40 c) ve Google Earth programı ile elde edilmiş uydu

görüntüsü (7 Mayıs 2009) (Şekil 4.40 d) sunulmuştur. Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu alanın yerleşim merkezi olduğu Şekil 4.40 d'de ve Şekil 4.41'de sunulan Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntülerinde görülmektedir.

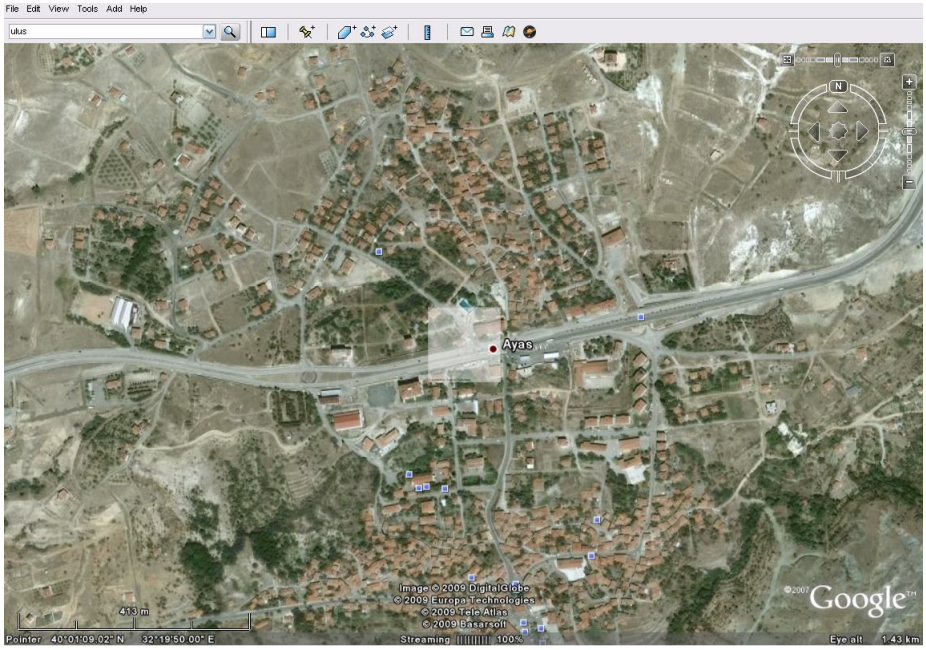


Şekil 4.40 : Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının bulunduğu alana ait uydu görüntüleri.

Bölgedeki olası fayların haritadaki sıcak noktalarla örtüşmediği Şekil 4.42'de görülmektedir.

Sonuç olarak Şekil 4.40 a'da görüldüğü gibi Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının bulunduğu alanın doğusunun batısına göre daha yüksek radyant sıcaklık değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeninin alanın doğusunda bulunan yollar ve binalar nedeniyle bölgede bitki örtüsü bulunmaması olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.35'te haritanın batısında, kuzeybatısında ve güneydoğusunda bulunan sıcaklıkları yüksek bölgelerin topoğrafik konumları ve üzerilerindeki arazi örtüsünün durumu nedeniyle yüksek sıcaklıklara sahip oldukarı düşünülmektedir. Soğuk bölgelerin, Şekil 4.35'te "k", "l", "m", "n", ve "o" ile gösterilen bölgeler hariç topoğrafik konumları nedeniyle bu kadar düşük sıcaklıklara sahip oldukları

düşünülmektedir. Bu bölgelerin dışındaki soğuk bölgelerin sahip olduğu sıcaklıklar ise bu bölgelerin bitki örtüsü ile kaplı olmalarıyla açıklanabilmektedir.

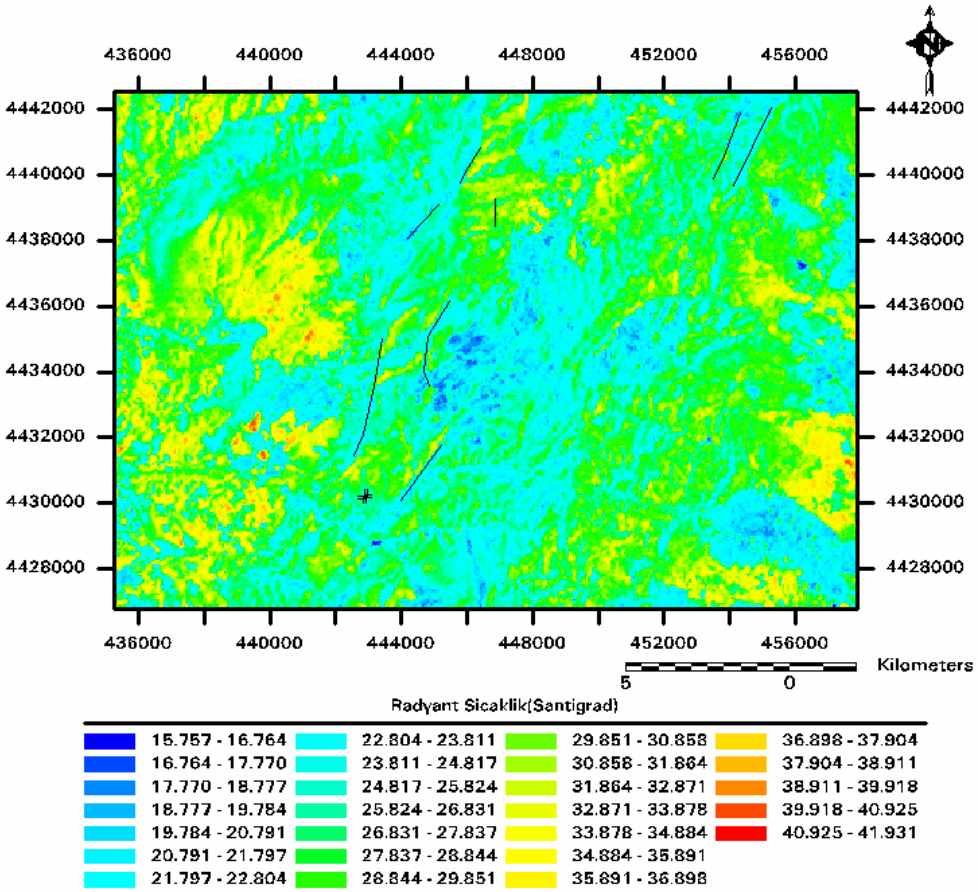


Şekil 4.41 : Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının bulunduğu alanın Google Earth programı ile elde edilmiş uydu görüntüsü (7 Mayıs 2009).

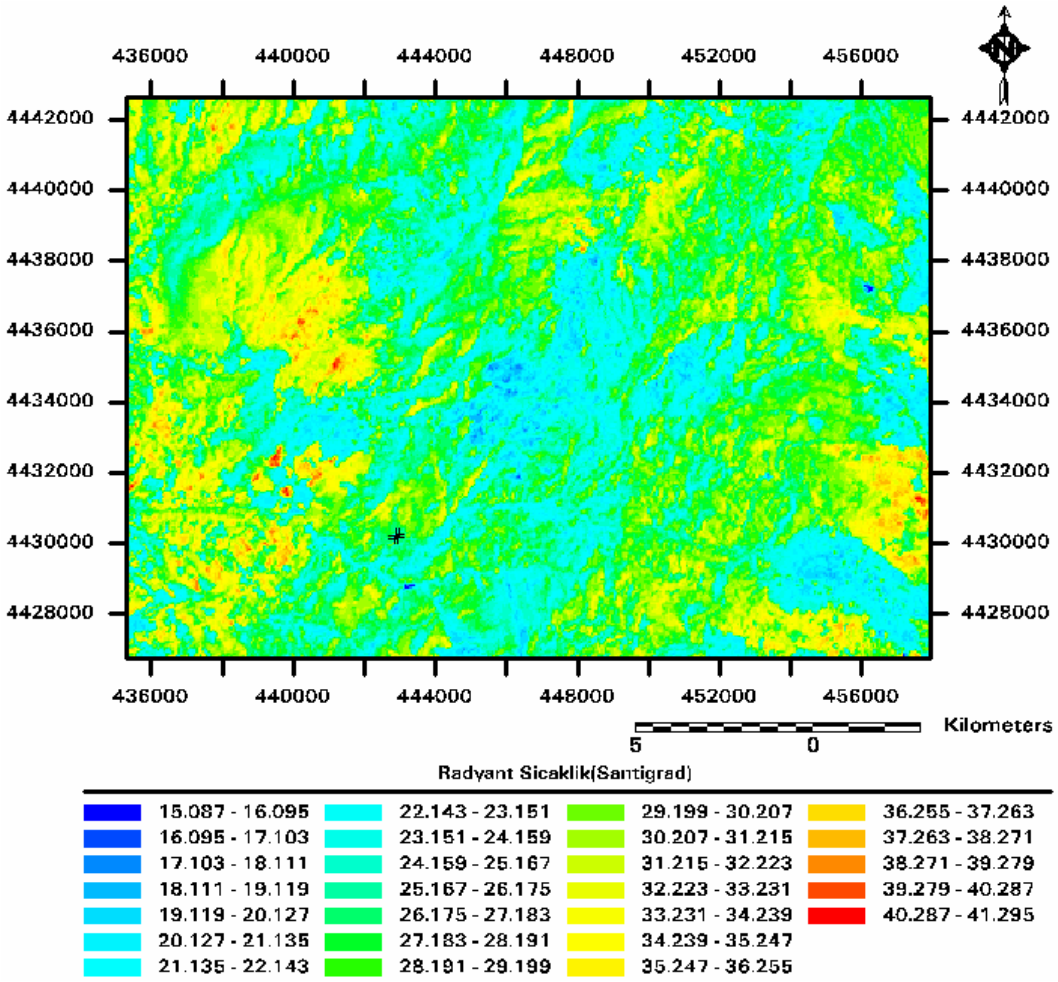
Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı görüntünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık değerlerinin yoğunluk dilimlemesi (density slicing) yöntemiyle yaklaşık 1^0C'lik sıcaklık farklarıyla birbirlerinden ayrılan gruplara kümelenmiş hallerini gösteren harita Şekil 4.43'te sunulmuştur.

Bölgedeki en düşük sıcaklık 15.087^{o}C, en yüksek sıcaklık ise 41.296 ^{o}C'dır. Bölgedeki radyant sıcaklıkların ümit değeri 27.796^{o}C'dir. Jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu 14400 m^2'lik alandaki en yüksek sıcaklık 25.463^{o}C, en düşük sıcaklık ise 23.515^{o}C'dır.

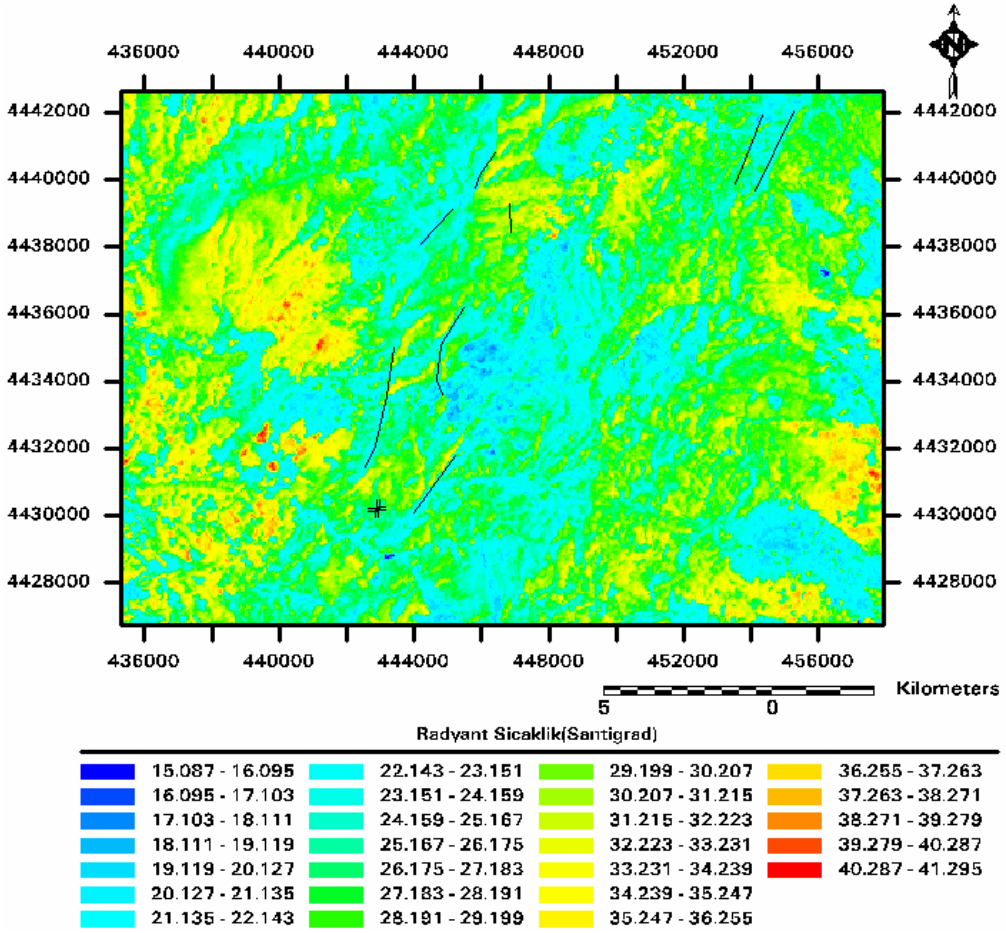
Şekil 4.35'te görülen sıcak bölgeler Şekil 4.43'teki sıcak bölgelerle örtüşmektedir. Ayrıca bu şekillerde görülen soğuk bölgelerde de bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle Şekil 4.35 için yapılan yorumlara ek olarak Şekil 4.43 için yorum yapma gereği duyulmamıştır. Şekil 4.35 için yapılan yorumlar Şekil 4.43 için geçerlidir. Şekil 4.44'te görüldüğü gibi bölgede belirlenmiş olası fayların konumları da Şekil 4.42 ile aynıdır.



Şekil 4.42 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait düşük kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası ve bölgedeki olası fayları gösteren harita.



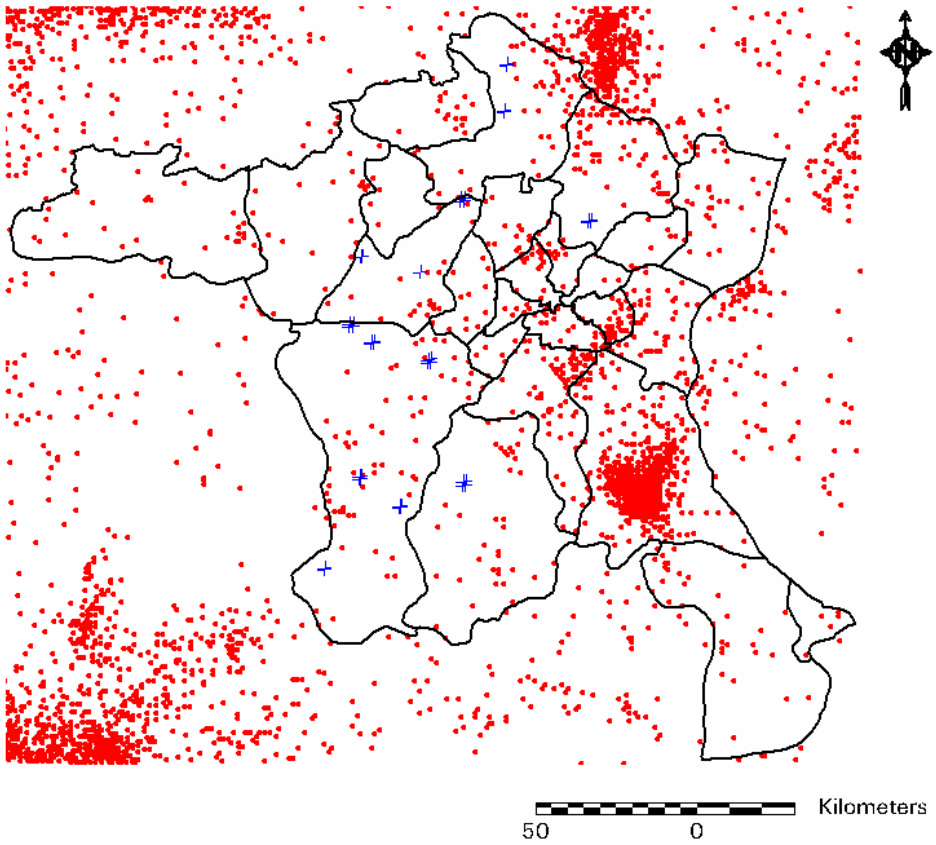
Şekil 4.43 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası.



Şekil 4.44 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait yüksek kazançlı olarak kaydedilmiş uydu görüntüsünün işlenmesiyle elde edilen radyant sıcaklık haritası ve bölgedeki olası fayları gösteren harita.

4.5 Depremler

Yapılan çalışmada deprem verileri bölüm 3.4.3'te belirtildiği gibi rezervuar hakkında bilgi almak yerine pankromatik görüntüler üzerinde bulunan olası fayların kontrolü ve tektonik hareketliliğin yoğunlaştığı bölgelerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Ankara il sınırları içerisinde yerleri bilinen kaynaklarla 12.5.1901 ile 31.10.2008 tarihleri arasında Kandilli Rasathanesi tarafından kaydedilmiş depremlerin episentırlarını gösteren harita Şekil 4.45'te sunulmuştur.

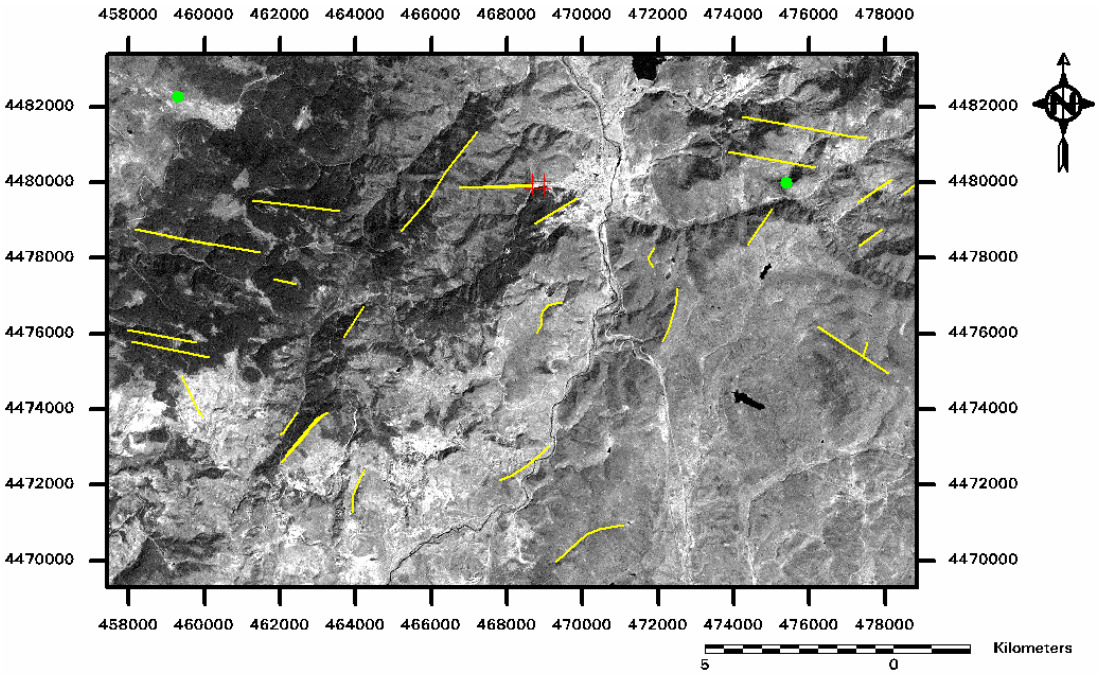


Şekil 4.45 : Ankara il sınırları içerisinde kalan koordinatları bilinen jeotermal kaynaklar ile Kandilli Rasathanesinden alınan deprem episentırlarını gösteren harita.

4.5.1 Kızılcahamam

Kızılcahamam Jeotermal Bölgesinde 12.5.1901 ile 31.10.2008 tarihleri arasında Kandilli Rasathanesi tarafından kaydedilmiş depremlerin episentırları Şekil 4.46'da yeşil daireler olarak gösterilmiştir. Bu depremlerin kaydedildikleri zaman, magnitüdleri ve deprem merkezlerinin derinlikleri Çizelge 4.13'te sunulmuştur.

Şekil 4.46'da görüldüğü gibi bölgenin batısında ve doğusunda kaydedilmiş toplam iki adet deprem bulunmaktadır. Depremlerin jeotermal kaynağa göre konumları dikkate alındığında kaynağa oldukça uzak olmaları nedeniyle pek bir anlam ifade etmedikleri düşünülmektedir. Ayrıca bölgedeki olası faylar ile birlikte düşünüldüklerinde belirli bir düzen oluşturmadıkları görülmektedir. Bölüm 3.4.3'te belirtildiği gibi magnitüdleri 1 ile 3 arasında kaldığından rezervuar hakkında bilgi verebilecek veriler olmalarına rağmen bölgedeki jeotermal kaynağa uzak olmaları ve sayılarının değerlendirme yapmaya yeterli olmaması nedeniyle anlamsız olarak değerlendirilmişlerdir.



Şekil 4.46 : Kızılcahamam Jeotermal Bölgesine ait olası fayları ile bölgede olmuş kayıtlı depremleri gösteren şekil.

Çizelge 4.13 : Kızılcahamam jeotermal bölgesindeki kayıtlı depremlerin episentırlarının koordinatlarını, ölçüm tarihleri ile zamanlarını, magnitüdlerini ve deprem merkezlerinin derinliklerini gösteren çizelge.

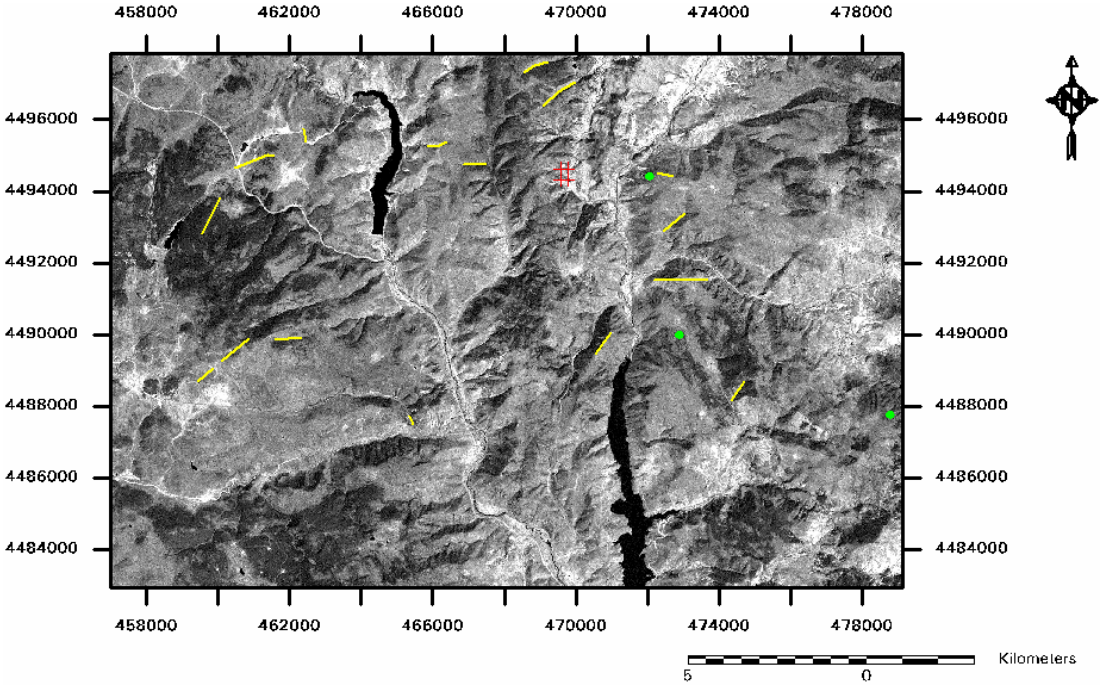
X	Y	GÜN	AY	YIL	SAAT	DAKİKA	SANİYE	DERİNLİK (km)	MAGNİTÜD
459321.625	4482255.5	3	3	2003	0	38	39.7	2	3
475416.2188	4479965	9	7	2004	20	17	41.2	5	2.5

4.5.2 Seyhamamı

Seyhamamı Jeotermal Bölgesinde 12.5.1901 ile 31.10.2008 tarihleri arasında Kandilli Rasathanesi tarafından kaydedilmiş depremlerin episentırları Şekil 4.47'de yeşil daireler olarak gösterilmiştir. Bu depremlerin kaydedildikleri zaman, magnitüdleri ve deprem merkezlerinin derinlikleri Çizelge 4.14'te sunulmuştur.

Bölgede kaydedilmiş üç adet deprem bulunmaktadır. Haritadaki konumları dikkate alındığında en kuzeydeki deprem hariç diğer depremlerin bölgedeki olası faylar ile bir ilişkisinin olmadığı düşünülmektedir. Ayrıca magnitüdlerinin 3'ten büyük olması nedeniyle rezervuar hakkında bilgi edinmek için kullanılmaları mümkün değildir.

Sayıları ve konumları düşünüldüğünde bölgede tektonik hareketliliğin yoğunlaştığı alan veya alanların bulunması mümkün değildir.



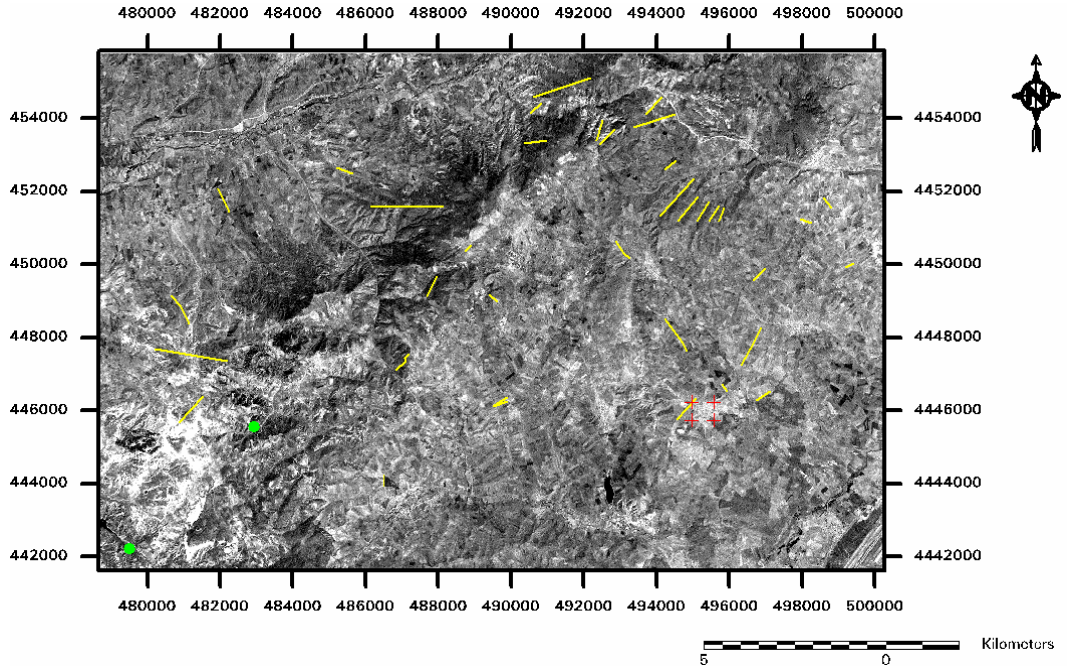
Şekil 4.47 : Seyhahamı jeotermal bölgesine ait olası fayları ile bölgede olmuş kayıtlı depremleri gösteren şekil.

Çizelge 4.14 : Seyhamamı Jeotermal Bölgesindeki kayıtlı depremlerin episentırlarının koordinatlarını, ölçüm tarihleri ile zamanlarını, magnitüdlerini ve deprem merkezlerinin derinliklerini gösteren çizelge.

X	Y	GÜN	AY	YIL	SAAT	DAKİKA	SANİYE	DERİNLİK (km)	MAGNİTÜD
472079.375	4494407	28	5	1983	2	12	32.5	10	3.8
472909.3125	4489964	2	7	1996	6	25	59.1	10	3.5
478829.125	4487725	28	3	2004	15	20	10.5	10	3.2

4.5.3 Çubuk-Melikşah

Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesinde 12.5.1901 ile 31.10.2008 tarihleri arasında Kandilli Rasathanesi tarafından kaydedilmiş depremlerin episentırları Şekil 4.48'de yeşil daireler olarak gösterilmiştir. Bu depremlerin kaydedildikleri zaman, magnitüdleri ve deprem merkezlerinin derinlikleri Çizelge 4.15'te sunulmuştur.



Şekil 4.48 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesine ait olası fayları ile bölgede olmuş kayıtlı depremleri gösteren şekil.

Çizelge 4.15 : Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesindeki kayıtlı depremlerin episentırlarının koordinatlarını, ölçüm tarihleri ile zamanlarını, magnitüdlerini ve deprem merkezlerinin derinliklerini gösteren çizelge.

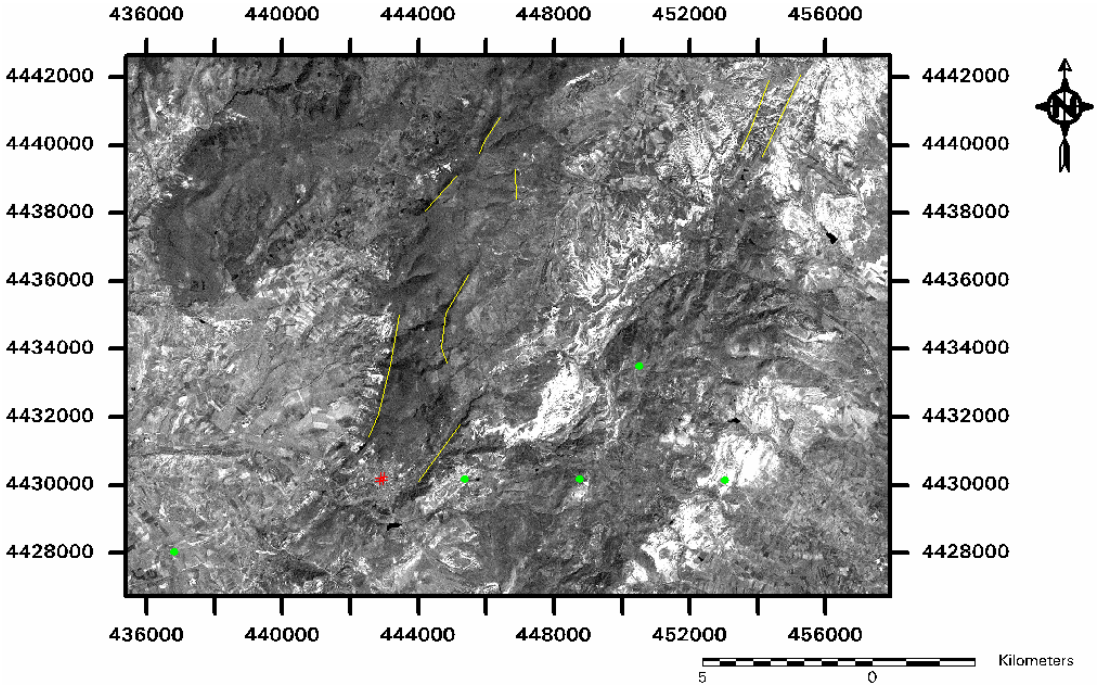
X	Y	GÜN	AY	YIL	SAAT	DAKİKA	SANİYE	DERİNLİK (km)	MAGNİTÜD
482967.9888	4445535	20	7	2005	15	18	15.5	7	3
479552.5625	4442213.5	14	6	2005	15	15	30.3	10	2.8

Çubuk-Melikşah Jeotermal Bölgesinde kaydedilmiş iki adet deprem bulunmaktadır. Bu depremlerin episentırlarının bölgedeki kaynağa ve bölgedeki olası faylara göre konumları dikkate alındığında pek bir anlam ifade etmedikleri görülmektedir. Magnitüdleri istenilen sınırlar içerisinde kalmasına rağmen konumlarının bölgedeki jeotermal kaynak ile bir ilgisinin olmadığı Şekil 4.48'de görüldüğünden rezervuar hakkında bilgi edinmek için kullanılmaları imkansızdır.

4.5.4 Ayaş-Karakaya

Ayaş-Karakaya Jeotermal Bölgesinde 12.5.1901 ile 31.10.2008 tarihleri arasında Kandilli Rasathanesi tarafından kaydedilmiş depremlerin episentırları Şekil 4.49'da

yeşil daireler olarak gösterilmiştir. Bu depremlerin kaydedildikleri zaman, magnitüdleri ve deprem merkezlerinin derinlikleri Çizelge 4.16'da sunulmuştur.



Şekil 4.49 : Ayaş-Karakaya jeotermal bölgesine ait olası fayları ile bölgede olmuş kayıtlı depremleri gösteren şekil.

Çizelge 4.16 : Ayaş-Karakaya Jeotermal Bölgesindeki kayıtlı depremlerin episentırlarının koordinatlarını, ölçüm tarihleri ile zamanlarını, magnitüdlerini ve deprem merkezlerinin derinliklerini gösteren çizelge.

X	Y	GÜN	AY	YIL	SAAT	DAKİKA	SANİYE	DERİNLİK (km)	MAGNİTÜD
450527.3438	4433468	6	7	2006	15	46	46.8	19	2.7
436833.5	4428019.5	11	9	2005	15	43	42.8	29	2.7
445385.5313	4430173	9	2	2007	15	30	38.6	18	3
448798.9688	4430149.5	7	10	2004	15	30	56.9	7	2.9
453065.75	4430122	19	4	2001	17	16	24.8	1	2.7

Ayaş-Karakaya Jeotermal bölgesinde kaydedilmiş beş adet deprem bulunmaktadır. Bu depremlerin bölgedeki olası faylar ile bir düzen oluşturmadıkları Şekil 4.49'da açıkça görülmektedir. Fakat 2001, 2004 ve 2007 yıllarında kaydedilmiş depremlerin bölgedeki kaynak ile aşağı yukarı aynı hat üzerinde olması düşündürücüdür. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi tarafından 2002 yılında basılmış 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisine ait 41 numaralı Bolu H28 paftasında bu hat üzerinde veya yakınında bir fay gösterilmemiştir. Depremlerin

magnitüdlerinin kullanıma uygun olmasına rağmen konumları nedeniyle rezervuar hakkında bilgi edinmek için kullanılamayacaklardır.

5. SONUÇ

Kızılcahamam ve çevresinin, Seyhamamı ve çevresinin, Çubuk-Melikşah ve çevresinin, Ayaş-Karakaya ve çevresinin jeolojisi incelendiğinde bu bölgelerin jeotermal kaynak araması yapılması için uygun bölgeler olduğu görülmektedir. Her ne kadar bölgede açılmış işletilen jeotermal sondaj kuyuları hakkındaki raporlara gizli olmaları nedeniyle ulaşılamamasına ve bu nedenle rezervuarlar hakkında yeterli bilgiye sahip olunamamasına rağmen dört bölgenin de Bölüm 4.2 incelendiğinde volkanizmanın etkisi altında kaldığı açıktır.

Kızılcahamam ve çevresinin Bölüm 4.2.1 de sunulduğu gibi Üst Kretase ve Miyosen arasında, Seyhamamı ve çevresinin Bölüm 4.2.2 de sunulduğu gibi Orta Miyosen Üst Pliyosen arasında, Çubuk-Melikşah ve çevresinin bölüm 4.2.3 de sunulduğu gibi Neojen boyunca, Ayaş-Karakaya ve çevresinin bölüm 4.2.4 te sunulduğu gibi Neojen boyunca volkanizma etkisi altında kaldığı belirlenmiştir. Genelde Miyosen Kuvaterner arasında görülen volkanizma, buhar baskın jeotermal sistemlerin oluşumuna katkıda bulunmasına rağmen (Gupta, H., 2006, s. 51) Seyhamamı jeotermal kaynağı, Çubuk-Melikşah jeotermal kaynağı ile Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağı düşük sıcaklıklı ve sadece sıcak su elde edilebilen kaynaklardır. Kızılcahamam jeotermal kaynağından da sadece sıcak su elde edilebilmektedir. Bu kaynaklardan elde edilen akışkanların sıcaklıkları incelendiğinde kaynakların düşük sıcaklıklı sıcak su kaynakları olduğu görülmüştür.

Bu bölgelerde tektonik faaliyet sonucu fay sistemlerinin oluştuğu, kaynakların tipi ve kaynaklardan elde edilen akışkanların sıcaklıkları bilindiğinden uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenebilen çizgisellikler ile termal anomaliler kullanılarak işletilen bu kaynakların yanısıra diğer kaynak bulunabilecek bölgelerin belirlenebileceği düşünülmüştür. Fakat bölüm 4.3 te verilen yöntemlerle bu bölgelerde bulunan olası fayların Kızılcahamam jeotermal bölgesi içerisindeki Kızılcahamam Fayı hariç bölgede gerçekten bulunan faylar ile örtüşmediği görülmüştür. Bu durumun akla ilk olarak kullanılan metodun yanlış olduğunu getirmesine rağmen farklılığın kontrol amaçlı kullanılan jeoloji haritalarının ölçeklerinin yeteri kadar büyük olmamasından

kaynaklandığı düşünülmektedir. Bölgelere ait eldeki jeolojik veriler ile bölgelerde bulunan kaynak tipleri göz önüne alındığında yeryüzünde, termal anomalilere neden olan çevresinden daha sıcak su kaynaklarının veya su birikintilerinin görülmesi beklenmiştir. Termal görüntülerde bilinen kaynaklar çevresinde sıcaklık değişimleri gözlemlenmesine rağmen sıcaklık değişimlerinin nedeninin bölgede bulunan jeotermal bir kaynak olduğunu eldeki veriler ışığında söylemek mümkün olmamaktadır. Net bir neden belirtebilmek için bölgede açılan jeotermal kuyuların kuyu açma raporlarının ve kuyuların açıldığı kaynakların rezervuarları hakkında ayrıntılı bilgiye sahip olunması gerekmektedir. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından açılan bu kuyulara ait tüm raporlar gizli olduğundan bu bilgilere ulaşılamamıştır. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Enerji Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığına yapılan yazılı ve sözlü başvurularda kuyuların GPS koordinatları bile gizli olduğu gerekçesiyle tez yürütücüsüne verilmemiştir. Ayrıca kontrol amacıyla kullanılan jeoloji haritalarında haritanın çizildiği projeksiyon sistemi ile datum hakkında hiçbir bilgi olmaması ve haritaların üzerinde koordinat sistemlerinin belirtilmemesi nedeniyle coğrafi bilgi sistemi içerisinde diğer bilgilerle birlikte kullanılması mümkün olmamıştır.

Genel olarak termal görüntülerde benzer topoğrafik konuma sahip yerlerin benzer sıcaklıklara sahip olduğu görülmektedir. Benzer konuma sahip bölgeler arasındaki sıcaklık farkları ise eldeki verilere dayanılarak arazi örtüsü farklılıklarıyla açıklanabilmektedir. Elde gece algılaması yapılmış termal görüntüler bulunmadığından görüntülerde belirlenen sıcaklık farklarının jeotermal kaynaklar tarafından oluşturulan termal anomaliler olup olmadığının belirlenmesi mümkün olmamaktadır.

Kızılcahamam jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu bölgedeki 10.474^{0}C'lik sıcaklık farkı eldeki veriler doğrultusunda arazi örtüsü ve topoğrafik konumlar dikkate alınarak açıklanabilmektedir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi bölgenin güneyi bitki örtüsü ile kaplı olup bölgenin kuzey ise bitki örtüsü bakımından fakir çıplak kara parçası olduğu görülmektedir. Ayrıca bölgenin bitki örtüsü ile kaplı güney kısmının kuzey-kuzeybatıya eğimli, çıplak olan kuzey kısmının ise güney-güneydoğuya eğimli olduğu sayısal yükseklik modeli üzerinde yapılan inceleme ile belirlenmiştir. Şekil 4.12'de bölgenin kuzeyindeki binaların da bulunduğu saptanmıştır. Bu durumda bölgenin güneyinin bitki örtüsünün yaptığı terleme ve

topoğrafik konumu nedeniyle gölgede kaldığı, tam aksine bölgenin kuzeyinin çıplak olması ve güneş enerjisini sahip olduğu eğim nedeniyle güneyinden daha fazla aldığı söylenebilir. Bölgenin kuzeyinde bitki örtüsü bulunmamasının nedenini belirlemek ve bu duruma bölgedeki jeotermal kaynağın oluşturduğu termal anomali sonucu meydana geldiğini söyleyebilmek eldeki verilerle mümkün olmamamaktadır. Her ne kadar jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu alanın kuzeydoğusundaki bitki örtüsü yokluğunun nedeninin jeotermal kaynağın oluşturduğu termal bir anomali olduğu düşünülsede durumun açıklığa kavuşabilmesi için mutlaka gece algılaması yapılmış termal görüntüye ihtiyaç vardır. Gece ve gündüz algılaması yapılan termal görüntüler arasındaki sıcaklık farkları belirlenmeli, düşük sıcaklık farkları görülen alanlar jeotermal kaynağın bulunduğu bölgenin kuzeyindeki çıplak yerlerle örtüştüğünde jeotermal kaynak tarafından oluşturulan termal anomalinin bahsi geçen durumun nedeni olabileceği söylenmelidir.

Seyhamamı jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu bölgedeki 7.688^0C'lik sıcaklık farkı da eldeki veriler doğrultusunda arazi örtüsü ve topoğrafik konumlar dikkate alınarak açıklanabilmektedir. Şekil 4.22 d incelendiğinde jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu bölgenin batısında bitki örtüsünün yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca sıcak bölgelerin Şekil 4.22 b, Şekil 4.22 c ve Şekil 4.22 d birlikte incelendiğinde bitki örtüsünün daha seyrek olduğu veya bulunmadığı yerlerle örtüştüğü görülmektedir. Bu nedenle Şekil 4.22 deki uydu görüntüleri dikkate alınarak yorum yapıldığında bölgenin güneydoğusundaki, kuzeydoğusundaki ve doğusundaki soğuk bölgelerin bitki örtüsü nedeniyle düşük sıcaklıklara sahip oldukları söylenebilmektedir. Bitki örtüsünün bölgenin batısına doğru seyrelmesi bölgede jeotermal kaynak yüzünden oluşmuş bir termal anomali olduğunu düşündürtmektedir. Gece algılanmış termal görüntü bulunmadığından jeotermal kaynağın oluşturduğu termal anomali hakkında yorum yapılamamaktadır.

Çubuk-Melikşah jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu bölgedeki 8.476^0C'lik sıcaklık farkı ise düz bir alanda bulunması nedeniyle bitki örtüsü ile açıklanabilmektedir. Şekil 4.31 b, Şekil 4.31.c, Şekil 4.31 d'de görüldüğü gibi bölge içerisindeki soğuk yerlerin tümü bitki örtüsü bulunan alanlarla örtüşmektedir. Bölgenin ortasında kalan ve sıcaklıkları 26^0C ile 28^0C arasında değişen daha sıcak bölgelerin ise yerleşinm birimleri arasında kalan, bitki örtüsünün bulunmadığı bölgelerle örtüştüğü Şekil 4.31 d'de görülmektedir. Şekil 4.31 d'de izlendiği gibi

binalar arasındaki boşluklarda bitki örtüsü bulunmamasının nedeninin jeotermal kaynak tarafından oluşturulan bir termal anomali olduğu düşünülmekle birlikte elde gece algılanmış termal görüntü bulunmaması nedeniyle durum hakkında kesin bir yorum yapmak mümkün olmamaktadır.

Ayaş-Karakaya jeotermal kaynağının içerisinde bulunduğu bölgedeki 2.006^0C'lik sıcaklık farkın ise bölgenin termal görüntülerde benzer topoğrafik konumlara ve arazi örtülerine sahip 4 piksel ile temsil edilmesi nedeniyle düşük çıktığı düşünülmektedir. Şekil 4.40 b ve Şekil 4.40 c'de görüldüğü gibi jeotermal kaynağın içerisinde bulunduğu alandaki bitki örtüsü yoğunluğu şehirleşme nedeniyle bölgenin doğusunda azalmaktadır. Şekil 4.40 a'da bölgenin doğusunun batısına göre daha yüksek sıcaklık değerlerine sahip olmasının nedeninin, alanın doğusunda bulunan yapılar ve yollar nedeniyle bahsedilen arazide bitki örtüsü bulunmaması olduğu düşünülmektedir.

Eldeki veri setleriyle yukarıda ve bölüm 4.5'te yapılan yorumlara ek olarak yorum yapmak imkansızdır.

Kandilli Rasathanesinden alınan deprem verileri bölgelerdeki olası fayların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Fakat Bölüm 4.5 te sunulduğu gibi kaynakların bulunduğu bölgelerdeki olası faylar ile bu bölgelerde kaydedilmiş depremler arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür. Ayrıca depremlerin genel olarak Ankara ili içerisinde bulunan koordinatları bilinen jeotermal kaynakların etrafında yoğunlaşmadığı Şekil 4.45'te görülmektedir.

Jeotermal kaynakların içerisinde bulunduğu bölgelerde ETM+ verileri kullanılarak bölüm 4.4'te belirtildiği gibi çevresinden daha yüksek sıcaklığa sahip yerler tespit edilmiştir. Ayaş-Karakaya kaynağının içerisinde bulunduğu bölge (Şekil 4.40) hariç, jeotermal kaynakların içerisinde bulunduğu diğer alanlarda görülen çevresine göre sıcak kesimlerin, jeotermal kaynak yüzünden meydana gelen termal anomaliler nedeniyle izlenen alanlarda bitki örtüsü yoğunluğunun azalması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Jeotermal kaynakların bulunduğu bölgelerdeki sıcaklık farklarının bu kaynaklar tarafından oluşturulmuş termal anomaliler olup olmadığı eldeki veriler kullanılarak belirlenemediğinden çalışma alanlarının diğer bölgelerindeki sıcaklık farklarının da olası jeotermal kaynaklar nedeniyle meydana gelen termal anomaliler olup olmadığı hakkında yorum yapılamamaktadır. Yeterli mekansal çözünürlüğe sahip gece ve gündüz algılanmış veri setleri, algılama ile eş zamanlı olarak arazide

yürütülen ölçme çalışmaları yapılmadan termal anomalilerin belirlenmesinin mümkün olmadığı açıktır. ETM+ algılayıcısını taşıyan Landsat 7 uydusu yörüngede 16 günde bir aynı konuma geldiğinden bu algılayıcı tarafından elde edilen verilerin jeotermal kaynakların oluşturduğu termal anomalilerin belirlenmesi için kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu nedenler uçak veya helikopterle taşınabilen algılayıcıların bu tip görevlerde kullanılması hem mekansal çözünürlüğün uydularla taşınan algılayıcılardan daha yüksek olması hem de aynı gün içerisinde istenilen saatte algılama yapılabilmesi nedeniyle daha yerinde bir seçim olacaktır. Literatürde yapılan çalışmalar (Schimschal 1991;Mongillo & Bromley, 1992; Mongillo 1994) bu kanıyı desteklemektedir.

Yürütülen tez çalışması sonucunda bölgedeki jeotermal akışkanların yüzeye çıkmasını sağlayabilecek fayların belirlenmesinde bu tez çalışmasında sunulan yöntemin yeterli olmadığı belirlenmiştir. İleride yürütülecek bu tip bir çalışmada inceleme alanının jeolojisi hakkında yeterli bilgiye sahip olunmasının gerektiği görülmüştür. Özellikle bölgenin tektonik modelinin oluşturulmasını sağlayacak bilgiye ulaşılması gerekmektedir. Tez çalışmasında sunulduğu gibi fay olabilecek çizgiselliklerin bulunmasında uydu görüntülerinin yorumlanması ve konvolüsyon filtrelerinin kullanılması yerine arazi üzerindeki vadiler ile akarsu yataklarının çeşitli sınır değerleri verilerek eğim haritaları yardımıyla belirlenip bölgenin tektonik evrimi dikkate alınarak bulunan çizgiselliklerin etkisi altında kaldıkları gerilmelerin büyüklük ve yönlerine göre sınıflandırılması, ardından elde edilen verilerin bölgede bulunması beklenen jeotermal kaynak tipine göre termal görüntülerle birlikte değerlendirilmesinin daha sağlıklı sonuçlara ulaşılmasını sağlayacağı düşünülmektedir. .

KAYNAKLAR

Akkuş, İ., Akıllı, H., Selda, C., Dilemre, A., ve Tekin, Z., 2005: *Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri,* Ankara, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi No:201.

Bertani, R., 2005: World Geothermal Power Generation in The Period 2001-2005. *Geothermics*, Vol. **34,** pp. 651-690.

Burbang, D. W., and Anderson R. S., 2001: *Tectonic Geomorphology*, Malden – Amerika Birleşik Devletleri, Blackwell Science.

Calvin, W. M., Coolbaugh, M., Kratt, C., and Vaughan, G. R., (2005?): *Application of Remote Sensing Technology to Geothermal Exploration*, http://www.unr.edu/geothermal/pdffiles/CalvinGSN05.pdf (6 Ocak 2008).

Coolbaugh, M. F., Kratt, C., Fallacaro, A., Calvin, W.M., and Taranik, J. M., 2007: Detection of Geothermal Anomalies Using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Thermal Images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA. *Remote Sensing of Environment*, Vol. **106,** pp. 350-359.

Çetin, A., 2006: Ayaş (Ankara) Karakaya ve Ilıcaköy Sıcaksularının Hidrojeoloji İncelemesi, Hacettepe Yüksek Lisans Tezi.

Devlet Planlama Teşkilatı. 2001. *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu,* Ankara: DPT.

Dinhi H. T. M., Trung, L. V., and Van, T. T. (2007): *Surface Emissivity in Determining Land Surface Temperature*, http://ojs.info.gscc.osaka-cu.ac.jp/IJG/index.php/IJG/article/view/338/142, (7 Mayıs 2009).

Edwards, L. M., Chilingar, G. V., Reike III, H. H., and Fertl, W. H., 1982: *Handbook of Geothermal Energy*, Amerika, Gulf Publishing Company.

Gevrek, A. İ., Demir, A., ve Tekin, Z., 1986. *Ankara Kızılcahamam Jeotermal Enerji Arama Sondajı (KHD-1) Kuyu Bitirme Raporu,* Ankara, MTA Rapor No: 8760.

Gupta, H. and Roy, S., 2006: *Geothermal Energy: An Alternative Resource for The 21st Century*, Amsterdam, Hollanda: Elsevier.

Gupta, R. P., 2003: *Remote Sensing Geology. Second Edition*, Almanya, Springer-Verlag.

Gül, B., 2006: *Çubuk (Ankara) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Mineralojisi, Petrografisi ve Jeokimyası*, Hacettepe Yüksek Lisans Tezi.

Hellman, J. M. and Ramsey, M. S., 2004: Analysis of Hot Springs and Associated Deposits in Yellowstone National Park Using ASTER and AVIRIS Remote Sensing. *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* Vol. **135,** pp. 195-219.

Hepbaşlı, A. and Özgener, L., 2004: Development of Geothermal Energy Utilization in Turkey: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* Vol. **8,** pp. 433 – 460.

Hodder, D. T., 1970: Application of Remote Sensing to Geothermal Prospecting, *Geothermics,* Vol. **2**, pp. 369-380.

Jensen, J. R., 1996: *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective Second Edition,* Upper Saddle River – New Jersey, Prentive Hall.

Kearey, P. and Brooks, M. 1991: *An Introduction to Geophysical Exploration Second Edition,* İngiltere: Blackwell-Science

Koçak, A., 1977: *Kızılcahamam Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü,* Ankara, MTA Rapor No: 8565.

Kratt, C., Calvin, W., and Coolbaugh, M., 2006: Geothermal Exploration with Hymap Hyperspectral Data at Brady-Desert Peak, Nevada. *Remote Sensing of Environment,* Vol. **104,** pp. 313-324.

Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1994: *Remote Sensing and Image Interpretation Third Edition,* Amerika Birleşik Devletleri, John Wiley & Sons.

Lindrose, L., (1998): *Earth Science Data and Information System (ESDIS) Level 1 Product Generation System (LPGS) Output Files Data Format Control Book,* http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/pdfs/DFCB_LPGS_6-98.pdf (19 Mart 2009).

Lund, J.W., Freeston, D. H., and Boyd T. L., 2005: Direct Application of Geothermal Energy: 2005 Worldwide Review. *Geothermics,* Vol. **34,** pp. 691-727.

Magnillo, M. A. and Bromley, C.J., 1992: A Helicopter-Borne Video Thermal Infrared Survey of the Rotorua Goethermal field. *Geothermics,* Vol. **21,** no. 1/2, pp. 197-214.

Mansor, S. B., Cracknell, A. P., Shilin ,B. V., and Gornyi V. I., 1994: Monitoring of Underground Coal Fires Using Thermal Infrared Data, *International Journal of Remote Sensing,* Vol. **15,** pp. 1675-1685.

Mongillo, M. A., 1994: Aerial Thermal Infrared Mapping of The Waimangu - Waiotapu Geothermal Region, New Zealand. *Geothermics,* Vol. **23**, no. 5/6, pp. 511-526.

Nash, G. D., Moore, J. N., and Sperry, T., 2003: Vegetal-Spectral Anomaly Detection at The Cove Fort-Sulphurdale Thermal Anomaly, Utah, USA: Implications for Use in Geothermal Exploration. *Geothermics,* Vol. **32,** pp. 109-130.

Nash, G. D., Johnson, W. G., and Johnson, S., 2004: Hyperspectral Detection of Geothermal System-Related Soil Minerology Anomalies in Dixie Valley, Nevada: A Tool for Exploration. *Geothermics,* Vol. **33,** pp. 695-711.

Özer, Y., 1996: *Jeotermal Enerji ve Afyon'da Kullanımı*, Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları.

Palmaso, G., Friedman, J. D., Williams R. S. Jr., Johnson J., and Saemundson, K., 1970: Aerial Infrared Surveys of Reykjanes and Torfajökull Thermal Areas, Iceland, With a Section on Cost of Eploration Surveys, *Geothermics*, Vol. **2**, pp. 399-412.

Prakash, A., Gupta R. P., 1999, Surface fires in the Jharia coalfield, India – Their Distribution and Estimation of Area and temperature from TM data, *International Journal of Remote Sensing,* Vol. 20, pp. 1935 -1946.

Prost, G. L., 1994: *Remote Sensing for Geologist: A Guide to Image Interpretation,* Amerika, Gordan and Breach Science Publishers.

Rowan, L. C., Schmidt, R. G., and Mars, J. C., 2006: Distribution of Hydrothermally Altered Rocks in The Reko Diq, Pakistan Mineralized Area Based on Spectral Analysis of ASTER data. *Remote Sensing of Environment,* Vol. **104,** pp. 74-87.

Sabins, F. F., 1996: *Remote Sensing: Principles and Interpretation,* Amerika Birleşik Devletleri, W. H. Freeman and Company

Şahinci, A., 1970: *Karakaya Ayaş Kaplıcası ve Ilıcaköy Sıcaksularının Hidrojeoloji Etüt Raporu*, Ankara, MTA Rapor No: 4380.

Schimschal, U., 1991: Integrated Exploration for Low Temperature Geothermal Resources in the Honey Lake Basin. *Geophyscal Prospecting,* Vol. **39,** pp. 279-291.

Schowengerdt, R. A., 2007: *Remote Sensing Models and Image Processing,* Burlington-Massachusetts, Academic Press.

Schultz, G. A., 1988: Remote Sensing in Hydrology. *Journal of Hydrology,* Vol. **100**, pp. 239-265.

Şimşek, Ş., 2001: *Yeriçi Isısından Yararlanma Jeotermal Enerji*, Ankara: Temiz Enerji Vakfı.

Tatlı, S., 1975: *Kızılcahamam Doğu Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları*, Ankara, MTA Rapor No:5749.

Tevfik, K., 2005: Characterization of Kızılcahamam Geothermal Field by Tracer Setting, ODTÜ, Yüksek Lisans Tezi.

Tuscherer, B., 2007: *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Level 1 Data Format Control Book,* http://www.ga.gov.au/image_cache/GA10348.pdf (22 Mart 2009).

Weng, Q., Lu, D., and Schubring, J., 2004: Estimation of Land Surface Temperature-Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies. *Remote Sensing of Environment,* Vol. **89,** pp. 467-483.

Yang, K., Browne, P. R. L., Huntington, J. F., and Walshe, J.L., 2001: Characterising The Hydrothermal Alteration of Broadlands-Ohaaki Geothermal System, New Zealand, Using Short-Wave Infrared Spectroscopy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. **106,** pp. 53-65.

Yang, K., Huntington, J. F., Browne, P. R. L., and Ma, C., 2000: An Infrared Spectral Reflectance Study of Hydrothermal Alteration Minerals from The Te Mihi Sector of the Waireki Geothermal System, New Zealand. *Geothermics*, Vol. **29,** pp 377-392.

Yang, K., Lian, C., Huntington, J. F., Peng Q., and Wang, Q., 2005: Infrared Spectral Reflectance Characterization of The Hydrothermal Alteration at The Tuwu Cu-Au Deposit, Xinjiang, China. *Mineralium Deposita*, Vol. **40,** pp.324-336.

EKLER

EK A 1: Kullanılan uydu görüntülerine ait veri paketinin metadata dosyası

EK A 1

```
GROUP = METADATA_FILE
        PRODUCT_CREATION_TIME = 2002-12-04T11:57:08Z
        PRODUCT_FILE_SIZE = 679.0
        STATION_ID = "EDC"
        GROUND_STATION = "EDC"
        GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
                SPACECRAFT_ID = "Landsat7"
                SENSOR_ID = "ETM+"
                ACQUISITION_DATE = 2000-05-10
                WRS_PATH = 177
                WRS_ROW = 032
                SCENE_CENTER_LAT = +40.3339069
                SCENE_CENTER_LON = +33.2369249
                SCENE_UL_CORNER_LAT = +41.2897528
                SCENE_UL_CORNER_LON = +32.4180146
                SCENE_UR_CORNER_LAT = +40.9747992
                SCENE_UR_CORNER_LON = +34.5677414
                SCENE_LL_CORNER_LAT = +39.6777195
                SCENE_LL_CORNER_LON = +31.9313037
                SCENE_LR_CORNER_LAT = +39.3724593
                SCENE_LR_CORNER_LON = +34.0330188
                SCENE_UL_CORNER_MAPX = 451269.000
                SCENE_UL_CORNER_MAPY = 4571086.500
                SCENE_UR_CORNER_MAPX = 631902.000
                SCENE_UR_CORNER_MAPY = 4537143.000
                SCENE_LL_CORNER_MAPX = 408348.000
                SCENE_LL_CORNER_MAPY = 4392534.000
                SCENE_LR_CORNER_MAPX = 588981.000
                SCENE_LR_CORNER_MAPY = 4358619.000
                BAND1_FILE_NAME = "p177r032_7t20000510_z36_nn10.tif"
                BAND2_FILE_NAME = "p177r032_7t20000510_z36_nn20.tif"
                BAND3_FILE_NAME = "p177r032_7t20000510_z36_nn30.tif"
                BAND4_FILE_NAME = "p177r032_7t20000510_z36_nn40.tif"
                BAND5_FILE_NAME = "p177r032_7t20000510_z36_nn50.tif"
                BAND61_FILE_NAME = "p177r032_7k20000510_z36_nn61.tif"
                BAND62_FILE_NAME = "p177r032_7k20000510_z36_nn62.tif"
                BAND7_FILE_NAME = "p177r032_7t20000510_z36_nn70.tif"
                BAND8_FILE_NAME = "p177r032_7p20000510_z36_nn80.tif"
                GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
                        REFERENCE_DATUM = "WGS84"
                        REFERENCE_ELLIPSOID = "WGS84"
                        GRID_CELL_ORIGIN = "Center"
                        UL_GRID_LINE_NUMBER = 1
                        UL_GRID_SAMPLE_NUMBER = 1
                        GRID_INCREMENT_UNIT = "Meters"
                        GRID_CELL_SIZE_PAN = 14.250
                        GRID_CELL_SIZE_THM = 57.000
                        GRID_CELL_SIZE_REF = 28.500
```

```
                FALSE_NORTHING = 0
                ORIENTATION = "NUP"
                RESAMPLING_OPTION = "NN"
                MAP_PROJECTION = "UTM"
        END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
        GROUP = UTM_PARAMETERS
                ZONE_NUMBER = +36
        END_GROUP = UTM_PARAMETERS
        SUN_AZIMUTH = 135.1096655
        SUN_ELEVATION = 61.0287391
        QA_PERCENT_MISSING_DATA = 16
        CLOUD_COVER = 10
        PRODUCT_SAMPLES_PAN = 17406
        PRODUCT_LINES_PAN = 15570
        PRODUCT_SAMPLES_REF = 8703
        PRODUCT_LINES_REF = 7785
        PRODUCT_SAMPLES_THM = 4352
        PRODUCT_LINES_THM = 3893
        OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
END_GROUP = ORTHO_PRODUCT_METADATA
GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA
        BAND_COMBINATION = "123456678"
        CPF_FILE_NAME = "L7CPF20000401_20000630_08"
        GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
                LMAX_BAND1 = 191.600
                LMIN_BAND1 = -6.200
                LMAX_BAND2 = 196.500
                LMIN_BAND2 = -6.400
                LMAX_BAND3 = 152.900
                LMIN_BAND3 = -5.000
                LMAX_BAND4 = 241.100
                LMIN_BAND4 = -5.100
                LMAX_BAND5 = 31.060
                LMIN_BAND5 = -1.000
                LMAX_BAND61 = 17.040
                LMIN_BAND61 = 0.000
                LMAX_BAND62 = 12.650
                LMIN_BAND62 = 3.200
                LMAX_BAND7 = 10.800
                LMIN_BAND7 = -0.350
                LMAX_BAND8 = 243.100
                LMIN_BAND8 = -4.700
        END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
        GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
                QCALMAX_BAND1 = 255.0
                QCALMIN_BAND1 = 1.0
                QCALMAX_BAND2 = 255.0
                QCALMIN_BAND2 = 1.0
                QCALMAX_BAND3 = 255.0
                QCALMIN_BAND3 = 1.0
```

QCALMAX_BAND4 = 255.0
QCALMIN_BAND4 = 1.0
QCALMAX_BAND5 = 255.0
QCALMIN_BAND5 = 1.0
QCALMAX_BAND61 = 255.0
QCALMIN_BAND61 = 1.0
QCALMAX_BAND62 = 255.0
QCALMIN_BAND62 = 1.0
QCALMAX_BAND7 = 255.0
QCALMIN_BAND7 = 1.0
QCALMAX_BAND8 = 255.0
QCALMIN_BAND8 = 1.0
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND1 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND2 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND3 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND4 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND5 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND61 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND62 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND7 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND8 = "CPF"
CORRECTION_METHOD_BIAS = "IC"
BAND1_GAIN = "H"
BAND2_GAIN = "H"
BAND3_GAIN = "H"
BAND4_GAIN = "L"
BAND5_GAIN = "H"
BAND6_GAIN1 = "L"
BAND6_GAIN2 = "H"
BAND7_GAIN = "H"
BAND8_GAIN = "L"
BAND1_GAIN_CHANGE = "0"
BAND2_GAIN_CHANGE = "0"
BAND3_GAIN_CHANGE = "0"
BAND4_GAIN_CHANGE = "0"
BAND5_GAIN_CHANGE = "0"
BAND6_GAIN_CHANGE1 = "0"
BAND6_GAIN_CHANGE2 = "0"
BAND7_GAIN_CHANGE = "0"
BAND8_GAIN_CHANGE = "0"
BAND1_SL_GAIN_CHANGE = "0"
BAND2_SL_GAIN_CHANGE = "0"
BAND3_SL_GAIN_CHANGE = "0"
BAND4_SL_GAIN_CHANGE = "0"
BAND5_SL_GAIN_CHANGE = "0"
BAND6_SL_GAIN_CHANGE1 = "0"
BAND6_SL_GAIN_CHANGE2 = "0"
BAND7_SL_GAIN_CHANGE = "0"

```
                BAND8_SL_GAIN_CHANGE = "0"
            END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
            GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
                STRIPING_BAND1 = "NONE"
                STRIPING_BAND2 = "NONE"
                STRIPING_BAND3 = "NONE"
                STRIPING_BAND4 = "NONE"
                STRIPING_BAND5 = "NONE"
                STRIPING_BAND61 = "NONE"
                STRIPING_BAND62 = "NONE"
                STRIPING_BAND7 = "NONE"
                STRIPING_BAND8 = "NONE"
                BANDING = "N"
                COHERENT_NOISE = "N"
                MEMORY_EFFECT = "N"
                SCAN_CORRELATED_SHIFT = "N"
                INOPERABLE_DETECTORS = "N"
                DROPPED_LINES = Y
            END_GROUP = CORRECTIONS_APPLIED
        END_GROUP = L1G_PRODUCT_METADATA
END_GROUP = METADATA_FILE
```

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Necib ÇAPAR
Doğum Yeri ve Tarihi:	Ankara, 8.1.1982
Lisans Üniversite:	İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü